مجله سیاست دفاعی
سال شانزدهم، شماره ۶۳، تابستان ۱۳۸۷

تغییر اقلیم و تأثیر آن بر امنیت ملی

حمزه زمانی[۱]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۴/۱۸
تاریخ تأیید مقاله: ۸۷/۵/۱۳
صفحات مقاله: ۱۱۷-۷۵

چکیده

تغییر اقلیم به معنای تغییر میانگین‌های بلندمدت داده‌های جوی است. دهه‌ی آخر قرن بیستم و سال‌های آغازین قرن بیست و یکم گرم‌ترین دوره‌ای بوده که از زمان ثبت داده‌های اقلیمی، یعنی از اواسط قرن نوزدهم، کره‌ی زمین به خود دیده است. یافته‌های دانشمندان نیز حکایت از آن دارد که آب‌وهوای کره‌ی زمین در میان‌مدت و بلندمدت تغییر می‌کند. شواهد گوناگونی در این باره به کمک دانشمندان آمده‌اند، به‌طوری که نمی‌توان این تغییرات را انکار کرد. اندیشمندان رشته‌های گوناگون مانند هواشناسی، اقلیم‌شناسی، زمین‌شناسی، محیط‌زیست، اقیانوس‌شناسی و ... هر یک از دیدگاه خاصی پیامدهای تغییر اقلیم را بررسی می‌کنند، لیکن آنچه در این‌جا بدان پرداخته شده، پیامدهای امنیتی این پدیده است و این‌که آیا امنیتی کردن موضوع تغییر اقلیم صحیح است. البته، برای ورود به بحث، کلیاتی در مورد موضوع تحقیق، از جمله شواهد و دلایل تغییر اقلیم بیان شده است.

* * * * *

کلید واژگان

آب‌وهوا، تغییر اقلیم، گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن زمین، امنیت ملی

---

۱ ـ استادیار دانشگاه پیام نور یزد.

مقدمه

در سده‌ی نوزدهم، هنگامی که اقلیم‌شناسی هنوز دوره‌های نخستین رشد خود را سپری می‌کرد، همگان بر این باور بودند که آب‌وهوا، چهره‌ی تغییرناپذیر زمین ماست. هم‌چنین تصور همگان بر این بود که با محاسبه‌ی میانگین بلندمدت داده‌های آب‌وهوایی، برای نمونه، سی یا پنجاه ساله، می‌توان آب‌وهوای واقعی یک نقطه را تعیین کرد. ولی هر قدر درباره‌ی آب‌وهوای دیرینه بیشتر مطالعه کنیم درمی‌یابیم که اعتقاد به تغییرناپذیری اقلیم بیهوده است، و آب‌وهوا در تمامی رده‌های زمانی نوسان داشته است. شواهد این تغییرات انکارناپذیر است، ولی از منابع گوناگون باید به این شواهد دست یافت. برای نمونه، آمارهای ثبت شده حکایت از آن دارد که طی سده‌ی هفدهم، در بریتانیا، زمستان‌ها بسیار سردتر بود و ناکامی در جمع‌آوری محصول چیز غریبی نبود. اسناد تاریخی ثابت می‌کنند که پیش از آن، در سده‌ی دوازدهم، دوره‌ی بسیار گرمی رخ داده که خشکسالی و قحطی را نیز در پی داشته است. اگر زمان را ۱۰,۰۰۰ سال به عقب برگردانیم با دوره‌ی سردی روبه‌رو خواهیم شد که تقریباً به سردی قطب بوده است. صدهزار سال پیش، کرگدن‌ها و فیل‌ها در جایی زندگی می‌کردند که الآن لندن قرار دارد. بنابراین، شواهد تاریخی محکم و نمونه‌های زمین‌شناسی و زیست‌شناسی فراوانی وجود دارد که ثابت می‌کند آب‌وهوا به دفعات زیاد، آن هم به‌طور اساسی، تغییر کرده است. (بریگس واسمیتسن، ۱۹۹۵) این مطلب را با ذکر انواع شواهد موجود و این‌که چگونه این شواهد به ما کمک می‌کنند تا وقایع اقلیمی را تفسیر کنیم، پی می‌گیریم.

شواهد تغییر اقلیم

شواهد زمین‌شناسی و زیست‌شناسی

برای درک اقلیم گذشته، از شواهد بسیاری می‌توان یاری جست، لیکن تفسیر آنها ساده نیست. با مقایسه‌ی لندفرم‌ها و رسوبات ویژه با نوع محیطی که امروزه این لندفرم‌ها و رسوبات در آن شکل می‌گیرند، می‌توان پی برد که آب‌وهوا در زمان تشکیل آن لندفرم‌ها چگونه بوده است. رابطه‌ی میان لندفرم‌ها و اقلیم ساده نیست، اما برخی لندفرم‌ها می‌توانند اطلاعات نسبتاً دقیقی درباره‌ی اقلیم‌های گذشته بدهند. (جدول ۱) شکل‌های مختلف پرمافراست[1]، مانند پینگوها[2]، فقط در جایی توسعه می‌یابند که میانگین دمای سالانه از حدود $-5^{o}C$ کمتر باشد. هم‌چنین از سیرک‌ها می‌توان برای تعیین برف‌مرز استفاده کرد. در مناطق خشک، تپه‌های ماسه‌ای را در جاهایی می‌بینیم که مجموع بارش سالانه‌ی آنها کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر است و جهت وزش باد غالب را به هنگام تشکیل آنها، می‌توان از روی جهت توده‌های ماسه‌ای تشخیص داد. (تصویر شماره‌ی ۱) در حوضه‌ی رودخانه‌ی اورینوکو[3] در آمریکای جنوبی، تپه‌های ماسه‌ای فسیل شده‌ای یافت می‌شوند که حکایت از آن دارند که در دوره‌های خشک گذشته، مواد بادرفتی به قدر کافی بوده که در منطقه‌ای که درحال حاضر کاملاً مرطوب است، تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده است.

1 - permafrost

2 - pingo

3 - Orinico

تصویر شماره‌ی ۱ ـ جهت باد غالب در توده‌های ماسه‌ای

برخی رسوبات یخچالی و رودخانه‌ای به قدری به اقلیم وابسته هستند که از آنها به منزله‌ی شاخص اقلیم‌های گذشته استفاده می‌شود. این مسئله، از مطالعه‌ی یخرفت‌های فسیل که شاهدی از یخچال‌های آمریکای جنوبی در گذشته است، حاصل شد. رسوب مشخص دیگر، سالچینه‌ی رسی[1] است، رسوب لایه‌بندی شده‌ی رسی و سیلتی که در آب‌های آرام دریاچه‌ای انباشته می‌شود. سالچینه‌ها، ردیفی از لایه‌های نازک و ضخیم متناوب هستند که میزان رسوب سالانه را نشان می‌دهند. ضخامت نسبی لایه‌ها به مقدار رسوبی که به دریاچه وارد می‌شود و به تبع آن، به بارندگی و مقدار ذوب یخ سالانه بستگی دارد. در زمستان، سطح رویی دریاچه یخ می‌بندد و بنابراین، ریزترین دانه‌های رسوب نهشته می‌شوند و مواد درشت‌تر به دریاچه وارد نمی‌شوند. در فصل بهار، همراه با ذوب یخ چرخه‌ی رسوبگذاری دوباره آغاز می‌شود. با گذر زمان، لایه‌های متناوب نازک و ضخیمی بر جای می‌ماند که به اعتقاد برخی، می‌تواند نوسانات اقلیمی را بیان کند.

بسیاری از وقت‌ها، مواد بیولوژیکی موجود در رسوبات می‌تواند در تفسیر شرایط اقلیمی مفید واقع شود. یکی از دقیق‌ترین مواد، گرده‌ی گیاه است. گیاهان

1 - Varve Clay

دانه زا، طی دوره‌ی گل دادن مقدار زیادی گـرده را در هـوا رهـا مـی‌کننـد. ایـن گرده‌ها یا به دلیل وزن خود یا بر اثر شسته شدن به‌وسیله‌ی باران به‌تدریج سقوط می‌کنند، چنانچه این گرده‌ها در یک محیط بی‌هوازی مانند گل‌ولای دریاچه‌ای یـا باتلاقی به دام بیفتند ممکن است به همان صورت باقی بمانند.

جدول شماره‌ی ۱ ـ برخی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی اقلیم

لندفرم	نوع اطلاعات آب‌وهوایی
پینگوها، پالسن‌ها[1]، پلیگون‌های بزرگ	پرمافراست و میانگین دمای سالانه‌ی کمتر از $-5\ ^{o}C$
سیرک یخچالی	دمای یکسان با خط برفی
حوضه‌ی دریاچه‌های بسته	سطح بارش به تشکیل خط ساحلی قدیمی ربط دارد.
تپه‌های ماسه‌ای فسیل داخل قاره‌ها	جهت وزش بادها در گذشته و سطوح بارش
سنگریزه‌های زاویه‌دار	وقوع یخبندان در حضور مقداری رطوبت
مئاندرهای دره‌ای نامتجانس	میزان دبی بیشتر که می‌توان به‌وسیله‌ی ژئومتری مئاندر، آن را تعیین کرد.
سنگ بستر با شیارهای بادی	خشکی و جهت وزش باد
تپه‌های کوچک آهکی	سطح آب زیرزمینی بالاتر، شرایط مرطوب‌تر

اگر نمونه‌هایی از یک‌سری رسوبی را انتخاب کرده و با کمک روش‌های شیمیایی گرده‌های آنها را جدا ساخته و زیـر میکروسـکوپ مـورد مطالعـه قـرار دهـیم، در آن صورت، قادر خواهیم بود تا تصویری از پوشش گیاهی منطقه را به‌دست آوریم که بـه هنگام بر جای نهاده شدن گرده‌ها وجود داشته اسـت. ترکیبـات گونـاگون گـرده‌هـای گیاهی که دوره‌های زمانی گوناگونی را پشت سـر گذاشـته‌انـد مطالـب سـودمندی را درباره‌ی پیشینه‌ی پوشش گیاهی آن منطقه ارائه می‌دهد. با فرض این‌کـه گیاهـانی کـه گرده را تولید می‌کنند در گذشته نیز شرایطی مـشابه شـرایط کنـونی آب‌وهـوا را نیـاز

1 - palsen

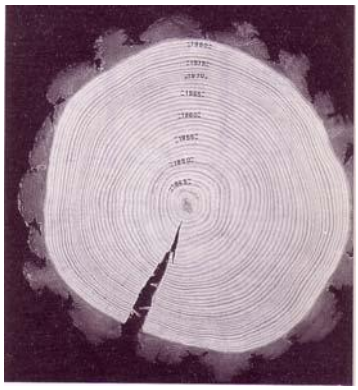
داشته‌اند، می‌توانیم به ماهیت آب‌وهوای دوره‌های قبل پی ببریم. ایـن روش آن قـدرها هم ساده نیست. تمامی درختان به یک اندازه گرده تولید نمی‌کنند، برخی گونه‌ها نسبت به گونه‌های دیگر گرده‌های بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند، حتـی اگـر فـضای یکسانی را اشغال کنند. تمامی گرده‌ها در همان محل یافت نمی‌شوند، جریان باد ممکن است برخی از آنها را به مناطقی منتقل کند که محل رویـش گونـه‌هـای دیگـر اسـت. مکان‌های مناسب برای نگه‌داری گرده‌ها به‌طور یکنواخت توزیع نشده‌اند، در نتیجه، آن دسته از درختانی که پیرامون باتلاق‌ها و دریاچه‌ها رشد می‌کـرده‌انـد احتمـال بیـشتری برای نگه‌داری گرده‌هایشان وجود داشته است. هم‌چنین فرض مـی‌کنـیم کـه پوشـش گیاهی از آب‌وهوای غالب، که ویژه‌ی هر منطقه است، پیروی می‌کند نه با آب‌وهـوای عمومی که بر همه جا سیطره دارد. با این همه، با وجود محدودیت‌های بسیار، تا جایی که شرایط اجازه می‌دهد تحلیل گرده‌ها می‌تواند تغییرات وسیعی را در پوشش گیـاهی و به‌طور غیرمستقیم در آب‌وهوا آشکار کنند.

فسیل‌های دیگری نیز وجود دارند که نوع اقلیم گذشـته را نـشان مـی‌دهنـد. بقایای پراکنده‌ی سوسک‌ها، حلزون‌ها، بقایای گیاهی (شامل دانه‌هـا، هـسته‌هـای میوه‌ها، برگ‌ها و نیـز تنـه‌ی درختـان)، نـرم‌تنـان آب شـیرین و آب دریـا ماننـد تک‌سلولی‌ها، سخت‌پوستان و مهره‌داران اطلاعـات گونـاگونی دربـاره‌ی شـرایط اقلیمی گذشته ارائه می‌دهند.

حلقه‌های درختان

یکی از شایع‌ترین و ظاهراً دقیق‌ترین منابع اطلاعاتی اقلیم گذشته حلقه‌هـای درخت است. بیشتر درختان عرض‌های میانه، حلقه‌ی رشد سالانه دارند (تـصویر شماره‌ی ۲)، شرایط جوی دوره‌ی رشد بر روی پهنای این حلقه تأثیر مـی‌گـذارد. در دوره‌های معاصر، که با کمک وسایل و تجهیزات، داده‌های مربوط بـه عناصـر اقلیمی را ثبت کرده‌اند می‌توان به الگویی دسـت یافـت کـه در آن رابطـه‌ی میـان

پهنای حلقه و نوع آب‌وهوا مشخص است؛ سپس با استفاده از این الگوها می‌توان به نوع اقلیم دیرینه پی برد. به این صورت، این الگو می‌تواند برای تعیین ماهیت عمومی شرایط اقلیمی دوره‌های نه چندان دور مورد استفاده قرار گیرد.



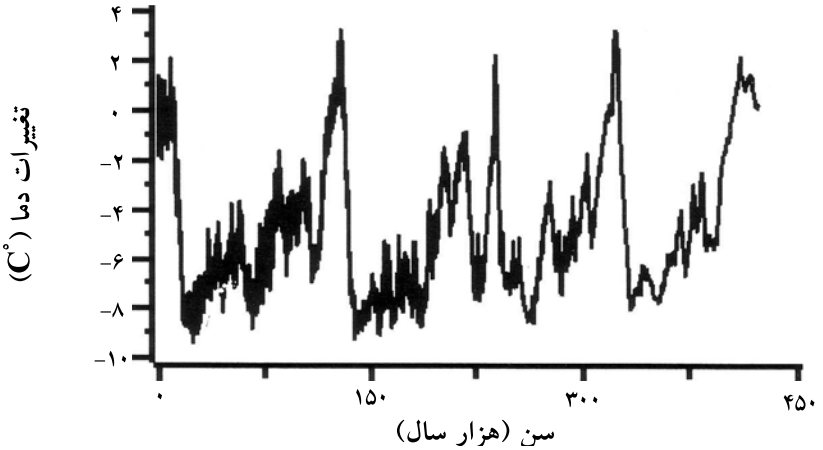
تصویر شماره‌ی ۲

البته حلقه‌های درختی از عوامل اقلیمی گوناگونی در مناطق مختلف متأثر می‌شوند. در مناطق خشک اغلب رطوبت هوا محدود است؛ بنابراین، رشد گیاهان به وضعیت بارش بستگی دارد. در مناطق دیگر مانند کوهستان‌های کالیفرنیا، دما مهم‌تر است. اغلب پهنای حلقه‌ها به هر دو عنصر دما و بارش بستگی دارد؛ اما روش‌های آماری پیچیده دانشمندان را قادر ساخته است تا آب‌وهوای دیرینه را، برای نمونه در اروپای مرطوب، بر پایه‌ی تغییرات پهنای حلقه‌های درختان بلوط درختان بازسازی کنند.

آنالیز ایزوتوپ اکسیژن

این روش بر اساس اندازه‌گیری دقیق نسبت بین دو ایزوتوپ O^{16}، که شایع‌ترین اکسیژن است، و ایزوتوپ O^{18}، که سنگین‌تر است پایه‌گذاری شده است. البته، هر دو نوع اکسیژن قسمتی از آب به‌حساب می‌آیند. یک مولکول H_2O

می‌تواند از O^{16} یا O^{18} تشکیل شده باشد. ایزوتوپ O^{16} که سبک‌تر است نسبت به O^{18} با سرعت بیشتری از اقیانوس تبخیر می‌شود. به همین دلیل، بارش و نیز زبانه‌های یخی‌ای که حاصل بارش هستند از O^{16} غنی می‌باشند. این عمل، غلظت بیشتر ایزوتوپ O^{18} در آب اقیانوس‌ها را سبب می‌شود. بنابراین، در دوره‌ای که یخچال‌ها گسترش می‌یابند، ایزوتوپ سبک‌تر O^{16} در پهنه‌های یخی قرار می‌گیرند و نیز غلظت ایزوتوپ سنگین O^{18} در آب اقیانوس‌ها افزایش می‌یابد. برعکس، در دوره‌ی گرم بین یخچالی که زبانه‌های یخچالی پسروی می‌کنند، ایزوتوپ O^{16} به دریا بازگشته، نسبت O^{18} به O^{16} در آب اقیانوس‌ها نیز کم می‌شود. بنابراین، پلانکتون‌هایی که در دوره‌های یخچالی می‌زیسته‌اند در مقایسه با پلانکتون‌های دوره‌های بین یخچالی، کربنات‌هایی دارند که سرشار از O^{18} است. حال، اگر تغییرات گذشته‌ی نسبت $\frac{O^{18}}{O^{16}}$ را داشته باشیم می‌توانیم تعیین کنیم چه وقت دوره‌های یخچالی و چه وقت دوره‌های بین یخچالی داشته‌ایم؛ به‌عبارت دیگر، چه وقت آب‌وهوای سردتر و چه وقت آب‌وهوای گرم‌تری داشته‌ایم. (شکل شماره‌ی ۱)



شکل شماره‌ی ۱ ـ تغییرات نسبت $\frac{O^{18}}{O^{16}}$ در ۴۵۰۰۰۰ سال گذشته
(عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۰۶)

دلایل طبیعی تغییر اقلیم

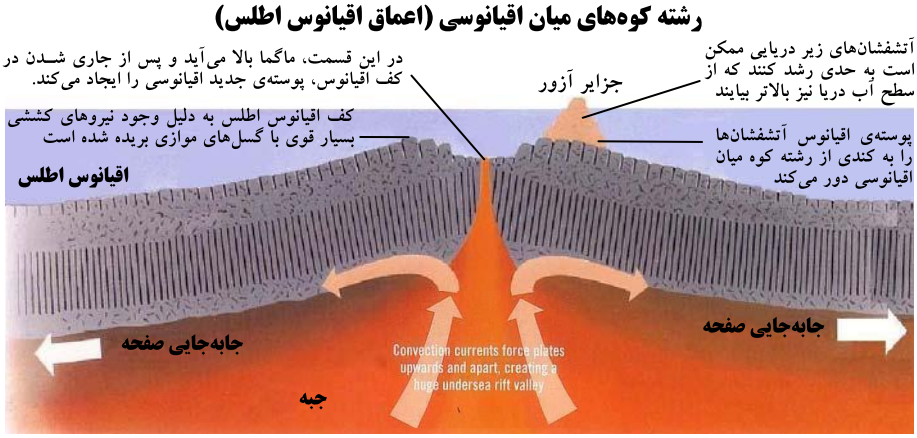
سازوکارهای طبیعی تغییر اقلیم که با فعالیت انسان ارتباطی ندارند، عبارتند از تکتونیک صفحه‌ای، فعالیت آتشفشان‌ها، تغییر در مدار زمین (تغییر در شکل مدار زمین[1]، تغییر در کجی محور[2] و حرکت تقدیمی[3]) و تغییرپذیری خورشید. در زیر، به‌صورت اجمالی، به تشریح هر یک از این سازوکارها می‌پردازیم:

تکتونیک صفحه‌ای

نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای، از زمان پیدایش آن در سال ۶۸-۱۹۶۷ تأثیر همه‌جانبه‌ای در علوم زمین داشته است. شرح این نظریه بدین صورت است که پوسته‌ی زمین از صفحات بزرگی تشکیل شده است که بر روی یک لایه‌ی خمیری از سنگ‌های زیرین[4] با سرعت چند سانتیمتر در سال حرکت می‌کنند. (شکل شماره‌ی ۲) بیشتر صفحات بزرگ، تمامی یک قاره به اضافه‌ی کمی از کف دریا را شامل می‌شوند. برای نمونه، صفحه‌های آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و آفریقا از آن جمله هستند. بنابراین، همراه با حرکت بسیار آرام صفحه‌ها در کنار هم، قاره‌ها نیز تغییر مکان می‌دهند و در نتیجه، می‌توان انتظار داشت جایی که زمانی در منطقه‌ی سرد قرار داشته، با جابه‌جایی قاره‌ها و کاهش عرض جغرافیایی، امروزه در نواحی گرم قرار گرفته باشد. برای نمونه، شواهد یخچالی مناطق گرم امروزی هم‌چون آفریقا، استرالیا، آمریکای جنوبی و هندوستان گواه این امر است که این مناطق در ۲۵۰ میلیون سال پیش یک دوره‌ی یخچالی را سپری کرده‌اند. این مسئله که به مدت چندین سال برای دانشمندان معمایی را

1 - Eccentricity
2 - Obliquity
3 - Precession
4 - Asthenosphere

به‌وجود آورده بود، با ارائه‌ی نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای حل شد و آنان پی بردند که این نواحی، بخشی از یک ابر قاره‌ی به پیوسته بوده و در سمت قطب جنوب آن قرار داشته‌اند که بعدها از همدیگر جدا شده و به سمت موقعیت فعلی حرکت کرده‌اند.



شکل شماره‌ی ۲- تکتونیک صفحه‌ای و جابه‌جایی قاره‌ها
(اقتباس از: چاپمن و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۰).

لازم به ذکر است، از آنجا که حرکت صفحات زمین بسیار کند است، و تغییرات اقلیمی ناشی از آن نیز در مقیاس زمانی چند میلیون ساله رخ می‌دهد؛ از این رو، نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای برای توجیه تغییرات اقلیمی کوتاه‌مدت (چند ده ساله یا چند صد ساله) کاربرد ندارد و باید به سراغ روش‌های دیگر رفت.

آتشفشان‌ها

این عقیده که فوران آتشفشان ممکن است اقلیم زمین را تغییر دهد نخستین بار در سال‌های بسیار دور ارائه شد و هنوز هم به منزله‌ی دلیل موجهی برای

برخـی جنبـه‌هـای تغییرپـذیری اقلیمـی مـورد پـذیرش اسـت. فـوران انفجـاری آتشفشان‌ها مقدار زیادی از گازها (عمدتاً دی اکسید گـوگرد SO_2) و ذرات ریـز را به داخل جو منتشر می‌کنند. (تصویر شماره‌ی ۳) دی اکسید گوگرد با بخـارآب موجود در جو ترکیب شده و طی فرایند زیر به اسید سولفوریک تبدیل می‌شود:

$$SO_2 + OH + 3H_2O \rightarrow H_2SO_4 + HO_2$$

تصویر شماره‌ی ۳ ـ یک قله‌ی آتشفشانی در ایسلند که در سال ۱۹۷۵ فوران کرد (چاپمن و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۴)

اسید سولفوریک از جمله آیروسل‌هایی[1] است که از ورود تابش خورشـیدی به زمین جلوگیری می‌کند. کاهش میزان تابش ورودی خورشید نیز به سرد شـدن زمین منجر می‌شود. شدیدترین فوران‌های آتشفشانی قدرت کـافی بـرای تزریـق

1 - aerosol

مقدار زیادی از دی‌اکسیدگوگرد و مواد دیگر به داخل استراتوسفر[1] (دومین لایه‌ی اتمسفر که بالاتر از تروپوسفر و پایین‌تر از مزوسفر قرار دارد) را دارا می‌باشند و این مواد برای چندین سال در جو باقی می‌مانند. وجود این مواد در جو، هم‌چنان که اشاره شد، کاهش دمای متوسط تروپوسفر را سبب می‌شود، زیرا این مواد بر خلاف دی‌اکسیدکربن، در برابر تابش ورودی (طول موج کوتاه) تیره و در برابر تابش خروجی (طول موج بلند) شفاف هستند. شاید قابل توجه‌ترین دوره‌ی سرد مرتبط با پدیده‌ی آتشفشان *«سال بدون تابستان»* باشد که پس از فوران کوه *کامبورا* درسال ۱۸۱۵ در اندونزی اتفاق افتاد. این آتشفشان سبب شد تا بهار با تأخیر آغاز شود، تابستان سرد باشد (وقوع یخبندان در جولای و آگوست) و پاییز زودتر از موعد آغاز شود.

در سال‌های اخیر نیز سه مورد آتشفشان بزرگ رخ داده است که اطلاعات شایان توجهی را درباره‌ی اثر آتشفشان بر دمای جهانی بر جای گذاشته است. فوران کوه سنت هلنز[2] در ایالت واشنگتن به سال ۱۹۸۰، کوه ال چی چون[3] در مکزیک در سال ۱۹۸۲ و کوه پیناتوبو[4] در فیلیپین به سال ۱۹۹۱ برای دانشمندان فرصتی را فراهم آورد تا به مطالعه‌ی اثرات جوی فوران‌های آتشفشانی بپردازند. بررسی‌ها نشان دادند که در پی وقوع این سه آتشفشان، کاهش دمای جهانی به شرح زیر بوده است: کمتر از ۰/۱ درجه‌ی سلسیوس در مورد کوه سنت‌هلنز، بین ۰/۳ تا ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس برای کوه ال چی چون و ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس برای کوه پیناتوبو.

---

1 - Stratosphere

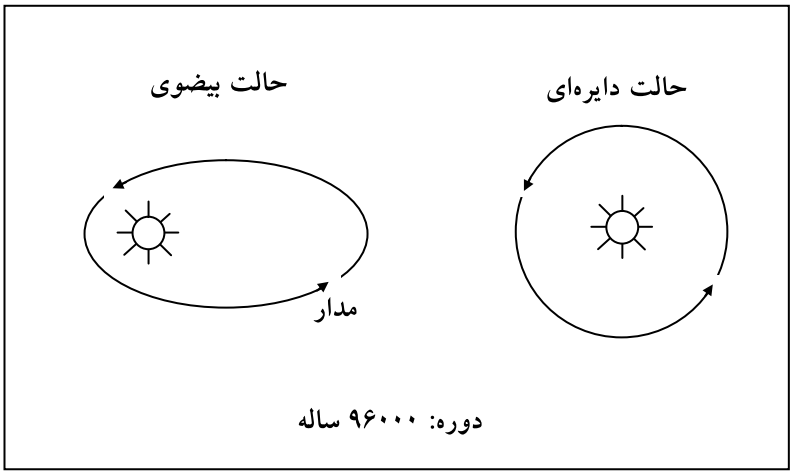
2 - Saint Helens

3 - El Chichon

4 - Pinatubo

چرخه‌های میلانکوویچ

تغییر در شکل مدار زمین، تغییر در کجی محور زمین و حرکت تقدیمی، به‌وسیله‌ی تغییر در توزیع فصلی تابش ورودی خورشید بر روی اقلیم تأثیر می‌گذارند. این نظریه‌ی جدید که تغییر اقلیم و حرکات زمین را به هم مرتبط می‌داند، *میلوتین میلانکوویچ*[1] ابداع کرد و پژوهش‌های بعدی نیز به افتخار وی به نام *«چرخه‌های میلانکوویچ»*[2] نامیده می‌شود.



شکل شماره‌ی ۳ ـ تغییر در شکل مدار زمین

در حال حاضر، فاصله‌ی زمین تا خورشید به‌طور متوسط ۱۴۹۶۰۰۰۰۰ کیلومتر است که این فاصله در زمستان (*حضیض*[3]) ۱۴۷۱۰۰۰۰۰ کیلومتر و در اول تابستان (*اوج*[4]) ۱۵۲۰۰۰۰۰۰ کیلومتر می‌باشد؛ یعنی، تفاوت فاصله‌ی بین

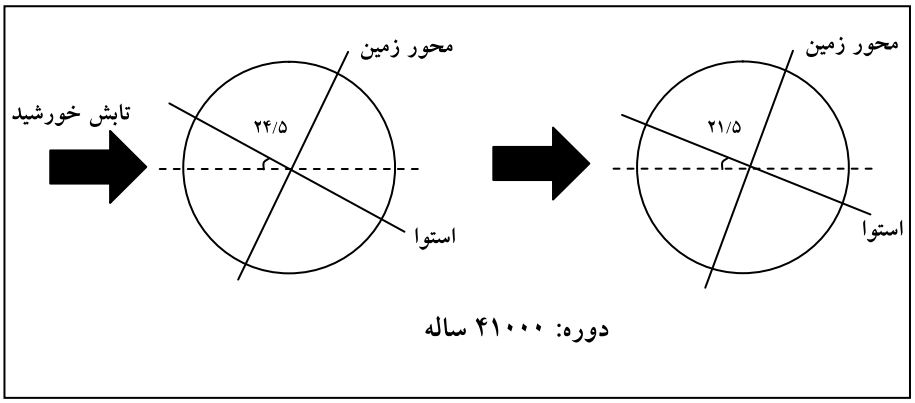
1 - Milutin Milankovitch, 1879-1954.
2 - Milankovitch Cycles
3 - Perihelion
4 - Aphelion

اوج که در ۴ جولای هر سال، در تابستان نیمکره‌ی شمالی و حضیض، که در سوم ژانویه‌ی هر سال در نیمکره‌ی شمالی رخ می‌دهد، ۳ درصد است. این بدان معناست که زمین در ژانویه حدود ۶ درصد بیشتر از جولای انرژی خورشیدی دریافت می‌کند. البته، بر اساس محاسبات میلانکوویچ، این حالت همیشگی نیست و شکل مدار زمین در یک سیکل ۱۰۰۰۰۰ ساله (به بیان دقیق‌تر ۹۶۰۰۰ ساله) تغییر می‌کند و به تناوب، تبدیل به یک بیضی کشیده می‌شود و سپس به حالت دایره‌ای‌تر برمی‌گردد. (شکل شماره‌ی ۳) زمانی که مدار زمین به حالت بیضی نزدیک‌تر است تفاوت فاصله‌ی بین اوج و حضیض ۷ درصد است و مقدار تابش دریافتی در موقعیت حضیض حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد بیشتر از اوج است. در نتیجه، در تابستان، هوا به‌طور میانگین ۲۵ درصد خنک‌تر و در زمستان ۲۵ درصد گرم‌تر است. گرم شدن زمستان، به افزایش ظرفیت پذیرش بخار آب هوا کمک کرده و در نتیجه، افزایش بارش را سبب می‌شود و چون این افزایش به حدی نیست که شکل بارش را تغییر دهد بنابراین، باز هم به شکل برف خواهد بود. از سوی دیگر، تابستان توان ذوب محدودتری را داراست و نتیجه این‌که افزایش فاصله بین اوج و حضیض، با گسترش یخچال‌ها در عرض‌های بالا همراه بوده است. در حال حاضر، زمین در حال دور شدن از حالت دایره‌ای‌تر است؛ یعنی، در مقیاس ۹۶۰۰۰ ساله، و بدون در نظر گرفتن تمامی شرایط، زمین به‌سوی سرد شدن پیش می‌رود.

تغییر در تمایل محور زمین

در حال حاضر، زاویه‌ی محور زمین با تصویر مدارش یک زاویه‌ی ۲۳° ۲۷′ (۲۳/۴۷ درجه) می‌سازد؛ اما این زاویه نیز ثابت نیست و کجی محور در یک سیکل ۴۱۰۰۰ ساله بین ۲۱/۵ تا ۲۴/۵ درجه تغییر می‌کند. (شکل شماره‌ی ۴) این تغییر زاویه، شدت فصول را تغییر می‌دهد و در کجی‌های با زاویه‌ی کمتر

(۲۱/۵ درجه) اختلاف دمای بین زمستان و تابستان نیز کمتر می‌شود. عقیده بر این است که این کاهش اختلاف فصلی به گسترش پهنه‌های یخی منجر می‌شود؛ زیرا زمستان‌ها گرم‌تر می‌شود، ظرفیت پذیرش بخار آب‌وهوا نیز افزایش یافته و بارش برف افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، کاهش دمای تابستانی، ذوب کمتر برف‌ها را سبب می‌شود و بنابراین، رشد پهنه‌های یخی را در پی دارد.



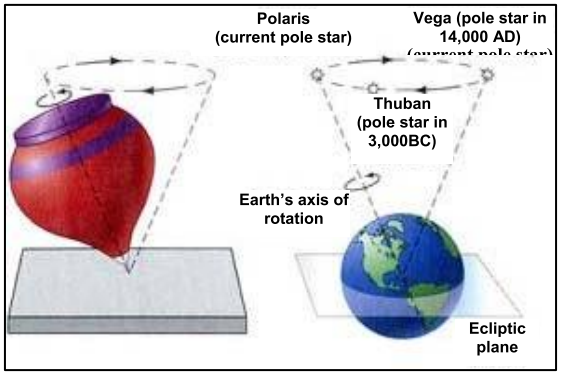
شکل شماره‌ی ۴ ـ کجی محور

حرکت تقدیمی

محور چرخش زمین در فضا ثابت نیست. همانند یک فرفره‌ی در حال چرخش، مسیر محور چرخش زمین به آرامی تغییر مکان می‌دهد و ۲۵۸۰۰ سال طول می‌کشد تا یک دور حرکت انجام شود و محور زمین ۳۶۰ درجه را طی کند؛ یعنی حدود ۲۱۰۰ سال طول می‌کشد تا محور زمین هر یک از صورت‌های فلکی دوازده گانه‌ی *دایرةالبروج*[1] را طی کند. این چرخش محور که در نهایت مخروطی را در فضا می‌سازد *«حرکت تقدیمی زمین»* نام دارد. این حرکت در اثر جاذبه‌ی ماه و خورشید بر روی برجستگی استوایی زمین به‌وجود می‌آید و باعث

1 - Zodiac

می‌شود که ستاره‌ی قطبی برای زمین در دوره‌های مختلف، متفاوت باشد. نقطه‌ی اعتدال بهاری یا نقطه‌ی *صفر زاویه*[1] بر روی دایرةالبروج به‌تدریج به سمت غرب کشیده می‌شود که مقدار آن حدود ۴۶ ثانیه‌ی قوسی در هر سال یا ۳۰ درجه (معادل اندازه‌ی یک صورت فلکی از *منطقةالبروج*) در هر ۲۱۰۰ سال می‌باشد. بنابراین، در بلندمدت، از دقت نقشه‌های تهیه شده برای آسمان کاسته می‌شود. در حال حاضر، ستاره‌ی قطبی، ستاره‌ی *جُدی*[2] می‌باشد و موقعیت اعتدال بهاری در صورت فلکی *حوت*[3] است، ولی ۳۰۰۰ سال پیش ستاره‌ی قطبی، *ثعبان*[4] از صورت فلکی *اژدها*[5] بوده و ۱۴۰۰۰ سال دیگر، ستاره‌ی *وگا یا نسر واقع*[6] در صورت فلکی چنگ *رومی (لورا)*[7] و بالاخره ۲۶۰۰۰ سال پس از این تاریخ، مجدداً ستاره‌ی قطبی همان جُدی خواهد بود. (شکل شماره‌ی ۵)



شکل شماره‌ی ۵ ـ حرکت تقدیمی

1 - right ascension
2 - Polaris
3 - Pisces
4 - Thuban
5 - Dragon
6 - Vega
7 - Le lyre

به‌دنبال این تغییر حالت دوره‌ای محور زمین، تغییر در خور توجهی در شرایط اقلیمی به‌وجود می‌آید. حدود ۱۲۰۰۰ سال پیش، یعنی زمانی که محور زمین به سمت ستاره‌ی وگا متمایل بود، موقعیت زمین بر روی مدارش به دور خورشید، که در آن انقلاب زمستانی و تابستانی رخ می‌داد، بر عکس زمان حال بود. در نتیجه، در نیمکره‌ی شمالی، فصل زمستان با موقعیت اوج فاصله‌ی زمین از خورشید (دورترین فاصله‌ی زمین از خورشید) مصادف بود و تابستان، زمانی رخ می‌داد که زمین در حضیض (نزدیک‌ترین فاصله از خورشید) قرار داشت. از این رو:

زمستان: بیشترین فاصله از خورشید با کمترین زاویه‌ی تابش، و
تابستان: کمترین فاصله از خورشید با بیشترین زاویه‌ی تابش.

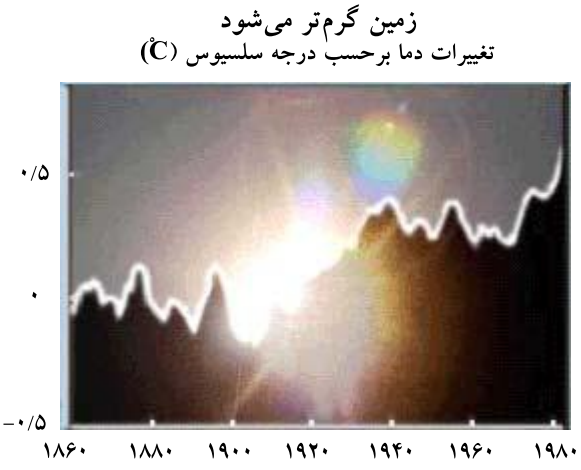
بنابراین، اختلافات فصلی بیشتر می‌شد و به همین دلیل، زمستان سردتر و تابستان نیز گرم‌تر از زمان حال بود.

گازهای گلخانه‌ای

با آغاز انقلاب صنعتی، در اوایل قرن نوزدهم میلادی و رشد روزافزون تحولات بشری، تغییرات گوناگونی نیز در زندگی انسان‌ها رخ داده است. نیاز بشر به انرژی و مصرف انواع سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی باعث افزایش شدید گازهایی مانند دی‌اکسیدکربن (CO_2) در جو شده است. افزایش جمعیت کره‌ی زمین که تغییر کاربری زمین، تخریب جنگل‌ها، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و تولید ضایعات جامد و مایع را باعث شده است، پیامدهای گوناگونی به همراه داشته است. پدیده‌ی تغییر آب‌وهوا یکی از این پیامدهاست. رشد جمعیت و پیشرفت فناوری در سده‌ی بیستم به رشد میزان تقاضای حامل‌های انرژی منجر شده است.

انسان‌ها با مصرف انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی و تولید بیش از حد

گازهای گلخانه‌ای توازن انرژی زمین را برهم می‌زنند. ادامه‌ی روند افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی در چند دهه‌ی آینده، تغییر کاربری زمین، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و افزایش ضایعات جامد و مایع پدیده‌ی گلخانه‌ای را در جو زمین تشدید خواهد کرد. مدل‌های جوی پیش‌بینی می‌کنند که تا سال ۲۱۰۰ میلادی، دمای کره‌ی زمین از ۱ تا ۳/۵ درجه‌ی سلسیوس افزایش خواهد یافت که این مقدار بیش از تغییرات دمایی ۱۰۰۰۰ سال گذشته خواهد بود. شکل شماره‌ی ۶ روند تغییرات دمایی زمین را در دو سده‌ی گذشته نشان می‌دهد.



شکل شماره‌ی ۶ ـ روند تغییرات دمای زمین در محدوده‌ی سال‌های ۱۸۶۰ تا ۱۹۸۰

انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای، تولید هواویزه‌ها (آئروسل‌ها)، تغییر در ضریب انعکاس اتمسفر زمین و آلودگی حرارتی، عوامل مختلفی هستند که بر سرعت پدیده‌ی تغییر آب‌وهوا تأثیر می‌گذارند و در این بین، اهمیت گازهای گلخانه‌ای بسیار بیشتر و شناخته شده‌تراست.

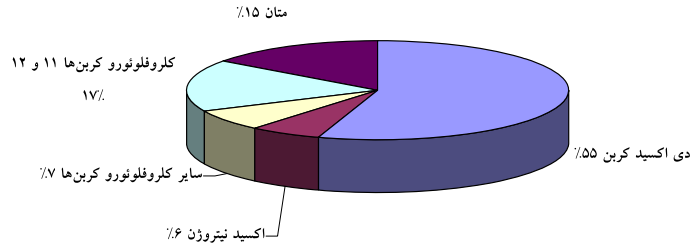
تابش‌های خورشیدی پس از عبور از فضا به زمین و اتمسفر رسیده و قسمت اعظم آن به‌وسیله‌ی کره‌ی زمین جذب می‌شود. کره‌ی زمین پس از گرم شدن، امواج گرم را به‌صورت تابش‌های موج بلند فروسرخ به فضا باز می‌تابد. قسمتی از این تابشهای فروسرخ از اتمسفر عبور می‌کند و قسمتی دیگر به‌وسیله‌ی گازهای گلخانه‌ای موجود در اتمسفر جذب و به سطح زمین بازتابانیده می‌شود. (شکل شماره‌ی ۷)

شکل شماره‌ی ۷ ـ موازنه‌ی انرژی بین زمین و فضا

گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین (بخشی از تابش فرودی جذب سطح زمین می‌شود، بخشی پراکنده می‌شود، لایه‌ی آلوده شده‌ی اتمسفر تابش موج بلند زمین را که به طرف بالا ارسال می‌شود بخشی از آن را حبس می‌کند و بخشی دیگر را مطابق پنجره‌های اتمسفری به فضا برمی‌گرداند و بخشی هم جذب آلودگی لایه‌ی میان زمین و فضا می‌نماید)، کسری از انرژی خورشیدی رسیده به زمین را در داخل اتمسفر نگه می‌دارند و دمای زمین، در اثر این انرژی،

درحد مناسبی ثابت باقی می‌ماند. این عمل گازهای گلخانـه‌ای را *اثـر گلخانـه‌ای* نامیده‌اند. لازم به ذکر است که اگر اثر گلخانه‌ای در اتمسفر زمین وجود نداشـت، دمای کره‌ی زمین حدود ۱۵/۵ درجه‌ی سلسیوس نسبت به حال کمتر مـی‌شـد و عصر یخبندان دیگری را رقم می‌زد.

هم‌چنین در صورتی که موجودی گازهای‌گلخانه‌ای در داخل اتمسفر، زیادتر از حد متعارف شود، موازنه‌ی انرژی زمین بر هم می‌خورد و انـرژی بیـشتری در داخل اتمسفر زمین باقی می‌ماند. انرژی بیشتر، گرم شدن زمین را در پـی خواهـد داشت.



شکل شماره‌ی ۸ ـ سهم گازهای مختلف گلخانه‌ای در اتمسفر زمین بر حسب درصد در سال ۱۹۹۲

بخارآب (H_2O)، دی‌اکسیدکربن (CO_2)، اکسیدنیترو (N_2O)، متان (CH_4)، ازن جـــو پـــایین یـــا استراتوســـفری (O_3)، کلروفلوئـــوروکربن‌هـــا (CFCs)، هیدروفلوئوروکربن‌ها (HFCs) و پرفلوئوروکربن‌ها (PFCs) گازهای گلخانه‌ای نام دارند. تمامی این گازها در ایجاد پدیده‌ی گلخانه‌ای در جو زمـین نقـش دارنـد و در ایـن میـان بخـار آب و دی‌اکـسیدکربن در مجمـوع ۹۰ درصـد از سـهم اثـر گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهند. (شکل شماره‌ی ۸)

گازهای گلخانه‌ای به‌طور طبیعی در جو زمین وجود دارند، اما فعالیـت‌هـای انسان و آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌هـا، مقـدار گازهـای مـذکور را بـه‌طـور

غیرطبیعی افزایش می‌دهد. در نتیجه، گرمای ناشی از تابش اشعه‌ی خورشید در جو زمین محبوس می‌شود و دمای کره‌ی زمین را بالا می‌برد.

گازهای گلخانه‌ای دارای منابع تولیدکننده‌ی طبیعی و غیرطبیعی هستند. این منابع *چشمه‌های گازهای گلخانه‌ای* نامیده می‌شوند. از طرفی مقدار گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر و تحولات شیمیایی در جو یا به‌وسیله‌ی منابع جذب‌کننده‌ی این گازها که اصطلاحاً *چاهک* نامیده می‌شوند، کاهش می‌یابد. هر گاز گلخانه‌ای طول عمر مشخصی دارد و با توجه به نوع گاز گلخانه‌ای میزان تأثیر آن بر شدت اثر گلخانه‌ای نیز متفاوت است. معمولاً گاز دی‌اکسیدکربن به منزله‌ی مبنای تعیین میزان تأثیر گاز گلخانه‌ای بر گرمای زمین، در نظر گرفته می‌شود و پتانسیل گرمایش گازهای دیگر نسبت به این گاز سنجیده می‌شود. جدول شماره‌ی۱ گازهای گلخانه‌ای، منابع انتشار و طول عمر آنها را در جو زمین نشان می‌دهد.

جدول شماره‌ی ۱ ـ خلاصه‌ی مشخصات گازهای گلخانه‌ای

گازهای گلخانه‌ای	منابع		چاهک‌ها	طول عمر در جو زمین
	غیرطبیعی	طبیعی		
دی‌اکسیدکربن CO_2	سوزاندن سوخت‌های فسیلی، جنگل زدایی، تخمیر هوازی ضایعات جامد و مایع	ـــــ	اقیانوس‌ها- جنگل‌ها	۵۰ سال
متان CH_4	فضولات حیوانی، شالیزارهای برنج و سوزاندن سوخت‌های فسیلی، تخمیر بی‌هوازی ضایعات جامد و مایع	مرداب و اقیانوس‌ها	جذب توسط باکتری‌های موجود در خاک و انجام واکنش‌های شیمیایی در جو	۱۰ سال
اکسید نیترو N_2O	خاک‌های تقویت شده با کودهای شیمیایی، سوختن زیست توده و احتراق سوخت‌های فسیلی	فرایندهای میکروبی در خاک و آب اقیانوس‌ها و خاک‌های طبیعی	جذب به‌وسیله‌ی خاک و واکنش‌های فتوشیمیایی در استراتوسفر	۱۴۰ – ۱۹۰ سال
ازن O_3	ـــــ	واکنش‌های پیچیده فتوشیمیایی در جو	واکنش با رادیکال‌های آزاد در جو و واکنش‌های پیچیده فتوشیمیایی	چند ساعت تا چند روز

گرم شدن زمین چه عواقبی به‌دنبال دارد؟

دما و میزان بارش برف و باران، هر دو بر آب‌وهوا تأثیر می‌گذارند. مقادیر دما و میزان بارش باران در هر منطقه نیز متأثر از عرض جغرافیایی، ارتفاع و جریان‌های اقیانوسی آن منطقه می‌باشد. تغییر آب‌وهوا پدیده‌ای است که میزان تأثیر عوامل فوق را بر آب‌وهوای هر منطقه تغییر می‌دهد و تأثیرات نامطلوبی را بر جای می‌گذارد. برخی پیامدهای شناخته‌شده‌ی ناشی از تغییر آب‌وهوا عبارتند از:

۱ ـ بالا آمدن سطح آب دریاها و کاهش منابع آب شیرین،
۲ ـ تغییرات آب‌وهوای منطقه‌ای در عرض‌های بالا و نیمکره‌ی شمالی،
۳ ـ تغییر در میزان بارش باران و جهت وزش باد،
۴ ـ افزایش بلایای طبیعی مثل توفان، گردباد و سیل،
۵ ـ افزایش میزان خشکسالی و توسعه‌ی مناطق بیابانی،
۶ ـ افزایش آلودگی هوا در برخی مناطق در اثر افزایش بادهای گرم،
۷ ـ اثر احتمالی بر گسترش بیماری‌هایی مانند مالاریا.

تغییر اقلیم و تأثیر آن بر امنیت ملی

بر اساس دلایل قاطعی که مطرح شد، کره‌ی زمین در قرن بیست و یکم گرم‌تر خواهد شد؛ زیرا تغییراتی که تاکنون رخ داده در آینده نیز به وقوع خواهد پیوست. افزون بر این پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که این احتمال وجود دارد که گرم شدن تدریجی زمین بتواند تا اندازه‌ای به کند شدن ناگهانی روند انتقال جریان‌های اقیانوسی منجر شود که این امر می‌تواند در مناطقی که در حال حاضر بخش عمده‌ای از تولید غذای جهان را بر عهده دارند زمستان‌های سخت‌تر، همراه با کاهش شدید رطوبت خاک و بادهای بسیار شدیدتر را به همراه داشته باشد.

در اینجا، سناریوهای گرم شدن تدریجی زمین مورد بررسی قرار می‌گیرند. سناریویی برای تغییر ناگهانی آب‌وهوا طراحی می‌شود که ۱۰۰ سال دیگر به وقوع پیوسته و شرایطی مشابه ۸۲۰۰ سال پیش را به‌وجود می‌آورد. این سناریوی تغییر ناگهانی با شرایط زیر مشخص می‌شود:

- میانگین دمای سالانه‌ی هوا تا حداکثر ۵ درجه‌ی فارنهایت (۲/۸ درجه‌ی سلسیوس) برای آسیا و آمریکای شمالی و ۶ درجه فارنهایت (۳/۳) کاهش می‌یابد،
- میانگین دما تا حداکثر ۴ درجه فارنهایت (۲/۲ درجه‌ی سلسیوس) در سرتاسر استرالیا، آمریکای جنوبی و جنوب آفریقا افزایش می‌یابد،
- در بیشتر سال‌های این دوره، در مناطق بسیار مهم کشاورزی و مناطقی که منابع آبی مراکز بزرگ جمعیتی اروپا و شرق آمریکای شمالی را تهیه می‌کنند، خشکسالی ادامه می‌یابد،
- توفان‌ها و بادهای زمستانی تشدید می‌شوند، و بدین ترتیب، تأثیر تغییرات افزایش می‌یابد، شدت بادها در اروپای غربی و اقیانوس آرام شمالی افزایش می‌یابد.

این گزارش، چگونگی سناریوی تغییر ناگهانی اقلیم را بررسی می‌کند که قادر است به‌طور بالقوه بی‌ثباتی محیط ژئوپولیتیکی را موجب شده و به منازعات، درگیری‌ها و حتی جنگ منجر شود که در اثر فشار منابعی مانند موارد زیر به‌وجود می‌آید:

۱ ـ کمبود مواد غذایی،به‌دلیل کاهش تولید خالص محصولات کشاورزی جهانی،
۲ ـ کاهش منابع آب و نیز افت کیفیت آب شیرین در مناطق مهم، به دلیل تغییر الگوهای بارش که سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها را موجب می‌شود،
۳ ـ عدم دسترسی به منابع انرژی، به دلیل گسترش کوه‌های یخی شناور و توفانی بودن دریا.

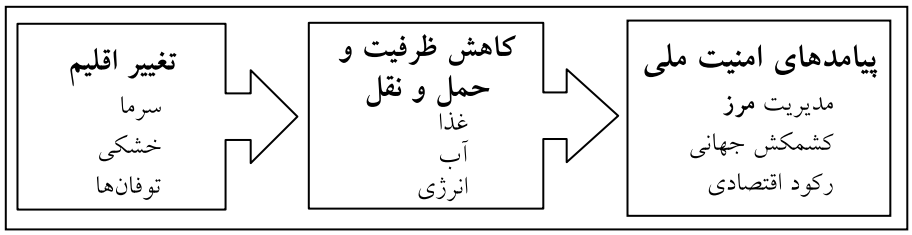
به موازات کاهش قابلیت حمل و نقل جهانی و محلی، ممکن است در گوشه و کنار جهان تنش‌ها رو به افزایش گذارد که این امر به دو راهبرد اساسی منجر می‌شود: نخست راهبرد تدافعی و دیگری راهبرد تهاجمی. کشورهایی که دارای منابع هستند باید به فکر ایجاد استحکاماتی پیرامون کشورهایشان باشند تا بتوانند از منابع خود حفاظت کنند؛ به‌ویژه کشورهایی که از اقبال کمتری برخوردارند و در ضمن، در همسایگی خود دشمنان دیرینه‌ای نیز دارند که ممکن است برای دستیابی به غذا، آب آشامیدنی یا انرژی وارد جنگ شوند. امکان دارد ائتلاف‌های دور از ذهنی به منظور کسب برتری دفاعی تشکیل شود و در اینجا هدف، حفظ منابعی برای ادامه‌ی بقاست نه مذهب، ایدئولوژی یا افتخار ملی. این سناریو، چالش‌های جدیدی را برای تمامی کشورها مطرح و راه‌های مختلفی را ارائه می‌کند که هر یک از کشورها می‌توانند در پیش گیرند:

- بهبود مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، که بررسی دامنه‌ی وسیع‌تری از سناریوها را ممکن می‌سازند و پیش‌بینی می‌کنند که این تغییرات چگونه و در کجا رخ خواهند داد،
- گردآوری مدل‌های پیش‌بینی‌کننده‌ی فراگیر درباره‌ی تأثیرات بالقوه‌ی تغییر اقلیم ناگهانی، که به طرح‌های مربوط به تأثیرگذاری اقلیم بر غذا، آب و انرژی کمک می‌کنند،
- بررسی دقیق‌تر آسیب‌پذیری کشورهایی که در پی تغییر اقلیم خسارات بیشتری را متحمل می‌شوند،
- شناسایی راهبردهای اطمینان‌بخش، مانند افزایش قابلیت‌ها برای مدیریت منابع آب،
- تمرین واکنش‌های سازگاری،
- بررسی پیامدهای محلی،
- بررسی روش‌های پیشرفته‌ای ازمهندسی علوم‌زمین که اقلیم را کنترل می‌کنند.

امروزه دلایلی وجود دارد که ثابت می‌کند گرم شدن زمین به آستانه‌ای رسیده است که می‌تواند سرعت جریان‌های اقیانوسی را افزایش دهد.

این پیامدها، مشاهدات مستندی را شامل می‌شوند که در اقیانوس اطلس شمالی یخچال‌ها به‌طور روزافزون در حال آب شدن هستند، بارندگی کاهش یافته و آب‌های جاری شیرین نسبت به ۴۰ سال گذشته املاح کمتری دارند.

لازم به یادآوری است که به دلیل نتایج وخیم بالقوه‌ی خطر تغییر اقلیم ناگهانی، حتی اگر با احتمال بسیار کمی همراه باشد، بایستی به خاطر اهمیت امنیت ملی مورد بحث قرار گیرد. (شکل شماره‌ی ۹)



شکل شماره‌ی ۹ ـ تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت ملی

هنگامی که مردم در باره‌ی تغییر اقلیم می‌اندیشند، صرفاً تغییر تدریجی دما و دگرگونی جزئی شرایط اقلیمی را تصور می‌کنند که در آینده‌ای نامشخص به‌وقوع خواهد پیوست. عقیده‌ی عمومی بر این است که تمدن امروزی، یا با هر آنچه که شرایط جوی برای ما مهیا کند مقابله خواهد کرد و تغییر اقلیم نخواهد توانست بر قابلیت سازش‌ناپذیری جوامع انسانی غلبه کند، یا این‌که تلاش‌های ما، مانند آنچه در پیمان کیوتو آمده، برای کاهش اثرات تغییر اقلیم بسنده خواهد بود. برخی کارشناسان خوش‌بین عقیده دارند که خطر تغییر اقلیم تدریجی و اثر آن بر تهیه‌ی مواد غذایی و منابع دیگری که برای بشر اهمیت دارند چندان شدید نخواهد بود که تهدیدات امنیتی به بار آورد. آنها تأکید می‌کنند که مزایای

نوآوری‌های فناورانه خواهد توانست بر اثرات منفی تغییر اقلیم پیشی بگیرد.

از نظر اقلیمی، نظریه‌ی تغییر تدریجی در آینده، چنین فرض می‌کند که کشاورزی به رونق خود ادامه خواهد داد و فصل رشد طولانی خواهد شد. اروپای شمالی، روسیه و آمریکای شمالی از نظر کشاورزی به شکوفایی خواهند رسید؛ در حالی که اروپای جنوبی، آفریقا و آمریکای مرکزی و جنوبی به خشکی روزافزون، گرما، کمبود آب و تولید رو به کاهش موادغذایی مبتلا خواهند شد. به‌طورکلی، بر اساس چند سناریوی اقلیمی خاص، تولید غذای جهانی افزایش خواهد یافت. این نظریه‌ی تغییر اقلیم ممکن است کار خطرناکی به نام *خودفریبی*[1] باشد، زیرا ما به‌طور روزافزون، در گوشه و کنار جهان با حوادثی سروکار داریم که به شرایط جوی مربوط می‌شوند، مانند تندبادها، بادهای موسمی، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها.

رویدادهایی که به شرایط جوی مربوط می‌شوند، تأثیر زیادی بر جامعه می‌گذارند، یعنی تأثیر آنها بر تهیه‌ی مواد غذایی، اوضاع شهرها و ارتباطات، و نیز دسترسی به آب آشامیدنی و انرژی کاملاً محسوس است. برای نمونه، گزارش اخیر شبکه آب‌وهوایی استرالیا اظهار داشت که تغییر اقلیم ممکن است کاهش بارندگی‌ای را در رشته کوه‌ها سبب شده باشد که به افت ۱۵ درصدی تولید علوفه انجامیده است. این نیز به نوبه‌ی خود می‌تواند به کاهش ۱۲ درصدی وزن متوسط دام‌ها منجر شود که در نتیجه، به‌طور شایان توجهی بر تولید گوشت گاو تأثیر بگذارد. در چنین شرایطی، پیش‌بینی می‌شود که گاوهای شیرده ۳۰ درصد کمتر شیر تولید کنند، و احتمال دارد آفت‌های نباتی جدیدی در مناطق پرورش میوه به‌وجود آید. به همین صورت، انتظار می‌رود که این شرایط به کاهش ۱۰ درصدی آب آشامیدنی منجر شود. بر اساس مدل‌های پیش‌بینی تغییر شرایط

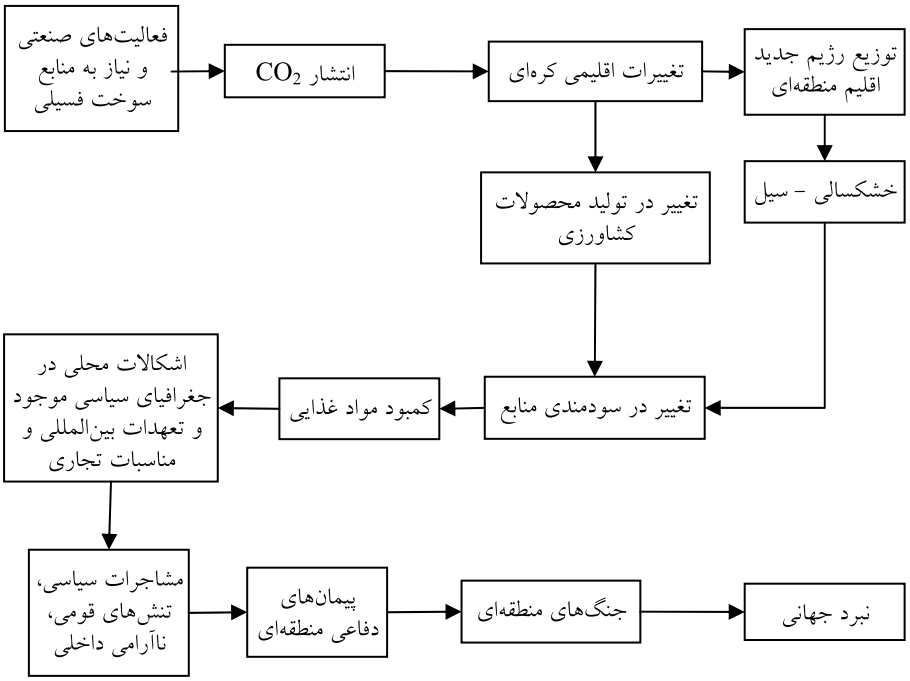
1 - self-deception

آینده، برای نمونه، تغییراتی که در مناطق تولید مواد غذایی در نقاط مختلف جهان ظرف مدت ۲۰ تا ۳۰ سال آینده به وقوع خواهد پیوست، تمامی کشورها باید در صدد باشند تا خود را با شرایط جدید اقلیمی سازگار کنند.

امروزه با توجه به این‌که بیش از ۴۰۰ میلیون نفر در مناطق خشک جنب حاره زندگی می‌کنند که اغلب پرجمعیت بوده و از نظر اقتصادی فقیرنشین می‌باشد، تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن، زیان‌های جبران ناپذیری را بر روی ثبات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی این کشورها به همراه خواهد داشت. در مناطق ناموفق‌تر، کشورهایی که منابع و امکانات لازم برای سازگاری سریع با شرایط سخت را ندارند، اوضاع بسیار وخیم‌تر خواهد بود. در مورد برخی کشورها، تغییر اقلیم می‌تواند به چالشی تبدیل شود که در آن، مردم به امید یافتن شرایط زندگی بهتر، به مهاجرت دسته جمعی اقدام کنند و در جست‌وجوی مناطقی باشند که از نظر وجود منابع و تطبیق با شرایط جدید در وضعیت بهتری قرار داشته باشند.

به دلیل اینکه سناریوهای متداول گرم شدن تدریجی زمین می‌توانند اثراتی مانند موارد بالا را به‌وجود آورند، تعداد زیادی از رهبران بخش تجارت، اقتصاددانان، سیاستمداران و کارشناسان امور سیاسی نگران برآوردهایی هستند که تغییر اقلیم شدیدتری را پیش‌بینی می‌کنند و در پی آن هستند تا اثرات انسان بر اقلیم را محدود کنند.

حوادث اخیر، آدمی را به این اندیشه فرو می‌برند که به‌جای دهه‌ها یا سده‌ها گرم شدن تدریجی، سناریوی شرایط اقلیمی وخیم‌تری ممکن است واقعاً رخ دهد. این همان چیزی است که سازمان‌های دفاعی و امنیتی در راستای یک سناریوی محتمل برای تغییر اقلیم ناگهانی، درحال کار کردن بر روی آن کار هستند و برای تأمین مواد غذایی، بهداشت و بیماری، تجارت و بازرگانی و پیامدهای آنها بر روی امنیت ملی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. (شکل شماره‌ی ۱۰)



شکل شماره‌ی ۱۰ ـ پیامدهای تغییر اقلیم بر روی امنیت ملی

هنگامی که نتوان به‌درستی و با اطمینان خاطر، الگوهای آب‌وهوایی آینده و جزئیات ویژه‌ی تغییرات اقلیمی ناگهانی را پیش‌بینی کرد، در آن صورت، تاریخ دقیق تغییر اقلیم راهنمایی‌های ارزشمندی را عرضه خواهد کرد. هدف ما صرفاً این است که سناریوی محتمل را به تصویر بکشیم، شبیه آنچه پیش از این انسان آن را تجربه کرده است، و برای آن گواه قابل قبولی وجود دارد، یعنی ممکن است ما پیامدهای بالقوه‌ی بیشتری را بیابیم که بر روی امنیت ملی تأثیر می‌گذارند. (جدول شماره‌ی ۲)

جدول ۲ ـ برخی پیامدهای نظامی بالقوه‌ی تغییر اقلیم

	اروپا	آسیا	ایالات متحده
۲۰۲۰ - ۲۰۱۰	**۲۰۱۲:** خشکسالی و سرمای شدید مردم اسکاندیناوی را به سمت جنوب روانه می‌کند، و از اتحادیه‌ی اروپا به عقب می‌راند. **۲۰۱۵:** منازعات داخلی در اتحادیه‌ی اروپا بر سر منابع آب و مواد غذایی به زد و خورد و تیرگی روابط دیپلماتیک منجر می‌شود. **۲۰۱۸:** به شرط تأمین منابع انرژی، روسیه به اتحادیه‌ی اروپا ملحق می‌شود. **۲۰۲۰:** مهاجرت از کشورهای شمالی مانند هلند و آلمان به اسپانیا و ایتالیا.	**۲۰۱۰:** درگیری‌ها و منازعات مرزی در بنگلادش، هند و چین، مهاجرت گسترده به برمه. **۲۰۱۲:** بی‌ثباتی منطقه‌ای، ژاپن را وادار می‌کند تا قابلیت اعزام سریع نیروی نظامی خود را گسترش دهد. **۲۰۱۵:** تفاهم نامه‌ی راهبردی میان ژاپن و روسیه بر سر منابع انرژی سیبری و ساخالین. **۲۰۱۸:** درگیری چین در قزاقستان برای محافظت از خطوط لوله‌ی نفتی که شورشیان و عناصر خرابکار به‌طور مرتب آنها را تخریب می‌کنند.	**۲۰۱۰:** مشاجره با کانادا و مکزیک بر سر تنش افزایش آب. **۲۰۱۲:** سرازیر شدن مهاجران به جنوب غرب ایالات متحده و مکزیک از جزایر کارائیب. **۲۰۱۵:** اختلاف با کشورهای اروپایی بر سر حق مالکیت مکان ماهیگیری. **۲۰۱۸:** امنیت در آمریکای شمالی؛ ایالات متحده با شرکت در ائتلاف با کانادا و مکزیک امنیت یکپارچه‌ای را برقرار می‌کند. **۲۰۲۰:** وزارت دفاع مرزها را اداره می‌کند تا پناهندگان از اروپا و منطقه‌ی کارائیب وارد نشوند.
۲۰۳۰ - ۲۰۲۰	**۲۰۲۰:** افزایش مشاجره بر سر آب و مهاجرت. **۲۰۲۲:** مشاجره میان فرانسه و آلمان بر سر میزان بهره‌برداری از رود راین. **۲۰۲۵:** اتحادیه‌ی اروپا به فروپاشی نزدیک می‌شود. **۲۰۲۷:** افزایش مهاجرت به کشورهای حوضه‌ی دریای مدیترانه مانند الجزایر، مراکش، مصر و رژیم اشغالگر قدس. **۲۰۳۰:** حدود ۱۰ درصد از جمعیت اروپا به کشورهای دیگر نقل مکان می‌کنند.	**۲۰۲۰:** نبرد طولانی در جنوب غرب آسیا: برمه، لائوس، ویتنام، هند، چین. **۲۰۲۵:** اوضاع داخلی چین به‌شدت رو به وخامت می‌گذارد، به‌طوری که به جنگ داخلی و جنگ مرزی منجر می‌شود. **۲۰۳۰:** تنش میان چین و ژاپن بر سر انرژی روسیه افزایش می‌یابد.	**۲۰۲۰:** افزایش بهای نفت، به دلیل این‌که امنیت نفت در خلیج فارس و دریای خزر با تهدید مواجه می‌شود. **۲۰۲۵:** درگیری داخلی در عربستان سعودی سبب می‌شود تا نیروی دریایی کشورهای آمریکا و چین برای رو در رویی مستقیم به خلیج فارس بیایند.

بدیهی است در میان‌مدت و بلندمدت، در مقیاس زمانی ده‌ها تا هزاران سال، اقلیم تغییر می‌کند؛ آن هم نه به‌طور تصادفی، بلکه به‌صورت ساختاری. نوسانات وسیع یکپارچه دوره‌های نسبتاً گرم و سردی را به‌دنبال دارند که سال‌های خشک را شامل می‌شود. علت این نوسانات روشن نیست؛ آیا تغییرات مداری و چرخشی زمین، تغییر در میزان انرژی ورودی خورشید، تعدیل‌های داخلی پوشش گیاهی، توپوگرافی و اتمسفر، همگی می‌توانند از عواملی باشند که در این امر دخالت دارند؟ مقیاس زمانی عوامل مؤثر ممکن در شکل شماره‌ی ۶ نشان داده شده است، ولی نباید از یاد ببریم که بسیاری از این عوامل تعاملی هستند؛ ما نمی‌توانیم یک فرایند را جدا کرده و پیامدهای آن را با اطمینان زیاد توصیف کنیم. در سده‌های اخیر، انسان تأثیر زیادی بر آب‌وهوا گذاشته است.

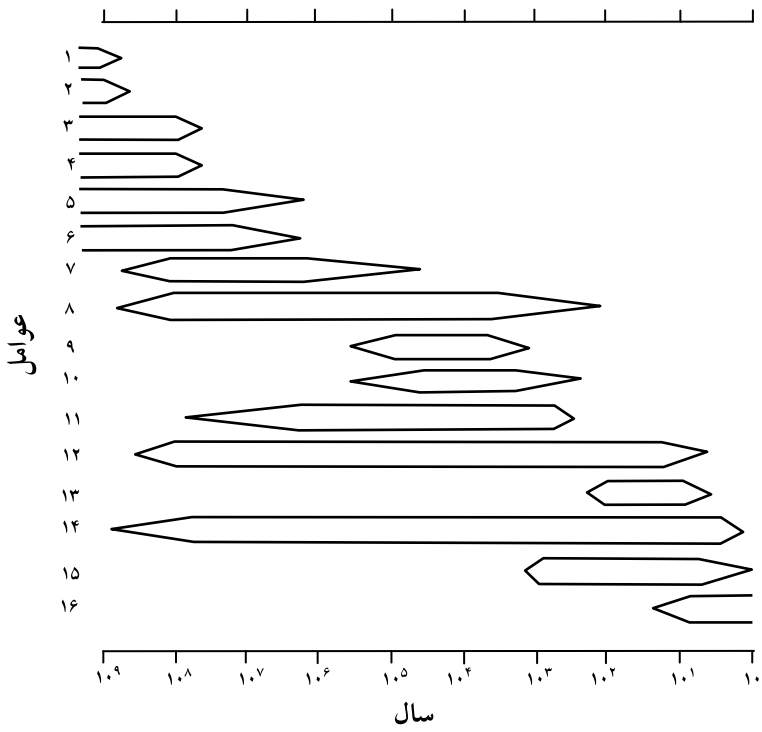
دو پرسش باقی می‌ماند. نخست این‌که اثر این نوسانات اقلیمی چیست؟ و دیگر این‌که در حال حاضر، ما به کدام سو می‌رویم؟

برخی از این اثرات برای ما کاملاً آشکار هستند. در مناطقی که برای کشاورزی و سکونت انسانی مناطق حاشیه‌ای به شمار می‌روند، تغییرات جزئی آب‌وهوا ممکن است پیامدهای وخیمی به همراه داشته باشد، که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ناکامی در تولید محصول، فرسایش خاک و قحطی. اثرات دیگری هم هستند که نامحسوس‌تر می‌باشند، ولی با وجود این، برای ما اهمیت دارند. به موازات تغییر اقلیم، آدمی نیز جابه‌جا می‌شود، مناطق جدیدی برای سکونت مساعد شده و مناطق دیگر نامساعد می‌شوند. گفته می‌شود که انگیزه‌ی وایکینگ‌ها از هجوم به ایسلند، گرینلند و انگلستان و اشغال آنها، نامساعد شدن وضعیت اقلیمی در اسکاندیناوی بوده است. امروزه، انگیزه‌ی قبایل کوچ‌نشین نیز همان است.

اثرات تغییر اقلیم به کشاورزی و انسان محدود نمی‌شود. هم‌چنان که در ادامه خواهیم دید، نوسانات اقلیمی بر فرایندهای گوناگون سطح زمین اثر

می‌گذارند. در تمامی چشم‌اندازهای مربوط به مناطق معتدله‌ی جهان، اثر تغییر اقلیمی گذشته نمایان است. لندفرم‌های یخچالی صدها کیلومتر دورتر از کلاهک‌های یخچالی قرار دارند، دریاچه‌هایی که زمانی پهنه‌ی وسیعی از دریاهای درون خشکی‌ها را تشکیل می‌دادند، امروزه درمقایسه با وسعت گذشته‌ی خود، به دریاچه‌های کوچکی بدل شده‌اند؛ دره‌های رودخانه‌ای که زمانی در آنها سیلاب‌های وسیعی جریان داشته، امروزه جریان‌های کوچک و آرامی در آنها جریان دارد. آثار مشابه بیشماری را نیز در پوشش گیاهی می‌توان کشف کرد. در بسیاری از مناطق تنوع گیاهانی که امروزه یافت می‌شود در نتیجه‌ی مهاجرت و ترکیب پوشش گیاهی در واکنش به تغییر اقلیم است. عناصر گوناگون نظام جهانی، هم‌چنان که پیش‌تر نیز بدان اشاره شد، به‌طور پیچیده‌ای به یکدیگر وابسته هستند. تغییرات یک بخش بر بخش‌های دیگر اثر می‌گذارد، و این تأثیر، در هیچ سامانه‌ای آشکارتر از تغییر اقلیم نیست.

اما آخرین پرسش ما این بود که در آینده آب‌وهوا گرم‌تر خواهد شد یا سردتر؟ پیش‌بینی‌های متعددی در این زمینه صورت گرفته است. گفته می‌شود که عرض‌های میانه به‌سوی اقلیم خنک‌تر حرکت می‌کنند؛ یعنی احتمالاً یک عصر یخبندان کوچک دیگر. هم‌چنین، گفته می‌شود که در حال حاضر، ما در یک دوره‌ی بین‌یخچالی قرار داریم، و در آینده دوره‌ی یخچالی دیگری در انتظار ما خواهد بود. مشکل چنین پیشامدی این است که در مقیاس زمانی اندازه‌گیری ما، تغییرات اقلیمی تقریباً نامحسوس است. افزون بر این، تغییر اقلیم روندهای مختلف متعددی را شامل می‌شود که بر روندهای دیگر تأثیر می‌گذارند. به این ترتیب، پیش‌بینی زمانی یک فرایند تقریباً غیر ممکن است. ما فقط می‌توانیم حدس بزنیم که در آینده چه رویدادی در انتظار ماست. (شکل شماره‌ی ۱۱)



شکل شماره‌ی ۱۱ ـ عوامل مؤثر بالقوه در تغییر اقلیم و دامنه‌ی احتمالی مقیاس زمانی قابل استناد به یکدیگر. (میچل، ۱۹۶۸)

این عوامل عبارتند: ۱) تکامل خورشید، ۲) موج گرانشی عالم، ۳) گرد و غبار کیهانی، اندازه و ترکیب اتمسفر (بجز CO_2، H_2O و O_3)، ۵) سرگردانی قطبی، ۶) جابه‌جایی قاره‌ها، ۷) کوهزایی و بالاآمدگی قاره‌ها، ۸) CO_2 موجود در جو، ۹) تغییرات مداری زمین، ۱۰) خشکی – دریا – کلاهک یخی قطب، ۱۱) گردش اقیانوسی منطقه‌ی ژرف اقیانوسی، ۱۲) تغییرپذیری خورشیدی، ۱۳) افزایش CO_2 حاصل از سوخت‌های فسیلی، ۱۴) گرد و غبار آتشفشانی موجود در اتمسفر، ۱۵) تغییر خود به خود اقیانوس – اتمسفر، و ۱۶) خود دگرگونی اتمسفر.

تغییر اقلیم و تأثیر آن بر جمهوری اسلامی ایران

معرفی کشور ایران

کشور جمهوری اسلامی ایران در آسیای غربی قرار دارد. اراضی ساحلی آن از شمال به دریای خزر و مرزهای آن به آذربایجان و ترکمنستان منتهی می‌شود. در غرب با ترکیه و عراق همجوار است. در جنوب به خلیج فارس و دریای عمان می‌رسد و در شرق با کشورهای پاکستان و افغانستان همسایه است. زبان رسمی و اداری آن فارسی دری است. جمعیت آن در سال ۱۳۷۳ (سال پایه‌ی کنوانسیون تغییر آب‌وهوا) در حدود ۵۷/۷ میلیون نفر بود. در حال حاضر، جمعیت ایران در حدود ۷۲ میلیون نفر تخمین زده می‌شود.

ایران آب‌وهوای متنوعی دارد. تقریبا ۳۵/۵ درصد سرزمین‌های آن دارای آب‌وهوای بسیار خشک، ۲۹/۹ درصد خشک، ۲۰/۱ درصد نیمه خشک، ۵ درصد مدیترانه‌ای و ۱۰ درصد مرطوب (از نوع سرد کوهستانی) است. در نتیجه، بیش از ۸۲ درصد قلمرو ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. متوسط بارندگی در ایران در حدود ۲۵۰ میلیمتر است که این مقدار کمتر از یک‌سوم متوسط بارش دنیا (۸۶۰ میلیمتر) است. نکته‌ی مهم دیگر در مورد آب‌وهوای ایران، دامنه‌ی وسیع تغییرات دمایی آن است که گاهی از ۲۰- تا ۵۰+ درجه‌ی سلسیوس تغییر می‌کند.

خشکسالی شدید اغلب به منزله‌ی یک ویژگی آب‌وهوایی ایران شناخته شده است. ایران در طول سال‌های گذشته (به‌ویژه، سال‌های ۱۳۸۱ - ۱۳۷۸) خسارات زیادی را به علت خشکسالی تحمل کرده است.

اثرات نامطلوب تغییر اقلیم بر ایران

بر اساس تحقیقات و ارزیابی‌های انجام شده در طرح توانمندسازی تغییر آب‌وهوا تحت نظر کنوانسیون تغییر آب‌وهوای سازمان ملل متحد و با استفاده از

سناریوهای مطرح شده به‌وسیله‌ی دانشمندان، اگر میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰ دو برابر شود، دمای متوسط ایران به میزان ۱/۵ تا ۴/۵ درجه‌ی سلسیوس افزایش خواهد یافت که این مسئله تغییرات محسوسی را در منابع آبی، میزان تقاضای انرژی، تولیدات کشاورزی و نواحی ساحلی موجب خواهد شد.

تغییر الگوی دمایی، کاهش منابع آبی، افزایش سطح دریاها، تخریب نواحی ساحلی، از بین رفتن محصولات کشاورزی و غذایی، تخریب جنگل، تناوب و تشدید خشکسالی و تهدید سلامت انسان‌ها از اثرات زیان‌آور مستقیم تغییر آب‌وهوا هستند. از اثرات غیرمستقیم تغییر اقلیم می‌توان به آسیب‌های اقتصادی ناشی از اقدامات مقابله‌ای کشورهای توسعه‌یافته اشاره کرد.

ارزیابی اثرات تغییر آب‌وهوا بر ایران

دما و میزان بارش

به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری کشور در اثر نبود نظارت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، شش سناریوی متفاوت طراحی شده‌اند. این سناریوها، خود ترکیب منتخبی از مدل‌ها و سناریوهای متفاوت هستند. در این ترکیب‌ها سه وضعیت مختلف برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظرگرفته شده است که به ترتیب عبارتند از:

۱ ـ میزان انتشار پایین،

۲ ـ ثابت نگه‌داشتن میزان انتشار در شرایط فعلی،

۳ ـ میزان انتشار بالا.

در نهایت، نتایج مدلسازی انجام شده بین ترکیب سناریوها و حساسیت‌های اقلیمی مختلف نشان می‌دهد که برای حالت «الف» افزایش دما بین ۱ تا ۱/۵ درجه‌ی سلسیوس، برای حالت «ب» افزایش دما بین ۲/۵ تا ۴/۱ درجه‌ی سلسیوس و برای حالت «ج» افزایش دما بین ۵/۹ تا ۷/۷ درجه‌ی سلسیوس

است. افزون بر این، همین ترکیب‌ها برای به تصویر کشیدن تغییرات بارندگی در کشور مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن عبارتند از:

- برای شرایط الف: ۱۱ درصد تا ۱۹/۱ درصد کاهش بارش نسبت به سال پایه،
- برای شرایط ب: ۳۰/۹ درصد تا ۵۰ درصد کاهش نسبت به سال پایه،
- برای شرایط ج: ۵۸ درصد تا ۸۰ درصد کاهش نسبت به سال پایه.

منابع آبی

به منظور بررسی میزان اثرات گرم شدن زمین بر منابع آبی ایران، تحقیقات مختلفی با استفاده از داده‌های منابع آب، داده‌های هواشناسی و مدل‌های رواناب مختلف که با سناریوهای انتشار و تغییرات دمایی نیز ادغام شده‌اند، انجام شده است. نتیجه‌ی داده‌های رواناب دوره‌ای که از ۳۹۸ ایستگاه آب‌سنجی گردآوری شده‌اند، نشان می‌دهد که شاخص سیلاب در ۴۷ درصد آنها تغییر کرده است. هم‌چنین در ۶۰۰ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰ به‌طور مشخص تغییرات اقلیمی مشاهده شده است.

مدل درازمدت رواناب که برای ۳۰ حوضه‌ی رودخانه‌ای استفاده شد، نشان می‌دهد که افزایش دما، حجم رواناب را در زمستان، به‌دلیل تبدیل بارش برف به باران و در بهار، به‌دلیل آب شدن سریع برف‌ها افزایش می‌دهد. افزون بر این، مشخص شده است که افزایش دما بر رواناب حوضه‌های آبگیر تأثیر گذاشته و نوسانات رواناب ناشی از بارندگی را کاهش می‌دهد.

کشاورزی

افزایش دمای پیش‌بینی شده در اثر تغییرات آب‌وهوایی، کاهش باروری نشای برنج، کاهش طول عمر ذرت، نارسی گندم و کاهش جوانه‌زنی سیب‌زمینی را سبب می‌شود.

از سوی دیگر، بر اساس داده‌های آماری، تغییرات آب‌وهوایی با کاهش میزان و زمان بارش، کاهش تولید گندم و پنبه را باعث می‌شود. به‌طوری که خشکسالی‌های اخیر در محدوده‌ی سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ کاهش ۱,۰۵۰,۰۰۰ تن محصول گندم آبی و ۲,۵۴۳,۰۰۰ تن محصول گندم دیم را سبب گردید. این نتایج نشان می‌دهند که بخش کشاورزی ایران در برابر پدیده‌ی تغییر آب‌وهوا بسیار آسیب‌پذیر است.

جنگل و کاربری زمین

گرم شدن زمین، بر بخش جنگل به‌شدت تأثیر می‌گذارد. تغییر محل رویش طبیعی گونه‌های گیاهی جنگلی، به‌ویژه گونه‌های مقاوم و انقراض گونه‌های نیمه مقاوم از نمونه‌های این تأثیرات هستند. رویش طبیعی گیاهان جنگلی بر هم خورده و به کاهش تولید چوب و محصولات غیرچوبی در جنگل منجر می‌شود. هجوم دام به عرصه‌های جنگلی و مراتع و تشدید بیماری گیاهان، به فرسایش رو به افزایش زمین، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک منتهی می‌گردد. افزایش سطح آب دریا در خلیج فارس و دریای عمان تخریب جنگل‌های دریایی حرا (مانگرو) را باعث می‌شود. در پی کاهش مقدار علوفه در جنگل‌ها که می‌تواند در برخی موارد نشانه‌ای از شروع بیابان‌زایی باشد، شرایط زیست محیطی برای حیات وحش در مناطق جنگلی به‌سرعت نامساعد می‌گردد. افزایش دما و خشکسالی به تخریب پوشش گیاهی منجر شده و پیامد آن که فرسایش خاک است رو به فزونی می‌گذارد، و در پایان، به‌دلیل تضعیف ظرفیت‌های اکولوژیکی منطقه در اثر این تخریب‌ها، پیامدهای اجتماعی ناگواری مانند مهاجرت رخ می‌دهد.

نواحی ساحلی

شمال کشور ایران مرکز تولیدات کشاورزی است. صنایع تولید انرژی در

منطقه‌ی جنوب قرار دارند و مرکز استخراج نفت و صدور آن به‌شمار می‌روند. بیشتر بنادر بزرگ صدور کالا در جنوب مستقر شده‌اند. حضور این صنایع در شمال و جنوب ایران نشان می‌دهد که نواحی ساحلی کشور تا چه حد نسبت به اثرات تغییر آب‌وهوا آسیب‌پذیرند.

با توجه به داده‌هایی که به مدت ده سال در ساعت‌های مختلف از سه ایستگاه (چابهار، بندرعباس و بوشهر) جمع‌آوری شده‌اند، میانگین افزایش متوسط سطح آب دریا در خلیج فارس و دریای عمان ۴/۵ میلیمتر در سال بوده است که با سناریوی سال ۱۹۹۵ IPCC مطابقت می‌کند. بعضی از اثرات افزایش دما و سطح آب دریا در نواحی ساحلی عبارتند از:

فرسایش کناره‌های ساحلی در شمال و جنوب، آب گرفتگی زمین‌های پست، مانند شبه جزیره‌ی میانکاله و خلیج گرگان، سفید شدگی گسترده‌ی آبسنگ‌های مرجانی، نفوذ آب شور در آب‌های شیرین در اثر آب گرفتگی زمین‌های ساحلی. اینها همگی نمونه‌هایی از آسیب‌پذیری سواحل شمالی و جنوبی ایران هستند.

از دیدگاه اقتصادی ـ اجتماعی، تغییر اقلیم اثرات زیانبار شدیدی بر بهداشت و رفاه خانوارها دارد که از آن جمله می‌توان به تأمین آب شیرین در مناطق ساحلی اشاره کرد. نفوذ آب شور به داخل آب‌های سطحی و زیرزمینی از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم در منطقه، به‌ویژه در حوضه‌ی آبریز رود کارون محسوب می‌شود. رود کارون اصلی‌ترین منبع تأمین آب آشامیدنی شهرهایی با جمعیت بیش از یک میلیون نفر است و نفوذ آب شور در اثر افزایش سطح آب دریا و کاهش دبی آب رودخانه‌ها یکی از موضوعات مورد بحث درباره‌ی این رودخانه بوده و هست.

بهداشت

تغییر آب‌وهوا تأثیر مستقیمی بر سلامتی انسان‌ها دارد. انتظار می‌رود که گرم شدن زمین به افزایش بیماری‌های قلبی و عروقی، تنفسی و بیماری‌های عفونی و میکروبی بینجامد. مالاریا یکی از بیماری‌هایی که در مناطق استوایی شایع است، در استان‌های گرمسیری ایران نیز رایج است. تحقیق بر روی میزان بروز مالاریا از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۸ در کشور نشان می‌دهد که میزان موارد ابتلا به این بیماری، به رغم افزایش امکانات بهداشتی و درمانی، رو به رشد است.

انرژی و فرایندهای صنعتی

کاهش بازده نیروگاه‌های حرارتی، کاهش تولید نیروگاه‌های آبی در اثر کاهش میزان آب ذخیره شده در سدها، تخریب نواحی ساحلی، اسکله‌های نفتی، تأسیسات گاز و پتروشیمی در نواحی ساحلی جنوبی در اثر توفان‌های دریایی شدید، همگی تأثیرات محسوس ناشی از تغییر آب‌وهوا هستند. هم‌چنین پیش‌بینی می‌شود که گرم شدن زمین به افزایش تقاضای برق به میزان ۲۰,۰۰۰ مگاوات در طول ۵۰ سال آینده منجر شود.

ارزیابی روش‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای در ایران

پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور به دلیل فرسودگی صنایع مصرف‌کننده‌ی حامل‌های انرژی بالاست. در بخش انرژی، سیاست‌های اصلی مبتنی بر تولید برق با استفاده از فناوری‌های پاک و پربهره و نیز پالایشگاه‌های دوستدار محیط زیست، بهینه‌سازی فناوری وسایل نقلیه و ناوگان حمل و نقل عمومی و استفاده از لوازم برقی و ساختمان‌های با بهره‌وری بیشتر است. به همین ترتیب، در بخش غیرانرژی راهبردهای کاهش، شامل مدیریت مزارع و ترویج دامداری مدرن، محافظت از جنگل‌ها و سایر منابع طبیعی، کنترل روزافزون و

تصفیه‌ی پساب‌ها، مدیریت مواد زائد و بازیافت آنهاست.

بخش انرژی

افزایش بهره‌وری انرژی

افزایش بهره‌وری انرژی، یکی از اقتصادی‌ترین گزینه‌ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با پتانسیلی در حدود ۳۱ درصد تا سال ۱۴۰۰ است. با استفاده‌ی بهینه از حامل‌های انرژی و افزایش سهم گاز طبیعی در سبد تقاضا، می‌توان نرخ رشد انتشار سالانه‌ی دی‌اکسیدکربن را از ۴/۲ درصد در سال ۱۳۷۸ به ۲/۴ درصد در سال ۱۴۰۰ کاهش داد.

در همین راستا، روش‌های کاهش مبتنی بر بهره‌وری انرژی، شامل افزایش سهم نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در تولید برق، تدوین استانداردهای مناسب مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری، اجباری کردن استفاده از برچسب‌های انرژی برای لوازم برقی خانگی و تقویت فناوری وسایل نقلیه است.

جایگزینی سوخت

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای از نیروگاه‌های حرارتی، با جایگزین کردن سوخت‌های مایع، مانند نفت، گاز و سوخت‌های سنگین با گاز طبیعی از مقدار ۸۹/۴ میلیون تن در سال ۱۳۷۸ به ۸۳ میلیون تن در سال ۱۳۸۴ خواهد رسید که کاهش ۷/۲ درصدی در طول این دوره را در پی خواهد داشت.

بازیابی گازهای همراه، برای تزریق به چاه‌های نفت و گسترش فناوری‌های تبدیل گاز به مایع (GTL)، می‌تواند کمک مؤثری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد.

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک

جمهوری اسلامی، اقدامات مثبتی را برای توسعه‌ی منابع انرژی تجدیدپذیر در پیش گرفته است. انرژی بادی و خورشیدی، زمین‌گرمایی، انرژی امواج و جزر و مد، انرژی هیدروژنی، انرژی هسته‌ای و آبی نمونه‌هایی از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک به‌شمار می‌روندکه پتانسیل مناسبی درکشور در به‌کارگیری این منابع انرژی وجود دارد.تا سال ۱۳۸۴ سهم انرژی‌های آبی،زمین‌گرمایی و هسته‌ای در تولید نیرو به ترتیب به سطح ۷۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۰۰۰ مگاوات خواهد رسید.

بخش غیرانرژی

بخش‌های غیرانرژی، مانند کشاورزی، جنگل، ضایعات جامد و مایع در مقایسه با بخش انرژی، سهم بسیار کوچکی را در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. اصلی‌ترین روش‌های کاهش در این بخش را، افزایش بهره‌وری نشخوارکنندگان، تقویت تکنیک‌های کشت برنج و مدیریت پسماندهای کشاورزی شامل می‌شود. جنگل‌کاری، احیای جنگل، خروج دام از جنگل و استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌جای چوب در مناطق جنگلی نیز از دیگر سیاست‌های مهم این بخش هستند. مدیریت دفن ضایعات جامد و بازیابی متان از محل دفن بهداشتی زباله در بخش ضایعات نیز اقدامات دیگری هستند که در این بخش باید به آنها پرداخته شود.

تأثیر سیاست‌های کاهش مصرف انرژی بر روند انتشار گازهای گلخانه‌ای

سیاست‌های کاهش در بخش انرژی کشور بسیار مؤثرتر از سیاست‌های کاهش در بخش‌های دیگر است. با اجرای سیاست‌های پیشنهاد شده برای زیربخش‌های انرژی می‌توان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را از ۸۲۲,۴۸۹ هزار تن به ۶۱۴,۶۳۹ هزار تن دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۱۰ کاهش داد. اگر دولت برای جمع‌آوری گازهای همراه و تزریق آنها به چاه‌های نفت اقدام نکند و

جمع‌آوری گازهای همراه فقط به‌عنوان یک سیاست کاهش پیشنهاد گـردد، در آن صورت میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۰ در حدود ۶۲۷,۳۳۰ هزار تن معادل CO_2 خواهد بود.

در حال حاضر، سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید برق اندک و هزینـه‌ی برق تولیدی از آنها بسیار بالاست. از این رو، هدف اصلی سیاسـت‌هـای کـاهش، باید بر جایگزینی سوخت‌های سنگین با گاز طبیعی، بـرق آبـی، سـیکل ترکیبـی، تولید همزمان گرما و برق از انرژی هسته‌ای متمرکز شود.

جایگزینی سوخت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان و به‌ویـژه، صنایع تولید آهن و فولاد به منزله‌ی سیاست‌های مؤثر در کاهش انتـشار پیـشنهاد می‌گردند؛ به گونه‌ای که نـرخ بازگـشت سـرمایه در صـنعت سـیمان بـا اجـرای بهره‌وری انرژی و تغییر سوخت به ترتیب ۷۰ درصد و ۵۰٪، و در صـنایع آهـن و فولاد به ترتیب ۱۳۴ درصد و ۱۸۲ درصد است. اقدامات اساسی دیگری نیز برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش حمل و نقل کشور پیـشنهاد شـده‌انـد. این اقدامات، مجموعه‌ای از روش‌های کـاهش را شـامل مـی‌شـوند کـه بـر روی بهینه‌سازی فناوری وسایل نقلیه، افـزایش ناوگـان حمـل و نقـل عمـومی، تولیـد سوخت با کیفیت بالا و توسعه‌ی حمل و نقل ریلی متمرکز شده است.

با اجرای سیاست‌های کاهش در تمـام زیـربخش‌هـای انـرژی و غیرانـرژی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از ۷۹۱,۵۶۰ هزار تن به ۱۵۰,۷۵۲ هزار تن تا سال ۲۰۱۰ کاهش خواهد یافت.

در سال ۲۰۱۰، از بین زیربخش‌های مختلف، سیاست‌های کاهش در بخـش نیروگاهی و حمل و نقل به ترتیب با ۳۲ درصد و ۲۰ درصد بیشترین تـأثیر را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سیاسـت‌هـای کـاهش انتـشار در بخـش‌هـای کشاورزی و جنگل با ۷ درصد و ۶ درصد کاهش، کمترین اثربخـشی را بـه‌دنبـال خواهد داشت.

منابع

۱ ـ اسمیت کیت (۱۳۸۲)، *"مخاطرات محیطی"*، ترجمه‌ی ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی نژاد، تهران، انتشارات سمت.

۲ ـ *"اصول و مبانی استراتژی"* (۱۳۷۶)، تهران، معاونت آموزش دانشگاه امام حسین(ع).

۳ ـ خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۶)، *"بررسی الگوهای ماهانه‌ی خشکسالی و ترسالی در ایران"*، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۴۵، تابستان ۱۳۷۶، مشهد، مؤسسه‌ی چاپ و انتشارات آستان قدس.

۴ ـ دالکی احمد، *"جغرافیای ریاضی"* (جزوه‌ی درسی)، تهران دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده‌ی علوم زمین، ۱۳۶۶.

۵ ـ عزیزی، قاسم، *"تغییرات اقلیمی"* (جزوه‌ی درسی)، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده‌ی جغرافیا، ۱۳۷۹.

۶ ـ عزیزی، قاسم، *"تغییر اقلیم، تهران"*، نشر قومس، ۱۳۸۳.

۷ ـ علیجانی بهلول و کاویانی محمدرضا، *"مبانی آب‌وهواشناسی"*، تهران، انتشارات سمت، ۱۳۷۱.

۸ ـ گزارش دفتر طرح ملی تغییر آب‌وهوا، تهران، سازمان حفاظت محیط زیست، www.climatechange.ir.

۹ ـ نوریان، علی‌محمد، *"تردیدهای علمی در تغییر اقلیم کره‌ی زمین"*، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۴۵، تابستان ۱۳۷۶، مشهد، مؤسسه‌ی چاپ و انتشارات آستان قدس.

۱۰ ـ واحد مرکزی خبر (۳۱ مرداد ۱۳۸۳)، *"هشدار دانشمندان، جهان کمبود آب دارد"*، www.irib.com.

11 - Barry; Rogger G and Chorley, Richard J: (1990); Atmosphere, Weather & Climate; 5th Edition, Routledge: London.

12 - Bowen, Ann and Pallister, John (2001); A2 Geography, Heinemann Educational

Publishers: Oxford and Chicago.

13 - Briggs, David and Smithson, Peter (1995); Fundamentals of Physical Geography, Routledge: London.

14 - Chapman, Simon et al. (1999); Complete Geography, Oxford University Press: New York.

15 - Gribben, John (ed.) (1979); Climatic Change, Cambridge University Press: London and New York.

16 - Gunter Brauch, Hans (2004); Abrupt Climate Change and Conflicts: Security Implications from a European Perspective, Free University Berlin & AFES-Press, www.afes-press.de/html/the hague.html Hamblin, William Kenneth and

17 - Christiansen, Eric H. (2001); Earth's Dynamic Systems, 9th Edition, Prentice Hall: New Jersey.

18 - King, W. Christopher (2000); Understanding International Environmental Security: A Strategic Military Perspective, Army Environmental Policy Institute, www.epa.gov/globalwarming/publications/reference/

19 - Schwartz, Peter and Randall, Doug (2003); An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security, www.ems.org/climate/pentagon climate change.pdf.

20 - Smithson, Peter et al. (2002); Fundamentals of the Physical Environment, 3rd edition, Routledge: London and New York.

21 - Strahler, Alan. H. and Strahler, Arthur (2005); Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment, 3rd Edition, John Wiley & Sons: United States of America.