کارگاه فنی
اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب
۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶

# بررسی اهمیت موضوع تغییر اقلیم در جهان و تأثیر آن بر سیستم‌های مختلف

علیرضا مساح بوانی[۱]، پریسا سادات آشفته[۲]

**چکیده:**

رشد صنایع و کارخانه‌ها و بموجب آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یکسو و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای مخصوصا گاز $CO_2$ در چند دهه اخیر شده است. بگونه‌ای که غلظت این گاز از ۲۸۰ ppm در قبل از انقلاب صنعتی (سال ۱۷۵۰) به ۳۷۹ ppm در سال ۲۰۰۵ رسیده است. این افزایش باعث برهم خوردن ایستائی روند (trend) متغیرهای اقلیمی بخصوص دمای کره زمین شده که در نوشته‌های علمی به آن تغییر اقلیم (Climate Change) اطلاق می‌شود. تأثیرات منفی این پدیده بر اقلیم کره زمین و سیستم‌های دیگر شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت، بهداشت و اقتصاد سبب شده که این پدیده بعنوان خطرناکترین معضل در میان ده معضل تهدید آمیز بشر در قرن ۲۱ قلمداد شود. این در حالی است که تهدید مربوط به سلاح‌های کشتار جمعی در رده سوم قرار دارد. در این مقاله تأثیرات این پدیده بر سیستم‌های مختلف در دوره‌های گذشته، حال و آینده در سطوح قاره‌ای بررسی شده و برنامه‌های مطرح شده برای مقابله با آن در سطوح مختلف سیاسی (سازمان ملل، هشت گروه صنعتی جهان G8 و ...) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**کلید واژه:** تغییر اقلیم، گازهای گلخانه‌ای، منابع آب، کشاورزی، محیط زیست

---

۱- عضو هیئت علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، amassah@yahoo.com، ۰۲۹۲۳۰۲۵۳۶۶

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، parisa_ashofteh@yahoo.com

## ۱- مقدمه

رشد صنایع و کارخانه‌ها از آغاز انقلاب صنعتی و به تبع آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یکسو و تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی کشاورزی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای مخصوصا گاز CO2 در چند دهه اخیر شده به گونه‌ای که غلظت این گاز از ppm ۲۸۰ در سال ۱۷۵۰ به ppm ۳۷۹ در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته است. تحقیقات نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گاز تا قبل از پایان قرن ۲۱ام می‌تواند به بیش از ppm ۶۰۰ برسد. افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین بوجود آورده است که در نوشته‌های علمی به آن تغییر اقلیم[۱] گفته می‌شود (BBC news and IPCC, 2007a).

به منظور بررسی دقیق‌تر پدیده تغییر اقلیم و طرح آثار زیان‌بار و مخرب این پدیده برای نسل کنونی و نسل‌های آینده، در سال ۱۹۸۸ موسسه‌ای با نام هیئت بین دول تغییر اقلیم[۲] ( IPCC ) با همکاری دو سازمان جهانی هواشناسی[۳] (WMO) و برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد[۴] (UNEP) تشکیل شد. وظیفه اصلی IPCC تحقیق و بررسی در رابطه با مقوله‌های علمی و فنی و خطرات بالقوه تغییرات آب و هوا و همچنین اثرات آن در سطح جهان و تعیین سیاست‌های مقابله با آن بود. سه گروه کاری توسط IPCC ایجاد شد. گروه کاری اول[۵] به مطالعه ارزیابی اطلاعات علمی، اقتصادی- اجتماعی و فنی برای درک پدیده تغییر اقلیم می‌پردازد، گروه کاری دوم[۶] تأثیرات بالقوه پدیده تغییر اقلیم، تطبیق با این پدیده و آسیب پذیری سیستم‌های مختلف تحت آن را بررسی و ارزیابی می‌کند و گروه کاری سوم[۷] کاهش اثرات ناشی از این پدیده را مورد بررسی قرار می‌دهد (IPCC-WG, 2007).

این مقاله در چهار بخش ارائه می‌شود. بخش اول به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دوره‌های گذشته می‌پردازد. در بخش دوم، تأثیر تغییر اقلیم بر دوره‌های آتی ارائه می‌گردد. در هر دو بخش، ضمن پرداختن به اثرات این پدیده بر دما و سیستم‌های مختلف در سطح جهانی، به تحقیقاتی که در این زمینه در سطح منطقه‌ای صورت گرفته، پرداخته خواهد شد. در بخش سوم، راهکارهایی ارائه شده به‌منظور کاهش اثرات تغییر اقلیم، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش آخر نیز، به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

---

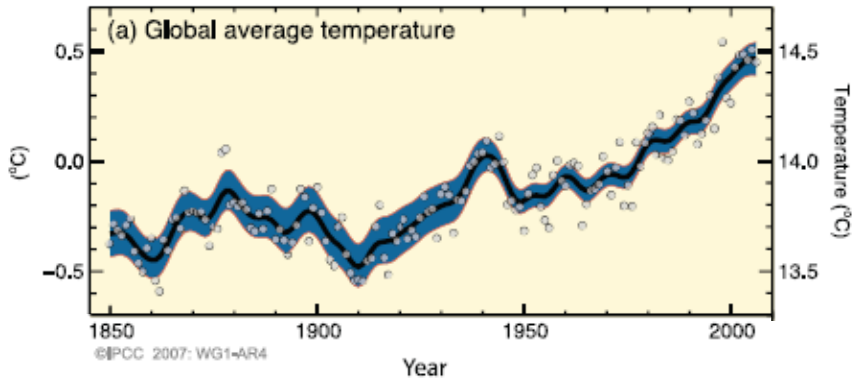
1- Climate Change
2- Intergovernmental Panel of Climate Change
3- World Meteorological Organization
4- United Nation Environmental Program
5- Working Group 1: The Physical Basis of Climate Change
6- Working Group 2: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability
7- Working Group 3: Mitigation of Climate Change

## ۲- تأثیر تغییر اقلیم بر دوره‌های گذشته

بمنظور بررسی وقوع تغییر اقلیم در گذشته[1] و تأثیرات احتمالی آن بر سیستم‌های مختلف، لازم است تا وضعیت متغیرهای اقلیمی در دوره‌های طولانی مدت در گذشته مورد بررسی قرار گیرد. تحقیقات مختلفی در زمینه‌های گوناگون در رابطه با این موضوع انجام شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

### ۲-۱- تأثیر تغییر اقلیم بر دما، بارش، سطح آب و پوشش برف

براساس گزارش‌های موجود، در طول دوره صد ساله ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵، مقدار متوسط افزایش دما نسبت به قرون گذشته ۰/۷۴°C (۰/۵۶ تا ۰/۹۲°C) بوده و این در حالی است که در صد سال منتهی به ۲۰۰۰ یعنی ۱۹۰۱ تا ۲۰۰۰، متوسط افزایش دما ۰/۶°C (۰/۴ تا ۰/۸°C) می‌باشد. از طرف دیگر متوسط افزایش دما در ۵۰ سال گذشته ۰/۱۳°C (۰/۱ تا ۰/۱۶°C) بازای هر ده سال است که این مقدار نزدیک به دو برابر مقدار آن در صد سال گذشته می‌باشد (IPCC, 2007a). شکل ۱ تغییرات مشاهده شده در متوسط دمای جهانی را طی سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد.

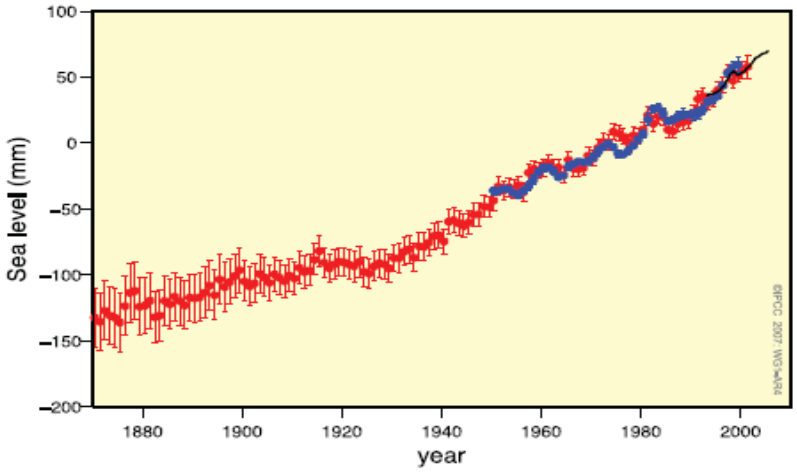



**شکل ۱- تغییرات مشاهده شده در متوسط دمای جهانی**

تغییر اقلیم نه تنها بر دمای اتمسفر تأثیر داشته بلکه بر دمای اقیانوس‌ها نیز تأثیر می‌گذارد و به‌طبع آن باعث تغییراتی در سطح دریاها و اقیانوس‌ها می‌شود. به‌طوری که مشاهدات تا اعماق ۳۰۰۰ متری اقیانوس‌ها نشان می‌دهد که متوسط دمای اقیانوس‌ها از سال ۱۹۹۱ افزایش یافته و این به‌دلیل جذب بیش از ۸۰٪ گرمای اضافه شده به سیستم آب و هوایی است. افزایش دمای اقیانوس‌ها باعث انبساط آب و به‌طبع آن، خیز سطح آب می‌شود. متوسط خیز سطح آب از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳، ۱/۸ میلیمتر (۱/۳ تا ۲/۳ میلیمتر) در هر سال بوده است. متوسط نرخ خیز آب از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳ تندتر بوده به‌طوری که در هر

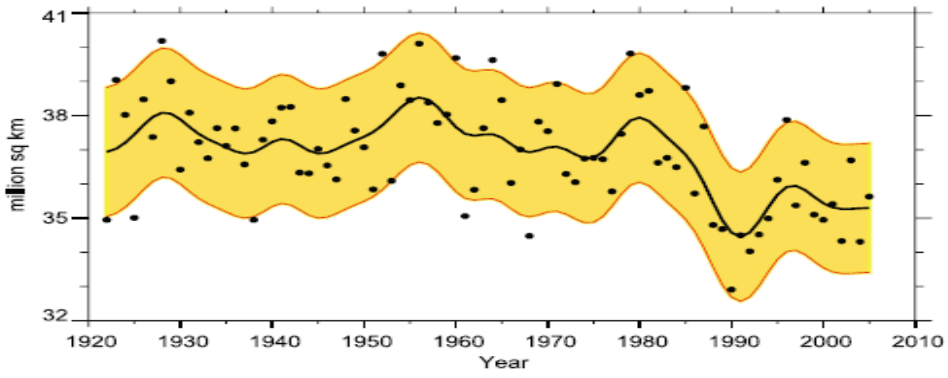
1- Detection of Climate Change

سال، ۳/۱ میلیمتر (۲/۴ تا ۳/۸ میلیمتر) افزایش داشته است (IPCC, 2007a). شکل ۲ تغییرات سطح آب را نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ طی سال‌های ۱۸۷۰ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد.



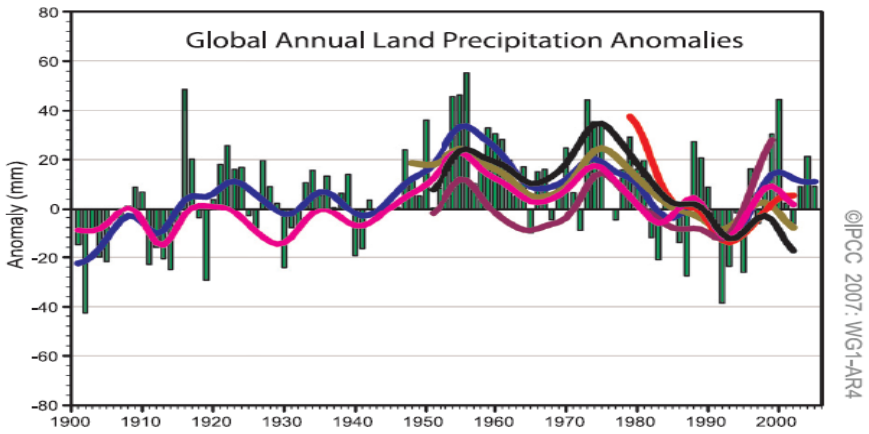

**شکل ۲- تغییرات سالانه سطح آب متوسط دریاها نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (در سطح جهانی)**

تغییر اقلیم همچنین می‌تواند با تأثیر عمده بر افزایش دما، بر میزان ذوب یخچال‌های طبیعی تأثیر بگذارد. به‌گونه‌ای که اطلاعات تهیه شده از ماهواره‌ها نشان می‌دهد که از سال ۱۹۷۸، متوسط یخچال‌های قطب شمال به میزان ۲/۷٪ (۲/۱ تا ۳/۳٪) در هر ده سال، کاهش یافته است و این مقدار در تابستان به ۷/۴٪ (۵ تا ۹/۸٪) می‌رسد (IPCC, 2007a). شکل ۳ کاهش میزان پوشش برف را طی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۲۰۰۵ در نیم‌کره شمالی در ماه‌های مارس و آوریل طی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۲۰۰۵ نسبت به ماه‌های مشابه در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان می‌دهد.




**شکل ۳- تغییرات پوشش برف در نیم‌کره شمالی در ماه‌های مارس و آوریل طی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۲۰۰۵ نسبت به ماه‌های مشابه در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱**

بررسی آمار بارش نیز نشان از تأثیر این پدیده بر این متغیر اقلیمی در گذشته داشته است. بگونه‌ای که بررسی آمار دراز مدت بارش از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق به‌خصوص در بخش‌هایی از آمریکای جنوبی و شمالی، شمال اروپا و مرکز آسیا، میزان بارندگی افزایش داشته است. همچنین شدت خشکسالی‌ها در بخش‌هایی از جنوب آفریقا و بخش‌هایی از جنوب آسیا افزایش یافته است (IPCC, 2007b). شکل ۴ تغییرات سالانه بارش را در دوره ۱۹۰۱ تا ۲۰۰۰ در سطح خشکی‌های جهان نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۰ نشان می‌دهد.




**شکل ۴- تغییرات سالانه مقدار بارش (در سطح خشکی‌های جهان)**

### ۲-۲- تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف:

با تغییر متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته، دیگر سیستم‌های متاثر از این متغیرها نیز تغییر خواهند کرد. این سیستم‌ها عبارتند از: منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و اقتصاد. در زیر تغییرات این سیستم‌ها تحت پدیده تغییر اقلیم در سطح جهانی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۲-۲-۱- منابع آب

دانشمندان اعلام کرده‌اند که یخچال‌های طبیعی در کوهستان‌ها در سال ۲۰۰۵ با سرعتی بیش از سه برابر دهه ۱۹۸۰ در حال ذوب شدن هستند. بطوری که در سال ۲۰۰۵ میلادی به طور متوسط ۶۰ تا ۷۰ سانتیمتر از قطر ۳۰ یخچال جهان کاسته شده است. سازمان نظارت بر یخچال‌های جهان در سال ۲۰۰۶ پیش‌بینی کرد که کوه‌های آلپ در جریان قرن ۲۱ ام سه چهارم یخچال‌های خود را از دست خواهد داد.

مطالعات نشان می‌دهد که خیز سطح آب همراه با افزایش ذوب یخچال‌های طبیعی منجر به تشدید سیلاب خواهد شد (IPCC, 2007a). همچنین نشریه علمی نیچر گزارش داده است که افزایش خطر جاری شدن سیل در اثر تغییرات جوی بیش از آن است که تاکنون تصور می‌شد. بطوری که ناحیه‌هایی از کره زمین

که پیش‌بینی بارندگی برای آن‌ها بیشتر است با خطر گسترده‌تر سیل روبرو هستند. اما این پدیده همچنین باعث تخفیف شدت خشکسالی‌ها می‌شود (BBC News).

### ۲-۲-۲- کشاورزی

مناطقی که دارای کاربری کشاورزی هستند از بین رفته و بیابان‌زایی به وجود می‌آید و حیات انسان و بسیاری از موجودات زنده به علت کاهش پوشش گیاهی به‌خطر می‌افتد (BBC News and IPCC, 2007b).

در اثر خشکسالی تولید محصول کاهش می‌یابد، در این مواقع سوء تغذیه به‌وجود می‌آید و بیماری‌ها افزایش یافته و بسیاری از دام‌ها از بین می‌رود (BBC News and IPCC, 2007b).

### ۲-۲-۳- محیط زیست

گرم شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، تأثیراتی را بر کیفیت آب می‌گذارد که برای زیستگاه موجودات آبزی مشکل ایجاد می‌کند (IPCC, 2007b).

در اثر خشکسالی حساسیت محیط افزایش می‌یابد، چرخه زندگی بسیاری از موجودات از هم گسیخته شده و عوامل تخریب کننده محیط زیست قویتر عمل می‌کنند، همچنین با افزایش آتش سوزی در جنگل‌ها، کاهش چشمگیری در حیات وحش این مناطق دیده می‌شود (BBC News and IPCC, 2007b).

گرم شدن، تغییراتی را در سیستم‌های زیستی خواهد گذاشت از آن جمله می‌توان به افزایش مهاجرت پرندگان و تأثیر بر تخم‌گذاری آن‌ها و در نهایت، نابودی گونه‌های زیستی اشاره کرد (IPCC, 2007b).

افزایش گاز گلخانه‌ای، باعث اسیدی شدن اقیانوس‌ها شده است. و این مساله موجب نابودی موجودات آبزی و گونه‌های زیستی خواهد شد (IPCC, 2007b).

### ۲-۲-۴- بهداشت

گرمایش زمین عواقب متعددی برای ساکنان کره زمین دارد که گسترش بیماری‌ها یکی از آن‌ها است. بنا به تخمین سازمان بهداشت جهانی هر ساله هشتاد هزار نفر در کشورهای آسیایی به خاطر ابتلا به بیماری‌های ناشی از گرمایش زمین جان خود را از دست می‌دهند. مدیر سازمان بهداشت جهانی در امور غرب اقیانوسیه گفت کاهش بارندگی و منابع آب بهداشتی به گسترش بیماری‌هایی که عامل ناقل آن‌ها در آب یافت می‌شود، کمک می‌کند (IPCC, 2007b and BBC News).

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO) میزان مرگ و میر میلیونی از طریق مالاریا و سوء تغذیه افزایش یافته و در آینده به بالاترین حد خود خواهد رسید (BBC News).

**۲-۲-۵- اقتصاد**

شکست در مواجهه با تغییر وضعیت آب و هوایی زمین می‌تواند به فروپاشی اقتصادی و اجتماعی در جوامع انسانی منجر شود و خساراتی مانند جنگ جهانی بر جای گذارد. ادامه روند موجود می‌تواند به کاهش رشد اقتصادی در جهان تا ۲۰ درصد منجر شود، در حالی که مقابله با مشکل تغییر وضعیت آب و هوایی زمین در حال حاضر تنها یک درصد تولید ناخالص داخلی کشورها را به خود اختصاص خواهد داد (BBC News).

## ۳- تأثیر تغییر اقلیم بر دوره‌های آتی

برای بررسی تغییر اقلیم در آینده نیاز به تولید سناریوی اقلیمی[1] می‌باشد. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو می‌باشد (Wilby and Harris, 2005; Mitchell 2003; Lane et al. 1999). که بعد از این در این متن به آن AOGCM [2] اطلاق می‌گردد. مدل‌های AOGCM بر پایه قوانین فیزیکی که به‌وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شود استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه‌بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند. به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرآیندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس, سطح زمین، یخ پوسته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه جفت شده و مدل‌های AOGCM را تشکیل می‌دهند. روابط ریاضی این مدل‌ها در شبکه‌های سه بعدی، با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس حل می‌شوند. از ورودی‌های اصلی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای SRES[3] در اتمسفر کره زمین می‌باشد که تحت سناریوهای مختلف انتشار به مدل معرفی می‌گردد. این سناریوها عبارتند از A1، A2، B1 و B2 که هر کدام وضعیت گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۱۰۰ بر اساس فرض‌های مختلف برای وضعیت اقتصادی، اجتماعی و تغییرات رشد جمعیت کره زمین نشان می‌دهد.

در زیر به تحقیقات انجام شده در ارتباط با تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و سیستم‌های مختلف در دوره‌های آتی با استفاده از شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM اشاره می‌شود.

### ۳-۱- تأثیر تغییر اقلیم بر دما، بارندگی، سطح آب و پوشش برف

با افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو، دمای کره زمین افزایش می‌یابد که این مساله موجب ایجاد تغییرات ناخوشایندی خواهد شد. در دو دهه آینده حتی اگر غلظت گازهای گلخانه‌ای ثابت نگه داشته شود. دما در هر دهه ۰/۱°C افزایش می‌یابد. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت گازهای گلخانه‌ای تا قبل از پایان قرن ۲۱ام می‌تواند به بیش از ۶۰۰ ppm برسد.

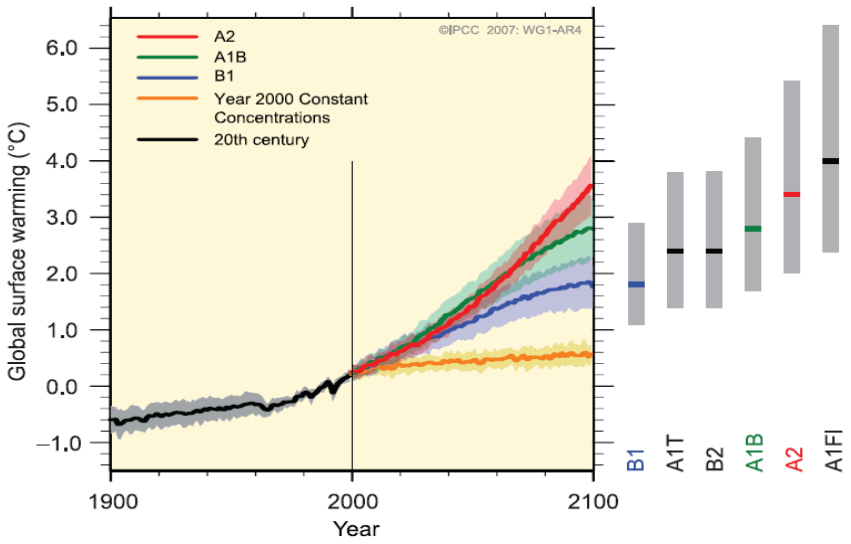
1- Climatic Scenario
2- Atmosphere- Ocean General Circulation Model
3- Special Report on Emission Scenario

جدول ۱ مقایسه‌ای بین متوسط تغییرات دمای کره زمین (حاصل از شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM) را در دهه انتهایی قرن ۲۱ (۲۰۹۹-۲۰۹۰) نسبت به دهه ۱۹۹۹-۱۹۸۰ ، تحت سناریوهای مختلف انتشار نشان می‌دهد (IPCC, 2007a).

**جدول ۱- مقایسه تغییرات دما قرن ۲۱ نسبت به قرن ۲۰، در سناریوهای مختلف انتشار(IPCC, 2007a)**

| Case | Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999)[a] | |
|---|---|---|
| | Best estimate | *Likely* range |
| Constant Year 2000 concentrations[b] | 0.6 | 0.3 – 0.9 |
| B1 scenario | 1.8 | 1.1 – 2.9 |
| A1T scenario | 2.4 | 1.4 – 3.8 |
| B2 scenario | 2.4 | 1.4 – 3.8 |
| A1B scenario | 2.8 | 1.7 – 4.4 |
| A2 scenario | 3.4 | 2.0 – 5.4 |
| A1FI scenario | 4.0 | 2.4 – 6.4 |

همچنین شکل ۵ ارتباط بین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف را با میزان گرم شدن جهانی نشان می‌دهد.




**شکل ۵- شبیه‌سازی گرم شدن جهانی بر اساس سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای SRES**

همانطور که از جدول ۱ و شکل ۵ مشخص می‌باشد, دمای کره زمین در سال ۲۱۰۰ بین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۰ افزایش خواهد یافت.

به موجب تأثیرات عمده افزایش دمای ناشی از پدیده تغییر اقلیم، حجم آب اقیانوس‌ها و دریاها افزایش یافته و باعث خیز سطح آب می‌گردد. خیز سطح آب در پایان قرن ۲۱ام به مراتب بیشتر از خیز سطح آب در پایان قرن ۲۰ام است. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، سطح آب طی سناریوهای مختلف انتشار افزایش نشان می‌دهد.

**جدول ۲- مقایسه خیز سطح آب دهه انتهائی قرن ۲۱ام نسبت به دهه انتهائی قرن ۲۰ام، در سناریوهای مختلف انتشار**(IPCC, 2007a)

| Case | Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999) Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow |
|---|---|
| Constant Year 2000 concentrations [b] | NA |
| B1 scenario | 0.18 – 0.38 |
| A1T scenario | 0.20 – 0.45 |
| B2 scenario | 0.20 – 0.43 |
| A1B scenario | 0.21 – 0.48 |
| A2 scenario | 0.23 – 0.51 |
| A1FI scenario | 0.26 – 0.59 |

بدنبال افزایش دما در قرن ۲۱ام ذوب برف در قطب شمال و جنوب تحت تمام سناریوها قطعا بیشتر از قرن ۲۰ام خواهد بود (IPCC, 2007a). همچنین تا اواخر قرن ۲۱ یخچال‌های پامیر و هندوکش کاملا از بین خواهند رفت (BBC News). بنا به گزارش سازمان ملل متحد وقوع حوادث طبیعی، از جمله لغزش کوهپاره (Landslide)، باران سیل آسا در فصل‌های گوناگون سال به‌خصوص در عرض‌های جغرافیایی بالا و خیز سطح آب رودخانه‌ها در ده سال آینده افزایش خواهد یافت.

## ۳-۲- تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف در سطح جهان

### ۳-۲-۱- منابع آب

تغییر اقلیم می‌تواند باعث افزایش رواناب در مناطق با عرض‌های جغرافیایی بالائی کره زمین، بدلیل افزایش در میزان بارندگی و ذوب برف شود. اما در عرض‌های جغرافیایی پایین انتظار می‌رود که کاهش رواناب را شاهد باشیم (Lane et al., 1999). طبق گزارش‌های IPCC در دوره‌های آتی متوسط رواناب سالانه در عرض‌های جغرافیایی بالا ۱۰ تا ۴۰ ٪ افزایش و در عرض‌های جغرافیایی پایین ۱۰ تا ۳۰ ٪ کاهش می‌یابد (IPCC, 2007a).

از طرف دیگر تغییر اقلیم باعث افزایش رخدادهای بارش سنگین، طوفان‌های گرمسیری و ذوب یخچال‌های طبیعی و به‌تبع آن افزایش سیلاب به‌خصوص در عرض‌های جغرافیایی بالا شده و همچنین باعث افزایش خشکسالی در مناطق گرمسیری و عرض‌های جغرافیایی پایین می‌شود (IPCC, 2007a).

**۳-۲-۲- کشاورزی**

گرچه هنوز مطالعات جامعی در سطح جهانی در مورد تأثیر این پدیده بر کشاورزی انجام نگرفته است ولی می‌توان به از بین رفتن تولیدات غذایی و به‌تبع آن افزایش خطر گرسنگی، تغییر در کاربری کشاورزی و ایجاد بیابان‌زایی و از بین رفتن دام‌ها تحت تأثیر این پدیده در دوره‌های آتی اشاره کرد.

**۳-۲-۳- محیط زیست**

محیط زیست نیز از جمله سیستم‌هایی است که هنوز بطور جامع مورد مطالعه قرار نگرفته است. این در حالی‌است که تنها تأثیرات نام برده شده زیر را می‌توان تا سال ۲۱۰۰ در این زمینه انتظار داشت. تغییر در تخم ریزی ماهی‌ها و یا پرندگان، فرسایش ساحل به‌دلیل افزایش سطح آب، آتش‌سوزی و تخریب جنگل‌ها و اسیدی شدن اقیانوس‌ها و به خطر افتادن حیات موجودات آبزی.

**۳-۲-۴- بهداشت**

تأثیرات مورد انتظار پدیده تغییر اقلیم بر بهداشت جوامع در دوره‌های آتی عبارتند از: افزایش خطر مرگ به‌دلیل موج زیاد گرما، شیوع بیماری‌های واگیردار مانند مالاریا، افزایش گرسنگی به‌دلیل تولیدات گیاهی در اثر موج گرما و افزایش حوادث و بلایای طبیعی (IPCC, 2007b).

**۳-۲-۵- اقتصادی و اجتماعی**

افزایش مهاجرت: عواقب تغییرات جوی ممکن است تا سال ۲۰۵۰ میلادی یک میلیارد نفر را در جهان آواره کند. گرم شدن بی‌رویه زمین در سال‌های آتی، بحران مهاجرت بین‌المللی را وخیم‌تر خواهد کرد.

افزایش جنگ و خونریزی: موج مهاجرت‌ها ممکن است در مناطقی که منابع کمتری دارند باعث جنگ و خونریزی شود. در حال حاضر ۱۵۵ میلیون نفر به خاطر جنگ، بلایای طبیعی و طرح‌های توسعه آواره هستند. اما با توجه به کمبود آب آشامیدنی، بالا آمدن سطح دریاها، تخریب مراتع، جنگ و قحطی در مناطق مختلف جهان این آمار ممکن است در آینده‌ای نزدیک به ۸۵۰ میلیون نفر افزایش یابد.

افزایش رکود اقتصادی: ادامه روند وضعیت آب و هوایی موجود می‌تواند به کاهش رشد اقتصادی در جهان تا ۲۰ درصد منجر شود، در حالی که طرح‌های مقابله با مشکل تغییر وضعیت آب و هوایی زمین در حال حاضر تنها یک درصد تولید ناخالص داخلی کشورها را به خود اختصاص داده است (IPCC, 2007b and BBC News). بر اساس گزارش اخیر IPCC، تا سال ۲۰۸۰ یک تا سه میلیارد نفر

با کمبود آب، ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلیون نفر با گرسنگی و ۲ تا ۷ میلیون نفر در سال با سیلاب های ساحلی مواجه خواهند شد.

### ۳-۳- تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف در سطح منطقه‌ای

موارد ذکر شده، بررسی‌ها و تحقیقات صورت گرفته در زمینه تأثیرات بالقوه تغییرات آب و هوا در سطح جهان بوده است. تاکنون تحقیقات متنوعی نیز در این زمینه در سطح منطقه‌ای به‌انجام رسیده است. بنابراین لازم است به مرور بخشی از تحقیقات انجام یافته در این زمینه پرداخته شود که در ادامه این مقاله بیان می‌گردد.

در تحقیقی که توسط Zhao و همکاران (۲۰۰۵) در آفریقای جنوبی انجام شد، واکنش متغیرهای اقلیمی این منطقه به افزایش گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از خروجی‌های ۳ مدل گردش عمومی و سناریوی B2 از مجموع سناریوی SRES استفاده شد. شبیه‌سازی‌های بعمل آمده در بیشتر بخش‌های جنوبی آفریقا نشان می‌دهد که تا پایان قرن بیست و یکم، بارندگی به میزان ۸/۲ درصد کاهش خواهد یافت.

Andersen و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی، منابع آب و مواد مغذی در حوضه رودخانه دنیش (Danish) را با استفاده از ۱ مدل گردش عمومی تحت سناریوی انتشار A2 برای دو دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (برای کنترل) و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (برای سناریوسازی) را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ۶ حوضه با مساحتی حدود ۴ تا ۴۰ کیلومتر مربع مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌ها افزایش بارش میانگین سالانه ۴۷ میلیمتر یا ۵٪ و افزایش در دمای میانگین سالانه $۳/۲^{\circ}C$ یا ۴۳٪ را نشان داد. به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌های مورد مطالعه یک مدل بارش- رواناب برای ۶ حوضه به‌کار برده شد. نتایج نشان داد که میانگین سالانه رواناب زمستانه ۲۷ میلیمتر یا ۷/۵٪ افزایش نشان می‌دهد. این تحقیق کاهش ۴۰ تا ۷۰٪ رواناب تابستانه برای حوضه‌های لومی را نشان می‌دهد. برای شبیه‌سازی تأثیر هیدرولوژی روی انتشار مواد مغذی حوضه‌های مورد مطالعه، یک مدل آماری توسعه داده شد. کاربرد این مدل‌ها نشان داد که تغییرات میانگین سالانه در میزان نیتروژن در حوضه‌های لومی و شنی به‌ترتیب Kg.N/ha ۲/۳۲ (۸/۵٪) وKg.N/ha ۱/۶ (۶/۹٪) بود. نهایتا بمنظور شبیه‌سازی تأثیرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و تلفات مواد مغذی و فرآیندهای حفظ نیتروژن مدل بارش- رواناب و مدل تلفات مواد مغذی در مدل Mike11 تلفیق شدند. مقدار میانگین سالانه نیتروژن حوضه رودخانه نشان داد که میزان آن از دوره کنترل تا دوره سناریوسازی ۷/۷٪ افزایش یافته است.

در تحقیقی که توسط مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴الف) انجام گردید، اثرات این پدیده بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان تحت داده‌های یک مدل گردش عمومی و دو سناریوی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل‌های این اطلاعات، نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ بخصوص در نیمه دوم قرن دارد. شبیه‌سازی دبی ورودی به سد

چادگان با استفاده از تکنیک شبکه عصبی افت جریان ورودی به سد را تا ۵/۸ درصد نشان می‌دهد. مقایسه سناریوهای A2 و B2 نشان از وضعیت بحرانی‌تر سناریوی A2 در این حوضه دارد.

براساس گزارش‌های منتشره از IPCC، مناطق جنوب انگلیس در سال ۲۰۵۰ شدیداً مستعد وقوع خشکسالی بوده ولی مناطق شمالی به مراتب مرطوب‌ترشده و سیل درآنجا مشکل زا خواهد شد.

در تحقیق دیگری تأثیر پدیده گرم شدن جهانی[1] و تغییر اقلیم بر احتمال رخداد سیلاب در کشور بنگلادش تحت خروجی‌های ۴ مدل گردش عمومی توسط Mirza (۲۰۰۱) در محل اتصال سه رودخانه Ganges، Brahmaputra و Meghna (GBM) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق خروجی مدل‌های GCM به‌عنوان ورودی در مدل هیدرولوژیکی Mike11-GIS به‌کار برده شد. نتایج به‌دست آمده، افزایشی را در میانگین دبی پیک در GBM نشان می‌دهد، این تغییرات ممکن است منجر به وقوع سیلاب گردد.

## ۴- راهکارهای کاهش اثرات تغییر اقلیم:

تأثیرات منفی پدیده تغییر اقلیم بر اقلیم کره زمین و سیستم‌های دیگر سبب شده که این پدیده بعنوان خطرناکترین معضل در میان ده معضل تهدید آمیز بشر در قرن ۲۱ قلمداد شود. این در حالی است که تهدید مربوط به سلاح‌های کشتار جمعی در رده سوم قرار دارد.

IPCC در سیاست‌های اجرایی خود، دو راهکار اصلی زیر را در زمینه مقابله با اثرات تغییر اقلیم ارائه داده است. نخستین راهکار، تعیین اثرات تغییر اقلیم همراه با تطبیق و سازگاری با آن می‌باشد. هدف از این راهکار، تعیین آسیب پذیری انسان و سیستم‌های طبیعی از تغییر اقلیم و شناسایی پیامدهای مثبت و منفی آن و ارائه گزینه‌های مناسب برای سازگاری با این پیامدها می‌باشد. علیرغم اهمیت این موضوع، تحقیقات اندکی در این زمینه در سطح دنیا انجام شده و بایستی تحقیقات بیشتری صورت گیرد. راهکار دوم، کاهش اثرات تغییر اقلیم می‌باشد که هدف آن، بررسی روش‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر موضوعات اقتصادی مرتبط می‌باشد. در این خصوص همه ساله کنفرانس‌هایی در سطح سازمان ملل متحد برگزار شده و توافقاتی بین دول مختلف انجام گرفته که مهمترین آن‌ها پیمان کیوتو می‌باشد.

در سال ۱۹۹۷، پیمان کیوتو کشورهای صنعتی را متعهد کرد که ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۵ درصد کاهش دهند، همچنین برای افزایش ضریب نفوذ استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر نظیر انرژی خورشیدی و بادی، به کشورهای در حال توسعه کمک‌های مالی اعطا کنند. ایران نیز در سال ۱۳۸۴ پس از تصویب هیات دولت و مجلس شورای اسلامی و تایید شورای نگهبان به پیمان کیوتو پیوست.

---

1- Global Warming

۸ کشور صنعتی (گروه G8) نیز برنامه‌ها و اقداماتی در مورد گرم شدن زمین دارند که در راستای تلاش سازمان ملل متحد در مقابله با تغییر آب و هوا می‌باشد. اعضای گروه ۸ کشور صنعتی عبارتند از کانادا، فرانسه، آلمان، ایتالیا، ژاپن، بریتانیا، ایالات متحده و روسیه. توافق بین این کشورها در مورد مسائلی همچون ترتیبات بعد از کنفرانس کیوتو در زمینه انتشارات گازهای گلخانه‌ای و مشارکت تولید کنندگان عمده این نوع گازها در بلند مدت می‌باشد.

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

آن‌چه مسلم است میزان گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی حتی با در نظر گرفتن مطلوبترین سناریوهای اقتصادی - اجتمائی و محیط زیست برای کره زمین (سناریوی B2), افزایش خواهد یافت. و این افزایش باعث افزایش دمای کره زمین در دوره‌های آتی خواهد شد. از طرف دیگر شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل‌های مختلف AOGCM تحت سناریوی B2 در مناطق مختلف کره زمین نیز حاکی از بر هم خوردن سیستم اقلیم کره زمین در این مناطق و برجای گذاشتن اثرات منفی مختلف می‌باشد. لذا می‌توان گفت که اکثر مناطق کره زمین در خوشبینانه‌ترین حالت ممکن برای سناریوهای اقتصادی نیز تحت تأثیر اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم قرار خواهند گرفت.

خوشبختانه اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه در قاره‌های اروپا و آمریکا نسبت به پدیده تغییر اقلیم بسیار حساس شده‌اند. بگونه‌ای که بودجه‌های زیادی را صرف انجام طرح‌های پژوهشی در ارتباط با بررسی اثرات این پدیده بر سیستم‌های مختلف کشور خود کرده‌اند. در این راستا می‌توان به بودجه تصویب شده توسط پارلمان اروپا برای کشورهای اروپائی در مورد تحقیقات در زمینه تغییر اقلیم اشاره کرد. مجلس آمریکا نیز بودجه‌ها و طرح‌های متعددی را تا کنون در این زمینه به تصویب رسانده است. از طرف دیگر این مسئله در دستور کار روسای جمهور این کشورها قرار گرفته و حتی صحبت در این زمینه و مقابله با اثرات منفی آن نیز جزء تبلیغات انتخاباتی نمایندگان مختلف شده است.

متاسفانه علیرغم اهمیت این موضوع در جهان و اهتمام قاره‌های اروپا و آمریکا در این زمینه, تلاش‌های کمتری چه در زمینه اختصاص بودجه و چه در زمینه انجام طرح‌های پژوهشی کلان و هدفدار در قاره آسیا بخصوص در کشورمان شده‌است. این امر سبب خواهد شد تا کشورمان هزینه‌های بسیار بیشتری را در آینده نه چندان دور بدلیل نداشتن استراتژی خاصی در مقابله با اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم بپردازد. لذا لازم است تا دستگاه‌های قانون‌گذاری و اجرائی مختلف از هم اکنون تحقیقات در این زمینه را در برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلند مدت خود قرار دهند.

## ۶- مراجع


۱. **مساح بوانی ع.ر. و مرید س.** (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره چهارم.

2. **Andersen, H.E., Kronvang, B., Larsen, S.E., Hoffmann, C.Ch., Jensen, T.S. and Rasmussen, E.K.,** (2006). Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin. Science of the Total Environment, 365: 223-237
3. **BBC News** http://bbc.co.uk/persian/
4. **IPCC** (2007a). Summary for Policymarkers, in: Climate Change 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.) (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18
5. **IPCC** (2007b). Summary for Policymarkers, in: Climate Change 2007. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., (2007) Climate Change 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22
6. **IPCC-WG** (2007) http://www.ipcc.ch
7. **Lane, M.E., Kirshen, P.H. and Vogel, R.M**. (1999). Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE, Journal of Water Resourse Planning and Management. 125(4): 194-204
8. **Mirza, M.** (2001). Global warming and changes in the prohability of occurrence of floods in Bangladesh and implications. Global Environmental Change, 12: 137-138
9. **Mitchell T.D.** (2003) Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. Climatic Change 60: 217-242
10. **Wilby R.L. and Harris, I.** (2006). A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research (in press).
11. **Zhao, Y., Camberlin, P. and Richard, Y.** (2005). Validation of a coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa, using a statistical downscaling method, Climate research, 28: 109-122.