چکیده

یوسف ثبوتی*

در آغاز دهه ۱۹۸۰ (۱۳۶۰ ش) گروهی از پژوهشگران از گرم شدن زمین خبر دادند. به تدریج که شواهد عینی و علمیِ بیشتر بدست آمد، زمزمه ها بلندتر شد و جوامع علمی مسئله گرمایش زمین را در بستر گسترده ترِ تغییر اقلیم بررسی کردند. از آن پس، مجامع بین المللی و دولت ها دست بکار شدند و به تغییر اقلیم به عنوان رویدادی که آثار ناخوشایند بر زیست بوم های گیاهی و حیوانی و انسانی دارد، توجه کردند. اینک، پس از گذشت سی سال، در پایان دهه اول سدهٔ بیست ویکم، تغییر اقلیم و پیامدهای آن از موضوع های زیست محیطی روز شده است. از چارچوب بحث های تخصصی علمی و روشنفکری فراتر رفته و وارد گفتمان رسانه های جمعی و صحبت های روزانه مردمِ سراسر جهان شده است. در این نوشتار، سعی شده است چرایی و چگونگی گرمایش زمین باختصار بیان شود و تصویری هر چند کلی، از آنچه که اتفاق افتاده است و می افتد برای جامعه فارسی–زبان، و شاید تصمیم گیران، ارائه شود.

واژگان کلیدی: گرمایش زمین، تغییراقلیم اثر گل خانه ای، گازهای گل خانه ای، کربن دی اکسید، انرژی های فسیلی، انرژی های جایگزین.

* عهده دار مکاتبات، استاد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی دانشگاه علوم پایه زنجان،
تلفن: ۴۱۵۲۲۱۱ (۹۸۲۴۱+) ، دورنگار: ۴۲۱۲۱۰۴ (۹۸۲۴۱+)
پست الکترونیکی: sobouti@iasbs.ac.ir

تعریف اقلیم و تفاوت آن با آب وهوا

سردی و گرمی هوا، کمی و زیادی برف و باران، شدت و ضعف طوفان ها و گردبادها در طول چند روز و چند هفته مقوله های آب وهوا را تشکیل می دهند. دانش هواشناسی به پیش بینی آنچه در کوتاه مدت در جو زمین اتفاق افتد، می پردازد. اقلیم، میانگین شرایط آب وهوایی یک منطقه را در فاصله های زمانی طولانی در نظر می گیرد. منظور از منطقه ممکن است کره زمین، یک قاره، بخشی از یک ناحیه (مانند ناحیه غربی کوه های زاگرس) و حتی کوچک تر باشد و منظور از بازه های زمانی طولانی ممکن است چند ده و چند صد سال و بیشتر باشد.

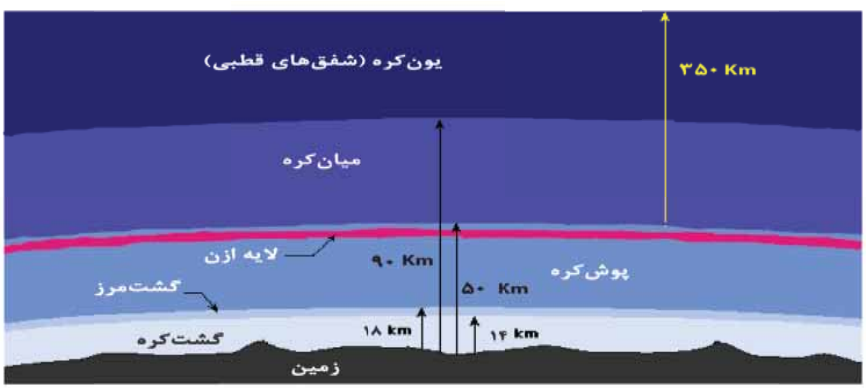
مولفه های اقلیم

اقلیم یک سامانه دینامیکی است و نتیجه برهمکنش مولفه های گوناگون زمین با یکدیگر و با خورشید است. مولفه های مهم سامانه اقلیم عبارتند ازهواکره[1] (جو)، آب کره[2] (اقیانوس ها و آب های زیر و روی زمین)، سرماکره[3](یخچال های کوهستانی، ورقه های یخِ روی خشکی ها، و یخ های قطبی)، زیست کره[4] (توده هایِ زنده گیاهی و جانوری و سنگ کره[5] (قاره ها و پوسته های اقیانوسی) (شکل ۱).

این مولفه ها با یکدیگر اندرکنش دارند،از خورشید انرژی می گیرند و به فضا انرژی می دهند و در بلندمدت تغییر می کنند. [۲ و ۱]

هواکره

هوا کره یا جو را شاید بتوان مهم ترین مولفه اقلیم دانست. جو، لایه ای از گازهاست که زمین را در بر می گیرد و به وسیله نیروی گرانش زمین نگاه داشته می شود. شـــمایی از این لایه ها در شکل۲ نشان داده شده است. زمین تقریبا» کروی است و محور دوران آن با صفحه مدارِ زمین به دور خورشید زاویهٔ ۲۶/۵ درجه می سازد. بنابراین، تابش خورشید در نزدیکی استوا بیش از تابش آن در قطب هاست. این توزیع ناهمگن گرما، نظامی از جریان های جوی ایجاد می کند که گرما و بخارآب را از استوا به قطب ها جابجا می کنند. زمین در ۲۴ ساعت یک بار به دور خـود دوران می کند. ایـــن امر



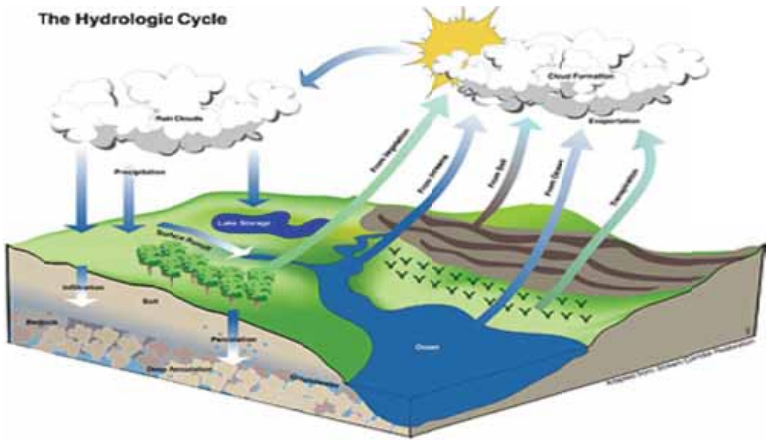
شکل ۲ جو و لایه های آن

1 Atmosphere
2 Hydrosphere
3 Cryosphere
4 Biosphere
5 Lithosphere

سبب بوجود آمدن نیروهای کوریولیس می شود که در شکل دادن جریان های جوی (و نیز جریان های اقیانوسی که در زیر می آید) نقش ریشه ای بازی می کنند.

آب کره

شامل اقیانوس ها و آب های زیر و روی زمین، با هواکره برهمکنش دارد. بخشی از جریان های اقیانوسی در اثر بادها پدید می آیند. اقیانوس ها به نوبه خود به هواکره گرما و بخارآب می دهند. جریان های اقیانوسی در جابجائی گرما از استوا به قطب ها و تعدیل و تنظیم آب وهوای قاره ها نقش ریشه ای دارند. ظرفیت گرمایی اقیانوس ها، به سبب چگال بودن آب، بیش از ظرفیت گرمایی هواکره است. به همین



شکل ۳ – آب کره شامل اقیانوس ها و آب های زیر و روی زمین است. اقیانوس ها بزرگ ترین بخش آب کره هستند و همیشه در جریان اند.

سبب، گرمای جابه جا شده از طریق جریان های اقیانوسی بسیار زیاد است و بر اقلیم اثر دراز مدت می گذارد (شکل ۳).

سرماکره

برف و یخ یخچال های کوهستانی و قطب ها و زمین های یخ زده را شامل می شود (شکل ۴). سرما کره برگردش انرژی و رطوبت در جو و سطح زمین اثر می گذارد و با نظام بارش ها و جریان های اقیانوسی اندرکنش دارد.

بیشترین حجم یخ های روی زمین در قطب جنوب و پهناورترین مساحت یخی در نیمکره شمالی است. در شمالگان، در نزدیکی های اسفندماه، حدود ۲۳ درصد سطح زمین از برف و یخ پوشیده می شود. مهم ترین ویژگی برف و یخ، سپیدایی و سردی آنهاست. سفیدی برف و یخ، تابش خورشید را به فضا برمی گرداند و سردی آنها سبب کاهش تابش زمین می شود.

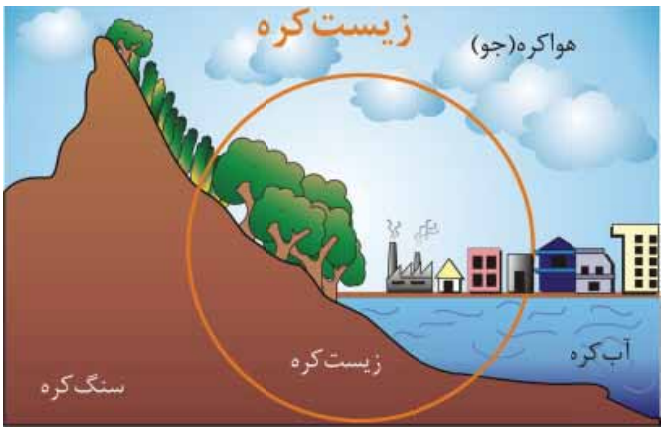
نیم‌کرهٔ جنوبی در ماه سپتامبر

نیم‌کرهٔ شمالی در ماه مارس

شکل ۴ – کلاهک های یخی قطب های شمال و جنوب. اندازهٔ کلاهک شمالی در زمستان ۶ برابر تابستان است. اندازهٔ کلاهک جنوبی تنها دو برابر می شود. سبب این است که جنوبگان قاره است و شمالگان اقیانوس یخ زده. برگرفته از *ANSA Blue Marble NG*

زیست کره

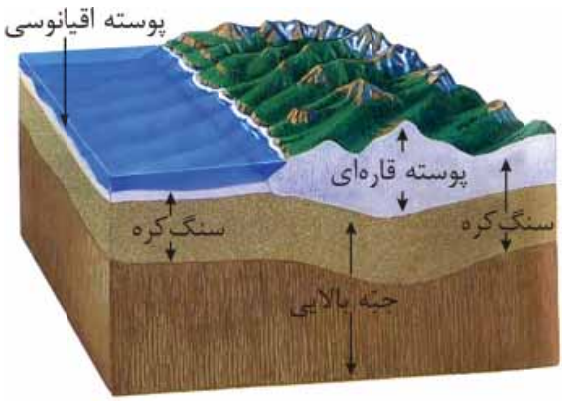
شامل همه زیست بوم ها، اعم از دریایی و زمینی، و اعم ازگیاهی، حیوانی، و انسانی است. از قطب ها تا استوا، و از اعماق اقیانوس ها تا بلندهای کوه ها، هر بخش از کره زمین نوعی از حیات را میزبانی می کند. تا آنجا که دانش روز اجازه می دهد، زمین تنها جایی در کیهان است که در آن حیات شناخته شده است. زیست کره در به راه انداختن و تکمیل چرخه های کربن و نیتروژن و آب نقش اول را دارد (شکل ۵).

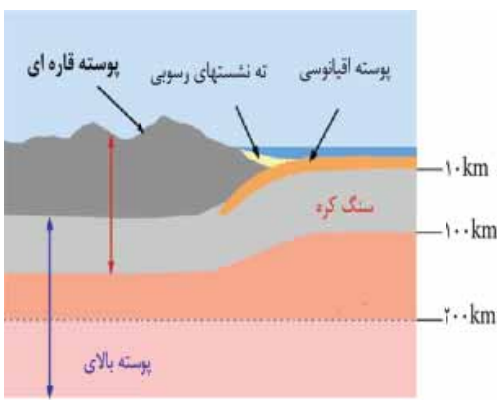


شکل ۵ – زیست کره مولفه ای از اقلیم است که در آن زندگی وجود دارد. از کف اقیانوس ها تا قله بلندترین کوه ها را در برمی گیرد. *www.image.tutorvista.com*

سنگ کره

به لایه سطحی زمین، به ضخامت تقریبی ۱۰۰ کیلومتر، گفته می شود و پوسته های اقیانوسی و قاره ای را در بر می گیرد. سنگ کره پایدارترین مولفه اقلیم است و از این رو تغییرات در آن در بازه های زمانی بسیار طولانی، از مرتبه میلیون ها سال، روی می دهد. سنگ کره با سایر مولفه های اقلیم انرژی و ماده مبادله می کند. مبادله رطوبت بین سنگ کره و جو سبب تعادل گرمایی در سطح زمین می شود و نقش بسزایی در ساختار اقلیم دارد (شکل ۶).





طبقه بندی اقلیم های جهان

تفاوت گرما و رطوبت در نقاط گوناگون جهان، اقلیم های متفاوت بوجود می آورد. تقسیم بندی متعارف و تقریبی اقلیم را که از زمان های قدیم تا اندازه ای شناخته شده اند، به شرح زیر می توان خلاصه کرد:

- اقلیم جریان های هواییِ استوایی و حاره‌ای
- اقلیم جریان‌های هواییِ حاره‌ای و قطبی
- اقلیم جریان های هواییِ سرد و قطبیِ یخ بسته
- اقلیم سرزمین های مرتفع که به خاطر ارتفاع از سطح دریا ویژگی های خاص دارند.

اقلیم های دیگری که بر اساس الگوهای بارش، دما و رطوبت بوجود می آیند، زیرمجموعه هایی از اقلیم های اصلی بالا هستند. این طبقه بندی به تقسیم بندی تجربی اقلیم موسوم است.

تاریخچه اقلیم شناسی

دانش اقلیم شناسی هم قدیم و هم جدید است. پیشینه آن به دیرینگی کنجکاوی انسان درباره محیط زیست اش می رسد. اقوام، بنا به باورها و اسطوره های خود، رخدادهای جوی و اقلیمی را به درست یا نادرست تفسیر کرده اند. این باورها همراه با حدس و گمان و شاید همراه با خرافه در پیشرفت دانش اقلیم و هواشناسی نقش داشته اند و تا پایان سدهٔ هفدهم و شاید دیرتر دوام آورده اند. اقلیم شناسی جدید با پیدایش ابزارهای اندازه گیری آغاز می شود. از سدهٔ هفدهم به این سو، رواج اندازه گیری های هواشناختی و ثبت دیده بانی های طبیعت در دریا و خشکی، دانش های هواشناسی و اقلیم شناسی را به معنای امروزی آنها شکل داده اند. داده های مشاهده ای امکان تجزیه و تحلیل رخدادهای جوی و اقلیمی را فراهم کرده اند. مدل های هواشناسی از سدهٔ بیستم مطرح شده اند. با آمدن رایانه در زمینه علم، امکان طراحی مدل های اقلیمی فراهم شده است. امروزه، مدل هایی که بتوانند رویدادهای چند هزار سال گذشته را با دقت نسبتاً خوب بازتولید کنند و رویدادهای چند ده سال آینده را از پیش بگویند میسر شده است. پیش بینی های هواشناسیِ امروز دقیق و قابل اعتماداند. پیش نگری های مدل های اقلیمی نیز به طور قابل توجهی بهتر شده اند.

اقلیم های دیرینه

زمین در چند میلیون سال گذشته چند دورهٔ یخبندان و میان یخبندان از سر گذرانده است. دوره های یخبندان به طور معمول طولانی و از مرتبه چند صد هزار سال اند. میان یخبندان ها کوتاه و از مرتبه چند ده هزار سال اند. آخرین یخبندان ۱۲۰ هزار سال دوام داشت و ۲۰ هزار سال پیش پایان پذیرفت.

عواملی که دوران های سرد و گرم زمین را در گذشته بوجود آورده اند، طبیعی هستند و بدون تردید در آینده نیز اقلیم زمین را شکل خواهند داد. دانش روز بعضی از این عوامل را می شناسد و به بعضی دیگر هنوز اشراف کافی ندارد.

سه عامل: (الف) دمای متوسط سطح زمین و لایه های پایین جو، (ب)تراز سطح متوسط دریاها، و (ج)وسعت زمین های پوشیده از یخ و برف قطب های شمال و جنوب و کوهستان ها، می توانند تصویری اجمالی از اقلیم، بدهند. اندازه گیری های دستگاهی در صدوپنجاه سالِ گذشته نشان می دهند که هر سه عامل تغییرهای قابل توجه و خارج از معمول داشته اند: زمین نیم درجه گرم تر شده است. تراز آب ها ۲۰۰ میلی متر بالا آمده است و وسعت و مقدار برف و یخ به طور قابل ملاحظه ای کم شده است . به نظر می رسد این تغییرها با پیدایش صنعت جدید و افزایش جمعیت جهان، از چند صد میلیون نفر به چند میلیارد، بی ارتباط نیست. در زیر سازوکارِ گرمایش زمین و شیوه دخالت انسان در آن به صورت چکیده بررسی می شود .

ساختار جو، اثر گل خانه ای و گازهای گل خانه ای

اکسیژن، نیتروژن، و آرگن به ترتیب ۲۰/۹۵ ، ۷۸/۰۸ ، و ۰/۹۳ درصد و رویهمرفته ۹۹/۹۶ درصد از جو را تشکیل می دهند. این گازها در سرمایش و گرمایش زمین نقش زیادی ندارند. ۰/۴ در هزارِ باقی مانده را، به ترتیب اهمیت، کربن دی اکسید، متان، نیتروزاکسید، ازن، و کلروفلوروکربن ها (HCFC,CFC) تشکیل می دهند.این گازها، تابش خورشید را از بالای جو به پایین راه می دهند، ولی از خارج شدن تابشِ میکرومتریِ زمین به فضا جلو می گیرند. این گازها، نقشی مانند شیشه در دیوارها و سقف گل خانه دارند و به همین سبب به گازهای گل خانه ای معروف اند. اگر مقدار این گازها در جو بالا رود، زمین گرم

می شود.

کربن دی اکسید، بیشتر از سوختن سوخت های فسیلی و غیرفسیلی، از دم و بازدم موجودهای زنده، از تبدیل سنگ های کربن دار به ترکیب های سیلیسی در طبیعت و در صنعت سیمان نشر می شود. از سوی دیگر، کربن دی اکسید به وسیله روییدنی ها، مرجان ها و موجودهای دریاییِ صدف دار جذب می شود و در آب اقیانوس ها به خوبی حل می شود. متان، بیشتر از تجزیه ترکیب های آلی گیاهی و حیوانی در مرداب ها، کف دریاها و جنگل ها و نشخوار نشخوارکننده ها منتشر می شود. نیتروزاکسید در طبیعت بوجود می آید و از بین می رود. مصرف روزافزون سوخت های فسیلی و کودهای شیمیایی به افزایش آن در جو کمک می کند. ازن در لایه های بالای جو در اثر تابش فرابنفش خورشید بوجود می آید و اثر خنک کنندگی دارد. ولی، در لایه های پایین جو و سطح زمین، ازن در انجام فرآیندهای صنعتی، مانند جوشکاری و جرقه های الکتریکی تولید می شود و گرم کنندهٔ جو و زمین است. CFCها و HCFCها به طور طبیعی به وجود نمی آیند. انسان ساخت هستند و در افشانه ها و ماشین های سرمازا بکار می روند. پیمان نامه های بین المللی، تولید انواع آسیب رسان آنها را محدود کرده است. [۳]

نقش انسان در دست کاری اقلیم

از آغاز دوره صنعتی (بنا به پیمان نامه ۱۷۵۰ میلادی) به این سو، جمعیت جهان از چند صد میلیون به چند میلیارد نفر رسیده است. الگوی زندگیِ ساده و مقتصدانه انسانِ دویست سال پیش به الگوی زندگی جاه طلبانه و مسرفانه انسانِ سده بیست ویکم تغییر یافته است. تحقق این وضع در درجه نخست در سایه مصرف منابع انرژی فسیلی (ذغال سنگ، نفت، و گاز) و در درجه دوم، تبدیل جنگل ها به زمین های کشاورزی و سکونت گاه های شهری امکان پذیر شده است. در این میان، هر گامی که انسان صنعتی برداشته اندکی به میزان گازهای گل خانه ای جو افزوده است.

در فاصله سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ میلادی سالانه ۷/۲ میلیارد تن کربن از منابع فسیلی سوزانده شده و به صورت ۲۶/۲ میلیارد تن کربن دی اکسید در هواکره و آب کره آزاد شده است. [۳]

سازگاری [1] و کاهشِ [2] پیامد های تغییر اقلیم

از آنچه تاکنون درباره تغییر اقلیم و پیامد های آن گفته شد، می توان تصویر زیر را ترسیم کرد. افزایش جمعیت و رشد اقتصادی ـ اجتماعیِ جوامع مستلزم مصرف انرژی بوده است. منابع انرژیِ در دسترس، بیشتر منشاء فسیلی داشته اند و مصرف آنها همراه با تغییر در روش استفاده از زمین باعث نشر گازهای گل خانه ای شده است و اقلیم را از روال طبیعی خود خارج کرده اند. مهم ترینِ این تغییرها عبارتند از گرم شدن زمین، بالا آمدن آب دریاها، به هم خوردن الگوهای بارش، کم و زیاد شدنِ روان آب ها، فراوان تر و شدیدتر شدن سیل ها و طوفان ها و خشکسالی ها و مانند آنها. هر یک از این رخدادها بر منابع غذا، آب، بهداشت، سکونت گاه های انسانی، زیست–بوم ها، و تنوع زیستی اثر می گذارد. به احتمال زیاد بیشتر این آثار ناخوشایند هستند و رشد اجتماعی و اقتصادی جوامع را محدود می کنند.

دو راه برای پرهیز از پیامد های ناخواسته تغییر اقلیم پیش روی محفل های علمی، فنآوری، اقتصادی، و سیاسی جهان است. نخست آن که با پیامد های اجتناب ناپذیرِ اقلیم «سازگاری» بوجود آید. دوم آن که با هدف تثبیت اقلیم و «کاهش» آثار ناخوشایند آن از نشر گازهای گل خانه ای کاسته شود.

کنترل جمعیت و گذر از الگوی مصرف مسرفانه امروز به الگوهای مقتصدانه از نمونه های سازگاری هستند.

جابجایی جمعیت هایی که سکونت گاه ها و منابع غذا و آب، و شرایط بهداشتی آنها در معرض تهدید قرار گرفته است نیز سازگاری با اقلیم است. اقلیمِ تغییریافته ممکن است آفت های گیاهی و حیوانی و انسانیِ نوظهوری را که تاکنون سابقه نداشته، بوجود آورد. تجدیدنظر در راه های مبارزه با آفات و ایجاد موازین بهداشتی و درمانیِ تازه نیز سازگاری است.

کاهش نشر گازهای گل خانه ای با هدف تثبیت اقلیم مستلزمِ بهتر و کارآتر کردن فنآوری های موجود و ایجاد طیف گسترده ای از فنآوری های نو است. مثال های زیر نمونه های کاهش تهدیدها هستند: طراحی ماشین های گرمائی با

1 Adaptation
2 Mitigation

بازدهی بالاتر از آنچه در حال حاضر است، جایگزین کردنِ منابع انرژی فسیلی با منابع نوشونده و نو. خورشید، رودخانه ها، باد، روییدنی ها و زیست توده ها، جزر و مد نمونه های منابع انرژی نوشونده هستند. با تناوب های زمانی معین می توان از آنها بهره گرفت.

انرژیِ زمین گرمایی، الکتریسیته از خورشید، انرژی از جزر و مد و امواج دریا، تجزیه آب به کمک خورشید برای تهیه سوخت هیدروژن، نمونه های انرژی نو هستند. در گذشته به طور گسترده رواج نداشته اند و دسترسی به آنها مستلزم پژوهش و ایجاد فنآوری های نو است و سرمایه گذاری های کلان می طلبد.

ویرانی گسترده جنگل ها و تبدیل آنها به زمین های کشاورزی به نشر گازهای گل خانه ای کمک کرده است. توقف قطع درخت ها و کاشت درخت های جدید از راهکارهای کاهش آثار ناخواسته تغییر اقلیم است.

کسانی که می توانند یاری رسان باشند

نمونه های سازگاری و کاهش آثار، که در بالا نوشته شد، از مصادیق کلان کاهش پیامدهای تغییر اقلیم به شمار می روند. برای تاثیرگذاری در پیمانه جهانی به تصمیم ها و سیاست های کلان و جهانی نیاز است. دانش پیشگان با هر گرایشی می توانند در کندوکاو گوشه های ناشناخته دانش اقلیم و یافتن چاره ها به یاری برخیزند. فنآورها، فنآوری های نو بیافرینند. برنامه ریزها و سیاست گذارها برنامه های گوناگون ملی و منطقه ای تدوین کنند. جامعه شناس ها رفتار و کردار مردم را در شرایط اقلیم تغییر یافته بررسی کنند. اقتصاددان ها و سرمایه گذارها حساب وکتابِ درآمد و هزینه هارا داشته باشند. در پایان،دولت مردها در پیمان نامه های منطقه ای و بین المللی که برای سازگاری و کاهش آثار ناخواسته اقلیم به میان می آید، به توافق رسند.

یافته ها و پیش نگری های اقلیم [۱و۳و۴]

پیش نگری اقلیم دهه ها و سده های آینده با تردید قابل ملاحظه ای روبه روست. نخست آن که اقلیم سامانهٔ پیچیده ای است و دانش روز به همه پیچیدگی های آن اشراف ندارد. دوم آن که روند رشد اجتماعی و اقتصادیِ آیندهٔ جوامع و به طور کلی جهان روشن نیست. وجود این ناشناخته ها بر تصمیم گیری های علمی، اقتصادی و سیاسی برای رویاروئی با تهدیدهای تغییر اقلیم اثر می گذارد. به هر روی، با وجود همه بی گمانی و نبود زیرساخت ها باید توجه داشت که پاسخ اقلیم به نشر گازهایی مانند کربن دی اکسید خوشایند نیست و چارهٔ فوری می خواهد. منتظر ماندن و تماشا کردن واکنشی غیرمسئولانه است.

آنچه که دانش روز تاکنون در مورد تغییر اقلیم یافته است و آنچه که می تواند درباره اقلیمِ سدهٔ بیست ویکم تجویز کند گردآوری شده است. موارد تردید دار و مواردی که هنوز به خوبی شناخته نشده اند و نیاز به پژوهش بیشتر دارند، نیز گفته شده اند. این بخش، از گزارش چهارمِ سال ۲۰۰۷ «پانل دولت ها برای تغییر اقلیم»[1] آی پی سی سی گردآوری شده اند.

(الف) هواکره و سطح زمین

یافته های بدون تردید

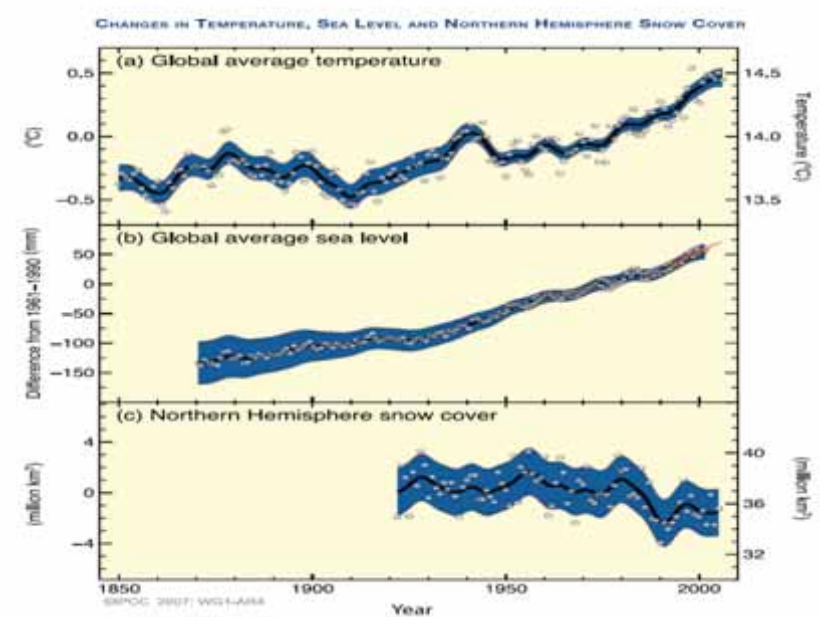
• غلظت کنونی کربن دی اکسید و متان بیشتر از غلظت آنها درآغاز صنعتی شدن جهان (۲۵۰ سال پیش) است. بهره مندی از سوخت های فسیلی، تغییر در روش بهره مندی از زمین (جنگل زدایی برای گستردگی زمین های کشاورزی و سکونت گاهی)، و صنعت سیمان دلیل ریشه ای افزایش آنها در ۲۵۰ سال گذشته شناخته شده است. نشر میانگین کربن در دهه ۱۹۹۰ (۱۳۷۰) برابر با ۶/۴ میلیارد تن کربن در سال بوده است. در بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ (۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴) این مقدار به ۷/۲ میلیارد تن در سال افزایش یافته است. جذب طبیعی کربن دی اکسید در آب کره و زیست کره ۵۰ تا ۶۰ درصد از نشر انسانی را حذف می کند.

• کره زمین در یکصد سال گذشته نزدیک به نیم درجه گرم شده است. آهنگ گرمایش زمین در ۴۰ سال گذشته بیشترین مقدار در ۲۰۰۰ سال گذشته را داشته است.

• سطح خشکی ها با سرعتی دو برابر سطح اقیانوس ها گرم می شود. دمای گشت کرهٔ زیرین در بین سال های ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۰ (۱۳۳۷ تا ۱۳۷۹) بیشتر از سطح زمین گرم شده است.

1 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

• ۱۱ سال از ۱۲ سالِ ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۶ (۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵) رکورد گرم ترین سال های پس از ۱۸۵۰ را داشته اند.
خشکسالی ها پس از سال ۱۹۷۹ (۱۳۵۸) به ویژه در ناحیه های گرمسیری و نزدیک آن فراوان تر شده است. با این وجود، بخارآب موجود در جو دست کم از دهه ۱۹۸۰ (۱۳۶۰) به این سو رو به افزایش بوده است. به گزارش سازمان بین المللی هواشناسی، سال ۲۰۱۰ (۱۳۸۹) گرم ترین سال پس از آغاز دوره صنعتی بوده است.
• هواویزها (غبار و ذرات معلق در هوا) اثر خنک کنندگی دارند. این اثر در نیم کره شمالی بیش از نیم کره جنوبی است.
• تغییرها در تابش خورشید ناچیز بوده است و اثر قابل ملاحظه ای در گرمایش غیرعادی زمین نداشته اند.
موارد تردید: در یافته هایی که در بالا عنوان شدند تردید هایی وجود دارد.
• هواویزها بر ویژگی ابرها و به دنبال آن بر سپیدایی آنها تاثیر می گذارند. اما مکانیسم تاثیر به طور کامل شناخته شده نیست. بزرگی زور تابشی[1] بدست آمده از تاثیر غیرمستقیم هواویزها بر ابرها نیز به خوبی شناخته شده نیست.
• آهنگ افزایش متان در جو به خوبی شناخته شده نیست. نقش عوامل موثر در افزایش غلظت ازن در گشت کره به خوبی شناخته شده نیست.
• ویژگی سطح زمین و اندرکنش زمین و جو به خوبی شناخته شده نیستند.
• تغییرات تابش خورشید در زمان های گذشته بر اساس اندازه گیری های دقیق نیست. داده های رادیوسوندها با نگاه توزیع مکانی در مقایسه با داده های ثبتی ایستگاه های زمینی کامل نیستند و در بعضی جاها به هیچ شکل وجود ندارند. از این رو، شاید که داده های ثبت شدهٔ مربوط به دمای گشت کره هنوز دارای خطا باشند.
• رصدهای ماهواره ای و زمینی در مورد تغییرات کلی ابرها و تغییرات ابرها در بلندی های پایین باهم همخوانی ندارند. بخشی از این ناهمخوانی ها به دلیل ناکافی بودن داده های بدست آمده از ابرها و هواویزهاست.
• داده های ثبت شده از رطوبت خاک ها و جریان نهرها کم وکوتاه مدت اند و تنها برای چند ناحیه در دسترس اند. این امر مانع تحلیل خشکسالی ها می شود.
• در تفسیر داده های ماهواره ای سوال ها و تردیدهای زیادی وجود دارد.
• مشکل کمّی کردن فرآیندهای اقلیمی و میزان بارش های منطقه ای هنوز باقی است. شواهد برای بررسی روند درازمدت طوفان های شدید، رعدوبرق و طوفان های گردوغبار اندک اند



شکل ۷ – در فاصله
سال های ۱۸۵۰تا ۲۰۰۵، دمای زمین نزدیک به نیم درجه افزایش یافته، تراز اقیانوس ها نزدیک به ۲۰۰ میلی متر بالا آمده، و پوشش برف و یخِ نیم کره شمالی ۳ ـ ۲ میلیون کیلومترمربع کاهش یافته است. برگرفته از گزارش چهارم آی پی سی سی، سال ۲۰۰۷

1 Radiative Forcing

(ب) برف، یخ، و زمین های یخ زده

یافته های بدون تردید

• مقدار برف و یخ روی زمین رو به کاهش است. بسیاری از یخچال های کوهستانی، پس از سدهٔ نوزدهم شروع به عقب نشینی کرده اند. آهنگ آب شدنِ یخچال ها و ورقه های یخی گرینلند تندتر می شود.

• رودخانه های فصلی و مدت یخ زدگی آن ها در ۱۵۰ سال گذشته رو به کاهش بوده است. از سال ۱۹۷۸ (۱۳۵۷) به این سو یخ دریایی در قطب شمال در حال کاهش بوده است. نازک شدگی یخ در قاره جنوبگان و ورقه یخی آموندسن در دهه ۱۹۹۰ (۱۳۷۰) محسوس بوده است. یخچال های فرعی به سرعت در حال از بین رفتن اند. ورقه یخی لارسن بی[1] در سال ۲۰۰۲ (۱۳۸۱) به طور کامل از بین رفت. لایه فوقانی خاک های همیشه یخ زده[2] از سال ۱۹۸۰ (۱۳۵۹) در قطب شمال تا ۳ درجه سانتی گراد گرم تر شده است. بیشترین گستره زمین که به صورت فصلی در نیمکره شمالی یخ می زند از ۱۹۰۰ (۱۲۷۹) به بعد نزدیک به ۷ درصد کاهش یافته است. از میانه سدهٔ بیستم بیشینه عمق آن در حدود ۳۰ سانتی متر کم شده است.

موارد تردید

• داده ها درباره افزایش و کاهش یخ های قطب شمال تنها از روش مشاهده های ماهواره ای شدنی بوده است و بسیار اندک است و تردیدهای زیادی در مورد آنها وجود دارد.

(ج) تراز آب اقیانوس ها

یافته های بدون تردید

• سطح دریاها در یک صد سال گذشته به طور میانگین ۲۰۰ میلی متر بالا آمده است. آهنگ بالا آمدن رو به افزایش است. در سال های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳ (۱۳۷۲ تا۱۳۸۲) آب دریاها سریع تر از سال های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ (۱۳۴۰ تا ۱۳۸۲) بالا آمده است. انبساط گرمایی آب اقیانوس و آب شدن یخچال ها و کلاهک های قطبی نقش اول را در بالا آمدن آب دریاها دارند.

• دما و انرژی درونی اقیانوس ها پس از سال ۱۹۹۵ (۱۳۷۴) افزایش یافته است. با انتقال بخار آبِ بیشتر به جو توزیع و الگوهای بارش تغییر یافته است.

• در دهه های گذشته در شوری اقیانوس ها تغییرات مشاهده شده است. شوری در ناحیه های نزدیک قطب کاهش یافته و در مناطق کم عمقِ حاره ای و نزدیک حاره ای افزوده شده است.

موارد تردید

• محدودیت در نمونه برداری از اقیانوس ها برای بررسی دهه ای ظرفیت گرمایی و شوری سطح آب دریاها پایه اصلی خطاهاست. نتایج را تنها با اطمینان متوسط می توان ارزیابی کرد.

• اطمینان در مشاهده فرآیندهای مرتبط با بالا آمدن آب دریاها کم است. به نظر می رسد متوسط بالا آمدن آب دریاها از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ (۱۳۴۰ تا ۱۳۸۲) بیشتر از آن است که انبساط گرمایی و آب شدن یخ ها بتوانند سبب شوند.

(د) اقلیم های دیرینه

در بازسازی شرایط اقلیم های دیرینه از نشانگر های میانجی، مانند رسوب های بدست آمده از اعماق دریاها، روش های ژئوشیمیایی، ایزوتوپ های اکسیژن و کربن، نهشته های آهکی غارها، حلقه های رشد سالانه درخت ها بهره مند می شوندو داستان اقلیم را از گذشته تا اکنون بازسازی می کنند.

یافته های بدون تردید

• آخرین دوره یخبندان حدود ۱۲۰ هزار سال پیش شروع شده و نزدیک به ۲۰ هزار سال پیش پایان یافته است. در این دوران، میانگین سطح دریاها ۴ تا ۶ متر پایین تر از مقدار کنونی بود.

• پس از پایان آخرین دوره یخبندان در ۲۰ هزار سال پیش، با آب شدن یخ های کوهستانی و یخچال ها، دوباره آب دریاها بالا آمد. جایی که اکنون دریای سیاه قرار دارد در میان یخبندان کنونی پر شده است.

• ۱۷ هزار سال پیش فوران کوه پینه توبو، در جزایر سوماترا، ۲۸۰۰ کیلومترمکعب مواد آتش فشانی به جو پرتاب کرد. این پیشامد تاثیر بسزایی در کاهش دمای زمین داشت.

• حباب های هوای محبوس در یخ های قطبی و نشان های میانجی دیگر نشان می دهند خشکسالی های چندین ده ساله

1 Larson B
2 Permafrost

از ویژگی های اقلیم مناطق گوناگون در ۲۰۰۰ سال گذشته بوده است.

موارد تردید

• سازوکار تغییرات ناگهانی اقلیم در گذشته به خوبی شناخته نیست و میزان اطمینان به مدل های شبیه سازی شده محدود است.

• سرعت از بین رفتن ورقه های یخی گذشته معلوم نیست. بررسی تغییرهای اقلیم در نیم کره جنوبی و مناطق حاره ای به دلیل فقدان داده در این مناطق محدود است.

• بررسی داده های میانجی به کمک روش های آماری در بازه های زمانی چند هزار ساله دقت و حوصله بیشتری می خواهد.

• به نظر می رسد سیاههٔ عوامل محیطی موثر در تغییرات اقلیمِ دیرینه طولانی تر از چند موردی است که تا بحال منظور شده اند. به بررسی بیشتر نیاز است.

(ه) تغییرات در اقلیم سده های آینده

مدل های اقلیمی بر پایه قواعد فیزیکی ساخته می شوند و می توانند اقلیم های گذشته و حال و آینده را شبیه سازی کنند. اکنون، مدل های فراوانی توسط پژوهشگران بکار می روند. مدل (AOGCM)[1] می تواند بدون تردید بیش از ۸۰% نگاشت کمّی از اقلیم آینده بدست دهد. دراین مدل، پیش بینی دما بهتر از پیش بینی متغیرهای دیگر اقلیم (مانند بارش) انجام می گیرد. با گذشت زمان روش های محاسباتی بهتر و قدرت تفکیک مدل ها بیشتر شده است و متغیرهای بیشتری در مدل سازی دخالت داده می شوند. در ساخت و پرداخت مدل ها تلاش های هماهنگ بین–المللی صورت می گیرد. با وجود این، هنوز جامعه پژوهشگران مدل واحدی که مورد قبول همگان باشد و با مشاهده ها همخوانی کامل نشان دهد انتخاب نکرده است.

یافته های بدون تردید

بر پایه مشاهده ها ، مدل ها، حساسیت اقلیم[2] ۲ تا ۴/۵ درجه و با احتمال زیاد ۳ درجه سانتی گراد است. بنا به تعریف، حساسیت اقلیم عبارت است از افزایش دمای میانگین زمین در ازای دو برابر شدن کربن دی اکسیدِ جو. بر پایه این تعریف منظور از گفته بالا این است که اگر میزان کربن دی اکسید جو در هر زمانی در آینده دو برابر شود، دمای جو ۲ تا ۴/۵ درجه سانتی گراد و با احتمال زیاد ۳ درجه سانتی گراد افزایش می یابد.

• حساسیت کمتر از ۱/۵ و بیشتر از ۴/۵ درجه بسیار نامحتمل است. به این معنا که با دو برابر شدن کربن دی–اکسیدِ جو، زمین کمتر از ۱/۵ درجه یا بالاتر از ۴/۵ درجه گرم نخواهد شد.

• افزایش دمای ناشی از نشر گازهای گل خانه ای در سدهٔ بیست ویکم ادامه خواهد داشت.

به دلیل انبساط گرمایی آب دریاها و ذوب یخچال ها و ورقه های یخی قطب ها تراز آب دریاها در سده بیست–ویکم به بالا آمدن ادامه خواهد داد. بالا آمدن آب دریا در گذشته توزیع جغرافیایی یکنواخت نداشته است و در آینده نیز نخواهد داشت.

• حتی در صورت تثبیت ترکیب شیمیایی جو و ثابت نگاه داشتن گازهای گل خانه ای، بالا آمدن آب دریاها در سده ها و هزاره های آینده ادامه خواهد یافت.

موارد تردید

• اغلب مدل ها در نشان دادن راندگی اقلیم[3] مخصوصاً در اعماق اقیانوس ها ناتوانند. راندگی اقلیم بنا به تعریف عبارت است از تغییر دمای میانگین در بازه های زمانی یک صد ساله.

• قدرت تفکیک مکانی مدل های اقلیمی به دلیل محدودیت در توان محاسباتی رایانه های امروزی محدود است و در بسیاری از آنها سوگیری قانون مند دیده شده است.

• مدل های گوناگون مقادیر متفاوت برای حساسیت گذرا و حساسیت میانگین اقلیم نشان می دهند. بنا به تعریف، میزان افزایش دمای میانگینِ زمین در ازای دو برابر شدنِ لحظه ای کربن دی اکسیدِ جو حساسیت گذرا نامگذاری می شود و افزایش دمای میانگین زمین در ازای دو برابر شدن کربن دی اکسید در یک بازه زمانی معین حساسیت میانگین برای آن بازه خوانده می شود.

• سازوکار باز خورد از ابرها بزرگ ترین عامل تفاوت بین مدل ها است.

• هنوز ناشناخته های زیادی در این که ابرها چگونه به تغییر اقلیم واکنش نشان می دهند، وجود دارد.

1 Atmosphere Ocean General Circulation Model
2 Climate Sensitivity
3 Climate Drift

• فرآیندهای کلیدی و ریشه ای که در قطب جنوب و در ورقه یخی گرینلند می توانند سبب ورود انبوه یخ ها به داخل اقیانوس ها شوند هنوز به خوبی شناخته نیستند.

ازهمکارانی که در تهیه این نوشتار شرکت داشته اند، سپاسگزارم. اسامی این بزرگواران به شرح ذیر است:
ماندانا فرهادیان، شمس الدین اسمعیلی، محمدجواد بنی مهدی دهکردی، زینب خرمی، فائزه طباطبائی، سمیه عبدالهی، زهره غفاری، زینب مختاری، پروین مصطفوی، کاظم نجفی قوشه بلاغ.

پایگاه های اطلاعات رجوع شده در این مقاله:

1. Geological Survey of Iran
   (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی): www.gsi.ir
2. Climatological Research Institute
   (پژوهشکده اقلیم شناسی): www.cri.ac.ir
3. http://daneshnameh.roshd.ir
4. United States Environmental Protection Agency: www.epa.gov
5. National Oceanic and Atmospheric Administration: www.noaa.gov

منابع و مآخذ:

[1]. Houghton. John.«Global Warming», Third Edition, Cambridge University Press.

[2]. E. A. Mathez (2009).«Climate Change»: The Science of Global Warming and Our Energy Future, Columbia University Press.

[3].IPCC. *Climate Change (2007). «The Physical Science Basis»*, Cambridge University Press 2007

[4]. IPCC. *Climate Change (2007).« Mitigation of Climate Change»*, Cambridge University Press .