تغییرات اقلیمی زمین و یخ‌بندان‌های دورهٔ کواترنری

فرشته مهدی‌پور حسکوئی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران
جعفر صبوری
کارشناس ارشد زمین‌شناسی
مسئول آزمایشگاه پالینولوژی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران
حبیب علی‌محمدیان
دکترای زمین‌شناسی
مسئول آزمایشگاه محیط دیرینهٔ مغناطیسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران

چکیده

تغییر اقلیم، یک تغییر پایدار و مشخص در توزیع آماری الگوهای آب و هوایی است که در محدودهٔ زمانی بین ده‌ها تا میلیون‌ها سال و در پاسخ به تغییرات تراز انرژی جهانی به وقوع می‌پیوندد. پارامترهای مؤثر در تغییرات آب و هوایی را می‌توان با قلمروهای مختلفی در دو گروه (عوامل طبیعی و عوامل انسانی) دسته‌بندی کرد. عوامل طبیعی عبارت‌اند از: عوامل درون‌جوی و عوامل برون‌جوی (نقش‌خورشید بر آب‌و هوای زمین و موقعیت زمین به عنوان یک سیاره در فضا). عوامل انسانی مربوط به فعالیت‌های بشری می‌شوند که می‌توان از جملهٔ آن‌ها به تشدید غلظت گازهای گلخانه‌ای، تخریب جنگل‌ها، افزایش آلاینده‌ها و غیره اشاره کرد. پیامد عملکرد بشر سبب ایجاد فاکتورهای نامبرده و از عوامل اصلی

افزایش درجهٔ حرارت هوا (گرمایش جهانی) است که خود سبب بالا آمدن سطح آب‌های جهان و بر هم خوردن الگو و میانگین بارندگی‌ها، پسروی یخچال‌ها و مناطق پوشیده از برف و یخ همیشگی (دائم الانجماد)، تغییر در بازدهی محصولات کشاورزی، وقوع خشکسالی، سیل و دیگر فاجعه‌های طبیعی است. امروزه بر اساس پژوهش‌ها، تنها دو سازوکار فیزیکی (آلاینده‌ها و نیروی گریز از مرکز زمین) وجود دارند که مکرراً سبب پیشروی سرمایش هوا شده‌اند. از این‌رو تصور می‌شود که مکانیسم نیروی گریز از مرکز یکی از دلایل اصلی وقوع چرخه‌های یخچالی کواترنری بوده است. دورهٔ کواترنری جوان‌ترین دوره از دوران سنوزوئیک است. این دوره در بردارندهٔ وقایع جدید بسیاری در طول تاریخ زمین است. از جملهٔ این وقایع سرمایش عمومی هوای زمین موسوم به وقوع عصر یخ کواترنری است. اصطلاح «عصر یخ» نشان‌دهندهٔ کاهش بلندمدت دمای سطح زمین و اتمسفر در یک دورهٔ زمین‌شناسی است که به گسترش کلاهک‌های یخ قاره‌ای، کلاهک‌های یخ قطبی و نیز، یخچال‌های طبیعی انجامیده است. در طول تاریخ زمین، وقوع پنج عصر یخ شناسایی شده که وقوع عصر یخ کواترنری آخرین آن‌ها بوده و تا عهد حاضر را نیز شامل می‌شود. در برخی مقالات اصطلاح عصر یخ به صورت دو اصطلاح یخچال‌شناسی، دوره‌های یخچالی (برای دوره‌های آب و هوایی سردتر طی یک عصر یخ) و بین یخچالی (برای دوره‌های گرمتر طی یک عصر یخ)به کار برده می‌شوند. همگان بر این باورند که چندین فاکتور مهم سبب وقوع یک عصر یخ بزرگ یا دوره‌های یخچالی بین یخچالی درون این اعصار یخ شده‌اند، از جمله: تغییرات در انحراف محور زمین، حرکت تقویمی زمین و نیز مسیر حرکت انتقالی زمین موسوم به چرخه‌های میلانکوویچ، جابه‌جایی قاره‌ها (که بر الگوی جریان‌های باد و آب‌های اقیانوسی تأثیر می‌گذارند، برای مثال: تشکیل جریان‌های دریایی دراک به دور قارهٔ قطب جنوبگان بر اثر جدایش این قاره از قارهٔ آمریکای جنوبی و سرمایش دائمی این قاره در اثر رفت و آمد این جریان دریایی و نیز انسداد جریان دریایی بین اقیانوس اطلس و آرام به دلیل بالا آمدن باریکهٔ پاناما)، گوناگونی انرژی خروجی از خورشید، مجموعه نیروهای مداری سیستم ماه و زمین، برخورد سنگ‌های آسمانی نسبتاً عظیم، فعالیت‌های ولکانیکی (فوران ابر آتش‌فشان‌ها) و غیره.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، گرمایش جهانی، سرمایش جهانی، عصر یخ، دورهٔ کواترنری، دوره‌های یخچالی و بین یخچالی

مقدمه

در جدول زمانی زمین‌شناسی کمیسیون بین‌المللی چینه‌نگاری[1] آخرین دورهٔ دوران سنوزوئیک دورهٔ کواترنری[2] نامیده می‌شود که در ادامهٔ دورهٔ نئوژن قرار دارد و حدوداً از ۲/۵۸۸ میلیون سال پیش تا به امروز به طول انجامیده است. آغاز این دورهٔ زمانی با آغاز هجوم یخبندان‌های عمدهٔ نیمکرهٔ شمالی هم‌زمان است. این دوره دو دور[3] زمین‌شناسی به نام‌های پلیستوسن[4] و هولوسن[5] را دربرگرفته است.

پلیستوسن بیشترین بخش از آخرین عصر یخ کواترنری را دربرگرفته و پایان آن مطابق با پسروی آخرین یخچال‌های طبیعی قاره‌ای است، در حالی‌که مطابق با یک باور متداول زمین‌شناسی، هولوسن یک دورهٔ بین یخچالی در نظر گرفته شده که متعلق به عصر یخ معاصر است.

به‌طور کلی، اولین عصر یخ ثبت شده در طول تاریخ زمین‌شناسی در زمان پرکامبرین یعنی در ۶۳۰ تا ۸۵۰ میلیون سال پیش به وقوع پیوسته و احتمالاً شدیدترین عصر یخ در یک میلیارد سال گذشته بوده است. در طی این عصر یخ، یخچال‌های دائمی تمام جهان را پوشانده بودند، ولی در اثر انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین (مانند گاز CO_2 که در اثر فعالیت‌های آتش‌فشانی تولید شده بودند) به پایان رسیده است. در خلال اعصار یخ، وجود دوره‌های معتدل‌تر و نیز شرایط یخبندان شدیدتر با یک نظم و ترتیب خاص، اشاره به تناوب وقوع دوره‌های یخچالی و بین یخچالی دارند.

دورهٔ کواترنری جوان‌ترین دوره از دوران سنوزوئیک است. این دوره در بردارندهٔ وقایع جدید بسیاری در طول تاریخ زمین است

در حال حاضر، زمین در یک دورهٔ بین یخچالی متعلق به عصر یخ کواترنری به سر می‌برد، آخرین دورهٔ یخچالی در طی زمان کواترنری حدود ده هزار سال پیش به پایان رسید. در طی یک دورهٔ یخچالی با بین یخچالی، یخچال‌های طبیعی پیشروی‌ها و پسروی‌های جزئی را تجربه می‌کردند، که هر یک از این چرخه‌های فرعی را یک مرحلهٔ کوچک یخچال‌زایی یا در اصطلاح استادیال[6] و زمان‌های بین آن‌ها را مرحلهٔ کوچک بین یخچالی[7] می‌نامند. به عبارت دیگر، استادیال یک دوره از دمای هوای سردتر طی یک دورهٔ بین یخچالی (دوره‌های گرم‌تر) است که در واقع یک دورهٔ یخچالی نارسا (یعنی فاقد شدت سرما یا مدت زمان کافی) به حساب می‌آید، در حالی‌که اینتراستادیال یک دورهٔ هوای گرم‌تر طی یک دورهٔ یخچالی است که در واقع یک دورهٔ بین یخچالی نارسا (فاقد شدت گرما یا مدت زمان کافی) است.

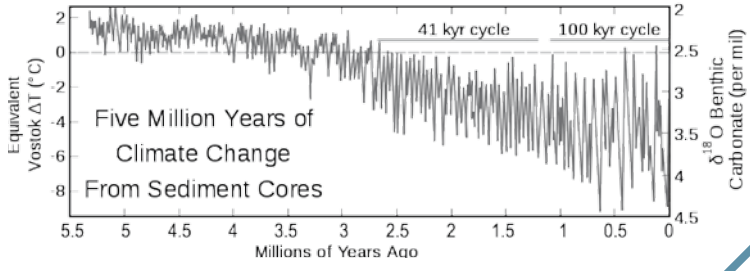
منشأ نظریهٔ عصر یخ را در سال ۱۷۴۲، پیرمارتل[8] (۱۷۶۷-۱۷۰۶) در گزارشی از کوه‌های آلپ آورده که پراکندگی تخته‌سنگ‌های درون دره را به گسترش یخچال‌های طبیعی در این منطقه مرتبط دانست.

در حدود یک قرن بعد، زمین‌شناسی به نام جنز اسمارک[9] (۱۸۳۹-۱۷۶۳)، یک توالی از اعصار یخ را در سرتاسر جهان مطرح و تغییرات آب و هوایی را به عنوان علت وقوع این‌گونه یخبندان‌ها معرفی کرد. وی کوشید نشان دهد

که این وقایع از تغییرات در مدار چرخش زمین سرچشمه گرفته‌اند. چند سال بعد در سال ۱۸۲۹، یک مهندس سوئیسی به نام ایگناز وِنت[۱۰] (۱۸۵۹-۱۷۸۸) تشریح کرد که بی‌نظمی در پراکندگی تخته‌سنگ‌های کوه‌های آلپ در واقع نشانه‌ای از یخچال‌های بزرگ طبیعی‌اند. در سال ۱۸۴۰، لوئیز آگاسیز[۱۱] (۱۸۷۳-۱۸۰۱) کتاب خود را به نام مطالعهٔ یخچال‌های طبیعی[۱۲] منتشر کرد. به طور کلی، حدود یک قرن به طول انجامید تا اینکه نظریهٔ عصر یخ به طور کامل پذیرفته شد. این مطلب در مقیاس زمان بین‌المللی در نیمهٔ دوم دههٔ ۱۸۷۰ رخ داد.

یخبندان کواترنری[۱۳]

بر پایهٔ باورهای زمین‌شناختی، عصر یخ حضور کلاهک‌های گسترده‌ای را در نیمکرهٔ شمالی و جنوبی زمین ایجاب می‌کند. طبق این تعریف ما هنوز در یک عصر یخ به سر می‌بریم، زیرا کلاهک‌های یخی قطب جنوب و گرینلند هنوز وجود دارند [۴،۱، ۵] از این‌رو اصطلاح یخبندان کواترنری که به عنوان عصر یخ فعلی[۱۴] شناخته شده است، در واقع به دوره‌ای در همین ۲/۵۸۸ میلیون سال پیش تا به امروز اشاره دارد که کلاهک‌های یخی پایداری در قطب



نگارهٔ ۱: تغییر درجه حرارت از پلیوسن به کواترنری (philander, ۲۰۰۸)[۶]

شمالگان، احتمالاً گرینلند و همچنین به طور سرگردان در سطح زمین نمایان شدند.

بر پایه مطالعهٔ نسبت ایزوتوپ‌های اکسیژن در موجودات کف‌زی از ۵/۵ میلیون سال پیش تا به حال به این نتیجه می‌رسیم که در مرز کواترنری (حدود ۲/۵ میلیون سال پیش) افت درجهٔ حرارت محسوسی داشته‌ایم (نگارهٔ ۱).

داده‌های به‌دست آمده از هسته‌های یخی نشان می‌دهند که در خلال یخبندان کواترنری، حجم کل آب‌های سرزمین‌های یخی و درجه حرارت جهانی، به مدت ۴۱۰۰۰ سال یک‌بار (به سمت ادوار امروزی‌تر هر ۱۰،۰۰۰ سال یک‌بار و نیز هر ۸۰۰۰ سال یک‌بار) نوسان داشته‌اند، به طوری‌که بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از آثار مغزه‌های یخی و رسوبی، در بیش از ۷۴۰،۰۰۰ سال گذشته، هجده چرخهٔ یخچالی به وقوع پیوسته است.

از دلایل وقوع چرخه‌های یخچالی بین یخچالی پیاپی در طی دورهٔ کواترنری آنچه می‌دانیم این است که این چرخه‌ها قویاً با پارامترهای چرخش مدار زمین کنترل شده‌اند. دوره‌های مداری شناخته شده در حدود چهارصد تا صد هزار سال پیش، احتمالاً ناشی از نیروی گریز از مرکز زمین بوده‌اند. در ۴۱ هزار سال پیش به علت تغییر در درجهٔ انحراف محور زمین[۱۵] و در ۲۳ و ۱۹ هزار سال پیش نیز به سبب تغییر در حرکت تقدیمی زمین[۱۶] (حرکتی که در آن کرهٔ زمین به دور خود می‌چرخد) به وقوع پیوسته‌اند. گفتنی است که چهارصد هزار سال گذشته در بردارندهٔ یک دورهٔ بین یخچالی کوتاه (ده هزار تا سی هزار سال) با گرمای هوای مشابه امروز بوده که با یک دورهٔ یخچالی بسیار طولانی‌تر (هفتاد هزار تا نود هزار سال) و خیلی سردتر از عهد حاضر جایگزین شده است. [۸]

در طول زمان کواترنری چرخه‌های یخبندان عمده در سطح قاره‌ها به طور پیاپی به وقوع پیوسته‌اند، که آن‌ها را بر اساس زمان و مکان وقوع مطابق جدول ۱ تقسیم‌بندی کرده‌اند. آخرین دوره‌های یخچالی و بین یخچالی کواترنری، از امروزی‌ترین تا آن‌هایی که در گذشته‌های دور قرار دارند.

جدول ۱. کرونولوژی چرخه‌های یخچالی کواترنری بر پایهٔ شواهد قاره‌ای[۱۷] در نقاط مختلف جهان که به اشکوب‌های ایزوتوپی دریایی تلفیق شده‌اند (Gibbard, and van Kolfschoten, 2004) [۹]

Backwards Glacial Index	نامگذاری					یخبندان/بین یخبندان	دوره (هزار سال پیش)	اشکوب‌های ایزوتوپی دریایی (MIS)	Epoch
	کوهستان آلپ	آمریکای شمالی	شمال اروپا	بریتانیا	آمریکای جنوبی				
				Flandrian		بین یخبندان	12 – حال	1	هولوسن
1st	Würm	Wisconsin	Weichsel یا Vistula	Devensian	Llanquihue	دوره یخبندان	12 – 110	2-4 & 5a-d	پلیستوسن
	Riss-Würm	Sangamonian	Eemian	Ipswichian		بین یخبندان	110 – 130	5e	
2nd	Riss	Illinoian	Saale	Wolstonian یا Gipping	Santa Maria	دوره یخبندان	130 – 200	6	
	Mindel-Riss	Yarmouth	Holstein	Hoxnian		بین (ها) یخبندان	200 – 300/380	7,9,11	
3rd – 5th	Mindel	Kansan	Elsterian	Anglian	Río Llico	دوره یخبندان(ها)	300/380 – 455	8,10,12	
	Günz-Mindel	Aftonian		Cromerian		بین (ها) یخبندان	455 – 620	13-15	
7th	Günz	Nebraskan	Menapian	Beestonian	Caracol	دوره یخبندان	620 – 680	16	

در طول تاریخ زمین، وقوع پنج عصر یخ، شناسایی شده که وقوع عصر یخ کواترنری آخرین آن‌ها بوده و تا عهد حاضر را نیز شامل می‌شود

همگی نام‌گذاری شده‌اند. این دوره‌ها در جدول زیر نشان داده شده‌اند:

دلایل تغییرات اقلیمی کرهٔ زمین

۱. چرخه‌های میلانکوویچ[۱۸]

پیش از پرداختن به دیگر دلایل وقوع یخبندان کواترنری به‌طور خلاصه به تشریح چرخه‌های مدار زمین که با عنوان چرخه‌های میلانکوویچ شناخته شده‌اند، می‌پردازیم. چرخه‌های میلانکوویچ از علل تغییرات اقلیمی در کل تاریخ زمین بوده‌اند و به طور کلی این چرخه‌ها، چرخه‌های نجومی به تغییرات مکرری در حرکات زمین اشاره دارند که برای اولین بار توسط یک فیزیک‌دان به نام میلوتین میلانکوویچ[۱۹] مطرح شدند. این تغییرات عبارت‌اند از:

۱. تغییر در انحراف محور زمین، که در طی یک دورهٔ ۴۱ هزار ساله در حال تغییر است (نگارهٔ ۲- الف).

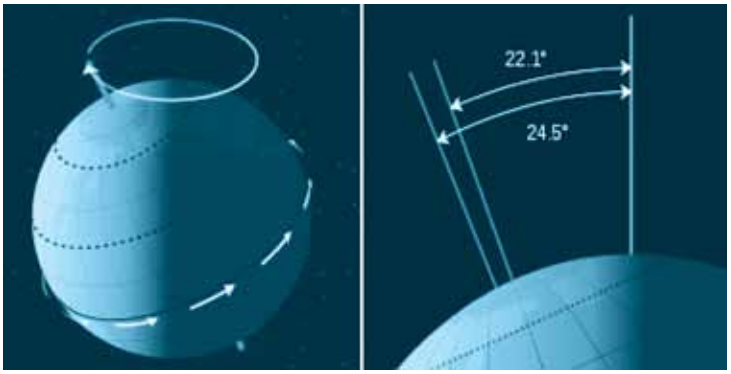
۲. تغییر در حرکت تقدیمی زمین، که در طی یک دورهٔ ۲۶ هزار ساله در حال تغییر است (نگارهٔ ۲- ب).

۳. تغییر در مدار حرکت انتقالی زمین از شکل بیضوی به دایره‌ای و بالعکس (موسوم به وقوع حضیض[۲۰] و اوج[۲۱] خورشیدی)، که در طی دوره‌هایی مابین ۹۵ تا ۱۲۵ هزار ساله (نگارهٔ ۲- ج) در حال تکرار است (اکثراً دوره‌هایی در حدود صد هزار سال).[۱۰]

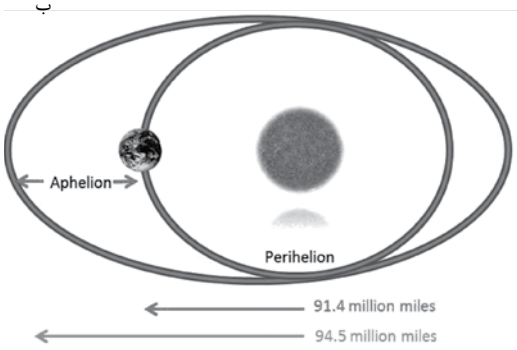
این تغییرات بر اثر تغییر در نیروی گریز از مرکز زمین رخ می‌دهند. در واقع این نیرو به تغییرات چرخه‌ای کندی در انحراف محور زمین و شکل مدار آن اشاره دارد که با تغییرات کوچک در آن‌ها، مقدار مجموع کل نور رسیده از خورشید به زمین و مدت زمان فصول تأثیر می‌گذارند و این باور وجود دارد که این مکانیسم سبب وقوع چرخه‌های عصر یخ کواترنری بوده‌اند.

امروزه همه بر این باورند که چرخه‌های میلانکوویچ تغییرات تناوبی گوناگونی را در تابش انوار خورشیدی به صورت منطقه‌ای ایجاد می‌کنند. این تغییرات در واقع ناشی از تکرار مجموعه تغییرات بسیاری در حرکت زمین هستند، ولی نمی‌توانند تنها عامل برای توضیح آغاز و پایان یک عصر یخ یا تکرار دوره‌های یخچالی باشند. هر چند به نظر می‌رسد که این چرخه‌ها بهترین عملکرد را در توضیح چرخه‌های یخچالی و بین یخچالی کواترنری دارند، به گونه‌ای که برای هر صد هزار سال یک بار وقوع یک دورهٔ یخچالی را پیش‌بینی می‌کنند (نگارهٔ ۳ و۹).

براساس نگارهٔ ۷ می‌توان اثبات کرد که ارتفاع پیک حرارتی[۲۴] دورهٔ بین یخچالی فعلی با پیک حرارتی دورهٔ بین

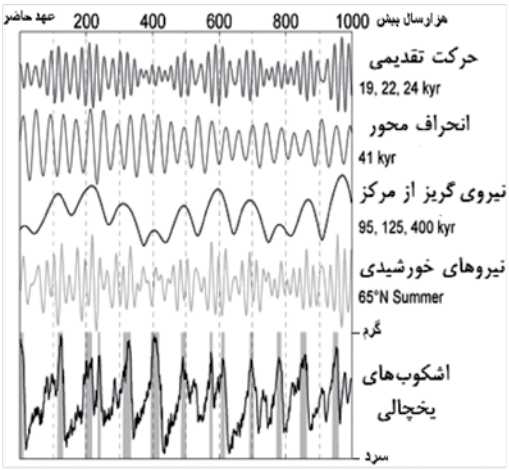


الف ب



ج

نگارهٔ ۲چرخه‌های میلانکوویچ الف) محدودهٔ تغییرات زاویهٔ انحراف محور زمین در حدود ۱,۲۲ تا ۲۴,۵ درجه است ب) تغییر در حرکت تقدیمی که در حین این جابه‌جایی، رقص محور[۲۲] نیز به وقوع می‌پیوندد؛ ج) تغییر در مدار حرکت انتقالی زمین سبب تغییر فاصله زمین تا خورشید در حدود بین ۹۱,۴ تا۹۵,۵ میلیون مایل می‌شود [10] (wikipedia,2010)



نگارهٔ۳. رابطهٔ مدار زمین با دوره‌های یخچالی. نقش تغییرات مداری زمین در تطابق دادن با تغییرات آب‌وهوایی اولین بار به وسیلهٔ جیمزکرول[۲۳] در اواخر قرن نوزدهم مورد استفاده قرار گرفت. نمودار قرمز رنگ بیانگر نوسانات حرکت تقدیمی زمین است.(philander,2008)

یخچالی پیشین یکسان است. از این رو نتیجه می‌گیریم که احتمالاً در حال حاضر در محدودهٔ انتهایی یک دوره گرما قرار داریم. [۱۲]

۲. نقش لکه‌های خورشیدی

در دهۀ ۱۶۰۰ برخی از دانشمندان، نقاط تیره‌ای را روی سطح خورشید مشاهده کردند که بعدها این نقاط تیره را لکه‌های خورشیدی[۲۵] نام نهادند. لکه‌های خورشیدی نقاط سردتر و تیره‌ای روی سطح خورشید هستند که سلول‌های انتقال انوار خورشیدی را درهم می‌شکنند. این لکه‌ها در ارتباط با نقاط عطف میدان‌های مغناطیسی قوی در محدودۀ زمانی بین یک روز تا چندین ماه تشکیل می‌شوند. این لکه‌ها به هنگام چرخه‌های خورشیدی در طی یازده سال ظاهر و سپس ناپدید می‌شوند. امروزه ثابت شده است که فعالیت‌های مغناطیسی خورشید روی چرخه‌های تغییرات تابشی آن تأثیر می‌گذارند. از این‌رو بر اساس برخی از تحقیقات گفته می‌شود که احتمالاً افزایش درجه حرارت عمومی کرۀ زمین (گرمایش جهانی) با افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی و برعکس، وقوع سرمایش جهانی با ناپدید شدن این لکه‌ها مرتبط‌اند. [۱۱]

۳- تأثیر نیروی کشندی ماه و خورشید

از دیگر عوامل تغییرات اقلیمی می‌توان به نوسانات و تغییرات حرکتی کرۀ زمین اشاره کرد. زمین در حین حرکت وضعی حول محور خود (نگارۀ ۵- الف) و به هنگام جابه‌جایی در مسیر انتقالی (نگارۀ ۵- ب)، در یک مسیر مستقیم جابه‌جا نمی‌شود. این سیاره در مسیر چرخش به دور خورشید (حرکت انتقالی) و چرخش حول محور خود (حرکت وضعی) دارای نوسانات و تغییراتی است که سبب ایجاد تغییرات اقلیمی در سطح کرۀ زمین می‌شوند. اعمال نیروی کشندی که از سوی ماه و خورشید به کرۀ زمین اعمال می‌شود این نوسانات را به وجود می‌آورد. حرکات

نگارۀ ۴. در دهۀ ۱۶۰۰ برخی از دانشمندان نقاط تیره‌ای را روی سطح خورشید مشاهده کردند که بعدها این نقاط تیره را لکه‌های خورشیدی نامیدند (تصویر برگرفته از www.starrynighteducation.com/sntim)

و نوسانات بسیار کم و سریع‌تر هنگام چرخش زمین حول خود را رقص محور زمین می‌نامند، که در ارتباط با تغییر در حرکت تقدیمی زمین به وقوع می‌پیوندند. به طور معمول، این تغییرات در حدود نوزده هزار سال به طول می‌انجامند و سبب ایجاد گوناگونی در جریان‌های اقیانوسی، رویۀ وزش بادها و حتی تغییرات حرکتی در هستۀ غیرجامد و آهنی نیکلی زمین می‌شوند (که خود باعث ایجاد تغییرات در ساز و کار تکتونیک ورقه‌ای و جابه‌جایی قاره‌ها هستند).

ب) در صورت نبودن ماه، مسیر حرکت زمین به دور خورشید به شکل بیضوی ساده (مسیر خط‌چین) می‌شود، ولی در حال حاضر این مسیر به شکل یک بیضوی با نوسانات مارپیچی‌شکل (مسیر نقطه‌چین) است (عکس از کتاب زمین- جعفری، ۱۳۶۱).

دیگر عوامل عمدۀ مؤثر بر یخبندان‌های دورۀ کواترنری

علاوه بر این عوامل که سبب تغییرات اقلیمی در کل تاریخ زمین شده‌اند، فاکتورهایی وجود دارند که به وقوع تغییرات اقلیمی در طی دوران سوم و نیز دوران چهارم به ویژه دورۀ کواترنری انجامیده‌اند. این فاکتورها عبارت‌اند از:

الف) حرکت قاره‌ها و چرخۀ آب‌های اقیانوسی[۲۶]

آثار و شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهند اعصار یخ زمانی آغاز شده‌اند که قاره‌ها سبب انسداد یا کاهش ادامۀ جریان آب‌های گرم اقیانوسی از مناطق استوایی به سمت مناطق قطبی شده و زمینۀ شکل‌گیری و گسترش کلاهک‌های یخی را فراهم آوردند. از جملۀ این وقایع می‌توان به دو جاگیری شناخته شده و عمده اشاره داشت که عبارت‌اند از:

۱- موقعیت کنونی قاره قطب جنوبگان؛

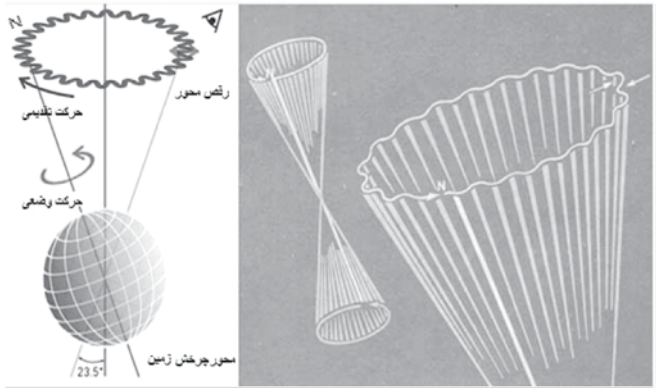
۲- تشکیل باریکۀ پاناما[۲۷] و پیامدهای آن.

الف- ۱)موقعیت کنونی جنوبگان

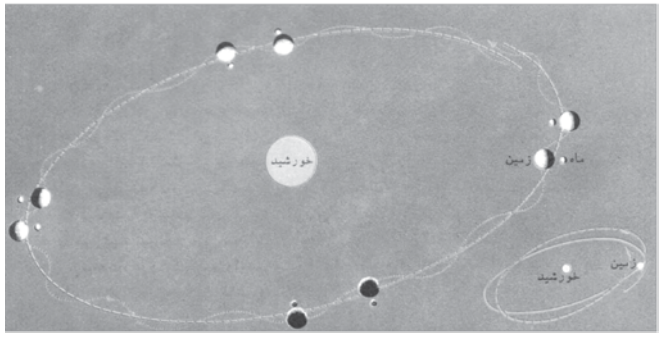
چهل میلیون سال پیش، قاره قطب جنوبگان و نوک انتهایی قارۀ آمریکای جنوبی به یکدیگر متصل بودند (نگارۀ ۶- سمت چپ). در حدود ۳۴ میلیون سال پیش این دو خشکی از یکدیگر جدا و سبب شکل‌گیری جریان دریایی دراک[۲۸] شدند (نگارۀ ۶- سمت راست). قارۀ جنوبگان به‌طور کامل با اقیانوس‌ها احاطه و چرخۀ جریان دور قطبی[۲۹] گردش به دور این قاره را آغاز کرد، به گونه‌ای که مانند عایقی قاره جنوبگان را از جریان آب‌های گرم اقیانوس‌های جهان مجزا می‌کند و بر سرمایش هوا به‌طور طولانی مدت در زمان زمین‌شناسی دامن می‌زند. [۱۵]

الف-۲)تشکیل باریکۀ پاناما و پیامدهای آن

ده میلیون سال پیش، بین قارۀ آمریکای شمالی



الف



نگارهٔ۵. الف) چرخش زمین حول محور خود و نوسانات آن. تصویر سمت راست نمایش دهندهٔ رقص محور و تشکیل دو مخروط فرضی است(عکس از کتاب زمین- جعفری،۱۳۶۱)؛ تصویر سمت چپ نیز نمای کلی از حرکت وضعی زمین را نشان می‌دهد(wikipedia,2010) [۱۳]

و جنوبی به واسطهٔ وجود یک دروازهٔ دریایی به نام راه دریایی آمریکای مرکزی[۳۰]، آب‌های اقیانوسی اطلس و آرام می‌توانستند آزادانه رفت و آمد داشته باشند و در نتیجهٔ ارتباط آب‌های این دو اقیانوس، هر دو دارای شوری یکسان بوده‌اند (نگارهٔ ۷- الف).

پنج میلیون سال پیش، بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی و بالا آمدن مقداری از باریکهٔ پاناما جریان آب‌ها محدود شد و مقادیر شوری مابین دو اقیانوس به تدریج اختلاف پیدا کردند (نگارهٔ ۷- ب).

امروزه به دلیل هموار بودن باریکهٔ پاناما، وزش بادها به سمت اقیانوس آرام است (نگارهٔ ۷- ج) و بخارهای آب‌های اقیانوس اطلس را به سوی اقیانوس آرام یا دیگر مناطق می‌برد و در آنجا به صورت بارندگی‌ها فرود می‌آیند (نگارهٔ ۷- د)؛ از این‌رو پیوسته شوری در اقیانوس آرام کاهش و در اقیانوس اطلس افزایش می‌یابد.

با بسته شدن راه دریایی پاناما و تفاوت در دما و شوری (و در نتیجه چگالی) آب اقیانوس اطلس، جریان دریایی موسوم به گلف استریم[۳۱] آغاز شد (نگارهٔ ۷- د) در اثر این جریان، آب‌های سرد و سنگین قطب شمال به سمت جنوب و در مقابل آن، آب‌های گرم استوایی به سمت شمال

نگارهٔ۶. چگونگی انفصال قارهٔ جنوبگان و تشکیل جریانات جریان دریایی دراک به عنوان پیامد آن(Haug et al.,۲۰۰۴)

حرکت کردند و با رسیدن به مناطق شمالی، سرد و سنگین می‌شوند و به کف دریا سقوط می‌کنند. [۱۶]

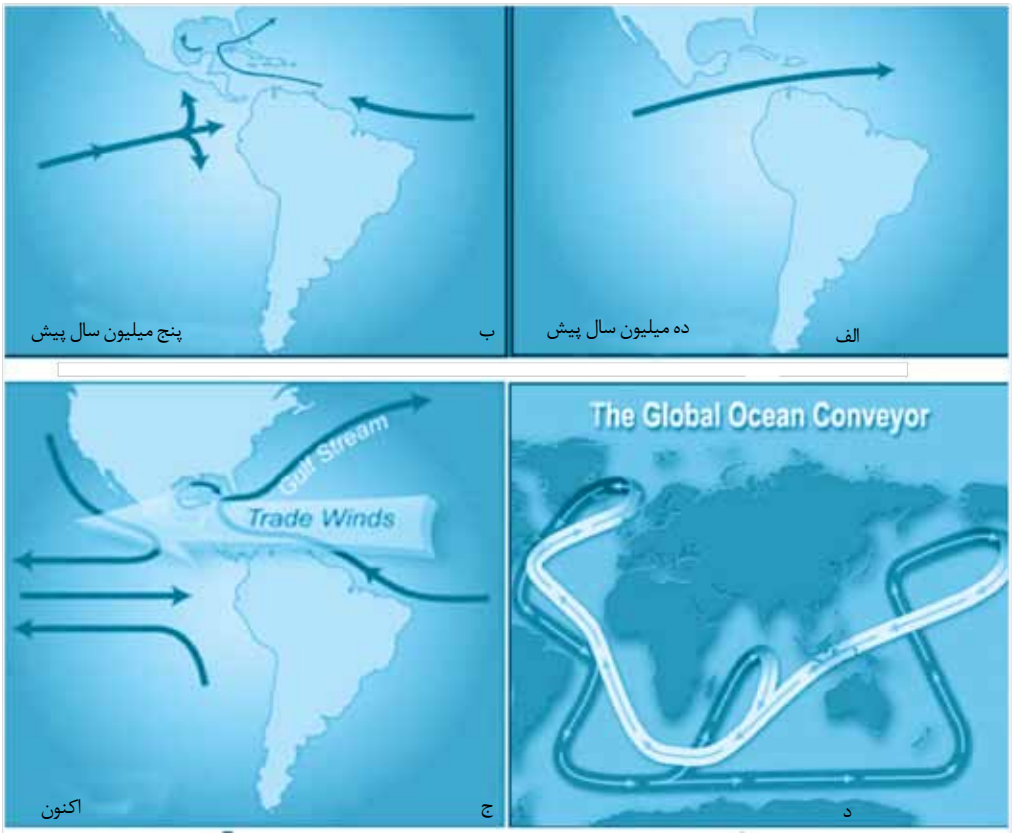
همان‌گونه که در نگارهٔ ۸ مشاهده می‌کنید، این روند علاوه بر اینکه سبب جدایی آب‌های سرد اقیانوس شمال از دیگر آب‌های گرم جهانی می‌شود، آثار دیگری نیز دارد، بدین شرح که بر طبق یک تئوری از سوی محققانی همچون دریسکول و هائوگ (۱۹۹۸)، گلف استریم سبب حمل رطوبت و بخارهای آب از مناطق جغرافیایی به سمت منطقهٔ قطب شمال و میزان رشد کلاهک‌ها و سرزمین‌های یخی را افزایش می‌دهد و احتمالاً گسترش دوران یخبندان را در پی دارد. ولی علاوه بر این‌ها، جریان گلف استریم هوای گرم را نیز با خود به سمت این منطقه حمل می‌کند. از این‌رو امکان دارد که تمرکز هوای گرم در مدارهای شمالی سبب متوقف شدن یخچال‌زایی شود. البته این امکان نیز وجود دارد که جابه‌جایی بخارهای آب به سمت مدارهای شمالی موجب افزایش بارندگی در این مناطق و در نتیجه رشد پهنه‌های یخی در منطقهٔ قطب شمال شود.

ب) تغییر در ترکیب جو زمین[۳۳]

دربارهٔ ارتباط تغییر ترکیب جو زمین و تأثیر آن بر آب و هوای جهانی می‌توان به بررسی این تغییرات که روی نمودار نشان داده شده در نگارهٔ ۹ اشاره کرد. با توجه به این نمودار در می‌یابیم که مقادیر CO_2 و در پی آن میانگین درجهٔ حرارت هوای جهان حدود ۱۴۰۰۰۰ سال پیش افزایش زیادی یافته است. در مقابل، در حدود ۹۰۰۰۰ سال پیش که میزان CO_2 روند کاهنده‌ای داشته است، در کواترنری آخرین دورهٔ یخچالی موسوم به ویسکانسین (در آمریکا) یا وورم (در آلپ) به وقوع پیوسته است. این دورهٔ یخچالی، نزدیک‌ترین دورهٔ یخچالی به زمان حال بوده که در درون عصر یخ فعلی قرار داشته و در آخرین سال‌های پلیستوسن از حدود ۱۱۰ تا ۱۰ هزار سال پیش به وقوع پیوسته است.

همان‌گونه که در نگارهٔ ۹ مشاهده می‌کنید، دورهٔ بین یخچالی

چرخه‌های میلانکوویچ از علل تغییرات اقلیمی در کل تاریخ زمین بوده‌اند که برای اولین بار توسط یک فیزیک‌دان به نام میلوتین میلانکوویچ مطرح شدند



نگارهٔ۷. چگونگی تغییر جریان آب‌های اقیانوسی با تشکیل باریکه پاناما، از ده میلیون سال پیش تاکنون. الف) اقیانوس ده میلیون سال پیش در محل امروزی پاناما؛ ب) تشکیل جزایر کمانی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی؛ ج) موقعیت کنونی پاناما و جریان بادها و آب‌های اقیانوسی؛ د)گردش آب‌های اقیانوسی جهان موسوم به جریان گلف‌استریم (Haug et al, 2004)

امروزی (هولوسن)، هم‌زمان با افزایش در جو، یعنی حدود پانزده تا ده هزار سال پیش آغاز شده است. این بدین معناست که در پی کاهش گازهای گلخانه‌ای در جو زمین مانند CO_2، سرمایش جهانی در دورهٔ کواترنری به وقوع پیوسته است. این اطلاعات با اندازه‌گیری CO_2 جوی برگرفته از نمونهٔ مغزه‌های یخی از ۶۵۰ هزار سال پیش تا زمان حال به‌دست آمده‌اند و بیانگر ارتباط قوی بین دمای هوا و میزان گاز CO_2 موجود در جوند. [۱۲]

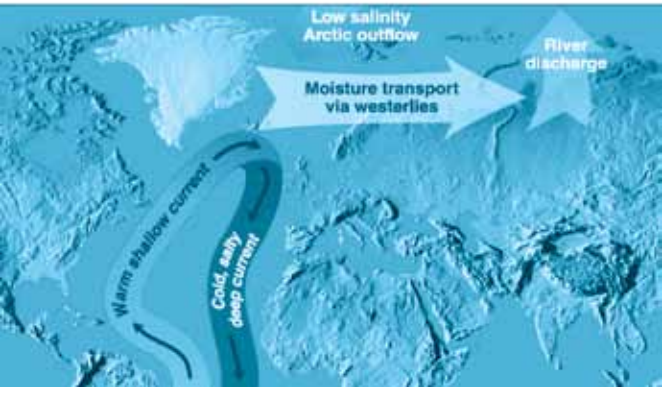
بررسی چرخه‌های ژئوشیمیایی در نگارهٔ ۹ نشان می‌دهد که هر بار کاهش CO_2 در جو زمین با وقوع سرمایش جهانی همراه بوده است، ولی اینکه آیا کاهش CO_2 سبب کاهش درجهٔ حرارت جهانی شده یا به عکس و اینکه کدام یک علت و کدامین معلول است، هنوز جای بحث دارد.

البته فعالیت‌های عظیم آتش‌فشانی می‌تواند یکی از علل افزایش گاز CO_2 در جو زمین باشد. همچنین، برخورد شهاب‌سنگ‌های غول‌آسا نیز ممکن است علاوه بر تغییر ترکیبات جو زمین سبب ایجاد آلاینده‌های دیگری در جو و در نتیجه سبب ایجاد تغییراتی در درجه حرارت عمومی کره زمین شود.

پ) تأثیر عملکرد فرآیندهای پس‌خور[۳۴]

یکی از عوامل مؤثر در تشدید سرمایش جهانی یا به عبارت دیگر پیشروی یخچال‌ها، «فرآیندهای پس‌خور» هستند. به طور کلی، هر دورهٔ یخچالی تابع یک پس‌خور مثبت[۳۵] است که باعث می‌شود شدت سرمای آن بیشتر شود و در عوض یک پس‌خور منفی[۳۶] شدت سرمای دورهٔ یخچالی را تخفیف می‌دهد و (در همهٔ موارد بررسی شده) در نهایت آن را به پایان می‌رساند. برای مثال، ایجاد پس‌خور مثبت در یک دورهٔ یخچالی بدین‌صورت است که در اثر وجود یخ، انرژی خورشید بیشتر منعکس می‌شود. از این‌رو، با تشدید کاهش دمای هوا، زمین‌های پوشیده از برف و یخ توسعه می‌یابند و این روند در رقابت با فرآیند پس‌خور منفی تا رسیدن به یک تعادل کامل، ادامه می‌یابد.

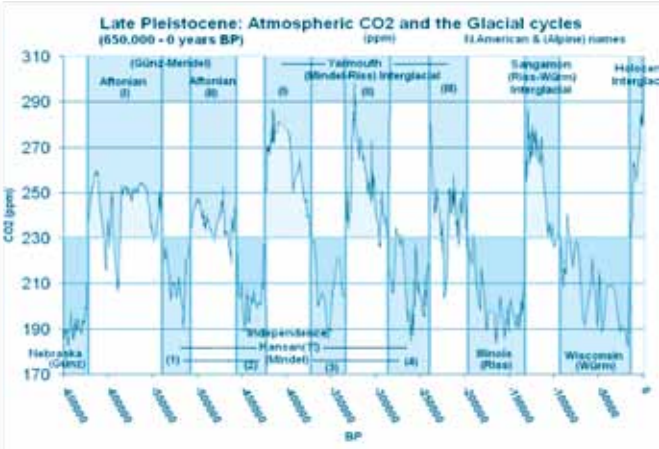
در ادامه با افزایش شدت سرمای دورهٔ یخچالی، کلاهک‌های یخی که در این دوره شکل گرفته‌اند، سبب افزایش خشکی هوا (با تبدیل شدن بخارات آب به یخ) و وقوع بیشینهٔ یخچالی می‌شوند و میزان بارندگی در یخچال‌های کوهستانی را کاهش می‌دهند. با کاهش بارندگی‌ها در تابستان، برف‌های باریده شده در عرض‌های بالا ذوب و اقیانوس‌های منجمد نشده نیز در اثر جذب انوار خورشیدی، موجب تبخیر حجم عظیمی از آب‌های اقیانوسی به داخل جو خواهند شد و در نهایت با افزایش



نگارهٔ۸. الگوی جریان‌های دریایی، تبخیر و بارندگی امروزی در اقیانوس اطلس(Driscoll & Haug,۱۹۹۸)

بارندگی‌ها، سبب پیشروی دوبارهٔ یخچال‌ها می‌شوند.

گمان قوی بر آن است که این روند یکی از علل تشدید یخبندان‌هـای مکرر در دورهٔ کواترنری بـوده و تکرار پیاپی



نگارهٔ۹. وقوع چرخه‌های یخچالی بین یخچالی پلیستوسـن پسین در دورهٔ یخبنـدان کواترنری، کـه با اندازه‌گیـری جوی برگرفتـه از نمونه مغزه‌های یخی از ۶۵۰ هزار سـال پیش تا بـه زمان حال حاضر را نشان می‌دهد(Aber,۲۰۰۶) [۱۷]

دوره‌های یخچالی در بین یخچالی نیز بدین صورت به پیش رفته است. [۱۸]

عوامل انسانی و گرمایش جهانی

گرمایش جهانی عبارت اسـت از گرم‌شدن جو عمومی زمیـن، به طوری‌که در قرن بیسـتم میانگین درجه حرارت هوای عمومی کرهٔ زمین در حدود ۰/۷۴ درجهٔ سـانتی‌گراد گرم‌تر شده اسـت. اندازه‌گیری درجهٔ حرارت هوای سطحی کرهٔ زمین، بیانگر یک روند خطی افزایش درجهٔ حرارت هوا در حـدود تقریبی ما بیـن $^{\circ}C$ ۰/۸± ۰/۷ در یـک دوره از سـال‌های ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵ اسـت [۱۹]که به عنوان یکی از شـواهد گرمایش جهانی هوا در نظر گرفته می‌شـود (نگارهٔ ۱۰- الف).

با توجه به نمودار نگارهٔ ۱۰- الف، متوسط درجهٔ حرارت جهانـی هوای کرهٔ زمین تنها در دههٔ ۱۹۰۰ به صفر نزدیک شـده است و پس از آن روند نمودار متوسط تغییرات درجهٔ حرارت جهانی هوا به صورت صعودی اسـت بیشترین ارقام این نمودار متعلق به اواخر دههٔ ۱۹۹۰ بوده است. [۲۰]

آثـار این افزایش درجهٔ حرارت هـوا (گرمایش جهانی) عبارت‌اند از:

۱. بالا آمدن سـطح آب‌های جهانی و برهم‌خوردن الگو و میانگین بارندگی‌ها، به گونه‌ای که احتمالاً شـامل افزایش وسعت بیابان‌ها در مناطق نیمه استوایی می‌شوند. [۲۱]

۲. پـس‌روی یخچال‌ها، مناطق دائم الانجماد و کوه‌های یخی شناور؛

۳. تغییر در میزان بازدهی محصولات کشاورزی؛

۴. وقوع خشک‌سالی، سـیل و دیگر فاجعه‌های طبیعی مانند انقراض گونه‌های زیستی.

به‌طـور کلی، آثار گرمایش جهانی و تغییرات ناشـی از آن، از منطقه‌ای به منطقهٔ دیگر و در طول زمان، در سراسر جهان متفاوت اسـت، به گونه‌ای که آثار تغییرات طبیعت به طور منطقه‌ای هنوز نامعلوم و مشکوک است. [۲۲]

مطالعه رسوبات کف دریا و مغزه‌های یخی سراسر جهان نیز نشـان می‌دهند که تغییرات آب و هوا به‌طور یکنواخت پیـش نرفته‌اند و تغییرات دمای هوا از درجه حرارت گرم به حالت انجماد، می‌تواند طی یک تا دو دهه به وقوع بپیوندند. به علاوه، این مغزه‌ها نشـان می‌دهند. که نه یک عصر یخ به طور یکنواخت سرد است و نه یک دورهٔ بین یخچالی به طور یکنواخـت گرم، بدین معنا که چرخه‌هـای یخچالی پیاپی، مجموعه‌ای از دوره‌های یخچالی بین یخچالی است.

همان‌گونه که قبلاً گفته شـد، دوره‌های یخچالی و بین یخچالی نیز دربردارندهٔ اسـتادیال‌ها[۳۷]، اینتراسـتادیال‌ها[۳۸]، فصول پربـاران[۳۹] و بیـن بارندگی‌ها [۴۰]بوده‌اند، بدین‌شـرح کـه مثلاً در طی یـک دورهٔ یخچالـی، یخچال‌های طبیعی پیشـروی‌ها و پس‌روی‌هـای جزئـی را تجربـه کرده‌اند. در دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، اصطلاحات فصول پرباران و بین بارندگی‌ها مورد اسـتفاده قرار می‌گیرند. استادیال‌ها دوره‌های زمانی بلند به همراه تغییرات درجهٔ حرارت هوا در نواحی وسـیع بوده، ولی فصـول بارندگی دوره‌های فصلی با تغییرات در میزان بارندگی‌ها محلی بوده‌اند.

به طور کلـی در فصول بارانی به دلیـل افزایش میزان رطوبـت جـو، آب و هوای یک منطقهٔ خـاص در یک فصل پرباران گرم‌تر شـده و متناظر با همین مطلب، در دوره‌های بیـن بارندگی‌هـا به دلیل کاهـش رطوبت جـو بارندگی‌ها کاهش یافته‌اند. امروزه باور محققان بر این اسـت که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات اقلیم عوامل انسانی هستند. از تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌توان به تشدید غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین (از جمله گاز دی‌اکسید کربن، متان، بخار آب، اکسید نیتروژن)، تخریب جنگل‌ها، تغییر مساحت اقیانوس‌ها، ناشـی از گرمایش جهانـی، افزایش آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی یا فعالیت‌های صنعتی و دیگر عملکردهای بشر، اشاره کرد.

همـگان بر این باورند، کـه دورهٔ کنونی که ما در آن به سـر می‌بریم، یک دورهٔ بین یخچالی اسـت. به طور معمول یک دورهٔ بین یخچالی هزار سـال طول می‌کشد. برای مثال در سـال ۲۰۰۴ در یـک مقاله که معمـول اعضای کمیتهٔ EPICA چاپ رساندند، استدلال شد که دورهٔ بین یخچالی کنونی قابل قیاس با دورهٔ بین یخچالی گذشته است (دارای

پنج میلیون سال پیش، بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی و بالا آمدن مقداری از باریکهٔ پاناما جریان آب‌ها محدود شد و مقادیر شوری مابین دو اقیانوس به تدریج اختلاف پیدا کردند

فعالیت‌های عظیم آتش‌فشانی می‌تواند یکی از علل افزایش گاز co_2 در جو زمین باشد. همچنین، برخورد شهاب‌سنگ‌های غول‌آسا نیز ممکن است علاوه بر تغییر ترکیبات جو زمین سبب ایجاد آلاینده‌های دیگری در جو و در نتیجه سبب ایجاد تغییراتی در درجه حرارت عمومی کره زمین شود

پیک حرارتی یکسان) که ۲۸ هزار سال به طول انجامیده بوده است. تغییرات پیش‌بینی شده در نیروهای مدار زمین نیز بیان می‌دارند که دوران یخبندان بعدی حتی بدون وجود گرمایش جهانی ناشی از دخالت انسان ممکن است پنجاه هزار سال بعد از زمان حال آغاز شود[۲۳]، یعنی در هر صورت وقوع یک دوران یخ دیگر تکرار خواهد شد.

از طرفی، احتمالاً تا زمانی که استفادهٔ شدید از سوخت‌های فسیلی همچنان ادامه دارد، تأثیر نیروهای برهم‌زنندهٔ طبیعت بیش از نیروهای مداری سبب افزایش گازهای گلخانه‌ای و تشدید گرمایش جهانی می‌شود.[۲۴]

با گرم‌تر شدن جو زمین اقیانوس‌ها نیز گرم‌تر می‌شود و کارایی آن‌ها را برای ذخیرهٔ دی‌اکسیدکربن بسیار کمتر و گرمایش کرهٔ زمین را تقویت می‌کند. همان‌گونه که در مورد تأثیر بازخورد منفی اشاره شد با گرم‌شدن اقیانوس و انتقال حجم عظیمی از آب‌های اقیانوسی به داخل جو زمین، بارندگی‌ها افزایش می‌یابند. از این‌رو ادامهٔ این روند، احتمالاً شروع یک عصر یخ جدید را پیش می‌اندازد.

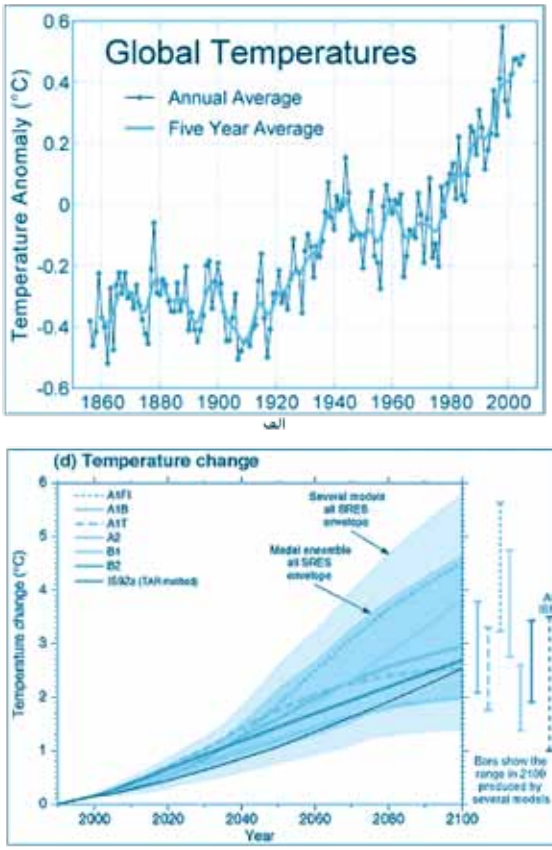
با توجه به نگارهٔ ۱۰- ب انواع مدل‌های مطالعه شده، افزایش درجهٔ حرارت عمومی زمین را در حدود بین یک تا شش درجهٔ سانتی‌گراد برای صد سال آینده پیش‌بینی می‌کنند.

همچنین برخی از تحقیقات اخیر روی ارتباط غلظت co_2 جو و تغییرات درجه حرارت نشان داده‌اند که اگر غلظت co_2 جو به [(parts per million) ppm۷۵۰] برسد، دورهٔ بین یخچالی امروزی تا پنجاه هزار سال دیگر به طول می‌انجامد (غلظت جوی در حال حاضر ppm۳۸۵ است، ولی با ادامهٔ عملکرد انسان به سرعت افزایش خواهد یافت)؛ در حالی‌که اگر این غلظت به مقداری در حدود ppm۲۱۰ کاهش یابد، دورهٔ بین یخچالی کنونی احتمالاً پانزده هزار سال دیگر ادامه خواهد یافت و دورهٔ سرمایش جهانی سریع‌تر آغاز خواهد شد. از این‌رو این پرسش وجود دارد که آیا تأثیر عملکرد انسان بر تغییرات آب و هوای جهان به سمت افزایش گرمایش جهانی به پیش خواهد رفت یا با عملکرد یک بازخورد منفی وارونه و سبب سرعت بخشیدن به وقوع یک عصر یخ جدید می‌شود؟ در هر حال امروزه، بحث بر سر تأثیر عوامل انسانی بر اقلیم جهانی است و دانشمندان می‌پندارند که با افزایش ریزگردها، گازهای گلخانه‌ای، تخریب جنگل‌ها و دیگر فعالیت‌های بشر روند گرمایش جهانی نیز افزایش یابد. ولی برخی نیز معتقدند که این ذرات معلق در جو با ایجاد یک فرایند پس‌خور سبب سرمایش جهانی می‌شوند.

در هر حال، با توجه به تمامی موارد بیان‌شده، گرمایش فعلی جهان، حتی با عملکرد احتمالی یک بازخورد منفی و وارونه شدن شرایط و ایجاد سرمایش جهانی، حاصل دخالت انسان به عنوان یک نیروی برهم‌زنندهٔ روند طبیعی چرخه‌های یخچالی بین یخچالی است و با کمی توجه به راحتی می‌توان دریافت که دخالت انسان یک عامل تهدیدکنندهٔ تمدن‌های گوناگون بشری مانند تمدن‌های شکل‌گرفته روی جزایر کم ارتفاع اقیانوس آرام که با یک تا دو متر افزایش یافتن آب‌های اقیانوسی غرق خواهند شد. به شمار می‌رود. از جملهٔ این جزایر می‌توان به مجموعه جزایر تشکیل‌دهندهٔ کشور کریباتی در نزدیکی خط استوا اشاره کرد. این مجموعه جزایر همگی دارای ارتفاعی کمتر از دو متر هستند و با ذوب حجم کمی از کلاهک‌های یخی قطب جنوب به راحتی مورد هجوم امواج قرار می‌گیرند و به زیر آب فرو می‌روند.

نتیجه‌گیری

دلایل وقوع یک عصر یخ بزرگ یا دوره‌های یخچالی بین یخچالی درون یک عصر یخ، هنوز بررسی می‌شوند و متأسفانه یک تئوری رضایت‌بخش که به طور کامل دلیل وقوع دوره‌های یخچالی را در زمین توجیه کند، ارائه نشده است. برخی از دانشمندان بر این باورند که علاوه بر فاکتورهای بیان‌شده، دلایل



نگارهٔ ۱۰. الف) تغییرات جهانی درجهٔ حرارت هوا در دههٔ ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ میلادی؛ ب) پیش بینی چگونگی گرمایش زمین تا قرن آینده بر اساس اطلاعات به‌دست آمده(GCCR,2009)

خاص هر زمان ممکن است وجود داشته باشند. برای مثال، در هنـــگام وقوع هر دورهٔ بین یخچالـــی و ذوب یخچال‌ها، هجوم آب‌های شـــیرین به درون آب شـــور دریاها روند جریانات گرما نمکـــی را بر هم زده و در پی آن هجوم دوبارهٔ یخ‌بندان و وقوع دورهٔ یخچالی را به دنبال داشته است. قدر مسلّم این است که تنها با عملکرد یکی از فاکتورهای آب و هوایی نمی‌توان تغییرات آب و هوایی و اقلیمی در کرهٔ زمین را توجیه و تشریح کرد، زیرا بررســـی‌ها و تحقیقات انجام شده در ســـال‌های اخیر نیز بیان می‌دارند که علاوه بر نوسانات و گوناگونی در جابه‌جایی سیستم ماه و زمین به دور خورشید، منظومهٔ شمسی[۴۲] ما (خورشید و همگی سیارات اطراف آن) نیز به دور مرکز کهکشانی که در آن قرار دارد (مانند حرکت ســـیارات به دور خورشـــید) در حرکت است و در حین حرکت به سمت بالا و پایین صفحهٔ چرخش، نوســـان دارد؛که احتمالاً در این میان پارامترهای تأثیرگذاری بر شـــرایط منظومهٔ شمسی و ســـتارگان و سیارات درون آن‌ها وجود دارند که هنوز ناشناخته باقی‌مانده‌اند. از طرفی، با توجه به تمامی موارد بیان شـــده در بحث عوامل انســـانی، گرمایش فعلی جهان، حتی با عملکرد احتمالی یک بازخورد منفی، وارونه می‌شـــود و وقوع یک عصر یخ جدید را به پیش می‌اندازد و در هر صورت دخالت انســـان یک نیروی برهم‌زنندهٔ روند طبیعی تغییرات و نوسانات آب و هوایی است و یک عامل تهدیدکنندهٔ تمدن‌های گوناگون بشری به شمار می‌آید.

پی‌نوشت

1. International Commission on Stratigraphy2. Quaternaru period
3. Epoch 4. Pleistocene 5. Holocen 6. Stadial
7. Inter stadial 8. Pierre Martel 9. Jens Esmark
10. Ignaz Venetz 11. Louis Agassiz 12. Etudes Sur les glaciers
13. Quaternary glaciation 14. The current ice age 15. Obliquity
16. Precession 17.Land-based chronology of Quaternary glacial cycles 18. Milankovitch cycles 19. Milutin Milan kovic
20. Perihelion 21. Aphelion 22. Temprature peak
23. James Croll 24. Nutation 25. Sunspts 26.Ocean currents
27. The Isthmus of Panama 28. Drake Passage
29. Antarctic Circumolar Current 30. Central American Seaway
31. Gulf Stream 32. Driscoll 33. Atmosheric composition
34. Feedback Process 35. Positive Feedback 36. Negative Feedback
37. Stadials 38. Interstadials 39. Pluvial 40. Interpluvial
41. Global Climate Change Research 42. Solar system

منابع

1. Gribbin/J./(1982).Future Weather and the Greenhouse Effect. Delacorte Press. Pp. 1-22.
2. Remis/ F/ and Testus/ Laurent (2009). Mais comment secoule donc un glacier? . C.R. Geoscience/ Vol. 338: pp. 368-385.
3. Kruger/ T./(2008). Internationale Rezetion und Konsequenzen fur das Verstandnis der Klimageschichte The Discovery of the Ice Ages. International Reception and Consequences for the Understanding of climate history. International Reception and Consequences for the Understanding of climate history/ Vol. pp. 59-542.
4. Imbrie/ J./ and Imbrie / k.P./ (1979). Ice Ages: Solving the Mystery. Short Hills/ NJ: Enslow Publishers/ pp. 1-215.
5. Gradstein/ F.M & Ogg/ J.G(2004). A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press. Cambridge , pp.1-412.
6. https://commons . Wikimedia .org/wiki/File:Vost.018.svg/ Retrieved by Lisiecki and Raymo on 7 July 2005
7. Augustin/ L./et al (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. pp. 623-638.
8. Spassov/S./(2000).Loess Magnetism/Environment and Climate Change on the Chinese Loess Plateau. Ph.D Thesis . pp. 1-151.
9.Gibbard/P. and van Kolfschoteh/ T./(2004). The Pleistocene and Holocene Epochs/ Chapter 22. In: Gradstein/F.M./Ogg/J.G./ and Gilbert/ S.A./(Eds.)/ A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press, Cambridge . pp. 181-191.
10. https://en.wikipedia. Org/ wiki/Milankovitch-cycles/ Retrieved on 01-09-2010.
11. Philander/S.G./ (2008). Encyclopedia of Global Warming and Climate Change. SAGE Refrence Publish/ Vol.1-3:pp.1-1283.
12. Connolley/ W./ (2011). Was an imminent Ice Age predicted in the 70s? The Christan Science Monitor, Vol. 194No.4270:pp.1121-32
13. https://commons.wikimedia. Org/wiki/ File:Precession – nutation-ES.svg/Retrieved on 06-09-2010.
14. Raymo/M.E./Ruddiman / W.F./ and Froelich/ P.N./ (1988). Influence of late Cenozoic mountain buikding on ocean geochemical cycles . Geology/ Vol. 16:pp.649-653.
15. Haug/ G.H./ Tiedemann/ R./ Keigwin/ L.D./ (2004) . How the Isthmus of Panama Put Ice in the Arctic. Oceanus/ Vol.42:pp.94-95.
16. Driscoll/ N.W. and G.H./ Haug/ (1998). A Short Circuit in Thermohaline Circulation: A Cause for Northern Hemisphere Glaciation? Science/ Vol. 282/ pp. 436-438
17. Aber/ J.S./ (2006). Regional Glaciation of Kansas and Nebraska. Emporia State Univerisiy/ Emporia Kansas. Pp . 16-18.
18. Ewing/ M./ and Donn. W.L./ (2009). A Theory of Ice Ages. Science/ Vol. 123:pp. 6-1061.
19. Treberth/ K.E./ P.D. Jones . P. Ambenje/ R. Bojariu/ D. Easterling/ A. Klein Tank/ D. Parker/ F. Rahimzadeh/ J.A. Renwick / M. Rusticucci/ B. Soden and P. Zhai / (2007). Surface and Atmospheric Cimate Change. In Solomon/ S./ D. in/ M. Manning/ z. Chen/ M. Marquis. K.B. Averyt/ M, Tignor and H.L. Moller (Eds). Cilmate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fouth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press/ Cambridge/ United Kingdom and New York/ USA/ pp. 235-336
20. Brohan/ P./ (2006) . Uncertainty estimates in reginal and global observed temperature change. Journal of Geophysical Research/ Vol. 111/pp. 2311-2315.
21. Lu/ J./ Vecchi/ G.A./ Reichler/ T./ (2007). Expansion of the Hadley cell under global warmind. Geophysical Research Letters/ Vol. 34/ No. 6: pp. 13-22
22. IPCC(2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I/II and III to the Fourt Assissment Report of the Interfovernmental Panel on Climate Change. Core Writng Team/ Pachauri/ R. K and Reisinger/ A. (Eds). Geneva/ Switzeriand/ IPCC: www. Ipcc. Ch/ publications and data/ publications- ipcc- fourt-assessment- report- synthesis- report. Htm.
23. IPCC.(2001). Climate Change 2001: Synthesis Report. Cambridge University Press/ Cambridge.
24. EPICA community members (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. Nature/ Vol. 429/ No . 6992:pp. 623-628.
25. Tyrrel/ T./ Shepherd/ J.G./ and Castel. S.. (2007). The Long- term legacy of fossol fuels. Tellus B./ Vol. 59/No/ 4:pp. 664-627.
26. Vavrus/ J./ and Kutzbach/ J./ (2008) Did Early Climate Impact Divert a New Glacial Age? Newswise. Vol. 43/No. 5: pp. 37-41.
27. GCCR-Global Climate Change Research – Gloval Effects mht, Retrieved on 8 March 2009.