

جغرافیا و توسعه شماره ۲۷ تابستان ۱۳۹۱

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۷/۱۵

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

صفحات : ۳۶ - ۱۹

## آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرمایش جهانی

دکتر غلامرضا روشن<sup>۱</sup>، دکتر فرامرز خوش‌اخلاق<sup>۲</sup>، دکتر قاسم عزیزی<sup>۳</sup>

### چکیده

این تحقیق، به منظور آزمون و یافتن بهترین مدل گردش عمومی جو، جهت انطباق با تغییرات دما و بارش ایران در شرایط افزایش گازهای گلخانه‌ای انجام گرفته است. بدین منظور، از ۲۰ مدل GCM با استفاده از سناریوی واحدی به نام P50 استفاده شده است. از این رو، با استفاده از نرم افزار MAGICC SCENGEN، داده‌های دما و بارش ایران از سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به عنوان داده‌های پایه انتخاب، و تغییرات دما و بارش برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، توسط ۲۰ مدل مورد نظر شبیه‌سازی گردید. از جمله نتایج مهم این پژوهش، این است که هیچ کدام از مدل‌های گردش عمومی جو، بخوبی نمی‌توانند شرایط واقعی تغییرات دما و بارش کشور را شبیه‌سازی نمایند. برای شبیه‌سازی بهتر مؤلفه بارش کشور، پیشنهاد می‌گردد تا از نتایج ترکیبی مدل‌ها استفاده گردد تا صرفاً، از نتایج مربوط به یک مدل خاص. در این تحقیق، با توجه قرار دادن ضرایب همبستگی بین سری واقعی داده‌های دما و بارش با داده‌های شبیه‌سازی شده، نتایج ترکیبی مربوط به مدل‌های (+) 66<sup>2</sup> \* و CNRM-CM3 به عنوان مدل‌های مناسب جهت آشکارسازی تغییرات بارش معرفی گردیده و مدل INMCM-30 نیز به عنوان مدل مناسب جهت شبیه‌سازی تغییرات دما پیشنهاد می‌گردد.

نتایج شبیه‌سازی دما و بارش برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ توسط مدل‌های پیشنهادی، به ترتیب نشان‌دهنده‌ی افزایش بارش به میزان ۲/۵ و ۳/۷۰ درصد و دمای کشور به میزان ۱/۳ و ۲/۵ درجه سلسیوس برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ بوده، و طولانی‌تر شدن فصل رشد و نمو گیاهان، افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش جامد، افزایش بارش‌های همرفتی و در نهایت افزایش پتانسیل سیلاب، از دیگر آثار این تغییرات اقلیمی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌یابی، شبیه‌سازی، مدل‌های گردش عمومی جو، دما و بارش، ایران.

ghr.roshan@GU.ac.ir

fkhosh@ut.ac.ir

ghazizi@ut.ac.ir

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان (نویسنده مسؤل)

۲- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

## مقدمه

هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری کرد و بدین ترتیب مدیریت خطرپذیری را اجرا کرد. بنابراین به دلیل اهمیت مدل‌های GCM برای شبیه‌سازی آب و هوای آینده، مطالعاتی زیاد توسط پژوهشگران، تحت سناریوهای مختلف انجام شده است (Richard & Lindzen, 1994: 125-134; Eitzinger & others, 2003: 195-217; Kainuma, 2004: 709-719; Hertig & Jacobeit, 2008: 127-131) اما در این خصوص سهم محققان ایرانی، به غیر از محدود مطالعاتی، چندان چشمگیر نیست (کوچکی و دیگران، ۱۳۸۲: ۱۸۲؛ شکبیا و متکان، ۱۳۸۴: ۲۴-۱۳؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۵).

## مواد و روش‌ها

این تحقیق، به منظور ارائه‌ی بهترین مدل، جهت تطبیق با تغییرات دما و بارش ایران در شرایط افزایش گازهای گلخانه‌ای صورت گرفته است. از موارد مشابه این تحقیق می‌توان به کار هایوود و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد که در آن سعی شده تا نتایج پیش‌بینی شده دو مدل گردش عمومی HadAM3 و GCMAM برای اواسط دوره‌ی پلیوسن مورد مقایسه قرار گیرد (Haywood & others, 2009: 208-224). اما در تحقیق حاضر، از ۲۰ مدل GCM (جدول ۱)، و با استفاده از سناریوی واحد به نام P50 که متوسط سناریوی SRES<sup>۱</sup> یا سناریوهای انتشار می‌باشد، استفاده شده است. از آنجا که مهم‌ترین ورودی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی است و از طرفی تعیین میزان انتشار این گازها در دوره‌های آتی به‌طور قطعی امکان‌پذیر نیست، از این رو سناریوهای مختلفی که در برگرنده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد، ارائه شده که آن‌ها را سناریوهای انتشار می‌نامند.

با توجه به روند فعلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تشدید گرمایش جهانی برای دهه‌های آینده غیر قابل انکار بوده، بطوری که تأثیر بسزایی به روی منابع و پدیده‌های طبیعی و به همان نسبت بر روی فعالیت‌های انسانی می‌گذارد. در این بین، به دلیل قرارگیری بیشتر مساحت ایران در منطقه‌ی اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک، لزوم مطالعه‌ی رژیم دما و بارش ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی را تشدید می‌کند. اگر چه تأثیرات مثبت گرمایش جهانی با افزایش طول مدت رشد گیاهان، کاهش استفاده از انرژی در دوره‌ی سرد سال و غیره می‌تواند باشد، اما از طرف دیگر باعث نیاز بیشتر انرژی برای تهیه در دوره‌ی گرم سال، افزایش خشکسالی‌ها، کاهش منابع آب و... می‌گردد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۵۲-۱۳۵؛ کوچکی و دیگران، ۱۳۸۲: ۱۹۱-۱۷۸). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم سناریوهای مختلفی را برای پیش‌یابی چگونگی ادامه روند افزایش گازهای گلخانه‌ای ارائه کرده است که بر مبنای سناریوهای مختلف، غلظت دی‌اکسیدکربن پیش از پایان قرن ۲۱ میلادی دو برابر خواهد شد (Hoogwijk, 2005: 225-227; Grüber & others, 2007: 980-1029).

در این خصوص روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها مدل‌های عمومی گردش (GCM) است. هدف این مدل‌ها شبیه‌سازی همه‌ی ویژگی‌های سه بُعدی آب و هوا بوده و از این رو جامع‌ترین مدل‌های جوی برای پیش‌یابی وضعیت آینده (Hoogwijk, 2009: 26-43). حال اگر با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تغییر آب و هوا شرایط اقلیمی آینده شبیه‌سازی شود، می‌توان از

در این ارزیابی، داده‌های دما و بارش ایران در دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به عنوان داده‌های پایه انتخاب و تغییرات دما و بارش برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، با توجه به سناریوی پیشنهادی و بر اساس تغییرات دوره‌ی زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان، مدل مناسب را که با داده‌های تجربی دما و بارش در سال‌های پیشنهادی تطابق دارند را انتخاب نمود.

بدین منظور برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات مقادیر دما و بارش در اثر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز، از مدل ترکیبی<sup>۲</sup> SCENGEN<sup>۱</sup> MAGICC استفاده گردیده است. در این تحقیق از نسخه ۵/۳ این نرم‌افزار مطابق با چهارمین گزارش IPCC استفاده گردیده که بر اساس آن چرخه کربن، متان، اکسید نیتروژن، و مدل‌های هالوکربن‌ها به همراه مدلی در زمینه‌ی کارایی آئروسول‌ها در نظر گرفته شده است (Wigley, 2000: 258-276; Wigley, 2006: 453). در ادامه بعد از آزمون بهترین مدل‌ها، تغییرات دو مؤلفه‌ی بارش و دمای کشور در بستر گرمایش جهانی و برای دهه‌های آینده ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ پیش‌بینی گردید.

جدول ۱: مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد در SCENGEN 5.3

| کشور پایه‌گذار مدل | نام تخصصی مدل SCENGEN  |
|--------------------|------------------------|
| Norway             | BCCRBCM2               |
| USA                | &&60 <sup>2</sup>      |
| Canada             | CCCMA-31               |
| France             | CNRM-CM3               |
| Australia          | CSIRO-30               |
| Germany            | MPIECH-5               |
| Germany/Korea      | ECHO---G               |
| China              | FGOALS1G               |
| USA                | GFDLCM20               |
| USA                | GFDLCM21               |
| USA                | * ,66 <sup>2</sup> ( + |
| USA                | * ,66 <sup>2</sup> ( 5 |
| Russia             | INMCM-30               |
| France             | IPSL_CM4               |
| Japan              | MIROC-HI               |
| Japan              | MIROCMED               |
| Japan              | MRI-232A               |
| USA                | NCARPCM1               |
| UK                 | UKHADCM3               |
| UK                 | UKHADGEM               |

مأخذ: Wigley, 2006: 452-454

هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم یا IPCC<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۸ سری جدید سناریوهای انتشار با نام SRES را ارائه داد (Nigel & Arnell, 2004: 31-52; Arnella & others, 2004: 3-20; Parry & others, 2004: 53-67) جدول شماره‌ی (۲) برخی از ویژگی‌های ۴ سناریوی شاخص از مجموعه این سناریوها در سال ۲۱۰۰ ارائه شده است.

2-Model for Assessment of Greenhouse- Gas induced Climate Chang

1-Intergovernmental Panel on Climate Change

جدول ۲: مشخصات سناریوهای اقلیمی SRES در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰

| B2               | B1            | A2               | A1               | 1990  | خصوصیات سناریو                          |
|------------------|---------------|------------------|------------------|-------|---|
| 10.4             | 7.0           | 15.1             | 7.1              | 5.252 | جمعیت (بیلیون نفر)                      |
| 601              | 547           | 834              | 680              | 354   | غلظت دی‌اکسید کربن ppmv                 |
| 2.1<br>(1.5-3.1) | 2<br>(1.4-3)  | 3.1<br>(2.1-4.4) | 2.5<br>(1.7-3.7) | -     | تغییرات متوسط دمای میانگین کره زمین (C) |
| 52<br>(20-93)    | 50<br>(19-90) | 62<br>(27-107)   | 58<br>(23-101)   | -     | افزایش جهانی سطح آب دریا (cm)           |
| 235              | 328           | 243              | 550              | 21    | GDP جهانی $10^{12}$ \$                  |

مأخذ: Detlef & others, 2007: 114-130; Van & others, 2004: 87-99.

گردش عمومی جو را می‌دهد. همچنین این امکان را فراهم می‌سازد تا کاربر به وسیله فرض‌های مختلف در مورد مؤلفه‌های سامانه‌ی اقلیم، پیامدها را بازشناسد. سناریوهای این مدل، در واقع از انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده با استفاده از فرض‌های مختلف در زمینه‌ی فعالیت‌های انسانی، سیاست‌ها، کاربردهای فن‌آوری و غیره پیش‌بینی می‌شوند. به هر حال هر دوی این مدل‌ها در بخش تحقیقات اقلیمی، دانشگاه ایست آنگلیای انگلستان ۱ پایه‌گذاری گردیدند.

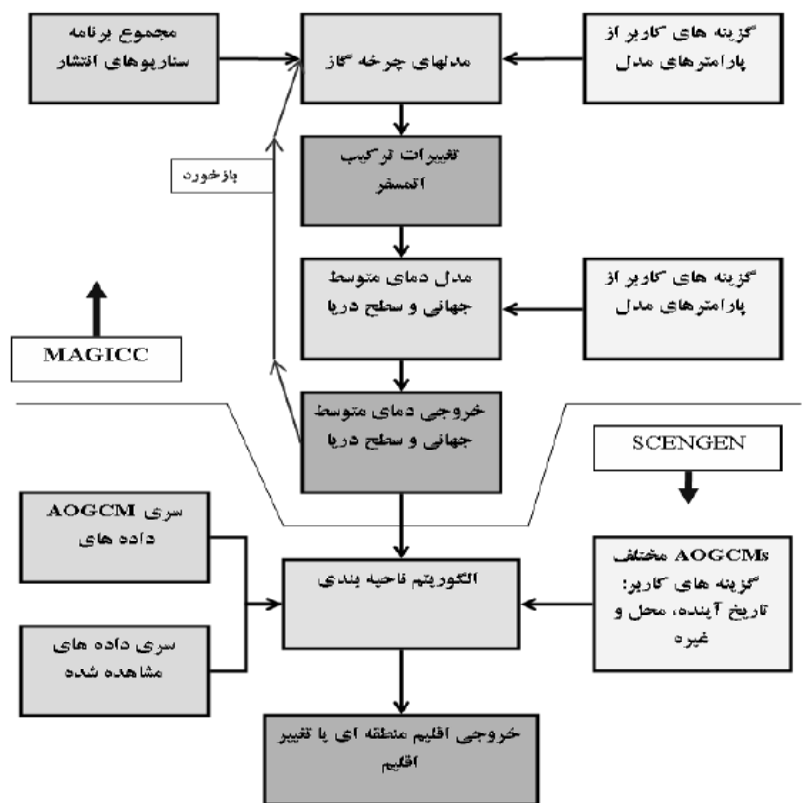
با استفاده از SCENGEN می‌توان از ۲۰ مدل GCM به صورت منفرد یا چندتایی و یا از همه‌ی آنها استفاده نمود. در صورت انتخاب چند مدل GCM، برنامه از آنها میانگین‌گیری می‌نماید و یک الگوی ترکیبی از تغییر اقلیم را ایجاد خواهد کرد (مقبلی، ۱۳۸۸: ۱۰؛ Kont & others, 2003: 1-15).

همچنین این مدل دارای قدرت تفکیک  $2/5 \times 2/5$  درجه پیکسل می‌باشد. با توجه به اینکه کشور ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳/۵ درجه طول شرقی قرار دارد و با توجه به قدرت تفکیک فوق و با حذف برخی سلول‌هایی که قسمت بسیار محدودی از کشور را در بر می‌گیرند، کشور ایران به ۴۳ پیکسل جغرافیایی تقسیم و تغییرات پارامترهای مورد مطالعه برای هر کدام از این مناطق مدل‌سازی شده است.

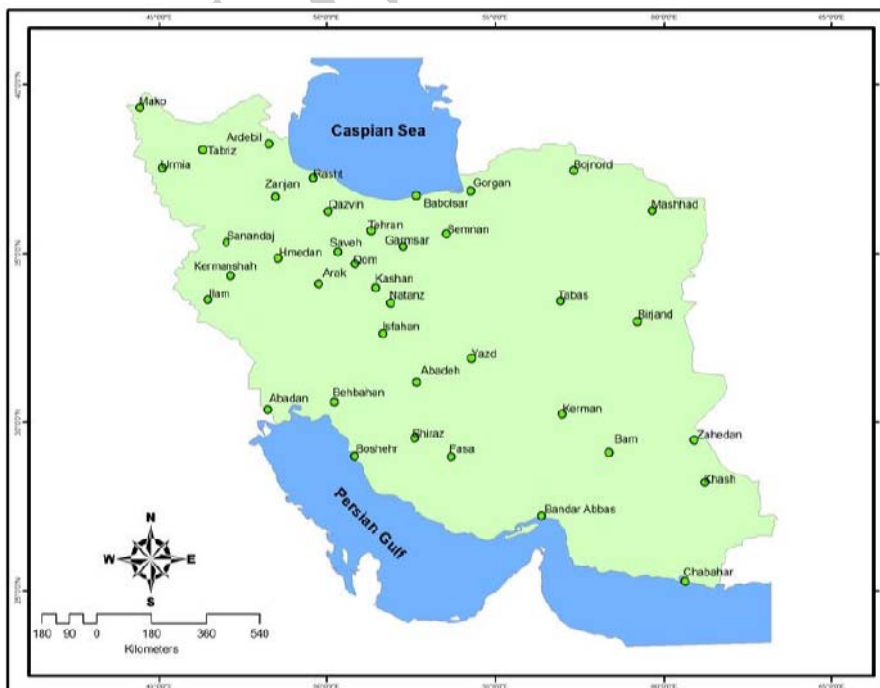
### ساختار مدل MAGICC SCENGEN

مدل MAGICC برای ارزیابی تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است که متشکل از مجموعه‌ای از مدل‌های ساده مرتبط به هم است. این مدل از برخی متغیرها به عنوان ورودی در فرآیند مدل‌سازی استفاده می‌کند که مهمترین آنها حساسیت اقلیمی است. این مدل برای پیش‌بینی و مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی با توجه به ورودی‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع MAGICC یک مدل GCM نیست اما از داده‌های یک سری مدل‌های اقلیمی استفاده می‌کند تا رفتار مدل‌های GCM را برای منطقه مورد نظر مدل‌سازی نماید. به عبارتی این مدل از ترکیب یک چرخه‌گازی و نیز مدل‌های ذوب برف به وجود آمده است که به کاربر این امکان را می‌دهد تا بتواند تغییرات دمای متوسط جهانی و سطح آب دریاها را با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین نماید (شکل ۱) (Wigley, 1996: 243).

SCENGEN نیز یک تولیدکننده داده‌های سناریوهای جهانی و منطقه‌ای است. این مدل تنها یک مدل اقلیمی نیست، بلکه یک پایگاه داده‌ای ساده است که حاوی نتایج تعداد زیادی از GCMها است و همین‌طور مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده‌ای جهانی و ۴ مجموعه از داده‌های اقلیم منطقه‌ای را دربرمی‌گیرد. در واقع، SCENGEN یک نرم‌افزار ساده است که به کاربر امکان استفاده از نتایج مدل MAGICC و مدل‌های



شکل ۱: روال محاسباتی مدل نرم‌افزاری MAGICC/SCENGEN  
 ([http://www.ucar.edu/legal/terms\\_of\\_use.shtml](http://www.ucar.edu/legal/terms_of_use.shtml))



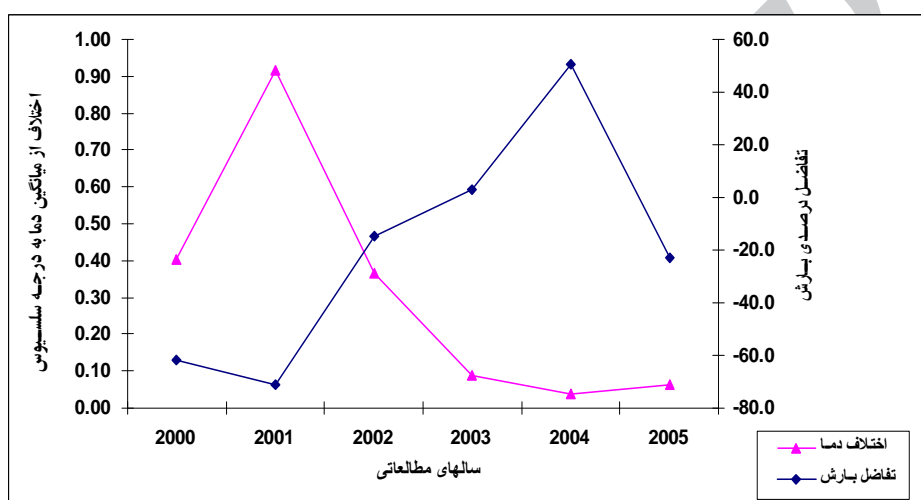
شکل ۲: پراکنش ایستگاههای سینوپتیکی و اقلیماتولوژی در منطقه‌ی مورد مطالعه  
 مأخذ: نگارندگان

## یافته‌های تحقیق

## - محاسبه و تفسیر مقادیر واقعی دما و بارش کشور

در این بخش، برای شناسایی نوسانات و تغییرات واقعی دما و بارش کشور طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، نسبت به میانگین درازمدت ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰، از داده‌های اقلیمی ۸۰ ایستگاه سینوپتیکی و کلیماتولوژی کشور که به خوبی گستره ایران را پوشش می‌دهند

استفاده شده است (شکل ۲). بدین منظور، ابتدا میانگین درازمدت دما و بارش این ایستگاهها برای دوره‌ی مطالعاتی ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ محاسبه و سپس میزان اختلاف دما و بارش هر کدام از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ نسبت به این میانگین درازمدت برآورد گردید (شکل ۳).



شکل ۳: نوسانات دما و بارش کشور طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، نسبت به میانگین درازمدت (۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰)  
مأخذ: نگارندگان

است، اگرچه این افزایش برای دوره‌ی اول بیشتر از دوره‌ی دوم می‌باشد. اما، مقادیر بارش دارای نوسانات معکوس نسبت به دما است. به گونه‌ای که اوایل دوره‌ی مطالعاتی، مقدار بارش نسبت به میانگین کاهش و در اواخر دوره، دارای افزایش است.

تغییرات بارش برخلاف دما از نوسانات بیشتری برخوردار بوده و از این رو پیش‌بینی آن با مشکل بیشتری همراه است. نکته‌ی جالب توجه اینکه بالاترین درصد افزایش بارش نسبت به میانگین درازمدت، مربوط به سال ۲۰۰۴ به میزان ۵۰/۸ درصد بوده که همزمان با کمترین افزایش دمای کشور و متقابلاً کمترین بارش با ۷۱/۳- درصد مربوط به سال ۲۰۰۱ است که همزمان با بالاترین افزایش دمای هوای کشور در طول دوره‌ی مطالعاتی می‌باشد.

با توجه به شکل (۳)، اولین نکته‌ی قابل تأمل، وجود رفتار معکوس منحنی دما و بارش طی دوره‌ی مطالعاتی می‌باشد. به گونه‌ای که با افزایش (کاهش) دما، روند کاهش (افزایش) بارش دیده می‌شود. این نتیجه مربوط به مناطقی از عرض‌های میانی و جنب-حاره است که دارای بارش فصل سرد هستند. زیرا در این شرایط افزایش بارش (کاهش بارش)، مصادف با کاهش دما (افزایش دما) است.

شکل (۳) نشان می‌دهد که، بالاترین افزایش دمای کشور نسبت به میانگین ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰، به میزان ۰/۹۲ درجه سلسیوس به سال ۲۰۰۱ بوده و سال ۲۰۰۴ با افزایش دمای ۰/۴۰ درجه سلسیوس، کمترین نوسان افزایش دما را نشان می‌دهد. به هر حال آنچه مسلم است دمای کشور در این دوره دارای افزایش

۰/۵۶ درجه سانتیگراد حاصل گردیده و مدل FGOALS1G با ۰/۰۹ درجه سانتیگراد حداقل نوسان را نشان می‌دهد. بعد از آنکه میانگین کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل محاسبه گردید، میانگین تغییرات افزایش دما به میزان ۰/۳۳ درجه محاسبه شد، که مدل NCARPCM1 با میانگین افزایش دمایی برای کل کشور به میزان ۰/۳۳ درجه سانتیگراد، حداقل اختلاف را نسبت به متوسط کلی مدل‌های GCMs از خود نشان می‌دهد.

- در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده مدل‌های گردش عمومی جو برای داده‌های دمای کشور در سال ۲۰۰۲، این نتیجه حاصل گردید که پایین‌ترین میانگین افزایش دمایی به میزان ۰/۲۸ درجه سانتیگراد به طور مشترک به مدل‌های CSIRO-30 و MRI-232A اختصاص یافته و بیشترین میانگین افزایش دمایی برای مناطق مختلف کشور، به میزان ۰/۵۴ درجه سانتیگراد، همانند قبل به مدل GISS-ER اختصاص داشته است. در این خصوص، حداکثر نوسان دمایی برای مدل GISS-ER به میزان ۰/۶۵ درجه سانتیگراد محاسبه گردید و مدل‌های ECHO---G و GFDLCM21 با ۰/۱ درجه سانتیگراد حداقل نوسان را با توجه به نتایج دیگر مدل‌ها ارائه می‌دهند.

بعد از محاسبه متوسط کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل گردش عمومی جو برای سال ۲۰۰۲، میانگین تغییرات افزایش دمایی ۰/۳۵ سانتیگراد استخراج گردید که مدل NCARPCM1، از میان مابقی مدل‌ها، با میانگین کلی ۰/۳۵ درجه سانتیگراد، بالاترین تطابق را داشته است.

- در ادامه مطالعات مربوط به ارزیابی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو برای مؤلفه دما در سال ۲۰۰۳، این نتیجه حاصل گردید که پایین‌ترین میانگین افزایش دمایی به میزان ۰/۳۱ درجه سانتیگراد به مدل MRI-232A اختصاص یافته و حداکثر متوسط افزایش دمایی برای مناطق مختلف کشور، به میزان ۰/۵۹ درجه سانتیگراد، همانند سال‌های گذشته، به مدل

### - بررسی مقادیر شبیه‌سازی شده دما

در این قسمت، بعد از آنکه به وسیله‌ی هر مدل، مقادیر افزایش دما برای هر ۴۳ منطقه و برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، شبیه‌سازی شد، سپس با استفاده از داده‌های ۴۳ منطقه، میانگین کلی افزایش دمای کشور برای هر مدل، محاسبه گردید که در زیر، تفسیر آن ارائه شده است:

- در بررسی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو برای داده‌های سالانه‌ی دما در سال ۲۰۰۰، این نتیجه حاصل شد که پایین‌ترین میانگین افزایش دمایی به میزان ۰/۲۵ درجه سانتیگراد به مدل CSIRO-30 اختصاص یافته و بیشترین میانگین افزایش دمایی برای مناطق مختلف کشور، به میزان ۰/۴۷ درجه سانتیگراد به مدل GISS-ER تعلق گرفته است. از میان مدل‌های مورد مطالعه نیز، بیشترین نوسان دمایی برای مدل GISS-ER به میزان ۰/۵۲ درجه سانتیگراد حاصل گردید و مدل GISS-EH با ۰/۸۰ درجه سانتیگراد حداقل نوسان را در میان دیگر مدل‌ها نشان می‌دهد. بعد از محاسبه میانگین کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل، میانگین تغییرات افزایش دمایی، عدد ۰/۳۱ درجه سانتیگراد محاسبه گردید که مدل CARPCM1 با میانگین تغییرات به میزان ۰/۳۱ درجه سانتیگراد، شبیه‌ترین مقدار را به میانگین کلی تمام مدل‌ها از خود نشان می‌دهد و مدل‌های CNRM-CM3، FGOALS1G.ECHO---G و MPIECH-5 با ۰/۰۱ درصد اختلاف در رتبه‌ی دوم قرار گرفته‌اند.

- در آزمون خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو، مربوط به داده‌های سالانه دما در سال ۲۰۰۱، حداقل میانگین افزایش دما با ۰/۲۵ درجه سانتیگراد به مدل MRI-232A اختصاص یافت و مقدار بالای میانگین افزایش دما برای مناطق مختلف کشور، به میزان ۰/۵۰ درجه سانتیگراد به مدل GISS-ER تعلق گرفته است. با توجه به نتایج سایر مدل‌های مورد مطالعه نیز، بیشترین نوسان دمایی برای مدل GISS-ER، به میزان

استخراج شده از تمام مدل‌ها، حداقل متوسط افزایش دمایی به میزان ۰/۴۲ درجه سانتیگراد را، به طور مشترک به مدل‌های MRI-232A و CSIRO-30 اختصاص داده‌اند و همانند دیگر دوره‌های مطالعاتی، حداکثر متوسط افزایش دمای کشور را به میزان ۰/۷۳ درجه سانتیگراد، به مدل GISS-ER اختصاص می‌نمایند. در خلال مدل‌های مورد مطالعه، این مدل ECHO---G می‌باشد که با ۰/۰۴ درجه سانتیگراد، حداقل تغییرات را نمایان می‌نماید و از طرف دیگر، این مدل GISS-ER است که با ۰/۸۳ درجه سانتیگراد، حداکثر تغییرات را در میان دیگر مدل‌ها نشان می‌دهد. بعد از محاسبه میانگین کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل گردش عمومی جو برای سال ۲۰۰۵، متوسط تغییرات افزایش دمایی ۰/۵۰ سانتیگراد محاسبه گردید که مدل CNRM-CM3 و NCARPCM1 با یک درصد اختلاف از میانگین کل مدل‌ها، حداقل اختلاف را نسبت به میانگین کلی را شبیه‌سازی نموده‌اند.

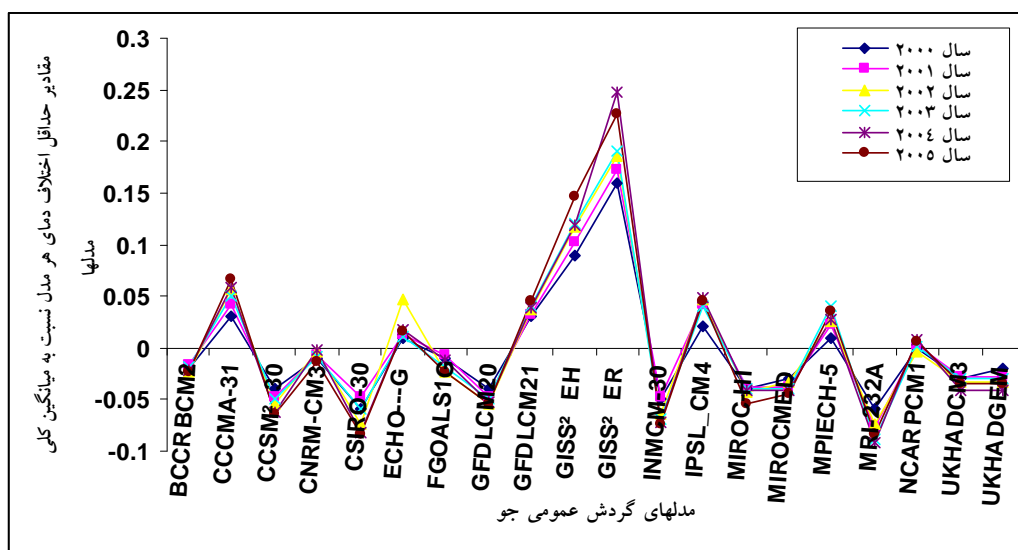
از آنجا که ارائه‌ی جدول‌ها و مقادیر افزایش دما برای هر سال و به وسیله‌ی مدل‌های مختلف، بسیاری از فضای تحقیق حاضر را اشغال می‌نماید، لذا فقط شکل (۴)، ارائه شده است. در این نمودار، عدد مربوط به مقادیر متوسط افزایش دمایی محاسبه شده به وسیله‌ی هرمدل، منهای میانگین مقادیر افزایش دمایی تمام ۲۰ مدل، در سال مربوطه گردیده تا از این طریق بتوان، مدلی را که حداقل اختلاف نسبت به میانگین نتایج کلی تمام مدل‌ها را دارد شناسایی نمود. در این نمودار هر مدلی که مقادیر آن به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، گویای مدل مناسب است. لذا با توجه به شکل (۳)، مدل NCARPCM1، شرایط مناسبی از مقادیر افزایش دمایی را نسبت به میانگین کلی مدل‌ها ارائه داده است.

GISS-ER اختصاص یافته است. در بررسی مدل‌های مورد نظر، حداقل تغییرات دما، به میزان ۰/۱ درجه سانتیگراد، به طور مشترک به مدل‌های INMCM-30 و UKHADCM3 تعلق دارد و مدل UKHADGEM با ۰/۲۳ درجه سانتیگراد بیشترین تغییر را در میان دیگر مدل‌ها نشان می‌دهد. بعد از محاسبه میانگین کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل گردش عمومی جو برای سال ۲۰۰۳، میانگین تغییرات افزایش دمایی ۰/۴ سانتیگراد محاسبه گردید که مدل NCARPCM1 همانند قبل، میانگین کلی افزایش دما در آن، با میانگین کلی همه مدل‌ها، تطابق دارد.

- حال بعد از پیش‌بینی مقادیر دما در سال ۲۰۰۴ با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، نتایج این موضوع را آشکار می‌سازد که، حداقل متوسط افزایش دمایی به میزان ۰/۳۶ درجه سانتیگراد به مدل MRI-232A اختصاص یافته و حداکثر متوسط افزایش دمایی برای مناطق مختلف کشور، به میزان ۰/۷۰ درجه سانتیگراد، همانند سال‌های گذشته، به مدل GISS-ER تعلق گرفته است. در ارزیابی مدل‌های مورد مورد نظر، حداقل تغییرات دما به میزان ۰/۱ درجه سانتیگراد به مدل FGOALS1G تعلق دارد و مدل GISS-ER با ۰/۷۷ درجه سانتیگراد بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد. بعد از محاسبه میانگین کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل گردش عمومی جو برای سال ۲۰۰۴، میانگین تغییرات افزایش دمایی ۰/۴۵ درجه سانتیگراد ارزیابی گردید که این بار، مدل CNRM-CM3 با متوسط ۰/۴۵ درجه سانتیگراد در اولویت قرار گرفته و دو مدل NCARPCM1 و FGOALS1G با ۰/۰۱ اختلاف در جایگاه دوم قرار گرفته‌اند.

- در ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده دما به وسیله‌ی مدل‌های گردش عمومی جو در آخرین سال مورد مطالعه که مصادف با سال ۲۰۰۵ می‌باشد، خروجی‌های





شکل ۴: اختلاف مقادیر افزایش دما برای هر مدل، نسبت به میانگین کل مدل‌ها در دوره‌ی منتخب (۲۰۰۰-۲۰۰۵)  
مأخذ: نگارندگان

می‌شود که مدل NCARPCM1، با میانگین بارش ۰/۱۴ درصد، حداقل اختلاف را به میانگین کلی مدل‌ها دارا می‌باشد.

بعد از شبیه‌سازی داده‌های بارش سال ۲۰۰۱ برای ۴۳ منطقه کشور، مدل GISS-ER با متوسط کاهش بارش به میزان ۵۱/۲۷- درصد، حداقل میزان بارش و مدل CSIRO-30 با متوسط افزایش بارش به میزان ۳/۰۳ درصد، حداکثر مقدار بارش را پیش‌بینی نموده است.

مدل GISS-ER نیز، با نوسان بارش به میزان ۹۷/۲ درصد حداکثر تغییرات بارش را و مدل BCCRBCM2 حداقل نوسانات بارش را برای مناطق مختلف کشور به میزان ۱/۲ درصد پیش‌بینی نموده است.

بعد از محاسبه‌ی متوسط کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل، میانگین تغییرات بارش ۳- درصد می‌باشد که با در نظر نگرفتن مدل GISS-ER، متوسط تغییرات بارش ۰/۴۱- درصد است. اما از میان مدل‌های مورد مطالعه، مدل UKHADCM3 با حداقل اختلاف ۰/۰۹ درصدی با میانگین کل مدل‌ها، به عنوان مدل مناسب معرفی می‌گردد.

بررسی مقادیر شبیه‌سازی شده بارش در ادامه، بعد از شبیه‌سازی مقادیر دما، مؤلفه بارش به وسیله مدل‌های گردش عمومی جو شبیه‌سازی شده که این مقادیر برحسب درصد بیان گردیده است. بنابراین در دنبال، تفسیر داده‌های شبیه‌سازی شده بارش ارائه گردیده است:

در شبیه‌سازی داده‌های بارش کشور، مدل GISS-ER با متوسط کاهش بارش به میزان ۳۹/۲۹- درصد، حداقل میزان بارش را برای کشور شبیه‌سازی کرده و مدل CNRM-CM3 با افزایش بارش کشور به میزان ۲/۱۴ درصد، حداکثر مقدار بارش را برای کل کشور پیش‌بینی نموده است.

مدل GISS-ER نیز، با نوسان بارش به میزان ۱۰۲ درصد حداکثر تغییرات بارش و مدل FGOALS1G با ۰/۳ درصد حداقل نوسانات بارش را برای مناطق مختلف کشور پیش‌بینی نموده است.

بعد از محاسبه‌ی متوسط کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل، میانگین تغییرات بارش کشور عدد ۱/۶۸- درصد برآورد گردید، اما اگر مدل GISS-ER به دلیل شبیه‌سازی افراطی داده‌های بارش از محاسبات خارج گردد، میانگین تغییرات بارش کشور ۰/۲۹ درصد

حذف خروجی مدل GISS-ER، میانگین ۱۹ مدل باقیمانده، عدد ۰/۷۵- درصد را که گویای کاهش بارش می‌باشد را برآورد کرده‌اند و از طرف دیگر این مدل MIROC-HI می‌باشد که با میانگین ۰/۷۹- توانسته است حداقل اختلاف را نسبت به میانگین کلی ۱۹ مدل دیگر شبیه‌سازی نماید.

- در ادامه ارزیابی‌ها، بعد از شبیه‌سازی داده‌های بارش سال ۲۰۰۴، مدل GISS-ER توانسته است با متوسط کاهش بارش به میزان ۵۱/۸۴- درصد، همانند سایر سال‌های پیشین، حداقل سهم بارش را در میان دیگر مدل‌ها برای کشور شبیه‌سازی کرده و مدل CNRM-CM3 با میانگین افزایش بارش کشور به میزان ۴/۴۳- درصد، حداکثر مقدار بارش را برای کل کشور شبیه‌سازی نموده است.

مدل GISS-ER نیز، با نوسان بارش به میزان ۱۰۳/۹ درصد بالاترین تغییرات بارش را برای گستره ایران شبیه‌سازی کرده و مدل INMCM-30 نوسانات بارش به میزان ۳/۶ درصد پیش‌بینی نموده است. بعد از محاسبه‌ی متوسط کلی خروجی مربوط به تمام مدل‌ها، میانگین تغییرات بارش ۳/۲- درصد می‌باشد که همانند قبل به دلیل افراطی بودن داده مدل GISS-ER، خروجی این مدل در نظر گرفته نشده که در این صورت میانگین تغییرات بارش کشور ۰/۶۸- درصد محاسبه گردیده، که مدل INMCM-30 با میانگین ۰/۶۳- درصد، حداقل اختلاف میانگین بارش را نسبت به دیگر مدل‌ها ارائه داده است.

- در آزمون شبیه‌سازی‌های انجام شده برای بارش سال ۲۰۰۵، مدل GISS-ER با متوسط کاهش بارش کشور به میزان ۴۸/۷۸- درصد، همانند سال‌های گذشته، حداقل سهم بارش را در میان دیگر مدل‌ها شبیه‌سازی کرده و مدل CNRM-CM3 با میانگین افزایش بارش به میزان ۳/۹۰- درصد، حداکثر مقدار بارش را شبیه‌سازی نموده است.

- در ادامه‌ی بررسی‌ها، مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی داده‌های بارش برای سال ۲۰۰۲، حکایت از آن دارد که مدل GISS-ER با میانگین کاهش بارش به میزان ۴۳/۲۱- درصد، حداقل میزان بارش را آشکار می‌سازد ولی مدل CNRM-CM3 با متوسط افزایش بارش کشور به میزان ۳/۱۲ درصد، حداکثر مقدار بارش را برای کل کشور شبیه‌سازی نموده است.

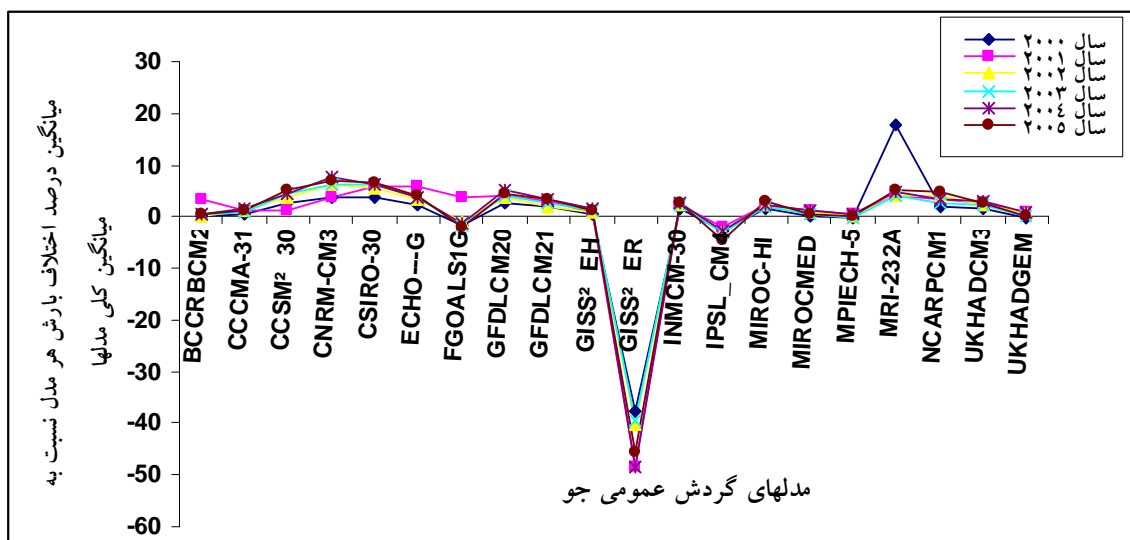
مدل GISS-ER نیز، با نوسان بارش به میزان ۱۰۳ درصد حداکثر تغییرات بارش را برای گستره‌ی ایران شبیه‌سازی کرده که برخلاف این مدل، مدل BCCRBCM2 با ۱/۲ درصد حداقل تغییرات را آشکار می‌سازد. حال بعد از محاسبه‌ی متوسط کلی خروجی مربوط به تمام ۲۰ مدل، میانگین تغییرات بارش به میزان ۳/۰۲- درصد محاسبه گردید، که مجدداً با در نظر نگرفتن مدل GISS-ER، متوسط مربوط به ۱۹ مدل دیگر، مقدار ۰/۹۱- درصد که نشان‌دهنده‌ی کاهش بارش کشور می‌باشد را نشان داده، که فقط مدل گردش عمومی GFDLCM21 با حداقل اختلاف ۰/۱۷ درصد، توانسته است شرایط مناسبی را نسبت به میانگین دیگر مدل‌ها، پیش‌بینی نماید.

- در ادامه، بعد از شبیه‌سازی داده‌های بارش سال ۲۰۰۳، مدل GISS-ER با متوسط کاهش بارش به میزان ۴۲/۲۰- درصد، همانند سال‌های گذشته، حداقل سهم بارش را در میان دیگر مدل‌ها برای کشور شبیه‌سازی کرده و مدل CSIRO-30 با میانگین افزایش بارش به میزان ۳/۵۶ درصد، حداکثر مقدار بارش را برای کل کشور شبیه‌سازی نموده است.

مدل GISS-ER نیز، با نوسان بارش به میزان ۱۰۳/۴ درصد بیشترین تغییرات بارش را برای گستره ایران شبیه‌سازی کرده و مدل INMCM-30 با ۲/۹ درصد، حداقل نوسانات بارش را شبیه‌سازی کرده است. بعد از استخراج متوسط کلی مربوط به ۲۰ مدل، میانگین تغییرات بارش ۲/۸۲- درصد محاسبه گردید، که با

تغییرات بارش ۳/۰۴- درصد محاسبه گردید، که همانند قبل با حذف مدل GISS-ER، این میانگین به ۰/۶۴- درصد تقلیل یافته است. بنابراین مدل INMCM-30 با حداقل اختلاف ۰/۱۹ درصدی شبیه-ترین میانگین را نسبت به میانگین کلی دیگر مدل‌ها، مدل‌سازی نموده است.

مدل GISS-ER نیز، با نوسان بارش به میزان 104.9 درصد گویای تغییرات بسیار بالای بارش در این مدل نسبت به سایر دیگر مدل‌ها بوده و مدل INMCM-30 با ۳/۸ درصد حداقل تغییرات را نسبت به دیگر مدل‌ها نشان می‌دهد. بعد از استخراج متوسط کلی مربوط به همه مدل‌های مورد مطالعه، متوسط



شکل ۵: اختلاف مقادیر نوسانات بارش برای هر مدل، نسبت به میانگین کل مدل‌ها در سال‌های (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) مورد مطالعه  
مأخذ: نگارندگان

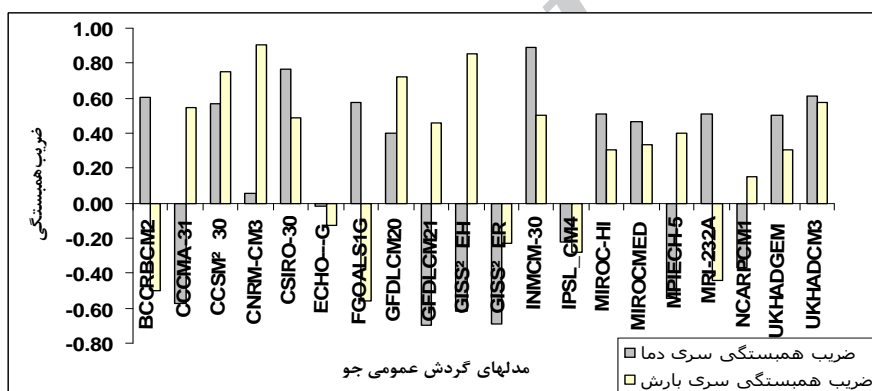
مابین سری زمانی داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده با مقدار  $r=0.89$  به مدل INMCM-30 اختصاص دارد. حال اگر به مقدار ضریب همبستگی مابین مدل NCARPCM1 با داده‌های واقعی توجه شود، این نکته براحتی مشخص می‌گردد که علی‌رغم اینکه مدل مزبور حداقل اختلاف دما را نسبت به میانگین کلی مدل‌ها شبیه‌سازی می‌نماید، اما این مدل رابطه‌ی معکوسی را با رخداد داده‌های واقعی نشان می‌دهد. بنابراین با استناد به شکل (۶)، نمی‌توان مدل NCARPCM1 را به‌عنوان مدلی مناسب پیشنهاد نمود، زیرا ملاک اصلی، تطبیق داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی می‌باشد نه حداقل اختلاف مدل پیشنهادی با متوسط همه مدل‌های مورد مطالعه. بنابراین بهتر است که برای شبیه‌سازی مؤلفه‌ی دما از نتایج شبیه‌سازی شده مدل INMCM-30 لحاظ گردد. اما در زمینه‌ی مدل

مقایسه‌ی نتایج داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده همانگونه که از مقادیر واقعی نوسانات دما و بارش کشور برای دوره‌ی مطالعاتی مشاهده می‌شود، هیچ کدام از مدل‌های گردش عمومی جو، به خوبی نتوانسته‌اند داده‌های واقعی دما و بارش را برای دوره‌ی مطالعاتی، به خوبی شبیه‌سازی نمایند. بنابراین در این حالت، شاید استفاده از مدل گردش عمومی جوی که به شرایط متوسط همه مدل‌ها نزدیکتر باشد، مناسب‌تر به نظر آید. برای این منظور مدل NCARPCM1 برای شبیه‌سازی دما پیشنهاد می‌گردد، اما اگر فقط به متوسط کلی مدل‌ها بسنده نشود، می‌توان با محاسبه ضریب همبستگی مابین داده‌های واقعی دما و داده‌های شبیه‌سازی شده نیز استفاده کرد. همان‌گونه که از شکل (۶) مشخص می‌باشد، بالاترین ضریب همبستگی

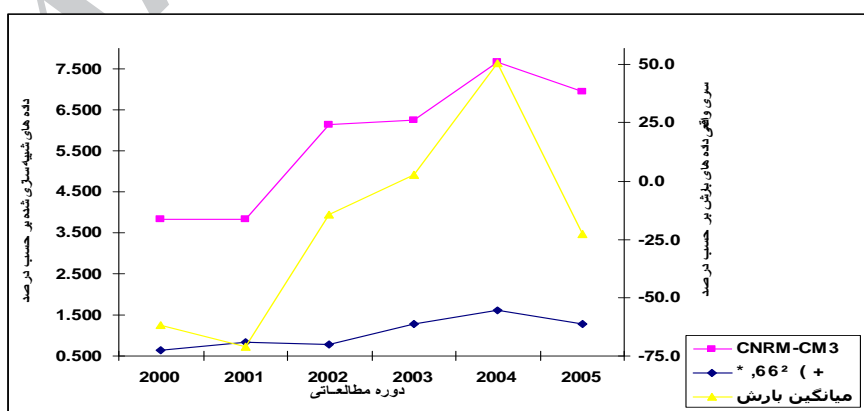
همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی را نشان می‌دهد. این نکته قابل تأمل می‌باشد که هر دو مدل GISS-EH و CNRM-CM3 رابطه‌ی مستقیم و معناداری با مقادیر واقعی بارش را نشان می‌دهند. اما در اینجا باید به این نکته اشاره نمود که مدل CNRM-CM3 روند داده‌ها را بهتر شبیه‌سازی نموده، اما در شبیه‌سازی مقادیر ضعیف عمل نموده است و از طرف دیگر مدل GISS-EH، علی‌رغم داشتن همبستگی مستقیم و مناسب با داده‌های واقعی، شبیه‌سازی مقادیر داده‌ها را بهتر از روند آنها انجام داده است. لذا برای رفع این مشکل، بهتر است تا برای شبیه‌سازی بارش از نتایج ترکیبی این دو مدل استفاده گردد (شکل ۷).

مناسب برای بارش، مدل خاصی نیست که توانسته باشد، برای چندین سال، بهترین میانگین را نسبت به میانگین کل مدل‌ها، ارائه دهد. لذا بدین منظور از ضریب همبستگی مابین داده‌های واقعی بارش و داده‌های شبیه‌سازی شده استفاده شده است که در دنبال نتایج در شکل (۶) ارائه شده است :

در بررسی ضریب همبستگی پیرسون، مابین سری داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده بارش، مدل CNRM-CM3 با ضریب همبستگی بالا به میزان ۰/۹۱ درصد در سطح ۰/۹۹ درصد معنادار است. بعد از مدل مورد بحث، مدل GISS-EH با ضریب همبستگی ۰/۸۵ درصد، در رتبه‌ی دوم قرار دارد و در نهایت مدل ECHO-G با ضریب همبستگی ۰/۱۳، حداقل



شکل ۶: مقادیر ضرایب همبستگی مابین سری داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده دما و بارش برای دوره‌ی مطالعاتی مأخذ: نگارندگان

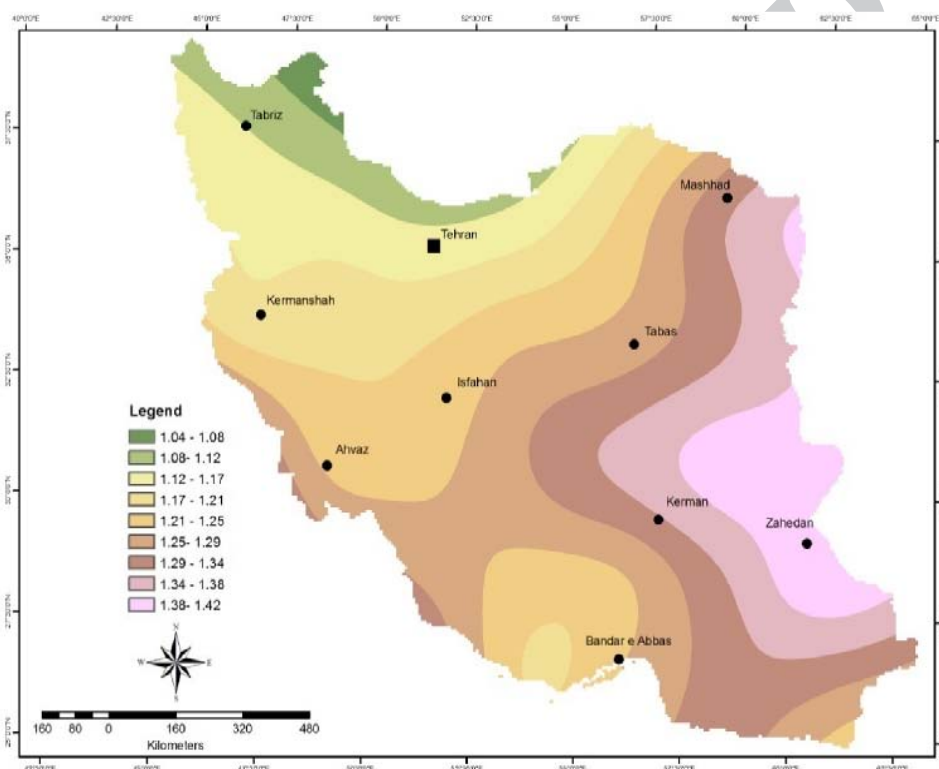


شکل ۷: مقایسه بین سری داده‌های شبیه‌سازی شده بارش توسط دو مدل CNRM-CM3 و G662 (+) با سری واقعی داده‌های بارش در دوره‌ی مطالعاتی (۲۰۰۵-۲۰۰۰)

مأخذ: نگارندگان

شرق خراسان جنوبی، غرب یزد- شمال و شمال غرب کرمان، شمال شرق کرمان- جنوب خراسان جنوبی، شمال غرب هرمزگان- جنوب غرب کرمان، غرب کرمان و شرق سیستان و بلوچستان دیده می‌شود. اما حداقل افزایش دمایی به میزان  $1/05$  درجه سانتیگراد به مناطقی نظیر شمال غرب گلستان، اردبیل و غرب گیلان تعلق دارد (شکل ۸).

- شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش برای دهه‌های آینده - مقادیر شبیه‌سازی شده در بستر گرمایش جهانی در این بخش، با استفاده از نتایج مدل INMCM-30، دمای کشور را برای دو دوره سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ شبیه‌سازی شده است. نتایج برای سال ۲۰۲۵ گویای افزایش دمای کشور به میزان  $1/3$  درجه سانتیگراد می‌باشد که حداکثر افزایش دمای کشور به میزان  $1/4$  تا  $1/46$  درجه سانتیگراد، به ترتیب در مناطقی نظیر

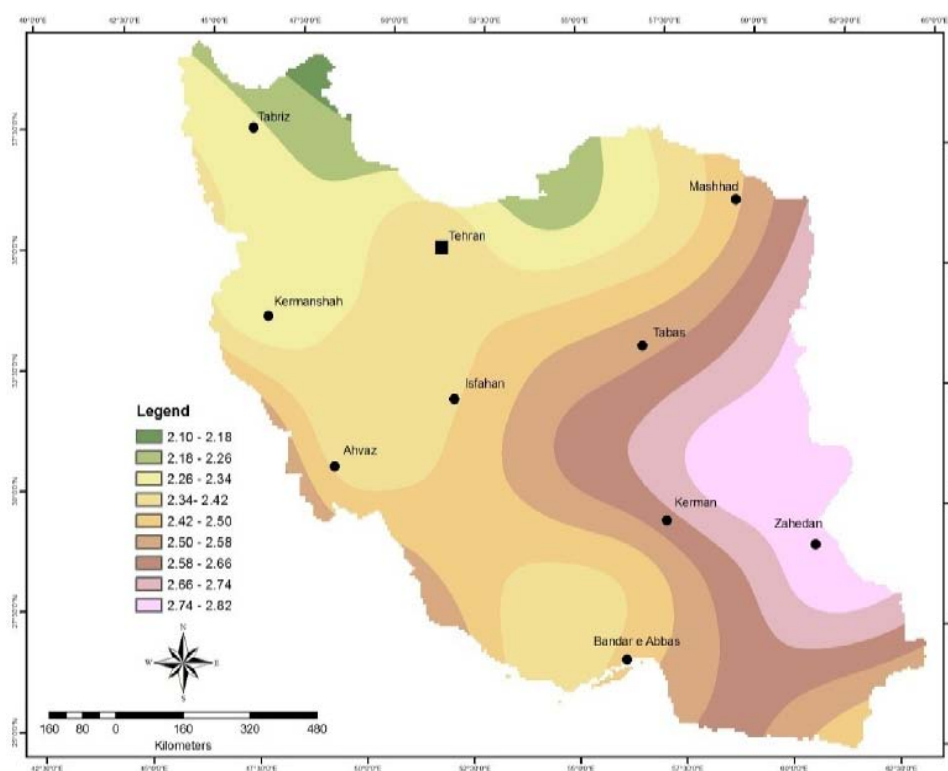


شکل ۸: شبیه‌سازی مقادیر دما با استفاده از نتایج مدل INMCM-30 برای سال ۲۰۲۵

مأخذ: نگارندگان

خراسان جنوبی، غرب کرمان- شرق سیستان و بلوچستان تعلق دارد. حال آنکه حداقل افزایش دما به میزان  $2/15$  تا  $2/25$  به منطق شمال و شمال غرب کشور، همانند قبل به شمال غرب گلستان، اردبیل و غرب گیلان و مناطقی دیگر مثل شمال آذربایجان و نواحی آذربایجان شرقی اختصاص یافته است (شکل ۹).

اما متوسط این شبیه‌سازی برای دوره ۲۰۵۰، به میزان  $2/5$  درجه سانتیگراد محاسبه گردیده است که حداکثر افزایش دمایی به میزان  $2/79$  تا  $2/89$  به ترتیب به نواحی نظیر غرب یزد- شمال و شمال غرب کرمان، شمال شرق کرمان- جنوب خراسان جنوبی، شمال غرب هرمزگان- جنوب غرب کرمان، شرق

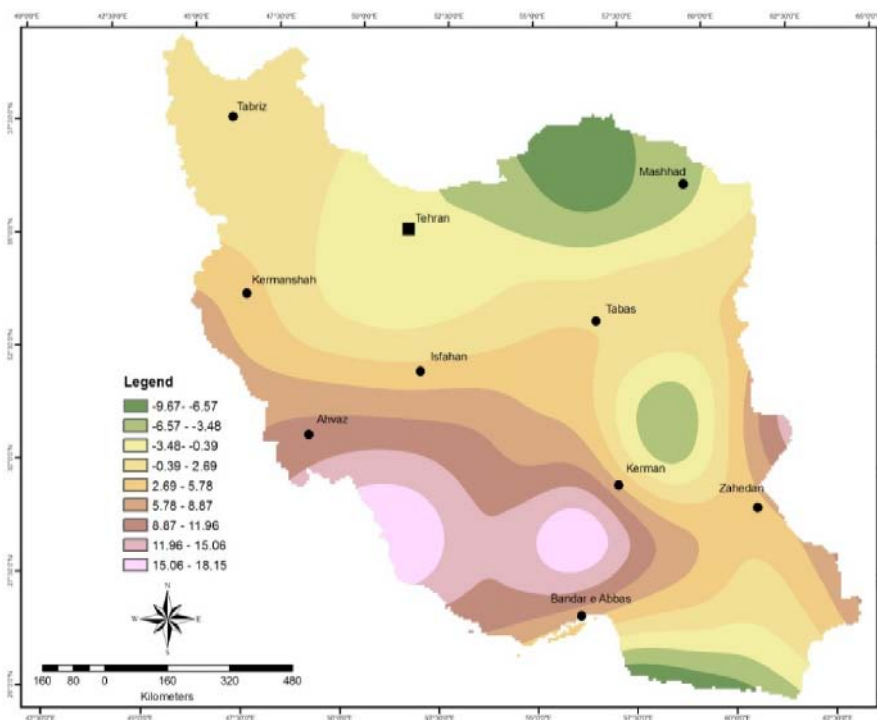


شکل ۹: شبیه‌سازی مقادیر دما با استفاده از نتایج مدل INMCM-30 برای سال ۲۰۵۰  
مأخذ: نگارندگان

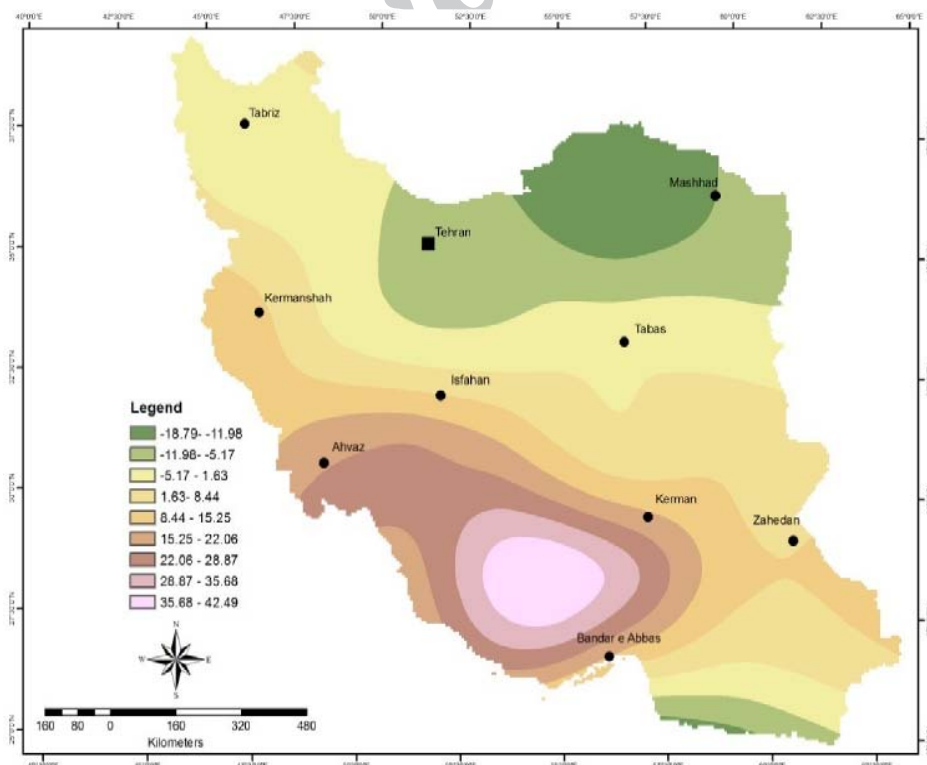
شمالی، غرب خراسان رضوی، غرب یزد- شمال و شمال غرب کرمان، شمال غرب گلستان، شمال و شرق سمنان- شمال یزد و گلستان شبیه‌سازی شده است (شکل ۱۰). نتایج شبیه‌سازی شده بارش برای سال ۲۰۵۰، افزایش متوسط بارش کشور را به میزان ۳/۷۰ درصد آشکار می‌سازد، که این مقدار نسبت به سال ۲۰۵۰ فزونی یافته است. این نوسانات بارش از ۱۷/۴- درصد تا ۴۰/۵ متغیر بوده است. در این میان مناطقی همانند شمال و شرق سمنان- شمال یزد، گلستان، شمال غرب گلستان و غرب خراسان رضوی حداکثر کاهش بارش را تجربه خواهند نمود و مناطق شرق خوزستان، شمال سیستان و بلوچستان، بوشهر- شرق فارس و قسمت شرقی تر خلیج فارس و شرق بوشهر با بیشترین مقدار در افزایش بارش مواجه خواهند بود (شکل ۱۱).

- مقادیر شبیه‌سازی شده بارش در بستر گرمایش جهانی در شبیه‌سازی مقادیر مؤلفه بارش برای دهه‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰، همانگونه که مطرح گردید، از نتایج ترکیبی دو مدل CNRM-CM3 و GISS-EH استفاده گردیده است.

نتایج این شبیه‌سازی نشان‌دهنده‌ی این موضوع می‌باشد که بارش کشور برای سال ۲۰۲۵ به میزان ۲/۵ درصد افزایش خواهد یافت که حداکثر این مقادیر افزایش بارش به میزان ۱۰ تا ۱۸ درصد، به ترتیب برای مناطقی نظیر شمال شرق کرمان- جنوب خراسان جنوبی، شرق خوزستان، قسمت شرقی تر خلیج فارس و شرق بوشهر، شمال سیستان و بلوچستان، بوشهر- شرق فارس و قسمت غربی تر خلیج فارس و جنوب خوزستان پیش‌بینی می‌شود. حال آنکه حداکثر کاهش بارش به میزان ۴/۵ - تا ۷/۵- به ترتیب برای خراسان



شکل ۱۰: شبیه‌سازی مقادیر بارش با استفاده از نتایج ترکیبی دو مدل +  $G, 66^2$  و CNRM-CM3 برای سال ۲۰۲۵  
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۱۱: شبیه‌سازی مقادیر بارش با استفاده از نتایج ترکیبی دو مدل +  $G, 66^2$  و CNRM-CM3 برای سال ۲۰۵۰  
 مأخذ: نگارندگان

## نتیجه

این تحقیق، به منظور آزمون و ارزیابی مدل مناسب، جهت تطبیق با تغییرات دما و بارش ایران در شرایط افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نهایت پیش‌بینی تغییرات دو مؤلفه دما و بارش در شرایط گرمایش جهانی، برای دهه‌های آینده صورت گرفت. بنابراین نتایج حاصل از شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش کشور برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، نشان می‌دهد که مناسب‌ترین مدل‌ها برای تغییرات بارش، خروجی ترکیبی دو مدل GISS-EH و CNRM-CM3 است. نتایج به دست آمده از هر کدام از این مدل‌ها از همبستگی بالاتری با سری داده‌های واقعی بارش نسبت به دیگر مدل‌ها داشته است. اما مدل مناسب برای شبیه‌سازی دما، مدل INMCM-30 که حداکثر همبستگی با سری واقعی داده‌های دما دارد، پیشنهاد می‌گردد. همچنین ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از مدل‌های گردش عمومی جو، به خوبی نمی‌توانند شرایط واقعی تغییرات دما و بارش کشور را شبیه‌سازی نمایند و با قاطعیت نمی‌توان اذعان نمود که کدام یک از مدل‌ها از قابلیت بهتری در شبیه‌سازی مؤلفه‌های دما و بارش برخوردار است. نکته‌ی قابل تأمل دیگر اینکه، استفاده از مدل‌های ترکیبی به نظر مؤثرتر از استفاده از خروجی‌های مربوط به یک مدل GCM می‌باشد.

اما در ادامه شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ به وسیله‌ی مدل‌های پیشنهادی، گویای افزایش دمای کشور به میزان ۱/۲۴ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۵ و ۲/۴۴ درجه سلسیوس در سال ۲۰۵۰ نسبت به دمای در سال ۲۰۰۵ می‌باشد. به گونه‌ای که مناطقی نظیر کرمان، یزد، سیستان و بلوچستان، هرمزگان و خراسان جنوبی بیشترین مقدار افزایش دما را تجربه خواهند نمود. تغییرات بارش کشور به ترتیب برای سال‌های ۲۰۲۵ و

۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۰۵، حدود ۲۵/۱۹ و ۲۶/۴۰ درصد افزایش بارش را نشان می‌دهد. اگرچه این افزایش بارش در مناطقی نظیر کرمان، سیستان و خراسان جنوبی مشهودتر می‌باشد، اما نباید فراموش نمود که در این مناطق، حداکثر افزایش دما نیز پیش‌بینی شده است.

در نهایت این نتیجه‌گیری کلی را می‌توان ارائه نمود که، این افزایش دما می‌تواند باعث طولانی‌تر شدن فصل رشد و نمو گیاهان در ایران شده و همچنین اثر دما بر منابع آب از طریق تشدید تبخیر افزایش یافته و از کم و کیف منابع آب خواهد کاست. اما با افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته خواهد شد و با تشدید ذوب برف‌ها و یخ‌ها در مناطق کوهستانی و مرتفع و افزایش بارش‌های همرفتی، پتانسیل رخداد سیلاب را در آن سال‌ها افزایش می‌دهد.

## منابع

- ۱- بابائیان، ایمان؛ زهرا نجفی‌نیک؛ فاطمه زابل‌عباسی؛ مجید حبیبی‌نوخندان؛ حامد ادب؛ شراره ملبوسی (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از زیر مقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۶.
- ۲- کوچکی، علیرضا؛ مهدی نصیری‌محللاتی؛ افشین سلطانی؛ حمیدرضا شریفی؛ غلامعلی کمالی؛ پرویز رضوانی‌مقدم (۱۳۸۲). شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی ایران در شرایط دو برابر شدن غلظت CO<sub>2</sub> به وسیله‌ی مدل‌های عمومی گردش، مجله بیابان. شماره ۲.
- ۳- مقبل، معصومه (۱۳۸۸). بررسی نقش گرمایش جهانی بر نوسانات آب دریای خزر، رساله کارشناسی ارشد. استاد راهنما دکتر حسین محمدی. دانشگاه تهران.



- 12- Kont, A. Jaagus, J and Aunap, R (2003). Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia, *Global and Planetary Change*.4.
- 13- Kainuma, M. Matsuoka, Y. Morita, T. Masui, T. and Takahashi, K (2004). Analysis of global warming stabilization scenarios: the Asian-Pacific Integrated Model, *Energy Economics* .26.
- 14- Nigel, W and Arnell, P (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change* .14.
- 15- Parrya, M. L. Rosenzweig, C. Iglesiasc, A. Livermored, M. and Fischere, G (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*. 14.
- 16- Richard, S. and Lindzen, R (1994). ON THE Scientific basis for global warming scenarios, *Environmental Pollution*. 83.
- 17- Shakiba, A. and Matkan, A (2005). Sensitivity of global soil carbon to different climate change scenarios, *Environmental Science*. 9.
- 18- Van Lieshout, M. Kovats, R.S. Livermore, M.T.J and Martens, P (2004). Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change* . 14.
- 19- Wigley, T. M. L (2000). Stabilization of Co2 concentration levels. (in) *The Carbon Cycle*, (eds. T. M. L. Wigley and D.S Schimel). Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- 20- Wigley, T. M. L (2006). A combined mitigation/geoengineering approach to climate stabilization. *Science* .18.
- 21- Wigley, T.M.L. Richels, R and Edmonds J.A (1996). Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric Co2 concentrations. *Nature*. 17.
- 4- Alan, M. Haywood, A. Mark, A. Paul, J. Valdes, T. Salzmman, U. Daniel, J. Harry, J and Dowsett, R (2009). Comparison of mid-Pliocene climate predictions produced by the HadAM3 and GCMAM3 General Circulation Models, *Global and Planetary Change*. 66.
- 5- Arnella, N.W. Livermoreb, M.J.L. Kovatsc, S. Levzyd, P.E. Nichollse, R. Parryf, M. L and Gaffing, S. R (2004). Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterizing the SRES storylines, *Global Environmental Change*. 14.
- 6- Eitzingera, J. tastna, M. S. alud, Z. And Dubrovsky, M (2003). A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios, *Agricultural Water Management*. 61.
- 7- Detlef, P. van Vuuren, V. Paul, L. Lucas, R. and Hilderink, H (2007). downscaling drivers of global environmental change: Enabling use of global SRES scenarios at the national and grid levels, *Global Environmental Change* .17.
- 8- Grübler, A. O'Neill, B. Riahi, K. Chirkov, V. Goujon, A. Kolp, P. Prommer, I. Scherbov, S. and Slentoe, E (2007). Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES, *Technological Forecasting & Social Change*. 74.
- 9- Hertig E and Jacobeit, J (2008). Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area, *Global and Planetary Change*. 63.  
[http://www.ucar.edu/legal/terms\\_of\\_use.shtml](http://www.ucar.edu/legal/terms_of_use.shtml)
- 10- Hoogwijk, M. Faaija, A. Eickhoutb, B. Bert de Vries, B. D. and Turkenburg, W (2005). Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios, *Biomass and Bioenergy*. 29.
- 11- Hoogwijk, M. Faaij, A. Vries, B and Turkenburg, W (2009). Exploration of regional energy from short-rotation crop sat abandoned cropland Andres land under four IPCC SRES land-use scenarios, *Biomass and Bioenergy*. 33.