نوسانات دی‌اکسیدکربن و گرمایش جهانی

عبدالله سیف*

چکیده :

زمین نوسانات اقلیمی متعددی را از ابتدای تشکیل تا به حال به کرّات تجربه نموده که ظهور چنین نوساناتی را نظریه‌پردازان به عوامل بیرونی و درونی (سماوی، خورشیدی، اتمسفری، نوسانات هندسی و مداری زمین، تغییرات دیناموی داخلی زمین و ...)نسبت می‌دهند بسیاری معتقدند که گرمایش فعلی سیاره بیشتر ناشی از تغییر نسبت CO_2 جو است.

در این پژوهش ضمن استمداد از نتایج روشهای رادیومتری، تحلیل مغزه‌های یخی، مدلها و سناریوهای متعدد و ... روند تغییرات CO_2 را در دوره‌های کوتاه و بلند بررسی نموده و ضمن گردش CO_2 بین مؤلفه‌های مختلف سیستم زمین سعی شده‌است آرایش دوره‌های سرد و گرم و نوسانات غلظت این گاز گلخانه‌ای تبیین گردد و نقش انسان در ارتباط با تغییر بیلان CO_2 و گرمایش

* - عضو هیأت علمی گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان

جهانی تحلیل شده‌است نتایج بررسیهای اقلیمی نشان می‌دهد که بین شاخصهای توسعه اقتصادی، درآمد سرانه، توسعه انسانی و جمعیت با تولید گازهای گلخانه‌ای رابطه نزدیکی وجود دارد و لذا می‌توان برای کنترل تولید گاز گلخانه‌ای CO2 استراتژیهای توسعه و محورهای آن را در کشورها کنترل نمود.

در این پژوهش ضمن بررسی سیستمهایی که درگیر تبادل عنصر گلخانه‌ای CO2 هستند نقش هر یک را در مکانسیم تبادل باز شناخته و میزان حساسیت آن مشخص شده‌است این بررسی نشان می‌دهد که مهمترین سیستمهای تبادل کننده CO2 عبارت از جو، آبها، اقیانوسها، بیوسفر، خاک سپهر، فعالیتهای انسانی و ... می‌باشند. که در این میان افزایش نقش فعالیتهای انسانی روندی تصاعدی داشته، بنحوی که تغییرات عمده CO2 در جو زمین در دوره‌های اخیر به فعالیتهای وی نسبت داده‌شده‌است به عبارت دیگر می‌توان نوسانات اقلیمی ناشی از CO2 که در ادوار گذشته به عهده پاره‌ای از سیستمهای طبیعی بوده را به دخالتها و فعالیت‌های بشری در عهد حاضر نسبت داد.

هدف از مطالعه و بررسی تحقیقات CO2 تحلیل رابطه غلظت آن با علل افزایش یا نوسان CO2 در ارتباط با گرمایش زمین است.

واژه‌های کلیدی

• انسانی Anthropogenic • وزن مواد خشک biomass • زیست سپهر biospher
• یخ سپهر Cryospher • مغزه Core • پسخوراند یا بازخورد Feed back
• بدیهی طبیعی Natural debt • زمین یا خاک دایم یخ زده Permafrost
• به هم خوردن تعادل اقلیمی زیستی Rhexistasies • پیشگویی Senario

مقدمه

کربن به اشکال مختلف به عنوان یکی از عناصر اصلی حیات قلمداد می‌شود که به ضمانت قوانین فیزیکی، ترمودینامیکی و جریان یک‌طرفه انرژی در زیرسیستمهای زمین به صور مختلف به چرخه و مبادله کشانیده می‌شود. غلظت و تراکم دی‌اکسیدکربن و نحوه ذخیره آن دایماً تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که ابعاد

زمانی و مقیاس مکانی آن را نمی‌توان به دیده اغماض انگاشت.

نحوه مبادله و ذخیره CO_2 در رابطه مستقیم با دمای جو، اقیانوس، خاک سپهر، فعالیتهای زیست سپهر و بعضاً فعالیتهای صنعتی می‌باشد. بنابراین رفتار تعاملی سیستمهای درگیر با محیط، غلظت و ذخیره این گاز را در طی ازمنه گذشته زمین‌شناسی تا به حال دستخوش تغییر و نوسان قرار داده‌اند. اسکیدلوسکی[1] (۱۹۹۰) چرخه کربن را از ۳/۸ میلیارد سال قبل تا به حال بررسی نموده‌است دوره‌های بحرانی و آرامش بر کیهان، اتمسفر و زمین دایماً بیلان CO_2 را دستخوش تغییر قرار داده‌اند به‌طوری‌که به کرار عنصر CO_2 در سنگهای کربناتی، توربزارها، بستر اقیانوسها، دریاچه‌ها، خاک سپهر، بیوسفر و یا مخازن هیدروکربورها و اتمسفر به نسبتهای متفاوت ذخیره و یا مبادله می‌گردیده‌است.

آنچه را که دانشمندان اقلیم‌شناس دیرینه مد نظر دارند، مکانیسم‌های تنظیم‌گر زیرسیستمهای زمین (پسخوراندهای مثبت و منفی) است که سرعت مبادلات و تعادل نسبی CO_2 را در زیرسیستمها تضمین می‌کنند لیکن شواهد و قراین با استناد بر تکنیکهای مدرن ردیابی پالئو اقلیم حاکی از رابطه مستقیم و خطی غلظت این عنصر به صورت گاز در اتمسفر در رابطه با نوسانات دما می‌باشد.

به عبارتی کاهش غلظت اتمسفری این گاز دمای میانگین زمین را پایین آورده و یک دوره سرد بر سیاره خاکی حاکم می‌سازد و برعکس با افزایش غلظت CO_2 در جو میانگین دمای زمین بالا رفته و دوره گرم حاکم شده‌است. (یعنی خاصیت گلخانه‌ای اتمسفر دستخوش نوسان بوده‌است).

گرچه روند تحولات و چرخه‌های CO_2 بین مؤلفه‌ها از گذشته‌های دور وجود داشته اما با ورود انسان به صحنه طبیعت و روند رو به رشد صنعت نوسانات غلظت این گاز تحت مدار آنتروپوژنیکی قرار گرفته و ضمن بالا بردن میانگین دمای زمین پیامدهای ناگوار بعدی در اقصی نقاط سیاره به اشکال و صور مختلف بروز نموده‌است.

1- Schidlowski 1988, 1990

در زمینه تحلیل هواهای محبوس در مغزه‌های یخی (قطب جنوب و شمال و گرینلند) دررابطه با نوسانات CO_2 توسط دلماس[1] و پلاس[2] (۱۹۸۱)، پیزیاس[3] و شالکتون[4] (۱۹۸۴) و فایور[5] (۱۹۹۰) و نیز تغییرات و چرخه کربن در مقیاس سیاره‌ای و ادوار تاریخی گذشته زمین توسط ترابلکا[6] (۱۹۸۶) و اسکیدلوسکی[7] (۱۹۹۰) پژوهشهای ارزشمندی انجام گرفته‌است.

روش تحقیق

روش کار در این پژوهش بیشتر روش اسنادیست بدین نحو که با بازشناسی و تشریح مکانیسم‌های درگیر با گازهای گلخانه‌ای که توسط برخی محققان صورت گرفته سعی شده‌است تحلیلی از واکنش سیستمها و رابطه آنها با نوسانات حرارتی زمین انجام، و روابط ماتریسی بین آنها تبیین گردد.

دی‌اکسیدکربن یک گاز گلخانه‌ای

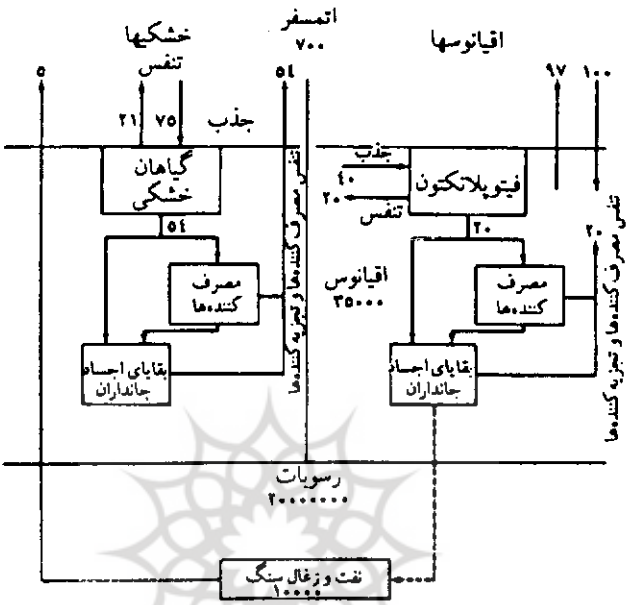
کربن یکی از عناصر اصلی حیات* می‌باشد که به صورگوناگون (دی‌اکسیدکربن، منواکسیدکربن، کربناتها، متان، ترکیبات آلی و ...) بین مخازن و سیستمهای کلانی از قبیل هیدروسفر، اتمسفر، بیوسفر، پدوسفر، لیتوسفر، کرایوسفر و پرمافروست به اشکال و با سرعتهای مبادلاتی مختلف به چرخه (چرخه‌های گازی، مایع، شیمیایی، بیوژئوشیمیایی) درمی‌آید.

میزان و غلظت این گاز به یک نسبت در بین کلیه زیرسیستمهای زمین ذخیره و

1- Delmas
2- Plass
3- Pisias
4- Shackelton
5- Faure
6- Trabalka
7- Schidlowski

* - شیمیدانها معتقدند که حیات در ۶ عنصر کلان (کربن، هیدروژن، ازت، نیتروژن، فسفر، گوگرد) خلاصه می‌شود که ۹۵٪ وزن بدن موجودات زنده از این ۶ عنصر تشکیل شده‌است.

توزیع نگردیده‌است. (شکل شماره ۱)



شکل ۱ : ذخیره‌های مختلف کربن در محیط و روابط کمّی بین آنها (کولیر و دیگران، ۱۹۷۳ ؛ ازبولین، ۱۹۷۰ و السون، ۱۹۶۹). واحد ارقام مربوط به ذخیره‌ها و میزان جریان بین ذخیره‌ها برحسب میلیارد تن است.

این در حالی است که غلظت CO2 در اتمسفر تنها ۰/۰۳ درصد است و وزن کربن موجود در اتمسفر بالغ بر ۷۰۰ میلیارد تن است (نیشابوری ۱۳۷۴) و برعکس در اقیانوسها و سیستم خاک و نیز اکوسیستمهای گیاهی زمین این نسبت بسیار بیشتر می‌باشد (میزان کربن موجود در اقیانوسها در حدود ۵۰ برابر ذخیره کربن در اتمسفر است) بزرگترین تبادلات دی‌اکسیدکربن بین اتمسفر، اقیانوس، اکوسیستمهای گیاهی با مکانیسم‌های پسخوراند صورت می‌گیرد. طبق مطالعات و بررسیهای به عمل آمده سالانه ۱۰۰ میلیارد تن کربن بین اتمسفر و آب اقیانوسها مبادله

می‌شود (نیشابوری ۱۳۷۴).

اهمیت هیدروسفر به عنوان یک مخزن دی‌اکسید کربن باید مورد توجه قرار گیرد. این اهمیت به توسط بروکر و همکاران (۱۹۷۹) مورد بحث قرار گرفته‌است.

تأثیرات CO2 بر اقلیم وابسته به سرعت مبادله، ذخیره این گاز بین مؤلفه‌های سیستم زمین، دورهٔ حیات اتمسفری*، زمان پاسخ** اتمسفر، زمان تعادل***، میزان غلظت، باندهای جذبی و ... بوده و دارای روند تغییرات زمانی - مکانی در مقیاس شبانه‌روز، فصل، سال و بلندمدت در اقصی نقاط زمین می‌باشد.

نزدیک به ۲۰ گاز اتمسفر دارای خاصیت گلخانه‌ای**** می‌باشند گاز CO2 درکنار سایر گازهای گلخانه‌ای نه تنها از فراوانی نسبتاً بالایی برخوردار بوده بلکه دارای خاصیت گلخانه‌ای می‌باشد. به عبارت دیگر در مقابل ورودی انرژی کوتاه موج خورشید شفاف و غیرحساس و در مقابل جریان تابش موج بلند زمین تاب (مادون قرمز) حساس و آنها را جذب نموده و دمای لایه‌های پایینی اتمسفر و کلاً میانگین دمای زمین را تغییر می‌دهد بنابراین با باندهای جذبی متفاوت، حدود ۵۰ درصد اثر گلخانه‌ای متعلق به گاز CO2 می‌باشد و در طی ادوار گرم خاصیت گلخانه‌ای آن از فرکانس بالایی برخوردار بوده‌است.

---

*- دوره حیات اتمسفری: مدت زمانی که یک گاز گلخانه‌ای پس از انتشار در اتمسفر باقی می‌ماند این دوره برای گاز دی‌اکسیدکربن بین ۵۰ تا ۲۰۰ سال می‌باشد. دوره حیات گازهای گلخانه‌ای متفاوت (کوتاه، متوسط، بلندمدت) می‌باشد.

**- زمان پاسخ: مدت زمان پاسخ اتمسفر به نوسانات عناصر مختلف است که معمولاً در پاسخ به کم و زیاد شدن غلظت گازها دارای تأخیر زمانی می‌باشد و آن را از نظر درجه حرارت می‌سنجند.

***- زمان تعادل: مدت زمانی راکه سیستمهای آب و هوایی لازم دارند تا در مقابل بروز یک اختلال یا تشنج به تعادل مجدد دست یابند زمان تعادل گویند که آن را برحسب حرارت می‌سنجند.

****- گازهایی که دارای اثر گلخانه‌ای می‌باشند عبارتند از: دی‌اکسیدکربن (CO2)، متان (CH4)، بخار آب (H2O)، نیتروواکسید (N2O)، ازن (O3)، کلروفلئورکربن (CFCS) و ...

حیات اتمسفری CO_2 حدود ۵۰ تا ۲۰۰ سال است لیکن دارای زمان پاسخ نسبتاً طولانی می‌باشد.

لازم به توضیح است که گاز CO_2 مستلزم پسخوراندهای* متعددی از قبیل گازی، زیستی، آب و هوایی، آنتروپوژنیکی به شکل پسخوراند مثبت می‌باشد (سیف ۱۳۷۵).

روند طبیعی و بلندمدت نوسانات CO_2 و دورانهای سرد و گرم

همان‌طور که گفته‌شد زیرسیستمهای زمین عناصر و عوامل گوناگون از جمله CO_2 را به اشکال مختلف در معابری پرپیچ و خم در مقیاسهای زمانی مختلف به مبادله می‌کشانند که درکشاکش چنین مبادلاتی نوسانات و تحولات اقلیمی و زیست محیطی در اقصی نقاط سیاره خاکی ترسیم می‌گردد.

گردش یکطرفه انرژی و چرخه‌ای مواد تحت حاکمیت قوانین و معادلات فیزیکی و دینامیکی، سلسله سطوح زیرسیستمهای زمین را با رفتار تعاملی در اشکال پسخوراندهای متنوعی ، به یکدیگر متصل می‌کنند (سیف ۱۳۷۵).

اگرچه نوسانات اقلیمی به علل مختلفی نسبت داده‌می‌شود ولی پاره‌ای از اقلیم‌شناسان این نوسانات را معلول تغییر غلظت CO_2 جو می‌دانند.

درواقع مبادله کربن و اشکالش در طول ازمنه گذشته زمین بین زیرسیستمهای مختلف وجود داشته لیکن سرعت این تبادلات درکنترل دوره‌های آرامش یا بحرانی زمین و بعضاً سایر علل تغییرات اقلیمی بوده‌است و هرگاه نسبت موجودی این گاز در اتمسفر بالا می‌رفته گرمایش سیاره‌ای را به دنبال داشته، به عبارت دیگر طی ادوار سرد

---

*- *مفهوم پسخوراند: هرگاه خروجی یک سیستم در اقصی نقاط سیستم، مجدداً به خدمت ورودی سیستم درآید، به نحوی که خروجی بعدی را تشدید نماید یا به عبارتی روند سیستم را تغییر دهد چنین مکانیسمی را پسخوراند می‌نامند به عبارت دیگر تحت نظارت این مکانیسم عناصر و عوامل آب و هوایی با تأثیر معکوس بر یکدیگر روند مبادلاتی را طی می‌کنند.این مکانیسم به صور گوناگون به عنوان کنترل کنندگان درونی سیستمهای آب و هوایی به شکل مثبت یا برهم زننده و منفی یا پایدارنده، کنترل خروجی و ورودی زیرسیستمهای زمین را برعهده می‌گیرد.*

وگرم نسبت ذخیره و جذب اتمسفر، اقیانوسها، اکوسیستمهای گیاهی، خاک سپهر و ... دچار دگرگونی می‌شده‌است.

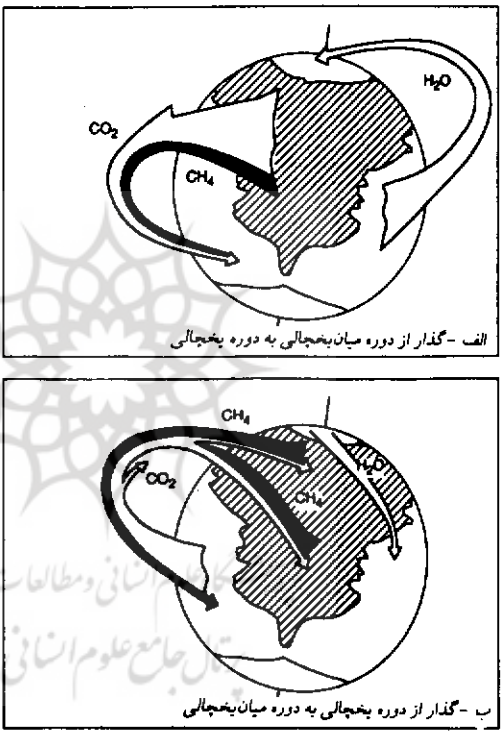
پلاس معتقد است که به دنبال تغییر میزان غلظت CO2 در جو دمای اتمسفر پایینی تحت تأثیر قرار گرفته و ناپایدار می‌شود پس از سپری شدن دورهٔ ناپایداری و تعادل محیط در شرایط جدید درجه حرارت کاهش یافته و پیشروی یخ در قاره‌ها پهنه‌های وسیعی را اشغال نموده‌است. همزمان با این تغییر سطح استاتیکی اقیانوسها پایین رفته و موازنه پذیرش CO2 اقیانوسی نیز نامتعادل می‌گردد و افزایش مجدد CO2 گرمایش اتمسفر را به دنبال خواهد داشت و سبب ذوب شدن یخها و بازگشت اقیانوسها به سطح اولیه می‌شود.

در حال حاضر موثق‌ترین اطلاعات در رابطه با غلظت CO2 گذشته با تجزیه و تحلیل حبابهای هوای محبوس در مغزه‌های یخی در قاره قطب جنوب و سایر نقاط دنیا میسور است و با آنالیز این مغزه‌ها نه تنها میزان ترکیبات اتمسفری بلکه روند تغییرات غلظت آنها در طی ادوار گذشته ترسیم گردیده‌است دلماس (۱۹۸۱). این مطالعات نشان می‌دهند که در قطب جنوب در ۲۰ هزار سال گذشته که مقارن با دوره پیشروی یخ است، سطح دی‌اکسیدکربن ۵۰ درصد سطح فعلی بوده‌است بنابراین تحقیقات دلماس و پلاس بیان کننده آن است که تغییرات اقلیم همسو با تغییرات CO2 بوده و دوره‌های سرد مقارن با کاهش و دوره‌های گرم مقارن با افزایش غلظت CO2 جو بوده‌است.

این در حالی که فایور (۱۹۹۳) این مسأله را به شکل دیگری بیان می‌کند. وی با تحلیل مغزه‌های یخی گرینلند و قطب شمال (نمونه‌هایی که منطبق بر حداکثر گسترش دوره‌های یخچالی گذشته) نشان می‌دهد که غلظت CO2 ۱۸۰ الی ۲۰۰ پی. پی. ام* یعنی حدود ۳۰٪ کمتر از مقدار قبل از انقلاب صنعتی (قبل قرن ۱۸) بوده‌است. شکل

*- P.P.M Per Part Milion قسمت در میلیون، میلی‌گرم در لیتر

شماره ۲ را فایور چنین تفسیر می‌نماید با وارد شدن در یک رژیم یخچالی (شکل الف) حجم عظیمی از آب اقیانوسها به توسط سیستمهای اتمسفری در کلاهکهای یخی ذخیره می‌شود در این هنگام اقیانوس در حال سرد شدن کربن بیشتری ذخیره می‌کند.



شکل شماره ۲: عکس‌العمل زیرسیستمهای زمین نسبت به مبادله CO2

همزمان در همین دوره یخساری میزان CO_2 اتمسفر پایین می‌باشد و به دلیل حاکمیت شرایط رگزیستازی میزان ذخیره کربن زمین نیز به علت انهدام فرماسیونهای گیاهی و فرسایش خاک کاهش می‌یابد.

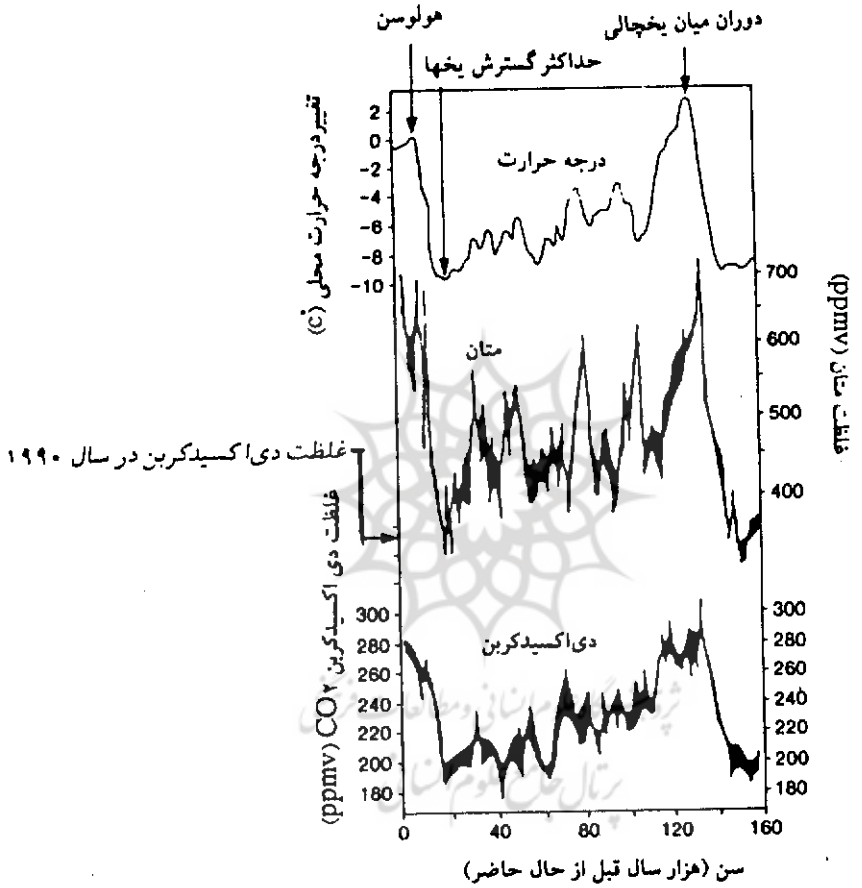
با ورود به یک رژیم میان یخچالی، (شکل ب) زمین با گرم شدن و ذوب کلاهکهای یخی مواجه می‌گردد که در این صورت آب ذوب شده به اقیانوسها برمی‌گردد و به تدریج آب اقیانوسها گرم شده و سبب آزاد شدن CO_2 می‌گردد که این CO_2 آزاد شده به توسط اکوسیستمهای گیاهی و خاک ذخیره شده و در ضمن اتمسفر بین یخچالی نیز مقدار بیشتری CO_2 انباشته می‌کند.

جدول شماره ۱ مقایسه‌ای بین بیوماس و میزان کربن اکوسیستمهای زمین در زمان فعلی (۱۹۷۵) و حداکثر دوره یخچالی را نشان می‌دهد این جدول براساس کارهای (فایور ۱۹۹۰) تهیه گردیده و میزان بیوماس و کربن و مساحت اکوسیستمهای گیاهی در این دو دوره با یکدیگر مقایسه گردیده‌است.لازم به یادآوری است که پارامترهای فوق‌الذکر بر مبنای پیشگویها و با استناد بر مدلها و سناریوهای دوره‌های یخچالی تنظیم گردیده‌است در این جدول میزان یا مجموع کل کربن در یک دوره یخچالی (گرم ۲۹۲×۱۰^{۱۵}) و در زمان فعلی (گرم $۵۶۰/۵\times۱۰^{۱۵}$) تخمین و محاسبه شده‌است که این خود نقش اکوسیستمهای گیاهی در تنظیم کربن در دو دوره سرد و گرم را بر ملا می‌سازد.

نوع اکوسیستم	دورهٔ یخچالی			موقعیت فعلی (۱۹۷۵)		
	مساحت(میلیون کیلومترمربع)	بیوماس (موادخشک) (گرم $\times 10^{15}$)	کربن گرم $\times 10^{15}$	مساحت(میلیون کیلومترمربع)	بیوماس (موادخشک) (گرم $\times 10^{15}$)	کربن گرم $\times 10^{15}$
جنگلهای بارانی استوایی	۲	۸۴	۳۷/۸	۱۰	۴۲۰	۱۸۹
جنگلهای فصلی استوایی	۱	۲۵	۱۱/۲۵	۴/۵	۱۱۲/۵	۵۰/۶
جنگلهای همیشه سبزمعتدله	۱	۳۰	۱۳/۵	۳	۹۰	۴۰/۵
جنگلهای برگ‌ریزان معتدله	۱	۲۸	۱۲/۶	۳	۸۴	۳۷/۸
جنگلهای بورال	۲	۴۸	۲۱/۶	۹	۲۱۶	۹۷/۲
سایر جنگلها	۱	۲۰	۹	۱/۵	۳۰	۱۳/۵
مجموع جنگلها	۸	۲۳۵	۱۰۵/۷۵	۳۱	۹۵۲/۵	۴۲۸/۶
بوته‌زارها	۴	۴۷/۶	۲۱/۴۲	۴/۵	۵۳/۵۵	۲۴/۰۹
ساوان	۳۶	۲۳۴	۱۰۵/۳	۲۲/۵	۱۴۶/۲۵	۶۵/۸
مراتع	۱۹	۳۰/۴	۱۳/۶۸	۱۲/۵	۲۰	۹
توندرا	۱۲	۱۶/۸	۷/۵۶	۹/۵	۱۳/۳	۶
نواحی بیابان و نیمه‌بیابانی	۳۵	۲۸	۱۲/۶	۲۱	۱۶/۸	۷/۵۶
نواحی فوق‌العاده بیابانی	۴۲	۱/۲۶	۰/۵۶۷	۲۴/۵	۰/۷۳۵	۰/۳
زمینهای کشاورزی	–	–	–	۱۶	۶/۴	۲/۸۸
باتلاقها و مردابها	۴	۵۲	۲۳/۴	۲	۲۶	۱۱/۷
دریاچه‌ها و رودخانه‌ها	۴	۰/۰۸	۰/۰۳۶	۲	۰/۰۴	۰/۰۱۸
سکونتگاههای انسانی	–	–	–	۲	۳/۲	۱/۴
سایر	۱	۴	۱/۸	۱/۸	۷/۲	۳/۲۴
مجموع فاقد جنگل	۱۵۷	۴۱۴	۱۸۶	۱۱۸/۳	۲۹۳/۵	۱۳۲
مجموع زمین	۱۶۵	۶۴۹	۲۹۲	۱۴۹/۳	۱۲۴۵/۹	۵۶۰/۶

جدول شماره ۱ :میزان بیوماس(ماده خشک)وکربن سیاره زمین را در طی یک دوره یخچالی و زمان کنونی(۱۹۷۵)در انواع اکوسیستم‌های گیاهی نشان می‌دهند(فایور ۱۹۹۰)

در نمودار شماره (۱) روند تغییرات دو عنصر گلخانه‌ای با دمای زمین مقایسه شده‌است. چنانچه مشاهده می‌شود این تغییرات دارای همسویی یکسانی است.



نمودار شماره (۱): تحلیل هوای محبوس شده در مغزه یخی قاره قطب جنوب را نشان می‌دهد. غلظت‌های متان و دی‌اکسیدکربن ارتباط نزدیکی با حرارت‌های محلی در طول ۱۶۰۰۰۰ سال گذشته تا به حال داشته‌اند. در ضمن غلظت دی‌اکسیدکربن در سال ۱۹۹۰ اشاره شده‌است. درجه حرارتها به توسط اندازه‌گیری قسمت دیتریوم در یخ ترسیم گردیده‌اند. (جی.تی. هانگتون - جی . جی. جنگینس - جی.جی. افرامس ۱۹۹۰)

این در حالی است که جدول شماره ۲ مقایسه روند تغییرات غلظت CO2 از ۱۶۰ سال گذشته را تا سال ۲۱۰۰ (م) با استناد بر تحلیل مغزه‌های یخی، سناریوها و مدلها و سنجشهای مستقیم غلظت CO2 نشان می‌دهد (سیف ۱۳۷۵).

سال	۱۶۰(هزارسال پیش)	۱۸۵۰م	۱۹۹۵م	۲۰۵۰م	۲۱۰۰م
غلظت CO2 به واحد PPM	۱۹۰	۲۸۰	۳۵۳	۴۸۰	۶۰۰
میزان نوسان غلظت ppm		۹۰	۷۳	۲۴۷	۳۲۰

جدول شماره ۲: مقایسه تغییرات روند غلظت CO2 را از ۱۶۰ هزار سال گذشته تا سال ۲۱۰۰ میلادی نشان می‌دهد. (سیف ۱۳۷۵)

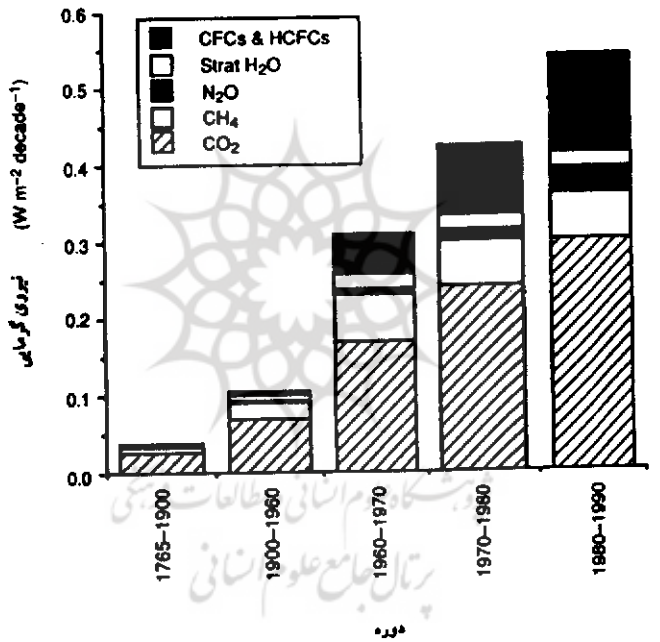
ملاحظه می‌شود که از ۱۶۰ هزار سال گذشته تا سال ۱۸۵۰ (م) میزان نوسانات غلظت CO2، ۹۰ پی. پی. ام بوده در حالی که از ۱۸۵۰ (م) تا ۱۹۹۵، حدود ۷۳ پی . پی . ام به غلظت آن اضافه گردیده که این خود ناشی از انقلاب صنعتی و صادرات آنتروپوزنیکی سوختهای فسیلی به جو می‌باشد و این روند افزایشی با استناد به سناریوها و مدلهای اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ به حدود ۶۰۰ پی .پی. ام خواهد رسید (یعنی از سال ۱۸۵۰ تا ۲۱۰۰ (م) انسان ۳۲۰ پی پی ام غلظت CO2 اتمسفر را افزایش خواهد داد.

در نتیجه با چنین رویداد عظیمی پتانسیل و ذخایر CO2 در اقیانوسها ، دریاها باتلاقها، پرمافروست، خاک و اکوسیستمهای گیاهی تحریک شده و مجدداً روند نوسانات به توسط کنترل کنندگان درونی سیستم‌ها تنظیم می‌گردد لیکن در راستای این تعادل مجدد بشر تاوان گرانبهایی را از نظر اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، سکونتگاهی و ... خواهد پرداخت.

روند نوسانات آنتروپوژنیکی CO_2

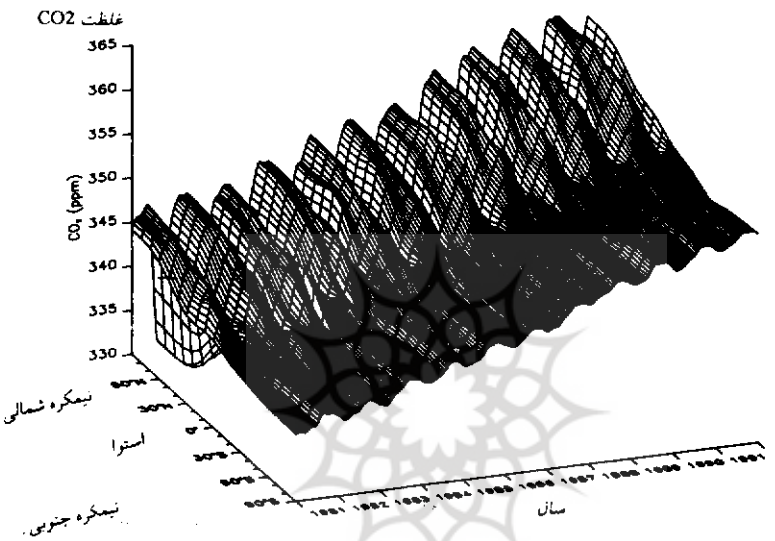
در مباحث قبلی تغییرات غلظت CO_2 را از ۱۶۰ هزار سال گذشته تا ۱۸۵۰ (م)با استناد بر تحلیل مغزه‌های یخی و ... بررسی کردیم لیکن انسانها با ورود به انقلاب صنعتی به شدت روند تغییرات این عنصر را برهم زده‌اند.

جدول شماره ۲ این تحول را از ۱۸۵۰ به بعد نشان داد. البته هم روند با افزایش غلظت CO_2 تراکم سایر گازهای گلخانه‌ای نیز دستخوش تغییر گردیده و روندی افزایشی را نشان می‌دهند. (نمودار شماره ۲)



نمودار شماره ۲. مشارکت نسبی گازهای گلخانه‌ای را در طی چند دوره زمانی (۱۷۶۵-۱۹۹۰ م) به تصویر می‌کشاند. ملاحظه فرمایید که تا سال ۱۹۶۰ غلبه واقعی با دی‌اکسیدکربن بوده‌است، لیکن بتدریج که به سال ۱۹۹۰ می‌رسیم سایر گازهای گلخانه‌ای نیز اولاً دارای روند افزایشی بوده‌اند، ثانیاً نیروی گرمایی آنها نیز با نیروی CO_2 برابری می‌کنند. این نمودار نتایج حاصله از مدلهای کامپیوتری (از قبیل GCM، EBM و RC و ...) است. ارزیابی علمی تغییرات اقلیمی: (IPCC انتشارات دانشگاه کمبریج، ۱۹۹۰)

از زمان شروع سنجشهای مستقیم سیاره‌ای CO2 توسط یک شبکه جهانی بیش از یک دهه می‌گذرد که با استناد بر آن نمودار شماره ۳ ترسیم گردیده‌است.



نمودار شماره ۳: سریهای زمانی غلظت دی‌اکسید کربن برحسب ppm را براساس عرض جغرافیایی از سال ۱۹۸۱ الی ۱۹۹۱ نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که روند یکنواخت افزایش زیاد CO2 در دهه اخیر در دو نیمکره متقارن می‌باشد. حال اگر این نمودار با جدول شماره ۳ مقایسه شود ملاحظه خواهد شد که نیمکره شمالی در تولید CO2 از سهم بیشتری برخوردار است که این عدم توازن تولید و صادرات CO2 در دو نیمکره ناشی از استقرار جمعیت بیشتر، تراکم جوامع صنعتی، تفاوتهای ساختاری، اجتماعی، بیوفیزیکی و ... می‌باشد.

واحد	مجموع انتشار CO2 (میلیون تن)	کل جمعیت (میلیاردنفر)	متوسط انتشار سرانه (تن)
سیاره‌ای	۲۱۸۶۳	۵/۱۹۳	۴/۲۱
نیمکره شمالی	۱۶۶۲۳	۴/۴۰۴	۳/۷۷
نیمکره جنوبی	۱۲۰۹	۰/۶۴۰	۱/۸۹

جدول شماره ۳. توزیع سیاره‌ای - نیمکره‌ای انتشار CO2 در رابطه با جمعیت و متوسط انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهد.

در اینجا رابطه بین یک دسته از شاخصها از قبیل شاخص توسعه انسانی، جمعیت، قدرت خرید و انتشار مجاز و غیرمجاز CO2 کشورها را با استناد بر آمار تحلیل نموده‌ایم. (جدول شماره ۴)

لازم به توضیح است که یک رابطه مثبت بین توسعه اقتصادی و نشر گازهای گلخانه‌ای وجود دارد. مسلماً کشورهای توسعه یافته کنونی و در حال توسعه آتی سهم بیشتری را در رابطه با صادرات CO2 به اتمسفر بر عهده دارند. و بدهی طبیعی* کشورهای توسعه یافته بسیار بالاتر می‌باشد. بدهی طبیعی با قرض‌گیری از ظرفیت جذب جو آینده به‌وجود می‌آید و مسلماً هرچه میزان آن زیادتر شود مشکلات بیشتری حادث خواهد شد.

در مقابل بدهی طبیعی شاخص دیگری در ارتباط با نشر گازهای گلخانه‌ای تحت عنوان انتشار معمولی** یا مجاز وجود دارد.

---

*- بدهی طبیعی مقدار گازهای گلخانه‌ای که در اتمسفر در طول یک سال باقی می‌ماند و ناشی از انتشار یک ملت باشد را می‌گویند (Smith . 1991)

**- میزان نرمال صادرات CO2 به اتمسفر را در طول یک سال، انتشار معمولی می‌گویند

جدول ۴. بدهی‌های طبیعی و انتشارات معمولی (سرانه CO_2 به تن برای هر نفر)، شاخص توسعه انسانی جمعیت و عرض جغرافیایی ۸۰ کشور بر جمعیت دنیا را نشان می‌دهد. درضمن عرض جغرافیایی به کار رفته نشان دهنده عرض جغرافیایی مرکز هر کشور می‌باشد و عرضهای جغرافیایی جنوبی به‌صورت منفی نشان داده شده‌است.

کشور	بدهیهای طبیعی (۱۹۹۱-۱۹۵۰) سرانه‌نفربه‌تن	جمعیت/CO_2 ۱۹۹۱ سرانه‌نفربه‌تن	شاخص توسعه انسانی ۱۹۹۲	قدرت‌خرید ۱۹۹۱ سرانه‌نفربه‌دلار	جمعیت ۱۹۹۱ (میلیون‌نفر)	عرض جغرافیایی
ایالات متحده آمریکا	۱۱۹/۲	۵/۳	۰/۹۳	۲۲۱۳۰	۲۵۲/۷	۳۸
چکسلواکی	۹۱/۴	۳/۴	۰/۸۷	۶۵۷۰	۱۵/۶	۴۹
کانادا	۹۰/۹	۴/۲	۰/۹۳	۱۹۳۲۰	۲۷	۵۶
آلمان	۸۶/۷	۳/۳	۰/۹۲	۱۹۷۷۰	۸۰/۳	۵۰
بلژیک	۸۲	۲/۸	۰/۹۲	۱۷۵۱۰	۹/۸	۵۰
قزاقستان	۷۷/۵	۳/۹	۰/۷۷	۴۴۹۰	۱۷	۴۷
روسیه سفید	۷۷/۵	۳/۹	۰/۸۵	۶۸۵۰	۱۰	۵۲
اوکراین	۷۷/۵	۳/۹	۰/۸۲	۵۱۸۰	۵۲	۴۹
روسیه	۷۷/۵	۳/۹	۸۶	۶۹۳۰	۱۴۹	۵۸
ازبکستان	۷۷/۵	۳/۹	۰/۶۶	۲۷۹۰	۲۱	۵۰
انگلستان	۷۷/۵	۲/۷	۰/۹۲	۱۶۳۴۰	۵۷/۴	۵۴
استرالیا	۷۰	۴/۱	۰/۹۳	۱۶۶۸۰	۱۷/۳	-۲۳
لهستان	۶۳/۳	۲/۲	۰/۸۲	۴۵۰۰	۳۸/۲	۵۰
بلغارستان	۵۸/۴	۱/۷	۰/۸۲	۴۸۰۰	۹	۴۱
هلند	۵۵/۸	۲/۵	۰/۹۲	۱۶۸۲۰	۱۵/۱	۵۲
سوئد	۵۴/۱	۱/۷	۰/۹۳	۱۷۴۹۰	۸/۶	۵۹
فرانسه	۴۸/۹	۱/۸	۰/۹۳	۱۸۴۳۰	۵۷	۴۵
مجارستان	۴۷/۳	۱/۷	۰/۸۶	۶۰۸۰	۱۰/۳	۴۷
رومانی	۴۲/۷	۱/۶	۰/۷۳	۳۵۰۰	۲۳/۲	۴۵
عربستان سعودی	۴۲/۳	۴	۰/۷۴	۱۰۸۵۰	۱۴/۷	۲۳
ژاپن	۴۰/۸	۲/۴	۰/۹۳	۱۹۳۹۰	۱۲۳/۹	۳۶
افریقای جنوبی	۳۷/۶	۲/۱	۰/۶۵	۳۸۹۰	۳۶/۱	-۲۹
ایتالیا	۳۵/۲	۱/۹	۰/۸۹	۱۷۰/۴۰	۵۷/۱	۴۱
کره شمالی	۳۱/۶	۳	۰/۶۱	۱۷۵۰	۲۲/۲	۴۰
یونان	۲۶/۸	۰/۲	۰/۸۷	۷۶۸۰	۱۰/۱	۳۸
ونزوئلا	۲۵/۷	۱/۶	۰/۸۲	۸۱۲۰	۲۰/۲	۷
اسپانیا	۲۵/۵	۱/۵	۸۹	۱۲۶۷۰	۳۹	۴۰
یوگسلاوی	۲۴	۱	۰/۵۰	۳۰۰۰	۲۳/۹	۴۳
آرژانتین	۱۸/۹	۱	۰/۸۵	۵۱۲۰	۳۲/۷	-۳۴

کوبا	۱۶	۰/۹	۰/۶۷	۲۰۰۰	۱۰/۷	۱۲
کره جنوبی	۱۵/۹	۱/۷	۰/۸۶	۸۳۲۰	۴۳/۳	۳۵
مکزیک	۱۴/۶	۱/۱	۰/۸۰	۷۱/۷۰	۸۷/۸	۲۲
پرتغال	۱۴/۳	۱/۱	۰/۸۴	۹۴۵۰	۱۰/۶	۳۹
ایران	**۱۳/۶**	**۱/۱**	**۰/۶۷**	**۴۶۷۰**	**۵۵/۸**	**۳۱**
شیلی	۱۲/۱	۰/۶۶	۰/۸۵	۷۰۶۰	۱۳/۴	-۲۹
عراق	۱۱/۱	۰/۵۹	۰/۶۱	۳۵۰۰	۱۹/۶	۳۲
مالزی	۹/۱	۰/۹۱	۰/۷۹	۷۴۰۰	۱۸/۳	۴
الجزایر	۸/۶	۰/۵۹	۰/۵۵	۲۸۷۰	۲۵/۷	۲۷
ترکیه	۸	۰/۶۴	۰/۷۴	۴۸۴۰	۶۰/۸	۳۸
سوریه	۷/۹	۰/۶۳	۰/۷۳	۵۲۲۰	۱۳	۳۴
چین	۷/۵	۰/۶۰	۰/۶۴	۲۹۵۰	۱۱۵۶	۳۴
کلمبیا	۷/۴	۰/۴۷	۰/۸۱	۵۴۶۰	۳۳/۶	۴
زیمبابوه	۷/۳	۰/۴۶	۰/۴۷	۲۱۶۰	۱۰	-۲۰
اکوادور	۵/۹	۰/۴۵	۰/۷۲	۴۱۴۰	۱۰/۹	-۲
برزیل	۵/۹	۰/۳۸	۰/۷۶	۵۲۴۰	۱۵۳/۳	-۹
تونس	۵/۹	۰/۴۸	۰/۶۹	۶۴۹۰	۸/۴	۳۲
پرو	۵/۶	۰/۲۴	۰/۶۴	۳۱۱۰	۲۲	-۹
مصر	۵/۳	۰/۴۱	۰/۵۵	۳۶۰۰	۵۴/۶	۲۷
تایلند	۴	۰/۴۸	۰/۸۰	۵۲۷۰	۵۶/۹	۱۴
مراکش	۳/۳	۰/۲۶	۰/۵۵	۳۳۴۰	۲۵/۷	۳۱
فیلیپین	۳	۰/۱۹	۰/۶۲	۲۴۴۰	۶۲/۹	۱۳
زامبیا	۳	۰/۰۸	۰/۳۵	۱۰۱۰	۸/۸	-۱۴
اندونزی	۲/۸	۰/۲۵	۰/۵۹	۲۷۳۰	۱۸۷/۸	-۵
نیجریه	۲/۷	۰/۲۲	۰/۳۵	۱۳۶۰	۱۱۱/۲	۹
هند	۲/۷	۰/۲۳	۰/۳۸	۱۱۵۰	۸۴۹/۶	۲۰
آنگولا	۲/۳	۰/۱۳	۰/۲۷	۱۰۰۰	۱۰/۳	-۱۱
گواتمالا	۲/۱	۰/۱۲	۰/۵۶	۳۱۸۰	۹/۵	۱۴
سواحل آوری	۲	۰/۱۴	۰/۳۷	۱۵۱۰	۱۲/۵	۷
پاکستان	۱/۹	۰/۱۶	۰/۳۹	۱۵۷۰	۱۱۵/۵	۲۹
ویتنام	۱/۷	۰/۰۸۲	۰/۵۱	۱۲۵۰	۶۸/۲	۱۶
سری‌لانکا	۱/۴	۰/۰۶۶	۰/۶۷	۲۶۵۰	۱۷/۲	۵
کامرون	۱/۳	۰/۰۴۳	۰/۴۵	۲۴۰۰	۱۲/۲	۵
غنا	۱/۱	۰/۰۶۱	۰/۳۸	۹۳۰	۱۵/۵	۷
کنیا	۱/۱	۰/۰۵۱	۰/۴۳	۱۳۵۰	۲۵/۹	۰
افغانستان	۱	۰/۰۸۶	۰/۲۱	۷۰۰	۱۶/۴	۳۲
موزامبیک	۰/۹۵	۰/۰۱۷	۰/۲۵	۹۲۰	۱۶/۱	-۱۸

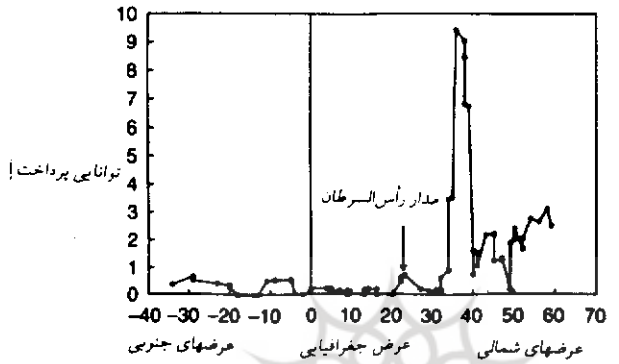
سودان	۰/۸۸	۰/۰۳۶	۰/۲۸	۱۱۶۰	۲۵/۹	۱۴
برمه	۰/۶۸	۰/۰۳۲	۰/۴۱	۶۵۰	۴۲/۶	۲۲
زئیر	۰/۶۶	۰/۰۳۲	۰/۳۴	۴۷۰	۳۶/۷	-۴
ماداگاسکار	۰/۵۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۷۱۰	۱۱/۵	-۲۰
تانزانیا	۰/۴۴	۰/۰۲۱	۰/۳۱	۵۷۰	۲۸/۴	-۵
سومالی	۰/۴۱	۰/۰۱۹	۰/۲۲	۷۶۰	۸	۵
مالیوی	۰/۴۰	۰/۰۲۰	۰/۲۶	۸۰۰	۸/۶	-۱۳
بنگلادش	۰/۴۰	۰/۰۳۵	۰/۳۱	۱۱۶۰	۱۱۸/۷	۲۳
کامبوج	۰/۲۸	۰/۰۱۵	۰/۳۱	۱۲۵۰	۸/۴	۱۳
اوگاندا	۰/۲۷	۰/۰۱۳	۰/۲۷	۱۰۴۰	۱۹/۵	۰
مالی	۰/۲۱	۰/۰۱۳	۰/۲۱	۴۸۰	۹/۵	۱۶
بورکینافاسو	۰/۲۰	۰/۰۱۶	۰/۲۰	۶۷۰	۹/۲	۱۳
اتیوپی	۰/۱۹	۰/۰۱۴	۰/۲۵	۳۷۰	۵۳/۴	۹
نپال	۰/۱۵	۰/۰۱۳	۰/۲۹	۱۱۳۰	۱۹/۶	۲۷
مجموع میانگین وزنی	۲۱	۱/۱	۰/۶۲	۵۳۴۰	۵/۸ میلیاردنفر	

این جدول لیستی از بدهی طبیعی ۸۰ کشور پرجمعیت دنیا (بیش از ۸ میلیون نفر) را از سال ۱۹۵۰ الی ۱۹۹۱ نشان می‌دهد. روی هم رفته این ۸۰ کشور، ۹۴٪ جمعیت کل جهان را به خود اختصاص می‌دهند (۵/۳۸ الی ۵/۸ میلیارد نفر) (WRT ۱۹۹۴) این جدول همچنین جمعیت، درآمد سرانه، شاخصهای توسعه انسانی رانشان می‌دهد.

به عنوان مثال میزان سرانه بدهی طبیعی ایالات متحده بین سالهای ۱۹۵۰ الی ۹۱ حدود ۱۱۹/۲تن می‌باشد در حالی که در کشوری مانند نپال این رقم ۰/۱۵ می‌باشد در ضمن نسبت سرانه تولید دی‌اکسیدکربن به جمعیت در آمریکا ۵/۳ تن می‌باشد در حالی که در نپال ۱/۱ تن است. در ایران نیز میزان سرانه بدهی طبیعی ۱۳/۶ و نسبت سرانه تولید دی‌اکسیدکربن به جمعیت حد ۱/۱ تن برآورد شده‌است.

که این خود بخوبی نشان می‌دهد که تاوان پیشرفت صنعت در ایالات متحده را شهروندان سایرکشورهایی که سهم کمتری در صادرات CO_2 و توسعه اقتصادی دارند باید بپردازند.

در ضمن نمودار شماره ۴ توزیع بدهی طبیعی کشورها را از سال ۹۱-۱۹۵۰ براساس عرض جغرافیایی نشان می‌دهد.



نمودار مشاره (۴)

ملاحظه می‌شود که بین عرضهای جغرافیایی بالا و پایین اختلاف قابل ملاحظه‌ای از نظر بدهیهای طبیعی وجود دارد که بیشترین تراکم ملل شرکت کننده در بدهی طبیعی و صادرات CO_2 به اتمسفر در طی این مدت بین عرضهای جغرافیایی ۳۰ الی ۴۰ درجه شمالی واقع گردید. و این در حالی است که بدهی طبیعی اندک به کشورهای بین دو مدار (رأس‌سرطان و رأس‌الجدی) که بیشتر ملتهای فقیر قرارگرفته‌اند تعلق می‌گیرد.

استراتژی مقابله با گرمایش جهانی ناشی از CO_2

با ظهور انسان ماشینی، نقش تولیدکنندگی او در گاز گلخانه‌ای بیشتر از سهم سیستمهای طبیعی شده‌است به‌طوری‌که حجم گازهای گلخانه‌ای توسط او بیشتر از ظرفیت پسخوراند طبیعی سیستمهای درگیر با محیط است و موجب واکنش غیرقابل پیش‌بینی و یا منفی از طرف سیستمهای طبیعی است این نتیجه را می‌توان یک عدم

تعادل در خودتنظمی سیستمها در رابطه با کنترل گازهای گلخانه‌ای تلقی کرد. این عدم تعادل می‌تواند نتایج مهمی در ابعاد سیاره‌ای، ناحیه‌ای دربر داشته‌باشد و بشر نمی‌تواند تنها به داشتن چنین نقشی اکتفا نماید. این نکته را هم نباید فراموش کرد که تأثیرات ناشی از افزایش یا کاهش گازهای گلخانه‌ای با یک تأخیر زمانی نسبتاً طولانی ظاهر می‌شود و برای مثال اگر ما از هم‌اکنون کنترل تولید گازهای گلخانه‌ای را شروع کنیم نتایج حاصل از آن در نیمه‌های قرن ۲۱ به ثمر خواهد نشست.

بدون تردید اکنون که نقش انسان در تولید گاز گلخانه‌ای تا این حد افزایش یافته‌است ضروریست بررسی جهانی در کنترل تغییرات اقلیمی نیز بیشتر از هر زمان دیگر احساس شود. و بر ماست که استراتژی مقابله با گرمایش جهانی را به‌عنوان دستورکار مدیریت فرامنطقه‌ای و سیاره‌ای قرار دهیم.

نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده، تغییر در میزان غلظت CO_2 نتایج زیر را دربرخواهد داشت:

- نوسانات حرارتی جو و تغییر منطقه‌ای - سیاره‌ای عناصر و الگوهای فشار جوی: از قبیل سیستمهای سینوپتیک، توزیع ناهمگن زمانی - مکانی بارش، تبخیر، رطوبت اتمسفر، تغییر بیلان موازناتی چرخه‌های آبشناسی، وقوع خشکسالیها و ...
- تغییر در مرز فراماسیونهای گیاهی و جانوری به شکل اجباری
- تغییر سطح اساس اقیانوسها به دنبال برهم خوردن بیلان موازناتی یخچالهای قاره‌ای
- تغییر میزان تبادل گازگلخانه‌ای CO_2 بین جو و اقیانوس به دنبال افزایش دمای اقیانوسها
- تغییر دمای خاک سپهر، باتلاقها، مردابها و ... و تصاعد CO_2 ناشی از تنفس آنها به اتمسفر
- ذوب یخ مناطق جنب یخچالی (همیشه یخزده) و آزاد شدن گازهای

گلخانه‌ای جوی از قبیل متان، CO_2 و ...

- سهم کشورهای پیشرفته و صنعتی در تولید و صادرات گازهای گلخانه‌ای از جمله CO_2 بسیار بیشتر از سایر ملل می‌باشد (۹۵٪ صادرات گلخانه‌ای به این کشورهای پیشرفته تعلق می‌گیرد).

- به طور کلی افزایش غلظت CO_2 اتمسفری تغییر بیلان موازناتی انرژی و چرخه‌های مواد در زیرسیستمهای زمین و درهم پیچیدگی مکانیسمهای پسخوراند و روابط تعاملی زمین را به دنبال خواهد داشت.

به امید روزی که ملل حریم سیستمهای محیطی را در راستای توسعه پایدار و انتشار اپتیمم گازهای گلخانه‌ای در مقیاس فرامنطقه‌ای و سیاره‌ای حفظ کنند.

منابع و مآخذ

۱ـ نیشابوری، اصغر، ۱۳۷۴، جغرافیای زیستی، سمت، ۱۵۹ صفحه.

۲ـ برایان میسون و کارلتون ب.مر، اصول ژئوشیمی، دکتر فرید مرو مهندس علی اصغر شرفی، ۱۳۷۳، چاپخانه مرکز نشر دانشگاه شیراز، ۵۶۶ صفحه.

۳ـ سیف، عبدا...، ۱۳۷۵، نقش مکانیسم پسخوراند گازهای گلخانه‌ای در تغییرات اقلیمی، نهمین کنگره ژئوفیزیک ایران، تهران، پاییز ۱۳۷۵.

4- Goudie Andre. 1992, Environmental change Claredon Press. Oxford. 329 pp.

5- Pirazzoli P.A. 1996. Sea - Level Changes. John Wiley. 211 pp.

6- Gradel. T.E and Crutzen. Paulj. 1993 Atmospheric Change W.H. Freeman and Cimpany New York. 446 pp.

7- Ciambelluca. T.W and Henderson - Sellers. A. 1996. Climate Change John Wiley 475 pp.

8- Zinyowera M.C. 1995 The IPCC second Assesment Report An Overview of findings 1995.

9- Henderson Sellers A and Mcguffie. K. 1996 A Climate modelling primera copyright by Johan Wiley and sonsited 213 pp.

10- Trabalka J.R and Reicle D.E. 1986, The Changing Carbon Cycle aglobal analysis springer 592 pp.