

تغییر اقلیم

یک جنبه مهم اقلیم تغییرات اقلیمی است. طی دو میلیون سال گذشته متوسط سالانه دمای زمین چندین درجه سانتی گراد بالا و پایین رفته است. هر وقت دما بالا بوده این افزایش در ایجاد یک دوره عاری از یخ (دوره بین یخچالی) در بخش بزرگی از کره انعکاس یافته؛ و در زمان‌های پایین بودن دما پدیده‌های یخچالی روی داده است. هنوز روشن نیست که آیا هوای گرم کنونی ما نمایانگر پایان یک عصر یخبندان است یا این که ما در یک دوره بین یخچالی قرار داریم و قرار است عصر یخبندان در پیش باشد.

اقلیم جهانی در مقیاس‌های کوچک‌تر از دوره‌های یخچالی نیز تغییر می‌کند. اقلیم جهان در ۱۵۰۰ سال گذشته چندین بار روند سرد و گرم شدن داشته و این روندها آثار عمده‌ای بر انسان گذاشته است، برای مثال وایکینگ‌ها طی گرمایش عمده سال‌های ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ در ایسلند، گرینلند و آمریکای شمالی ساکن شدند، اما وقتی یخچال‌ها در حدود سال ۱۴۰۰ پیشروی آغاز کردند و دوره سرما آغاز گردید سکونتگاه‌های وایکینگ‌ها در آمریکای شمالی و بخش‌هایی از گرینلند متروک ماند.

در حدود سال ۱۷۵۰ یک روند گرمایش آغاز شد و تا دهه ۱۹۴۰ ادامه یافت و در این زمان هوا دوباره رو به سرد نهاد. به دنبال آن طی دهه ۱۹۵۰ دما تعدیل شد و سپس در دهه ۱۹۶۰ افت بیشتری یافت. از آن زمان تاکنون دما تقریباً تا ۱۹۹۰ اضافه شده است. آنچه از این مدارک صد ساله روشن می‌شود آن است که میانگین دمای سالانه کره زمین حدود ۰/۵ تا ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. به علاوه شش سال از گرم‌ترین سال‌های قرن بیستم از سال ۱۹۸۰ به بعد بوده و سال ۱۹۹۰ گرم‌ترین سال تاکنون بوده است.

در این مورد که آیا ما در حال ورود به یک دوره گرمایش جهانی هستیم یا این که روند اخیر بخشی از چرخه‌های معمولی اقلیمی است بحث و مشاجره بسیار در بین است. در حال حاضر، به دلیل پیچیدگی‌های اقلیم و تغییرات اقلیمی، پاسخ به این سوال دشوار است. اما به این امکان که آیا گرمایش جهانی واقعاً در شرف وقوع باشد و آن را در نتیجه افزایش انتشار گازهای بدانییم که گرما را در اتمسفر به دام می‌اندازند و یا این که سرمای‌های جهانی را نتیجه افزایش ذرات معلق ناشی از سوخت زغال در حال وقوع بدانیم توجه بسیار می‌شود. این ذرات موجب بازتابش انرژی خورشید به فضا (و نرسیدن آن به زمین) می‌شود.

۷-۱- تغییرات در اقليم بیابانها^۱

اکوسیستم‌های بیابانی نیز مانند سایر زیست بوم‌های زمین در زمان شکل‌گیری و توسعه طی میلیون‌ها سال، تغییرات اقلیمی فراوانی را تجربه کرده‌اند. میزان بارندگی سرزمین‌های خشک در طی یکسال دستخوش تغییرات زیادی می‌گردد، که این تغییرات می‌تواند ناشی از فرآیندهای گوناگون جوی بزرگ و کوچک مقیاس بوده باشند. لذا شناخت، درک و تشخیص صحیح پدیده تغییر اقليم ناشی فرآیندهای متفاوت، بویژه در سرزمین‌های خشک و مناطق بیابانی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد.

همانطور که اشاره گردید در نواحی خشک شاهد تغییرات شدید بارندگی سالیانه هستیم. چنانکه تمامی محققین و دانشمندان بر این موضوع که اینگونه تغییرات سالیانه تحت عنوان پدیده "تغییر اقليم"^۲ تعریف نمی‌گردند نیز توافق دارند. به طوری که کاهش بارندگی و رطوبت در برخی از ماهها در طی چندین سال، که می‌تواند ناشی از تغییرات و یا اختلالات کوتاه مدت و موقتی در جریان‌های جوی یک منطقه (مانند مانسون یا شدت چرخه انسو) بوده، را نمی‌توان به پدیده تغییر اقليم منصوب دانست، و آنرا پدیده خشکسالی^۳ نامیده‌اند.

درک مفهوم تغییر اقليم کمی سخت بوده و ممکن است ما را در تفسیر وقایع اقلیمی گوناگون با مشکل مواجه سازد. در متون علمی گوناگون واژه‌های متفاوتی مانند اختلال اقلیمی^۴، نوسان اقلیمی^۵، تغییرات آب و هوایی کوتاه مدت^۶، تغییرپذیری اقلیمی^۷ و تغییر اقليم^۸، عموماً بدون تعریف مناسب و درک صحیح مفهومی، بکار گرفته شده و می‌شوند. آنچه که بیشتر محققین این عرصه بر آن توافق دارند اهمیت مقیاس زمانی رخداد وقایع اقلیمی است. بنابراین به تغییرات اقلیمی مهمی که دارای زمان رخدادی طولانی‌تر از یک دهه می‌باشند، پدیده تغییر اقليم، و تغییرات با پایداری کمتر از یک دهه، نوسان، یا بی‌نظمی اقلیمی اطلاق می‌گردد (توماس وارنر، ۲۰۰۴).

۷-۲- پیدایش و علل تغییر اقليم در بیابانها

از گذشته تا به امروز عوامل گوناگونی بطور مستقیم و یا غیرمستقیم در تغییرات اقلیمی زمین و بیابانها دخیل بوده‌اند. چنانچه بخواهیم به عوامل اصلی و مهم این تغییرات اشاره‌ای داشته باشیم می‌توان عوامل ذیل را نام برد:

۷-۲-۱- چرخه‌های یخبندان

در طی دوره‌های یخبندان سردتر، بارش در بیابان‌های داخلی عرض‌های پایین‌تر افزایش یافت. این پدیده می‌تواند بدلیل حرکت ناحیه دارای شدیدترین شیب افقی درجه حرارت به سمت جنوب بوده باشد که بدنبال آن مسیر چرخندهای عرض‌های میانی که انرژی خود را از گرادیان درجه حرارت بدست می‌آورند نیز به سمت جنوب تغییر کرد. در نتیجه این تغییر مسیرها، بارندگی‌ها در مناطق خشک جنوب غربی ایالات متحده، منطقه مدیترانه و شمال

¹ Changes in desert climate

² Climate change

³ Drought

⁴ Climate noise

⁵ Climate fluctuation

⁶ Short-term weather change

⁷ Climate variability (variation)

⁸ Climate change



آفریقا افزایش یافت. همچنین دوره‌های بارانی و بین بارانی متوالی مربوط به چرخه یخبندان بیشتر در عرض‌های استوایی حضور داشتند و می‌توان انتظار داشت که حداقل بخشی از واکنش عرض‌های پایینی بایستی در اثر حرکت ناحیه همگرایی درون حاره‌ای و بارشهای همراه آن در ارتباط با چرخه یخبندان باشد.

۷-۲-۲- چرخه انسو

این چرخه در بخش مربوط به فرآیندهای جفت شده اقیانوس - جو به تفصیل تشریح گردیده است.

۷-۲-۳- گرم شدن گلخانه‌ای سیستم اقلیمی زمین

کلاگ و اشنايدر^۱ (۱۹۷۷) بر این عقیده بودند که هنگامیکه یکی از نیمکره‌ها گرم می‌شود احتمالاً قطب‌ها بیش از منطقه حاره‌ای گرم خواهند شد. در نتیجه کاهش تفاوت دمایی مدارات، بادهای غربی تضعیف شده و بسمت قطب تغییر مسیر می‌دهند. این موضوع احتمالاً بدلیل گسترش چرخه یا سلول هادلی و پوشش وسیع‌تر مدارات می‌باشد. بالعکس چنانچه یک نیمکره سردتر شود سلول هادلی کوچک‌تر از حالت معمول شده و حرکت رو به پایین در نواحی جنب حاره‌ای محدودتر و شدیدتر است. این نتیجه کلی بر اساس تفاوت‌های مشاهده شده امروزی بین تابستان و زمستان نیمکره‌ها و شواهد تغییرات اقلیمی در طی فازه‌های سرد و گرم چرخه یخبندان بدست آمده است. این مشاهدات می‌تواند برای برخی از تغییراتی که ممکن است ناشی از گرم شدن گازهای گلخانه‌ای باشند، بصورت کلی بکار گرفته شوند. در نتیجه پدیده گرم شدن گلخانه‌ای، کاهش بارندگی برای نواحی بزرگی از بیابان صحارا، شمال شبه جزیره عربستان، بیابان سونوران، و بیابان‌های مرکز و غرب آسیا پیش بینی شده است.

منظور از گرمایش جهانی، افزایش طبیعی یا انسان - انگیزه در متوسط دمای اتمسفر در نزدیکی سطح زمین است. دمای سطح یا نزدیک به سطح زمین را چهار عامل تعیین می‌کند:

- مقدار اشعه خورشیدی که زمین دریافت می‌دارد؛
- مقدار اشعه خورشیدی که زمین منعکس می‌کند؛
- نگهداشت گرما بر اثر اتمسفر؛ و
- تبخیر و چگالش بخار آب.

نور خورشیدی که به زمین می‌رسد اتمسفر و سطح زمین را گرم می‌کند. بنابراین سیستم جو زمین حرارت آن را به صورت تابش‌های فروسرخ باز می‌تاباند. چندین گاز از جمله گاز کربنیک، متان و انواع CFC اتمسفر زمین را گرم می‌کنند زیرا آنها نیز تابش‌های را گرفته و دوباره باز می‌تابانند. اینها بخشی از انرژی حرارتی را که از سیستم جو زمین تابیده شده را به دام می‌اندازند. این به تله اندازی یا گرمایش تا حدودی شبیه به کار گلخانه در به دام انداختن گرماست؛ لذا فرایند مذکور را تأثیر گلخانه‌ای گویند. در واقع بهتر آن است که به دام اندازی حرارت در جو را تأثیر اتمسفری بنامند زیرا فرایند گرم شدن هوای گلخانه از آنچه که هوای قسمت پایین جو را گرم می‌کند، کاملاً متفاوت است. گرچه به دام‌اندازی تابش‌های فروسرخ تا حدودی در گلخانه نیز پیش می‌آید اما فرآیند اصلی گرم‌کننده هوای گلخانه، محدودیت سرد شدن آن از طریق محدودیت چرخش هوا (باد) به علت بسته بودن محفظه شیشه‌ای است. در عین حال تأثیر گلخانه‌ای را به عنوان اصطلاح پذیرفته شده در مورد به دام‌اندازی حرارت در اتمسفر به کار می‌برند.

¹ Kellogg and Schneider



درک این نکته اهمیت دارد که تأثیر مربوط در واقع یک پدیده طبیعی است که میلیون‌ها سال در زمین و سایر کرات منظومه شمسی در حال انجام بوده است. قسمت عمده گرمایش طبیعی گلخانه‌ای به علت آب موجود در اتمسفر است. از کل گرمایش گلخانه‌ای در سطح کره حدود ۸۵ درصد به علت بخار آب و ۱۲ درصد به دلیل وجود ذرات کوچک آب در هواست.

از آنجا که گاز کربنیک، متان، CFCs، اکسیدهای ازت و اوزن تابش‌های فروسرخ منتشر شده از زمین را جذب می‌کنند، چنین تصور می‌شود که زمین بر اثر افزایش این گازهای گلخانه‌ای انسان - منشاء در حال گرمایش باشد. هر سال در نتیجه فرآیندهای زیست‌شناختی و فیزیکی مختلف حدود ۲۰۰ میلیارد تن کربن به صورت گاز کربنیک به هوا سپهر زمین وارد و از آن خارج می‌شود. آنچه که در بحث زیر مورد توجه است تأثیر گلخانه‌ای انسان - منشاء در مورد دو عامل مهم است:

۷-۲-۳-۱- تغییرات در گازهای گلخانه‌ای

گاز کربنیک در ارتباط با مساله گرمایش جهانی توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است؛ حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد تأثیر گلخانه‌ای انسان - منشاء را به این گاز نسبت می‌دهند. برای ارزیابی تغییرات اخیر گاز کربنیک جو باید از تاریخ گذشته زمین دیدگاه وسیع‌تری داشت. با نمونه‌برداری از حباب‌های هوایی که در یخ‌های قطبی جنوبگان به دام افتاده می‌توان از مقدار گاز کربنیک هوا در هنگام تشکیل این یخ‌ها اطلاع حاصل کرد. اندازه‌گیری‌های گاز کربنیک حباب‌های هوای جنوبگان حاکی از آن است که تراکم گاز کربنیک در ۱۶۰۰۰۰ سال پیش از انقلاب صنعتی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده است. بالاترین تراکم گاز کربنیک که از حد کنونی بالاتر بوده طی دوره بین یخچالی در حدود ۱۲۵۰۰۰ سال پیش رخ داده است.

تراکم گاز کربنیک در ۱۳۰ سال پیش، در آغاز انقلاب صنعتی، حدود ۲۸۰ ppm بود که ظاهراً طی ۷۰ سال پیش از آن در همین سطح ثابت مانده بود. از سال ۱۸۶۰ به بعد تراکم گاز کربنیک جو رشد نمایی خود را آغاز نمود. در حال حاضر میزان رشد گاز کربنیک جو در حدود ۰/۵ درصد در سال است؛ اگر رشد با همین میزان ادامه پیدا کند انتظار می‌رود که تراکم گاز کربنیک هوا طی حدود ۱۴۰ سال دو برابر شود. امروزه تراکم گاز کربنیک اتمسفر در حدود ۳۵۰ ppm است و انتظار می‌رود که مقدار آن تا سال ۲۰۵۰ به ۴۵۰ ppm برسد که بیش از ۱/۵ برابر سطح آن در پیش از آغاز تا انقلاب صنعتی است.

میزان زیاد انتشار گاز کربنیک و رشد زیاد انتشار آن حاکی از آن است که افزایش گاز کربنیک جو نتیجه مستقیم ورودی‌های گاز کربنیک از منابع انسان - منشاء و از جمله سوزاندن سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی بوده است. اما اثبات این رابطه به ظاهر ساده بسیار دشوار بوده زیرا چرخه جهانی کربن بسیار پیچیده است؛ در حال حاضر هنوز هم تمام ارتباطها و جریان‌ها از منابع مختلف به چال به خوبی شناخته شده نیست. آنچه واضح شده آن است که اگر تمام گاز کربنیک حاصل از فعالیت‌های انسانی در اتمسفر باقی می‌ماند تراکم این گاز می‌باید بالاتر از امروز می‌بود! بنابراین باید چنین فرض کرد که برای گاز کربنیک چال‌های دیگری در اقیانوس و خشکی وجود دارد که هنوز به خوبی تشخیص داده نشده است. علی‌رغم تمام احتیاطها و کمبود داده‌ها می‌توان گفت که تراکم گاز کربنیک اتمسفر از انقلاب صنعتی به بعد به طور قابل توجهی افزایش یافته است. به علاوه این نیز یک فرضیه معقول (اما ثابت نشده) است که این افزایش‌ها از طریق تأثیر گلخانه‌ای به گرمایش جهانی کمک خواهد کرد. با قبول این نکته که ۵۰



تا ۶۰ درصد تأثیر گلخانه‌ای انسان - منشاء به علت گاز کربنیک است می‌توان نتیجه گرفت که سایر گازهای گلخانه‌ای حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد تأثیر را به وجود می‌آورند.

تا سال ۱۹۹۱ مقدار متان (CH_4) هواسپهر به میزان سالانه ۱ درصد در حال افزایش بود. چنین تصور می‌شود که ۱۲ تا ۲۰ درصد از آثار گلخانه‌ای انسان - منشاء به متان تعلق داشته باشد. در شناخت ما از منابع و چال‌های متان در اتمسفر نیز، مثل مورد گاز کربنیک، عدم قطعیت‌هایی وجود دارد. محیط‌های طبیعی، گاز متان به اتمسفر آزاد می‌کنند. سهم عمده در این رهاسازی با موریانه‌ها و تالاب‌های آب شیرین است. موریانه‌ها طی مراحل فرآوری چوب، متان تولید می‌کنند و تجزیه مواد گیاهی در محیط‌های آبی کم اکسیژن تالاب‌های آب شیرین نیز متان تولید و آزاد می‌نماید. از جمله چندین منبع متان انسان - منشاء می‌توان از سوزاندن زی - توده (مواد آلی نظیر هیزم)، تولید زغال و گاز طبیعی و فعالیت‌های کشاورزی نظیر شالیکاری و دامپروری نامبرد. افزایش متان جو در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ به دلایل ناشناخته متوقف شد، که احتمالاً با مهار نشت از سیستم‌های گاز طبیعی روسیه مربوط بوده است.

گازهای CFC ترکیبات بسیار پایداری هستند که به عنوان پیش برنده در افشان‌ها و در واحدهای سرد کننده مصرف می‌شده و یا می‌شوند (در واحدهای سرد کننده این گاز فشرده و منبسط می‌شود). گرچه مصرف CFC به عنوان پیش برنده در قوطی‌های افشان در ایالات متحده آمریکا و بعضی از کشورهای دیگر متوقف شده، اما این ممنوعیت هنوز جهانی نیست. رهاسازی عمده و تصادفی گازهای CFC طی سال‌های اخیر زیاد بوده است. میزان افزایش رها شدن CFC به اتمسفر در سال‌های اخیر سالانه حدود ۴ درصد بوده است تخمین زده می‌شود که بین ۱۵ تا ۲۵ درصد آثار گلخانه‌ای انسان - منشاء به گازهای CFC زیاد است زیرا این گازها در پنجره اتمسفری جذب می‌کنند و هر مولکول CFC ممکن است صدها و حتی هزاران بار بیش از گاز کربنیک، تابش‌های فرسرخ ارسالی از زمین را جذب کند. به علاوه با توجه به این که مولکول‌های CFC پایدار هستند زمان توقف آن‌ها در اتمسفر طولانی است. حتی اگر تولید و رهاسازی CFC در چند سال آینده به شدت کاهش یافته و یا حتی متوقف شود باز هم تراکم این گازها در اتمسفر برای سال‌های طولانی و حتی یک قرن، به طور عمده‌ای بالا خواهد ماند.

اکسید ازت (N_2O) نیز در اتمسفر رو به افزایش است و احتمالاً ۵ درصد از تأثیر گلخانه‌ای انسان - منشاء را تشکیل می‌دهد. کانون‌های انسان - منشاء اکسید ازت (عبارتند از فعالیت‌های کشاورزی کاربرد کود شیمیایی) و سوزاندن سوخت‌های فسیلی. کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی ممکن است انتشار اکسید ازت را کاهش دهد. اما زمان ایست این گاز نیز طولانی است؛ حتی اگر انتشار آن تثبیت شده و یا کاهش یابد باز هم سطح تراکم بالای آن در هواسپهر حداقل برای چندین دهه دوام خواهد آورد.

۷-۲-۳-۲- آیا گرمایش جهانی واقعاً در حال وقوع است؟

به نظر می‌رسد که طی چندین دهه گذشته متوسط دمای زمین حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. اما این مشاهده برای رسیدن به این نتیجه که بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای انسان - منشاء گرمایش جهانی در حال وقوع است، کافی نمی‌باشد. بحث و جدل در مورد بود و نبود تأثیر گلخانه‌ای نیست. در مورد تأثیر گلخانه‌ای بحث و مشاجره‌ای وجود ندارد. وجود آن یکی از ثابت شده‌ترین اصول اقلیم شناسی است و شکی نیست که فرآیندهای انسان - منشاء موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای از قبیل گاز کربنیک، متان، اکسیدهای ازت و گازهای CFC شده است و بالاخره دلایل قابل قبولی وجود دارد که بتوان افزایش گاز کربنیک و سایر گازهای گلخانه‌ای را احتمالاً به افزایش متوسط دمای کره زمین ربط داد. طی ۱۶۰۰۰۰ سال گذشته بین تراکم گاز کربنیک

جو و دمای کره رابطه محکمی برقرار بوده است. هر بار که تراکم دی اکسید کربن بالا بوده دما نیز بالا بوده و برعکس هرگاه تراکم دی اکسید کربن پایین آمده دمای کره نیز به دنبال آن پایین بوده است. اما شرایط ارزیابی بیشتر مساله گرمایش جهانی توجه به بازخورهای مثبت و منفی است که در زمین، خورشید و سیستم اتمسفری روی می دهد.

۷-۲-۴- تغییرات در رابطه هندسی زمین با خورشید^۱

دو ویژگی فاصله زمین و خورشید می تواند اثر معنی داری بر اقلیم گذشته سرزمین های خشک داشته باشد. اول اینکه مدار گردش زمین بدور خورشید بیضوی است و تغییر در این مسیر بر توزیع فصلی شدت تابش خورشیدی تاثیرگذار است (وقوع هر ۱۰۰ هزار سال). دومین ویژگی رابطه زاویه بین مدار استوا زمین و مدار گردش بدور خورشید است که بر روی توزیع فصلی تابش تاثیر می گذارد. در حال حاضر این زاویه در حدود $23\frac{5}{5}$ درجه می باشد و بررسی ها نشان داده است که تغییر در این زاویه هر ۲۵ هزار سال یکبار رخ می دهد.

۷-۲-۵- تغییر در انرژی خروجی خورشید^۲

رفتار چرخه ای فعالیت خورشید غالباً تحت عنوان تعداد لکه های تاریک یا سیاه^۳ بر روی آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، که این چرخه معمولاً در دوره های ۱۱ ساله رخ می دهد. چرخه های طولانی تر دیگری نیز در خصوص لکه های خورشیدی مشاهده شده اند، و تصور بر این است که تعداد این لکه ها بر میزان انرژی تابیده شده از سطح خورشید تاثیرگذار می باشد. تعداد این لکه ها به موازات سایر شواهد تغییرات طولانی مدت تر انرژی خروجی از خورشید، اطلاعات کیفی در خصوص میزان انرژی وارد شده به سیستم اقلیمی زمین برای ما فراهم می آورد.

۷-۲-۶- تغییرات در دمای سطح آب

تعجب آور نیست که دمای سطح زمین (دریاها و خشکی ها) از طریق الگوی شار (جریان) حرارتی بر فرآیندهای جوی اثر فراوانی می گذارد. برای مثال مشاهده شده است که چگونه دماهای سطحی بالا در خشکی ها در طول فصل تابستان، باعث ایجاد چرخه های مانسون و در نتیجه بارش فراوان در نواحی خشک می گردند. بطور مشابه تغییرات افقی دماهای سطح دریا^۴، می تواند بر فرآیندهای جوی دورتر تاثیرگذار باشد. بدلیل اینکه ساختارهای برخی از فرآیند دمای سطح دریای بزرگ مقیاس در بازه های زمانی فصلی و یا طولانی تر نمود پیدا می کنند، لذا آنها می توانند علت اصلی الگوهای آب و هوایی جریان پایین که برای ماه ها و یا سال ها دوام داشته و پایدار می مانند، باشند. لمب^۵ در سال ۱۹۷۸ (الف و ب) با انجام تحقیقی بر روی رابطه بین دمای سطح دریا در اقیانوس اطلس شمالی و میزان بارندگی در بیابان صحارا، نتیجه گرفت که سال های مرطوب ساحل غربی بیابان صحارا با درجه حرارت های حداکثر غیرنرمال بر روی اقیانوس اطلس شمالی همزمان بوده است. همچنین الگوی متفاوتی را در سال های خشک بیابان صحارا مشاهده نمود.

¹ Changes in Earth's geometric relationship with Sun

² Changes in solar output

³ Dark spots

⁴ Sea-Surface temperatures (SSTs)

⁵ Lamb



۷-۳- تغییرات الگوی اقلیم

در مورد تغییرات احتمالی اقلیم که بر اثر دو برابر شدن گاز کربنیک (به نسبت پیش از انقلاب صنعتی) تا سال ۲۰۳۰ ممکن است پیش آید تخمین‌هایی زده شده است. در قسمت مرکزی آمریکای شمالی احتمال می‌رود که گرمایش بین ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد متغیر باشد و بارندگی زمستانه افزایش ولی باران تابستانه کاهش یابد. در نتیجه انتظار می‌رود که رطوبت خاک این منطقه در تابستان تا ۲۰ درصد کم شود. واضح است که این تغییر تولید غله در نواحی غله خیز ایالات متحده را به شدت تحت تاثیر قرار خواهد داد. اگر این موضوع درست باشد تغییرات مشابهی نیز در جنوب اروپا روی خواهد داد. باید در نظر داشت که این پیش‌بینی‌ها بر مبنای الگوهای عمومی چرخش هوا (GCM) صورت گرفته که بسیار جنجال برانگیز و در معرض تغییر است. با وجود این پیش‌بینی بیشتر مدل‌ها در جهت مذکور بوده و لذا دانشمندان و برنامه‌ریزان هر دو آنها را جدی گرفته‌اند.

انتظار می‌رود که افزایش دمای جهان الگوی بارندگی، رطوبت خاک و سایر عوامل اقلیمی مرتبط با بهره‌وری محصولات کشاورزی را به شدت تغییر دهد. مطالعاتی که با استفاده از الگوهای عمومی چرخش هوا در مورد پیش‌بینی الگوی نیمکره شمالی انجام شده حاکی از آن است که قسمت‌های شمالی‌تر نیمکره از جمله کانادا و روسیه پربارتر می‌گردد. اما تأکید می‌شود که گرچه گرمایش جهانی ممکن است اقلیم‌های اصلی کشاورزی آمریکای شمالی را از غرب میانه آمریکا به ناحیه ساسکاچوان کانادا منتقل کند، اما خسارات ایالات متحده را نمی‌توان صرفاً به صورت فوایدی که برای کانادا پیش آمده تعبیر نمود. درست است که اقلیم ساسکاچوان در آن صورت برای پرورش محصول بهینه است اما خاک‌های کانادا کم‌عمق و فقیرتر از خاک‌های چمنی غرب میانه آمریکاست. بنابراین یک تغییر اقلیمی ممکن است آثار جدی بر محصول غذای جهان داشته باشد. از سوی دیگر زمین‌های قسمت جنوبی‌تر در نیمکره شمالی ممکن است خشک‌تر شود. در نتیجه رابطه آب خاک تغییر خواهد کرد.

پیش‌بینی‌هایی که در مورد رطوبت خاک با مدل‌های کامپیوتری انجام شده این ادعاها را در زمینه تغییرات باروری زمین‌های تأیید می‌کند. در عین حال باید تأکید کرد که به علت بلا تکلیفی‌هایی که پیرامون گرمایش جهانی وجود دارد انجام این پیش‌بینی‌ها فوق‌العاده دشوار است. بلا تکلیفی مردم را نگران می‌کند، بخصوص اگر این بلا تکلیفی در مورد منابع غذایی باشد. از این نظر واقعاً جای نگرانی است که تغییرات آب شناختی مرتبط با گرمایش جهانی ممکن است بر منابع غذایی کره به طور جدی اثر بگذارد.

الف) قسمت مرکزی آمریکای شمالی: گرمایش زمستانه ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد و تابستانه بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد متغیر خواهد بود. افزایش بارندگی زمستانه از ۰ تا ۵۰ درصد متغیر خواهد بود اما در بارندگی تابستانه ۵ تا ۱۰ درصد کاهش پیش خواهد آمد. رطوبت خاک در تابستان ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت.

ب) جنوب اروپا: گرمایش زمستانه حدود ۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و در تابستان بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد متغیر خواهد بود. شواهدی از افزایش بارندگی زمستانه وجود دارد اما بارندگی تابستانه حدود ۵ تا ۱۵ درصد و رطوبت خاک در تابستان ۱۵ تا ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت.

ج) استرالیا: گرمایش بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد در تابستان و حدود ۲ درجه سانتی‌گراد در زمستان خواهد بود. بارندگی تابستانه حدود ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت اما مدل مربوط تخمین‌های موزونی در مورد تغییرات رطوبت خاک فراهم نمی‌آورد.

د) منطقه ساحل (آفریقا): گرمایش بین ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. متوسط بارندگی منطقه افزایش و

متوسط رطوبت خاک منطقه در تابستان تا حدود کاهش خواهد یافت. اما در سراسر منطقه، نواحی وجود خواهد داشت که هر دو عامل در آن افزایش یا کاهش یابد.

ه) جنوب آسیا: گرمایش در سراسر سال بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد متغیر خواهد بود. بارندگی زمستانه چندان تغییر نمی‌کند اما بارندگی تابستانه در سراسر منطقه بین ۵ تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. رطوبت خاک در تابستان ۵ تا ۱۰ درصد اضافه خواهد شد.

به علاوه این نگرانی وجود دارد که دفعات و شدت طوفان‌های خشمگین نیز تغییر کند. این احتمال ممکن است از خود تغییر اقلیم مهم‌تر باشد. فرضیه مربوط می‌گردد که گرمایش آب اقیانوس انرژی بیشتری به طوفان‌های عظیم، از قبیل گردباد و طوفان‌های دریایی، می‌دهد و در نتیجه بسامد و شدت آنها را افزایش می‌بخشد. تقریباً نیمی از جمعیت انسان در نواحی ساحلی زندگی می‌کنند؛ این واقعیت که بسیاری از این مناطق پست است و جمعیت آنها به سرعت رو به افزایش، مسأله وخیم‌تر می‌کند.

و) افزایش سطح آب دریا: افزایش سطح آب دریا در ارتباط با گرمایش جهانی مشکل بالقوه مهمی است. گرچه در مورد امکان بالا آمدن آب دریاها در حال حاضر تخمین‌های دقیقی وجود ندارد اما همه در این مورد که آب واقعاً بالا خواهد آمد تفاهم دارند. به نظر می‌رسد که علت این بالا آمدن مضاعف باشد؛ یکی انبساط حرارتی آب اقیانوس در حال گرمایش (علت اصلی) و دیگری ذوب شدن یخ‌های یخچال‌ها (علت ثانوی). مدل‌های مختلف مقدار آن را بین ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر طی قرن آینده پیش‌بینی می‌کنند؛ محتمل‌ترین مقدار افزایش بین ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر خواهد بود. یک چنین تغییری پیامدهای زیست محیطی به همراه خواهد داشت؛ این وضع به سادگی ممکن است موجب ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر فرسایش ساحلی در سواحل باز شود و ساختمان و تأسیسات دیگر ساحلی را در مقابل صدمه موج حاصل از طوفان‌های عمده به شدت آسیب‌پذیر نماید. به علاوه ممکن است سبب مهاجرت مصب‌ها و تالاب‌های شور به سمت خشکی شده و فشار بیشتری بر تأسیسات و ساختمان‌های منطقه ساحل تحمیل کند و بالاخره اگر آب دریا بالا بیاید هجوم آب شور منابع ساحلی را در معرض تهدید قرار خواهد داد. یک متر افزایش آب دریا پیامدهای جدی به همراه خواهد داشت. مردم مجبور خواهند شد که برای حفظ سرمایه‌گذاری‌های خود محیط زیست ساحلی را دستخوش تغییرات عمده کنند و جوامع منطقه یا باید برای مهار فرسایش ساحلی سرمایه‌گذاری‌های سنگین انجام دهند و یا این که لطمات شدید را به اموال خود بپذیرند.

با در نظر داشتن مقدار کنونی حفاظت‌های ساحلی جهان، چنانچه سطح آب افزایش یابد سرمایه‌گذاری بیشتر برای حفظ شهرهای ساحلی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. همراه با زیاد شدن تهدید فرسایش املاک شهری، ساخت دیواره‌های ساحلی، موج‌شکن‌ها و سایر سازه‌های مهار کننده فرسایش نیز متداول خواهد شد. مهم‌ترین واکنش مناطق روستایی دور از قسمت‌های ساحلی نسبت به بالا آمدن آب دریا صرفاً انطباق با فرسایش‌های پیش آمده است. فرسایش ساحلی مشکل بزرگی است که بر خورد با آن بسیار پر هزینه است؛ عاقلانه‌تر آن است که هر جا که امکان دارد اجازه دهیم فرسایش به طور طبیعی رخ دهد تا این که سعی در مهار آن داشته باشیم.

بالاخره در برخورد با مسأله بالا آمدن آب دریا باید نگران صدها میلیون مردمی بود که در کشورهای در حال توسعه در مناطق پست ساحلی زندگی می‌کنند. مثلاً دو طوفانی که در ۲۵ سال گذشته به بنگلادش برخورد کرد بیش از ۴۰۰ هزار نفر قربانی گرفت و در حدود ۱/۶ میلیارد دلار به اموال مردم آسیب وارد آورد. تأثیر مضاعف بالا آمدن آب دریا و فراوانی و شدت طوفان‌های نیرومند و سایر آشفتگی‌های استوایی به علت گرم‌تر بودن آب اقیانوس،



بیشتر از همه برای مردم کشورهای در حال توسعه ویرانی به ارمغان می‌آورد.

۷-۴- روش‌های تخمین تغییر اقلیم در مناطق خشک و بیابانی

روش‌های گوناگونی برای تخمین تاریخچه اقلیمی بطور کلی و میزان و شدت خشکی بطور خاص وجود دارد. در ادامه به برخی روش‌های بکارگرفته شده در این خصوص اشاره شده است:

۷-۴-۱- استفاده از داده‌ها و اطلاعات تاریخی^۱

هرچند در مناطق خشک شواهد تاریخی اقلیمی کمتری نسبت به مناطق مرطوب یافت می‌گردد، اما اطلاعات قدیمی (کمی و کیفی) وجود دارند که می‌توانند بیاگر شرایط اقلیمی گذشته این مناطق باشند. از جمله این اطلاعات می‌توان به آثار سطح آب دریاچه‌ها، دوره‌های خشکسالی، سطح ایستابی آب در چاهها و مسیرهای عبور و مرور قدیمی (ممکن است امروزه در زیر آب قرار گرفته و یا زیر رسوبات مدفون شده باشند) اشاره نمود.

۷-۴-۲- یافته‌های باستان‌شناختی^۲

یافتن ساختمان‌های متروک، زیرساخت‌های کشاورزی از قبیل تراس‌بندی، شکار، ماهیگیری و ابزارآلات کشاورزی و نیز حکاکی‌ها و نقاشی‌های موجود بر روی سنگ‌ها، همگی می‌توانند شواهدی بر اقلیم مرطوب‌تر در نواحی که امروزه مناطق بیابانی و خشک می‌باشند، هستند. خصوصیات ویژه شواهد باستان‌شناختی در مواردی پیش بینی اقلیم غالب یک ناحیه با مشکل مواجه است، بسیار ارزشمند و مفید می‌باشند. برای مثال جانوران کند و کاری شده بر روی سنگ‌های یافت شده در بیابان صحرا بیانگر بخشی از جانورانی است که روزگاری در زیست بوم بیابان صحرا می‌زیسته‌اند و در گذر زمان و تغییرات اقلیمی از بین رفته‌اند.

۷-۴-۳- مطالعه حلقه رشد درختان^۳

نمونه گیری کافی از تغییرات سالیانه حلقه‌های رشد درختان و ترکیبات شیمیایی آنان در یک ناحیه می‌تواند کمک شایانی به پیش بینی کیفی نوسانات اقلیمی که در طی دوران رشد و حیات درخت غالب بوده است، نماید. عمده مشکلات موجود در این روش یافتن گیاهی با سن کافی می‌باشد، هرچند که بقایای گیاهی نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۷-۴-۴- وجود جوامع گیاهی و جانوری جدا^۴

زمانی که اقلیم یک منطقه تغییر می‌کند بخشی از گیاهان و جانوران اقلیم گذشته زنده مانده و در مناطق مستعد زیست آن‌ها (آشپان‌های اکولوژیک از جمله غارها) باقی می‌مانند. از این گونه جانوران می‌توان به حضور ماهی حاره‌ای در برخی واحه‌های بیابان صحرا، ماهی کور در آبهای زیرزمینی بیابان صحرا که با حفر چاه یافت شده‌اند، اشاره نمود

¹ Historical records (data)

² Archeological data

³ Tree-ring studies (dendrochronology)

⁴ Existence of isolated communities of relict flora and fauna



(دواییلیرز^۱، ۲۰۰۰). همچنین کروکودیل‌هایی که در چاله‌های آبی مرتفع بیابان صحرا زندگی می‌کنند از این قبیل جانوران می‌باشند (اسمیت^۲، ۱۹۶۸؛ گوتایر^۳، ۱۹۳۵).

۷-۴-۵- فسیل جانوران و گیاهان^۴

فسیل‌های باقی‌مانده از جانوران و گیاهان و لایه‌های رسوبی که آن قرار گرفته‌اند شواهدی از اقلیم گذشته و شرایط حیات آنان را برای مطالعه فراهم می‌سازد. بهترین مثال در این خصوص می‌توان به فسیل‌های باقی‌مانده از اسب آبی و فیل در مرکز بیابان صحرا و نیز گرده‌های گیاهی موجود در سنگ‌های رسوبی اشاره نمود که کمک شایانی در ارزیابی شرایط اقلیمی و زیستی گذشته می‌کنند.

۷-۴-۶- آثار رسوبات نمکی، سواحل و خطوط ساحلی^۵

شواهد گوناگونی در خصوص اینکه دریاچه‌های امروزی بسیار بزرگ‌تر و وسیع‌تر از حال حاضر خود بوده‌اند، وجود دارند، مانند دریاچه آرال که در نتیجه تغییر اقلیم کوچک شده‌اند. دریاچه نمک بزرگ^۶ در آمریکای شمالی، مساحتی در حدود ۱۰ برابر اندازه امروز خود داشته است. رسوبات نمکی بجامانده از محیط‌های آبی مرز اولیه آب و حدود عقب نشینی آنرا مشخص می‌نماید.

۷-۴-۷- آبراهه‌های خشک شده^۷

آثار ارتفاع آب عبوری دایمی یا بطور موقت بجامانده در کانال‌های فرسایشی که در حال حاضر خشک هستند، بیانگر میزان حجم زیاد آب در یک منطقه در بازه‌ای از زمان دارد. تفسیر این وقایع نادر با توجه به میزان بارش اندک بیابان، نیازمند بررسی و مطالعه دقیق می‌باشد.

۷-۴-۸- تثبیت یا فعالیت مجدد تپه‌های ماسه‌ای^۸

کاهش و افزایش پوشش گیاهی بر روی تپه‌های ماسه‌ای، حرکت (فعالیت) و یا تثبیت آن‌ها را بدنبال داشته و بیانگر افزایش و کاهش شدت خشکی در نتیجه تغییرات اقلیمی گذشته می‌باشند.

۷-۴-۹- نیمرخ‌های خاک^۹

فقدان لایه‌های (افق‌های) خاک نشاندهنده این موضوع است که فعالیت و فرآیندهای خاک‌سازی در گذشته ضعیف بوده و دلیلی بر کمبود بارش‌ها و شدت خشکی در یک گذشته یک منطقه دارد.

¹ De Villiers

² Smith

³ Gautier

⁴ Fossils of flora and fauna

⁵ Relict shorelines, beaches, and salt deposits

⁶ Great Salt Lake

⁷ Desiccated watercourses

⁸ Stabilization or reactivation of sand dunes

⁹ Soil profiles



۷-۴-۱۰- سیلاب‌ها^۱

بخشی از علت جریان سیلاب‌ها بستگی به بارش‌های سنگین یا ذوب سریع برف و قابلیت خاک سطحی در جذب باران دارد. بررسی شواهد موجود در خصوص سیلاب‌های دوران کواترنر، نشان‌دهنده همبستگی مثبت آن‌ها با سطح بالای آب دریاچه‌ها بوده و بنابراین بایستی بعنوان شاخصی از اقلیم مرطوب در نظر گرفته شود. با استفاده از تعیین سن رادیوکربن‌های مواد آلی رسوبات بجامانده در نواحی که جریان رودخانه دارای سرعت کمتری بوده‌اند، می‌توان زمان وقوع سیلاب‌ها را تعیین نمود.

¹ Floods