پراکندگی قاره‌ها در طول تاریخ زمین‌شناسی و تأثیر آن بر تغییرات آب و هوا

ترجمه و اقتباس:
محمود جلالی- بهزاد معتمدی*

خلاصه

تغییرات بزرگ مقیاس آب و هوایی، به طور عمده در اثر تغییر وضعیت قاره‌ها و اقیانوس‌ها در طول زمان ایجاد می‌شوند. در زمان‌هایی که در اثر حرکت صفحات تکتونیکی، قاره‌ها طوری روی اقیانوس‌ها پراکنده شوند که جریان‌های اقیانوسی، توانایی حمل آب از استوا به قطب را داشته باشند، پدیدهٔ یخچالی به وجود می‌آید و هنگامی که وضعیت قرارگیری قاره‌ها طوری باشد که این جریان‌ها وجود نداشته باشند، یا پدیدهٔ بزرگ مقیاس گلخانه‌ای روبه رو خواهیم بود. به نظر می‌رسد که این الگو، از دوئین تا عهد حاضر نقش عمده‌ای در ایجاد یخچال‌ها و دوره‌های گرم ایفا کرده است. مشاهدهٔ تغییرات تکتونیکی مابین دوره‌های یخچالی و مابین یخچالی پلیستوسن و پدیدهٔ گلخانه‌ای کرتاسه، پایهٔ مناسبی برای به کارگیری و توسعهٔ این فرضیه ایجاد می‌کند. این گونه تغییرات آب و هوایی بزرگ مقیاس هستند و نسبت به تغییرات درجهٔ حرارت با مقیاس کوچک‌تر، اهمیت بیش‌تری دارند.

مقدمه

درک عوامل طبیعی که تغییرات آب و هوایی را کنترل می‌کنند، در شناسایی نقش انسان در این گونه تغییرات بسیار مؤثر است.

امروزه تلاش‌هایی برای پیش‌بینی تغییرات آب و هوای جهانی براساس نقش انسان با توجه به افزایش Co_2 در حال انجام است، درصورتی‌که تغییرات بزرگ مقیاسی که در اثر عوامل دینامیکی زمین کنترل می‌شوند و در طول زمان زمین‌شناسی قابل تعقیب هستند، کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نقش اقیانوس‌ها، کم یا زیاد شدن انرژی خورشیدی، تغییرات مداری و جریانات حرارتی داخل زمین، همراه با تکتونیک، در انتشار انرژی به سطح زمین و تأثیر آن‌ها در آب و هوا کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. آب و هوای کرهٔ زمین دائماً در حال تغییرات و تغیراتی سریع در مقیاس عمر انسان و تغییراتی کند در مقیاس زمین‌شناسی، از خود نشان می‌دهد. به علت وجود کثرت عوامل در ایجاد تغییرات آب و هوایی، به‌دست آوردن مدل‌های این تغییرات امری سخت و مشکل است.

گرما توسط انرژی تابشی خورشید و تلاشی رادیواکتیو در لایه‌های درونی، به زمین افزوده می‌شود. در این میان، اقیانوس‌ها بزرگ‌ترین تأثیر را بر پراکندگی دما روی سطح زمین دارند، زیرا حجم زیاد ظرفیت گرمایی آب اقیانوس‌ها، عامل مناسبی برای انتقال گرماست. اقیانوس‌ها به‌عنوان عوامل جذب، حمل و نقل و آزاد نمودن مقادیر زیاد انرژی گرمایی، تأثیر کنترل‌کنندگی عمده‌ای روی آب و هوای جهانی دارند. اقیانوس اطلس یکی از نمونه‌های این پدیده است.

تأثیر آب و هوایی اقیانوس‌ها روی قاره‌ها به‌خوبی شناخته شده است و امروزه، تلاش برای پیش‌بینی تغییرات آتی چرخه‌های اقیانوسی در حال انجام است. سیستم چرخهٔ ترموهالین جهانی در اثر اختلاف چگالی، که خود نتیجهٔ تغییرات درجهٔ حرارت و شوری است، ایجاد می‌شود. این سیستم با حرکت رو به پائین آب‌های سرد قطبی در نواحی قطب شمال و جنوب آغاز می‌شود. بالا آمدن این آب‌های سرد فروروِ[2] در کف اقیانوس‌ها، موجب تهویهٔ آن‌ها می‌شود (شکل ۱). در نواحی نروژ و گرینلند، جریان گرم گلف استریم سریعاً سرد و چگال می‌شود و به کف اقیانوس اطلس شمالی فرو می‌رود. در قطب جنوب نیز مشابه همین عمل در نواحی دریای «ودل»[3] اتفاق می‌افتد و از آن‌جا در کف اقیانوس، حرکتی را به سمت استوا انجام می‌دهد. این آب‌های سرد، چگال و شور در

نواحی اقیانوس‌های آرام و هند بالا می‌آیند. انجام این چرخه هزار سال طول می‌کشد.

تغییرات انتشار انرژی حرارتی که در اثر چرخه‌های ترموهالین ایجاد می‌شوند، ممکن است موجب روندهای ۲۰ تا ۳۰ ساله در اقلیم شوند. برای مثال، **گری**[۴] اظهار داشت که کاهش انتقال انرژی در اقیانوس اطلس شمالی، به سرد شدن کلی سطح اقیانوس‌ها منجر خواهد شد. کاهش در انتقال حرارت درنتیجهٔ الگوی چرخه‌های آب و هوایی ۲۴ ساله، موجب کاهش بارندگی و کم‌تر شدن فعالیت توفان‌ها می‌شود. امروزه، الگوی چرخش ترموهالین آب‌های عمیق از قطب به استوا، به‌علت وضعیت خاص قرارگیری قاره‌ها امکانپذیر است. اگر موقعیت قاره‌ها تغییر یابد، همان‌گونه که در دوران‌های گذشتهٔ زمین‌شناسی اتفاق افتاده است، منطقی است که الگوی گردش ترموهالین تغییر یابد. بنابراین، انتشار حرارت، نتیجهٔ تغییرات الگوها و شرایط اقلیمی است. اقیانوس‌شناسان بین محل قاره‌ها و آب و هوا ارتباط نزدیکی قائل هستند.

فرضیهٔ تأثیر پراکندگی قاره‌ها بر تغییرات درجهٔ حرارت کرهٔ زمین، براساس الگوهای گردش ترموهالین اقیانوس‌ها، در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی مطرح شده است. طبق این فرضیه، در زمان‌هایی که وضعیت پراکندگی قاره‌ها به گونه‌ای باشد که محدودهٔ آن‌ها در استوا قرار گرفته باشند، چرخه‌های اقیانوسی به‌موازات استوا، به علت وجود این قاره انجام نخواهد شد و بدین علت، جریان‌هایی به سمت قطب‌ها ایجاد خواهد شد. این زمان‌ها با دورهٔ یخچالی مطابق هستند. همچنین، زمان‌هایی که وضعیت قرارگیری قاره‌ها طوری باشد که فضا برای تداوم جریان‌های اقیانوسی استوایی وجود داشته باشد، منطبق با دورهٔ گلخانه‌ای خواهند بود.

از طریق بازسازی صفحات تشکیل دهندهٔ پوستهٔ زمین طی تاریخ زمین‌شناسی، می‌توان وضعیت قاره‌ها را بررسی و نقش آن‌ها را در ایجاد شرایط یخچالی و گلخانه‌ای اثبات کرد. این گونه تغییرات، بزرگ‌مقیاس هستند و ممکن است، در حین انجام آن‌ها، چرخه‌های کوتاه‌مدتی نیز روی آن‌ها دیده شود. برای مثال، تغییر از آب و هوای گرم و مرطوب (گلخانه‌ای) کرتاسه به شرایط یخچالی جاری، حدود ۶۰ میلیون سال طول کشیده است که در طول این مدت، شاهد تغییرات آب و هوایی کوچک مقیاس‌تر نیز بوده‌ایم.

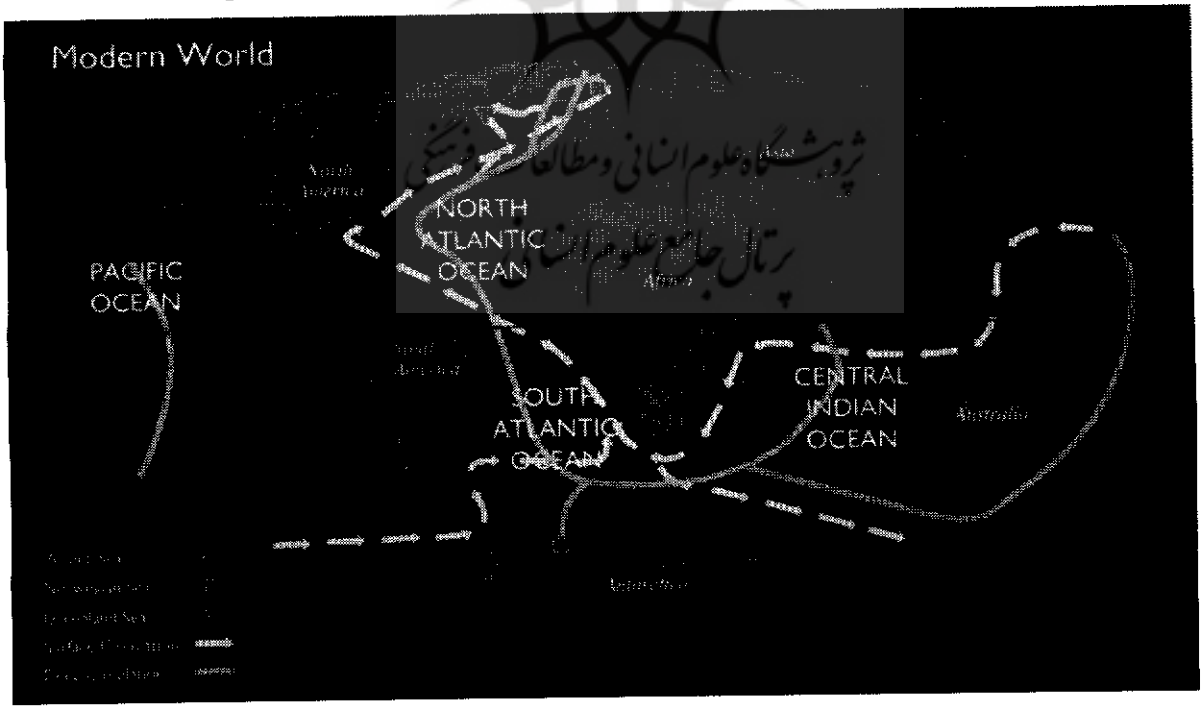
عوامل متفاوتی در تغییرات آب و هوایی کرهٔ زمین مؤثر هستند که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۱. **انرژی درونی زمین**: در نواحی رشته‌کوه‌های وسط اقیانوس، جایی که گسترش کف اقیانوس‌ها صورت می‌پذیرد، مواد داغ گوشته در تماس مستقیم با آب اقیانوس هستند و به این دلیل، در این نواحی انتقال دما بیش‌تر انجام می‌شود.

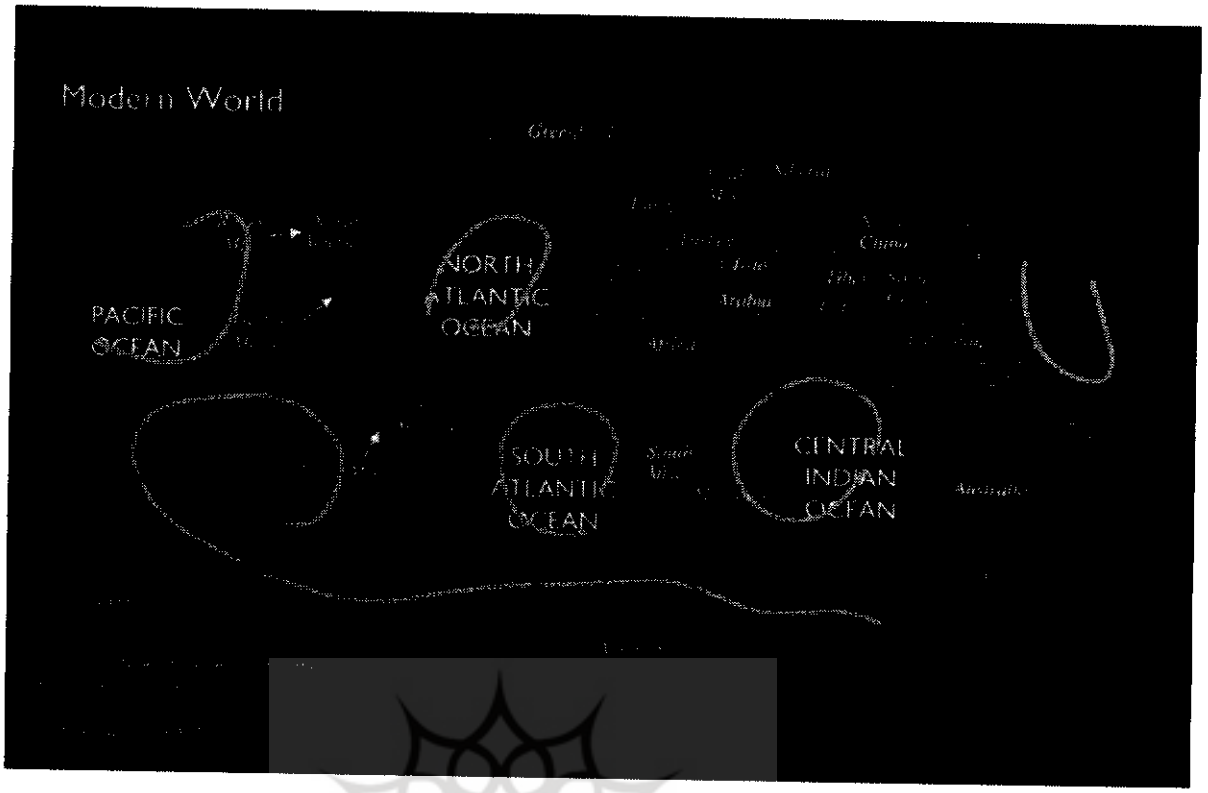
۲. **انرژی گرمایی حاصل از فرایندهای رادیواکتیو درونی زمین**: نقش مهمی در تکتونیک صفحه‌ای و نحوهٔ استقرار قاره‌ها و بنابراین، وضعیت آب و هوایی بلندمدت ایفا می‌کند.

۳. **تغییرات خورشیدی**: تأثیر کنترل‌کنندگی مهمی بر تغییرات کوتاه‌مدت آب و هوایی در قاره‌ها دارد.

۴. **تغییرات مداری (سیکل‌های پلانکوویچی)**: تأثیر مهمی بر تغییرات کوتاه‌مدت و میان‌مدت آب و هوایی دارند.



شکل ۱. چرخهٔ فراگیر ترموهالین در بخش اقیانوس‌ها که انرژی گرمایی را به نواحی گوناگون انتقال می‌دهد و یکی از عوامل اصلی در تغییرات آب و هواست.



شکل ۲. چرخهٔ اقیانوسی در عهد حاضر

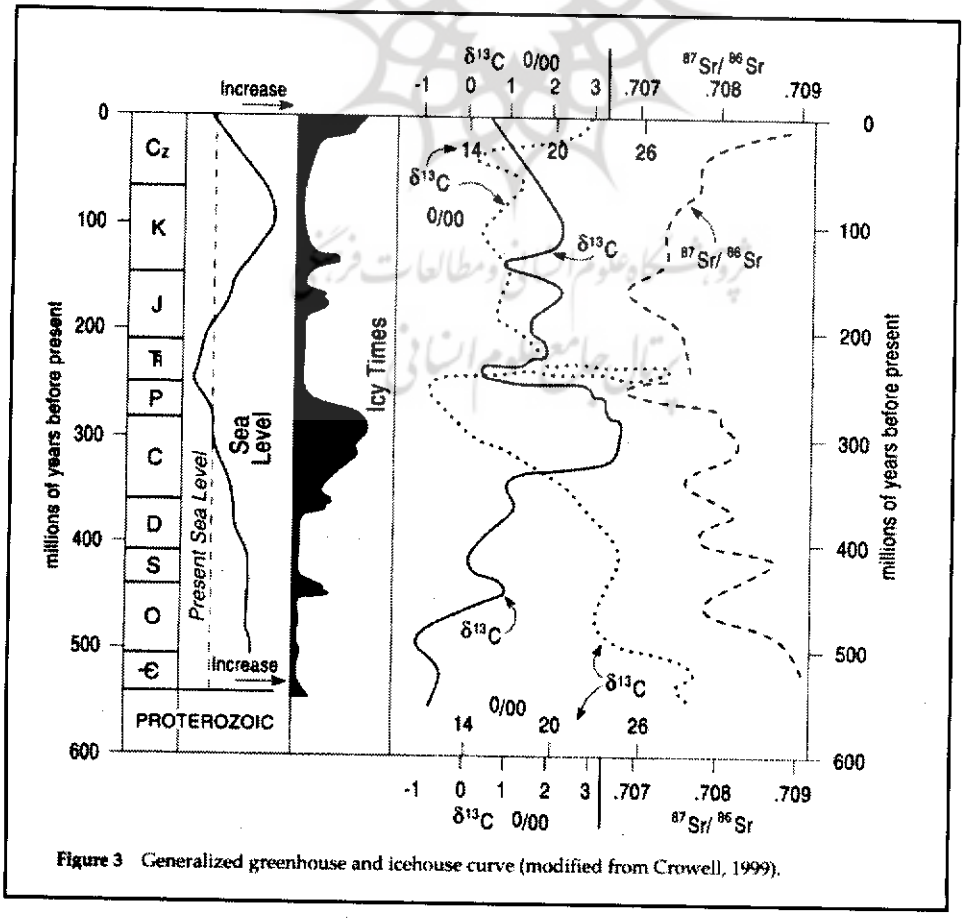
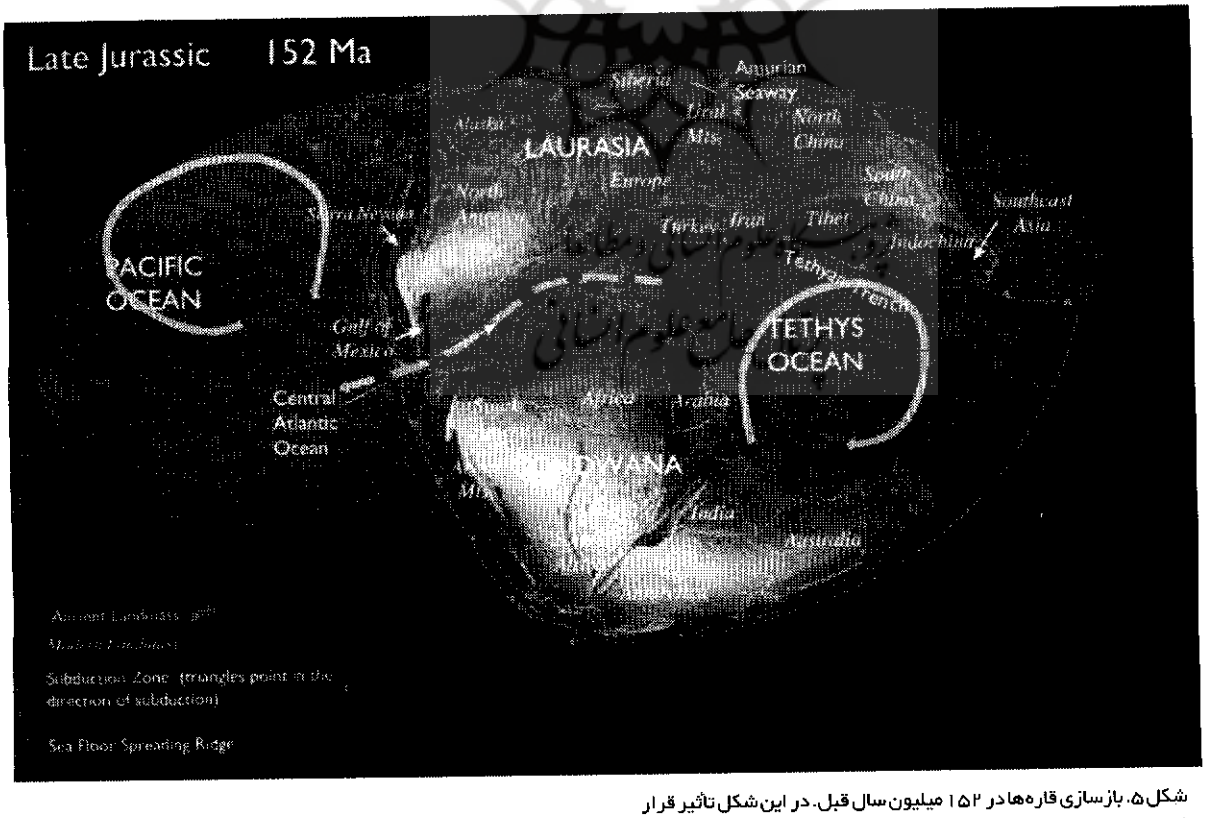


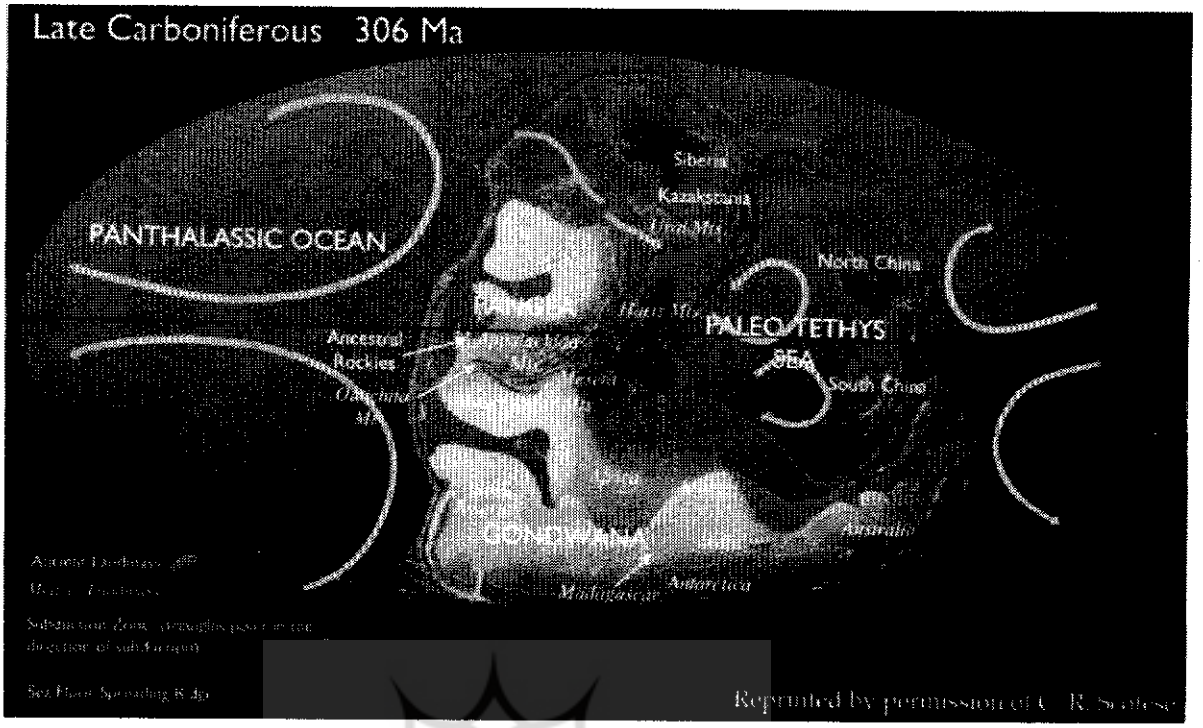
Figure 3 Generalized greenhouse and icehouse curve (modified from Crowell, 1999).

شکل ۳. منحنی شرایط گلخانه‌ای و یخچالی در مقیاس جهانی

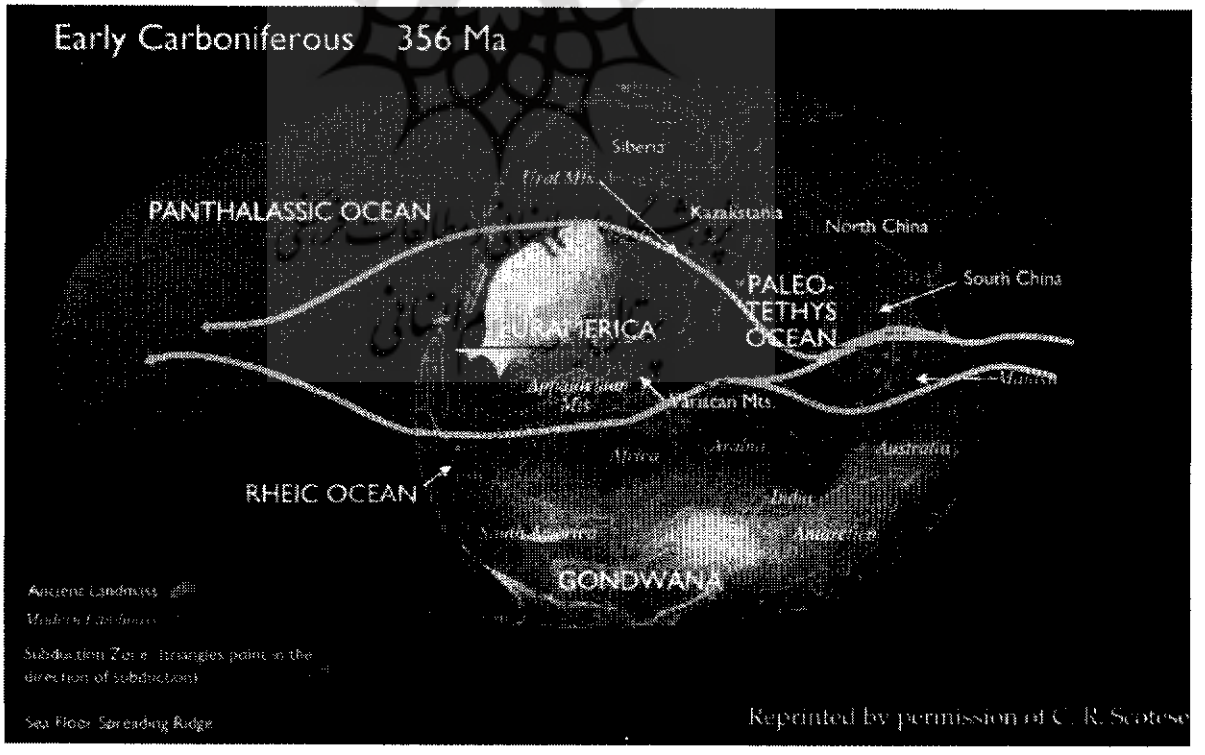
شکل ۴. بازسازی قاره‌ها در ۹۴ میلیون سال قبل که نمایانگر وجود جریان اقیانوسی به موازات استواست



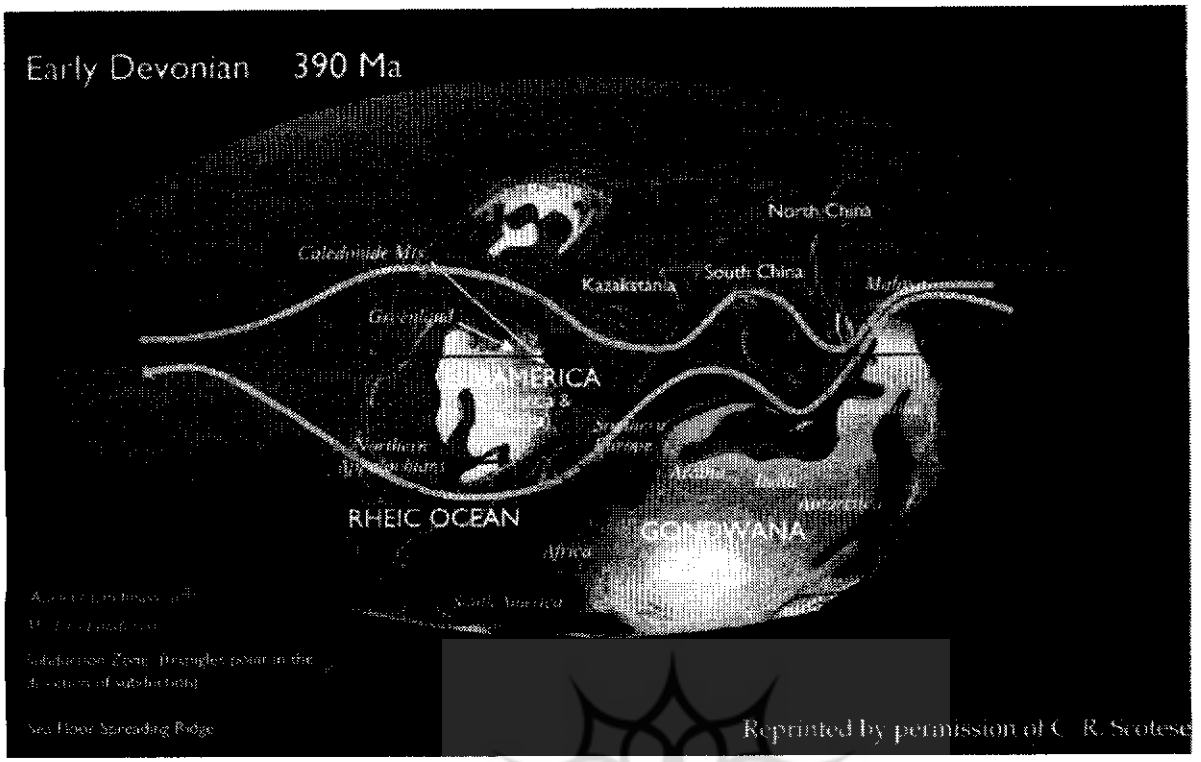
شکل ۵. بازسازی قاره‌ها در ۱۵۲ میلیون سال قبل. در این شکل تأثیر قرار گرفتن قاره‌ها در استوا و نقش آن‌ها در تغییر جریان استوایی مشخص است



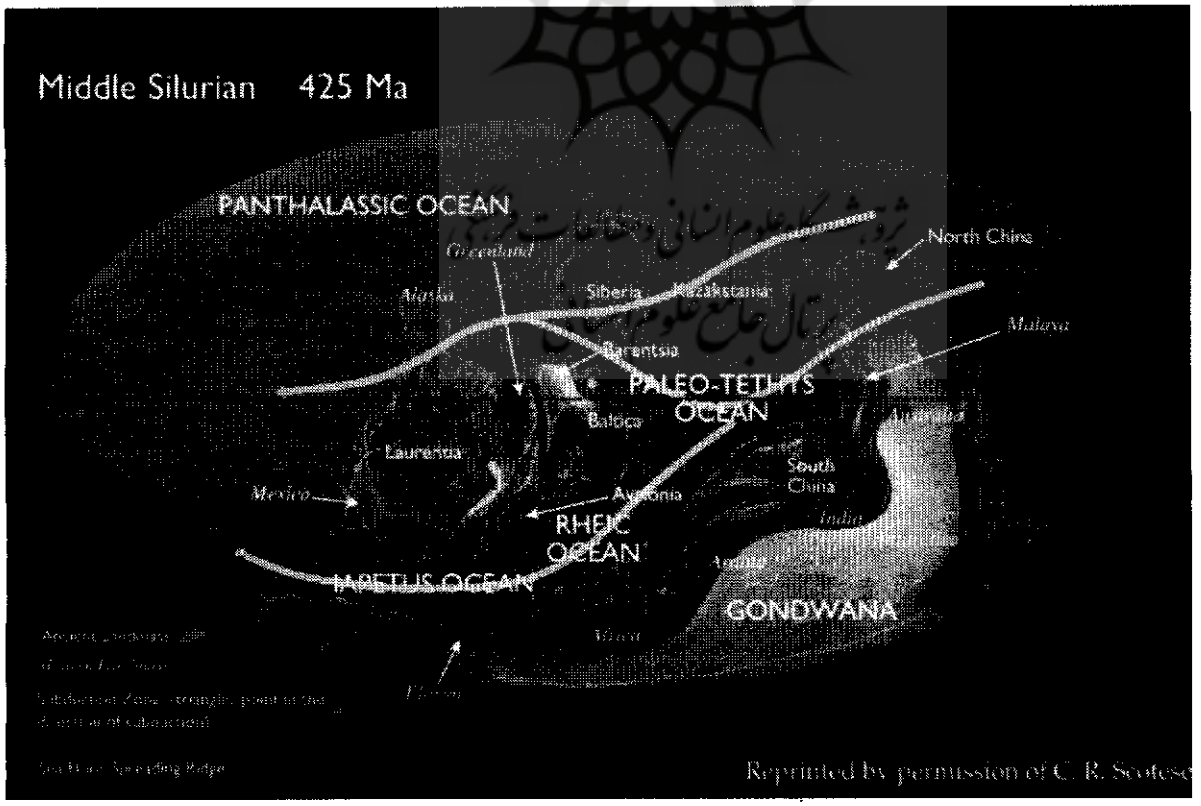
شکل ۶. بازسازی وضعیت قاره‌ها در ۳۰۶ میلیون سال قبل. به علت وجود قاره‌ها در استوا، جریان‌های استوایی از بین رفته و جریان‌هایی به سمت قطب به‌وجود آمده است



شکل ۷. بازسازی وضعیت قاره‌ها در ۳۵۶ میلیون سال قبل. در این زمان به علت وجود مسیر آب در امتداد استوا، جریان‌های اقیانوسی به موازات استوا تشکیل شده‌اند



شکل ۸. بازسازی قاره‌ها در ۳۹۰ میلیون سال قبل. در این زمان به علت وضعیت خاص قرار گرفتن قاره‌ها، جریان‌های اقیانوسی به موازات استوا تشکیل شده‌اند



شکل ۹. بازسازی قاره‌ها در ۴۲۵ میلیون سال قبل، نمایانگر وجود چرخه‌های اقیانوسی نزدیک به استواست

۵. **گازهای گلخانه‌ای**: نقش مهمی در ثابت نگه داشتن آب و هوای زمین ایفا می‌کنند، به‌طوری‌که اگر این گازها در اتمسفر وجود نداشتند، دمای سطح کرهٔ زمین بسیار سردتر از امروز بود.

طی ۶۰۰ میلیون سال گذشته، شواهدی وجود دارند که نشان می‌دهند زمین، دوران‌های گلخانه‌ای و یخچالی متناوبی را گذرانده است. پدیدهٔ یخچالی در پروتوزوئیک پسین، اولین پدیدهٔ یخچالی بوده که گسترش جهانی داشته است. به نظر می‌رسد که تکتونیک، نیروی محرک اصلی در تغییرات بلندمدت چرخه‌های آب و هوایی است؛ زیرا به‌واسطهٔ تغییر قاره‌ها در سطح پوستهٔ زمین، مسیرهای چرخهٔ آب‌ها در اقیانوس‌ها به سمت قطب‌ها، مسدود و یا ایجاد خواهد شد.

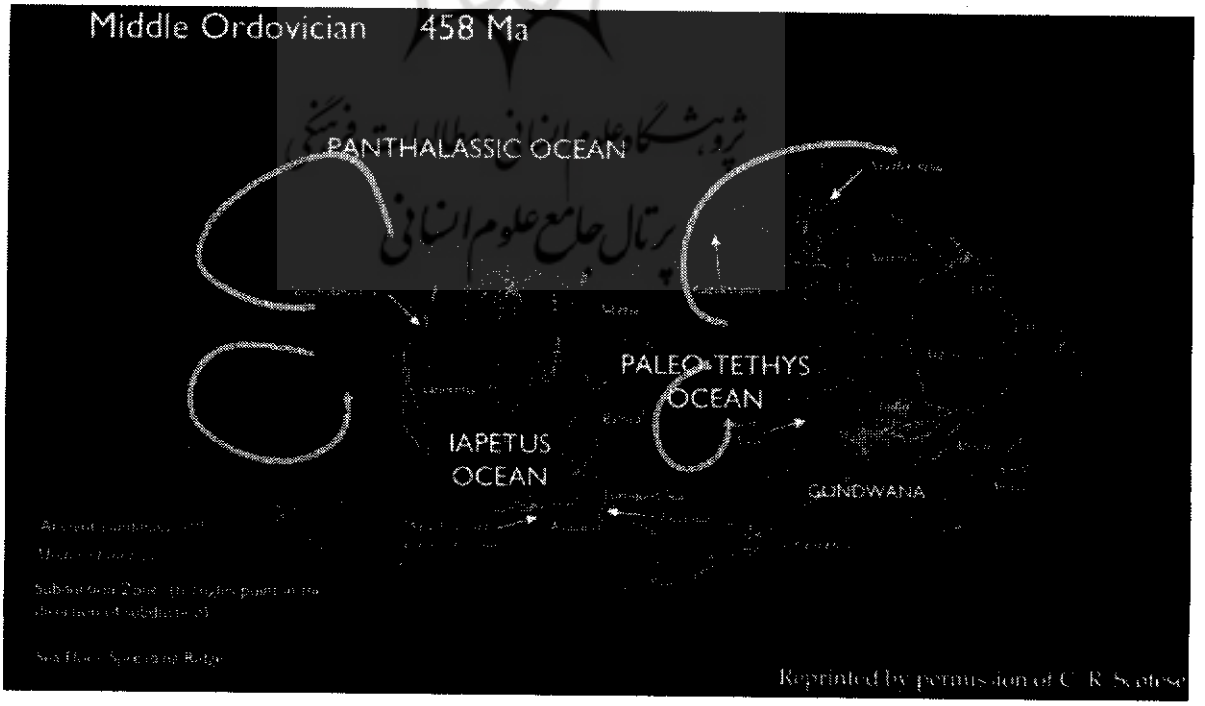
بحث

درخصوص تغییرات آب و هوا در مقیاس زمین‌شناسی این سؤال مطرح است که چه عاملی موجب تغییر شرایط گلخانه‌ای کرتاسه به شرایط یخچالی بعد از کرتاسه شده است؟ تغییرات تکتونیکی و زمین‌شناسی مهمی در بین محدودهٔ زمانی کرتاسه و هولوسن اتفاق افتاده است. این تغییرات به حوادثی منجر شده‌اند که مسؤول تغییرات جهانی آب و هوا، از حالت گلخانه‌ای (کرتاسه) به یخچالی (پلیستوسن-هولوسن) هستند. افزایش حدود ۱۶ درجه‌ای دما در طول ۷۰ هزار سال اخیر، این فرض را تقویت می‌کند که چنین تغییراتی و یا حتی شدیدتر، در ۷۰ میلیون سال پیش نیز اتفاق افتاده است. حوادث مهم تکتونیکی و زمین‌شناختی، در محدودهٔ زمانی کرتاسه و پلیستوسن روی داده‌اند. اولین حادثه به‌وجود آمدن تنگهٔ پاناما و سپس بسته شدن آبراه تتیس است (شکل‌های ۲ و ۴). بیرون آمدن نواحی فلات قاره و بسیاری از نواحی داخل کراتون‌ها از آب، به همراه برخورد شهاب‌سنگی در اواخر کرتاسه، از حوادث مهم دیگری هستند که روی تغییرات آب و هوایی تأثیر مستقیم داشته‌اند. تغییرات تکتونیکی نیز تأثیر مستقیمی روی آب و هوا، موجودات زنده و توپوگرافی دارد.

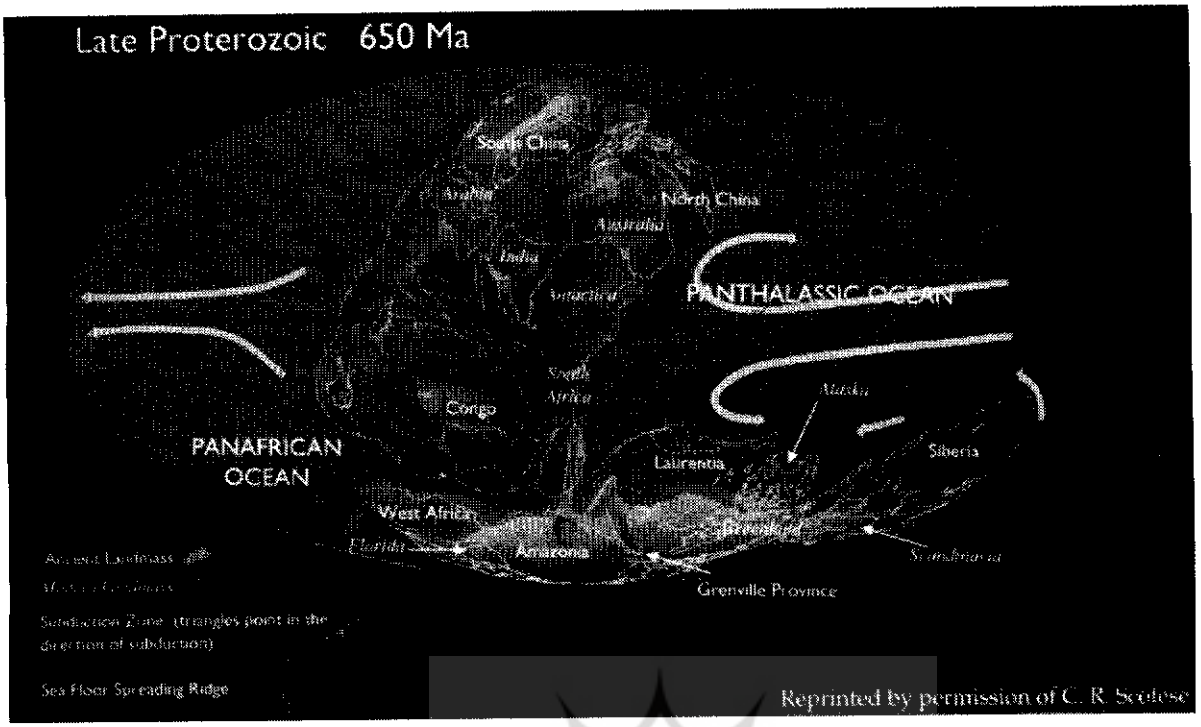
امروزه در اقیانوس‌ها جریانات آبی بزرگی دیده می‌شوند (شکل‌های ۱ و ۲). این جریان‌ها عمدتاً آب‌های گرم استوایی را به قطب‌ها می‌برند. با حرکت آب‌های گرم استوایی به سمت قطب‌ها، رطوبت لازم برای تشکیل برف در آن نواحی تأمین می‌شود. رطوبت موجود در بادهای گرم این نواحی، به تشکیل برف فراوان در مناطق قطبی و درنتیجه، افزایش تودهٔ یخ می‌انجامد.

قبل از کوه‌زایی لارامید و آلپی، دریاهای کرتاسه در اطراف همهٔ قاره‌ها گسترش داشتند. در آن زمان، قاره‌ها توپوگرافی ملایمی نسبت به سطح آب دریاها داشته‌اند. قبل از شروع کوه‌زایی‌های لارامید و آلپی، فعالیت‌های آتشفشانی گسترده‌ای وجود داشته است. رسوبات کرتاسهٔ بالایی شمال آمریکا، شاهد این مدعا هستند. شرایط آب و هوایی در زمان کرتاسه نسبتاً معتدل بوده است و بنابراین در این شرایط، گیاهان و جانوران زیادی رشد نموده‌اند. به عبارت دیگر، آب و هوا در زمان کرتاسه گرم‌تر از شرایط کنونی بوده است.

بازسازی صفحات تشکیل دهندهٔ پوسته زمین طی تاریخ زمین‌شناسی، با توجه به پژوهش‌های دانشمندانی چون **های**[۵] و **اسکاتس**[۶] نشان داده



شکل ۱۰. بازسازی قاره‌ها در ۴۵۸ میلیون سال قبل. این شکل نمایانگر وجود قاره‌ها در استوا و محدودیت چرخه‌های استوایی است



شکل ۱۱. بازسازی قاره‌ها در ۶۵۰ میلیون سال قبل. به علت تمرکز قاره‌ها در استوا، جریان‌های به موازات استوا تشکیل نشده‌اند

است که قاره‌ها در طول زمان فانروزوئیک، حداقل در نزدیکی یکی از قطب‌ها بوده‌اند. البته این ارتباط نمایانگر وجود یخچال در نواحی نزدیک قطب‌ها در هر زمان زمین‌شناختی نیست، بلکه عوامل دیگری نیز در این خصوص دخالت داشته‌اند.

یخچال‌ها در طول دوران‌های پلیستوسن، کواترنر، کربونیفر پسین و پرکامبرین پسین (شکل ۳) گسترش فراوانی داشته‌اند. در زمان‌های کرتاسه و دونین زمین شاهد آب و هوای گرم (پدیدهٔ گلخانه‌ای) و در زمان‌های ژوراسیک پسین و سیلورین پیشین، شاهد دوران‌های یخچالی با گسترش کم‌تر بوده است. بازسازی وضعیت صفحات پوستهٔ زمین در زمان کرتاسه نشان می‌دهد که سیستم چرخش جهانی آب دریاها در آن زمان نسبت به امروزه تفاوت زیادی داشته است. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، به‌علت وجود مسیرهای اقیانوسی به موازات استوا، در آن زمان، جریان‌های دریایی به موازات استوا مسیر خود را طی می‌کردند، درصورتی‌که امروزه، به علت بسته‌شدن این مسیرها، جریان‌های اقیانوسی به سمت قطب‌ها منحرف می‌شوند و رطوبت را به آن نواحی می‌برند و موجب بارش بیش‌تر برف و درنهایت، توسعهٔ یخچال‌ها می‌شوند. با توجه به شکل‌های ۴ تا ۱۱ درمی‌یابیم که نحوهٔ قرارگیری قاره‌ها و وضعیت چرخه‌های اقیانوسی موجب پیدایش دوران‌های یخچالی و گلخانه‌ای می‌شوند.

نتیجه

ژئومتری تکتونیکی (پراکندگی قاره‌ها و اقیانوس‌ها) زمین در طول تاریخ زمین‌شناسی، عامل مهم کنترل وضعیت آب و هوایی است. در زمان‌هایی که وضعیت قرارگیری قاره‌ها روی پوستهٔ زمین به گونه‌ای باشد که امکان تشکیل جریان‌های اقیانوسی به موازات استوا وجود داشته باشد، پدیدهٔ گلخانه‌ای بوجود می‌آید (شکل‌های ۴، ۷ و ۸). و در زمان‌هایی که به علت تراکم قاره‌ها در استوا، امکان به‌وجود آمدن چنین مسیرهایی وجود نداشته باشد، جریان‌های اقیانوسی به سمت قطب‌ها منحرف و یخچال‌ها تشکیل می‌شوند (شکل‌های ۵، ۶ و ۱۱). البته در ایجاد شرایط آب و هوایی گوناگون، عوامل زیادی نظیر آتشفشان‌ها، تغییر مقدار تشعشع خورشید، تغییر زاویهٔ میل زمین و... دخالت دارند که یکی از این عوامل، نحوهٔ قرار گرفتن قاره‌ها در پوستهٔ زمین است.

* کارشناسان شرکت ملی نفت ایران- مدیریت اکتشاف

زیرنویس

1. Icehouse
2. Down welling
3. Weddell
4. Gray, 1977.
5. Hay, 1999.
6. Scotese, 1997.

منابع

Distribution of oceans and continents: A geological constraint on global climate variability. (Lee C. Gerhard/ William E. Harrison) [Geological perspective of global climate change (AAPG - 47) Lee. C. Gerhard/ William E. Harrison/ Bernold M. Hanson]