

صص ۱۴-۱

سنجش دقت مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی شده نسبت به داده‌های واقعی دمای کمینه روزانه در ایران**داریوش رحیمی***

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران

صغری توفیق

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۲

چکیده

استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی ریزمقیاس‌نمایی شده داده‌های اقلیمی از جمله روش‌های متداول در پیش‌بینی‌های اقلیمی می‌باشد. میزان دقت مدل‌ها در برآورد عناصر اقلیمی همواره مورد بحث بوده است. بر اساس مطالعات متعدد دمای کمینه در ایران با شدت بیشتری نسبت به سایر متغیرهای اقلیمی دارای روند افزایشی است. در این پژوهش ضمن آشکارسازی تغییرات دمای کمینه در ایران با آزمون نا پارامتری من کندال، از طریق تعیین اریبی (Bias)، میانگین حداقل مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب همبستگی میزان دقت داده‌های دمای کمینه پایگاه‌های ESGF و CCS نسبت به داده‌های واقعی مقایسه شد. جهت بررسی روند داده‌های واقعی از ۸۳ ایستگاه همدید در بازه زمانی (۲۰۱۰-۱۹۸۷) استفاده گردید. یافته‌ها بیانگر آن است دمای کمینه ایران روند افزایشی دارد. همچنین بررسی دقت پایگاه ESGF و پایگاه CCS نشان داد که خروجی داده‌های ESGF از دقت بالاتری نسبت به خروجی پایگاه CCS برخوردار است. مقدار خطای RMSE بین داده‌های واقعی و خروجی پایگاه‌های ESGF و CCS به ترتیب ۰/۷ و ۰/۹۱ و خطای تعیین اریبی Bias به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۶۸ بود.

واژگان کلیدی: ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌های گردش عمومی، دمای کمینه، ESGF، CCS.**مقدمه**

دمای کمینه نماینده دمای شبانه است. اهمیت دمای کمینه به دلیل نقش آن در توزیع جغرافیایی نواحی برف پوشان و در نتیجه تأمین سفره‌های آب زیرزمینی قابل توجه است. ناهنجاری‌های مثبت و منفی در دمای کمینه ذخیره سازی آب را به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر در کاهش ذخایر برف و نیز افزایش بارش‌های مایع و ایجاد سیل تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد دمای شبانه ایران با آهنگ ۳ درجه در هر صدسال در حال افزایش است (مسعودیان، ۱۳۹۰، ۹۵). در سال‌های اخیر، مطالعات علمی تغییر درجه حرارت سیاره زمین روند افزایشی نشان می‌دهد. عدم توزیع مناسب ایستگاه‌های زمینی از یک‌طرف و در دسترس نبودن داده‌های طولانی مدت از طرف دیگر واکاوی روند تغییر اقلیم را دو

چندان کرده است. دسترسی به داده‌های بهنگام با تفکیک مکانی بالا یکی از گام‌های مهم در انجام پژوهش‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی است (دارند و همکار، ۱۳۹۵، ۹۶). بر همین اساس پایگاه داده‌های اقلیم متعددی متنوعی در سراسر جهان وجود دارد. این داده‌ها بر اساس مدل‌های گوناگون به شبیه‌سازی و پیش‌بینی پرداخته و اطلاعات را در اختیار کاربران قرار می‌دهند.

متنوع بودن این داده‌ها و استفاده از مدل‌ها و روش‌های مختلف برای تولید و شبیه‌سازی داده‌ها سبب شده که نتایج متفاوتی از ارزیابی آن‌ها به دست آید. لذا انتخاب داده‌های اقلیمی با دقت مناسب اهمیت بسیار بالایی دارد. هنسلر و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی یافته‌های مدل منطقه‌ای (REMO) از داده‌های بارشی پایگاه مرکز اقلیم‌شناسی جهانی (GPCC)^۲ در بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۰ استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد، مدل منطقه‌ای (REMO) برای نشان دادن الگوی مکانی ریزش‌های آسمانی در آفریقای جنوبی تواناتر از پایگاه GPCC است، اما میل به بیش برآوردی بارش در مناطق مرطوب‌تر جنوب شرق و شمال شرق دارد. لاندرو و همکاران (۲۰۱۴) داده‌های پروژه CMIP^۳ را برای داده‌های SSH با داده‌های واقعی مقایسه کرده و نشان دادند که میان داده‌های حاصل از مدل‌های GCM^۴ و واقعی انحراف وجود دارد. این مدل‌ها انحرافات را در مناطق استوایی و اقیانوسی جنوب نشان می‌دهد و در ارتباط با انحرافات مدل‌های میدان باد گسترده شده‌اند. شن و همکار (۱۹۹۲) در مقایسه اختلاف بین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی کامپیوتر برای لایه مرزی و داده‌های واقعی نشان دادند که بین این دو مجموعه داده تفاوت وجود دارد و از مزایای داده‌های شبیه‌سازی شده این است که می‌تواند جریان‌های ساختاری سه بعدی را در هر لحظه ارائه دهد. سیگموند (۱۹۹۴) در مقایسه اختلاف بین تولید انرژی پتانسیل در دسترس حاصل از داده‌های GCM و داده‌های واقعی دریافت که نتایج به دست آمده از GCM تا بیش از داده‌های واقعی است. میشل و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی داده‌های اقلیمی و مدل‌های آب‌وهوایی نشان دادند که نتایج حاصل از مدل‌های آب‌وهوایی دارای حساسیت بیش از حد بالا در پیش‌بینی آینده است. چن و همکاران (۲۰۱۲) داده‌های ریزمقیاس شده، GCM ها و مدل‌های هیدرولوژیکی را مقایسه کرده و دریافتند که از داده‌های حاصل از GCM ها می‌توان به‌عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده کرد. نیتو و همکار (۲۰۰۶) از طریق مقایسه داده مشاهده شده بارش و داده‌های حاصل از GCM در Iberian Peninsula نشان دادند که داده‌های مدل GFDL دارای دقت زیادی است و همبستگی بالایی با داده‌های واقعی نشان می‌دهد. صمدی و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه مدل‌های GCM ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بهترین مدل برای استفاده در ایستگاه کرمانشاه ایران مدل HadCM3 می‌باشد. دسو و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی داده‌های GCM ها و داده‌های ماهواره برای باران در حوضه رودخانه مارا تانزانیا نشان دادند که این دو داده نتایج بهتری برای استفاده در بررسی‌های اقلیمی به دست می‌دهد.

¹ Region Model

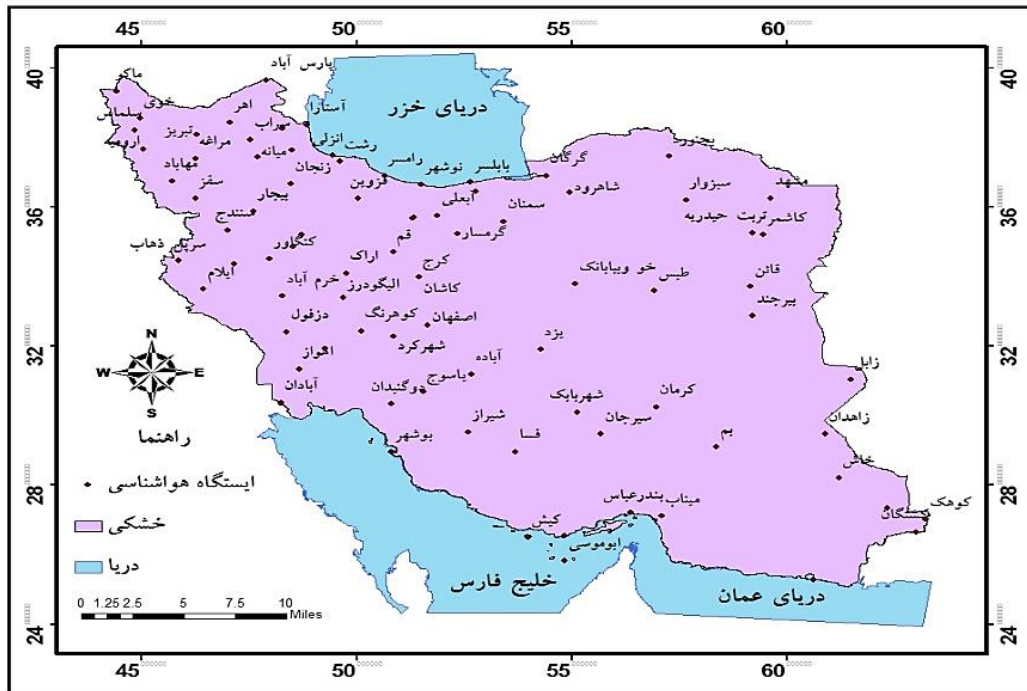
² Global Precipitation Climatology Centre

³ Coupled Model Intercomparison Project

⁴ General Circulation Model

دارند و همکاران (۱۳۹۵) در ارزیابی دقت داده‌های بارش مرکز اقلیم‌شناسی جهانی و داده‌های ایستگاه‌های همدید و پایگاه ملی اسفزاری به این نتیجه رسیدند که دقت داده‌های پایگاه GPCC در ارزیابی بارش ایران بسیار بالاست. ارزیابی و مقایسه داده‌های باز کاوی شده بارش ایران توسط عزیز و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد داده‌های آفرودیت برای مناطق شمال، شمال غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و نواحی داخلی کشور مناسب‌تر است و داده‌های GPCC در مناطق غرب، جنوب، جنوب شرق و شمال شرق کشور به نتایج بهتری منتهی می‌شود. همچنین، مشخص شد که داده‌های Duel به دلیل در نظر گرفتن ارتباط فضایی داده‌ها با متغیر وابسته، مقادیر بارش سری‌های زمانی ناقص را بهتر از دو مدل دیگر برآورد می‌کند. بر اساس مطالعه عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) داده‌های بارش TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، مقادیر بارندگی ماهانه را در بیشتر ایستگاه‌ها، بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند. مقایسه بارش پایگاه ملی بارش اسفزاری با پایگاه‌های بارش جهانی GPCC، GPCP و CMAP در پهنه ایران توسط مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که بین داده‌های پایگاه GPCC با داده‌های پایگاه اسفزاری همبستگی بالایی وجود دارد. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی مشابهی از طریق مقایسه پایگاه داده اسفزاری و TRMM نشان دادند که نتایج حاصل از مدل‌ها بیانگر آن است که در قلمرو بسیار وسیعی از کشور میان برآوردهای بارشی این پایگاه با پایگاه اسفزاری تفاوت چشم‌گیری وجود ندارد. نتایج تحقیق حاجی میر رحیمی و همکار (۱۳۸۷) نشان‌دهنده این واقعیت است که داده‌های TRMM علیرغم انطباق نسبی با بارش‌های زمینی، نمی‌توانند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های باران‌سنج کلاسیک منظور گردند. بر اساس بررسی نجفی و همکاران (۱۳۹۳)، هاشمی نسب و همکار (۱۳۹۴)، طاووسی و همکاران (۱۳۹۳)، علیزاده چوبری و همکار (۱۳۹۵) روند دما در ایران افزایشی است.

برای بررسی تغییرات دمای کمینه ایران، نتایج حاصل از بررسی روند ایستگاه‌های منتخب کشور با داده‌های ریز مقیاس شده مقایسه گردید. این داده‌های به‌صورت آماری با استفاده از مدل‌های مختلف ریز مقیاس شده است. تاکنون بیشتر مطالعات در ایران و سایر نقاط جهان بر روی دقت داده‌های بارش پایگاه‌های مختلف انجام شده است. در این پژوهش هدف بررسی دقت داده‌های دمای کمینه پایگاه‌های داده در مقایسه با داده‌های واقعی می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها: با توجه به اینکه هدف این پژوهش واکاوی صحت داده‌های پایگاه^۵ ESGF و CCS^۶ برای شبیه‌سازی داده‌های دمای کمینه ایران است، پروژه^۷ CORDEX از پایگاه ESGF و پروژه^۸ CCSM4 پایگاه CCS استفاده شد. داده‌های این پایگاه‌ها نسبت به داده‌های واقعی ایستگاه‌های هم‌دید کشور مقایسه گردید.

روش: در این پژوهش برای مشخص کردن روند داده‌های دمای کمینه از روش آماری من-کندال در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شده است. در ادامه شرح مختصری از این روش آورده می‌شود.

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و تعریف یافت. آماره این آزمون به شرح

زیر است (رابطه ۱-۵):

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

S مربوط به علامت‌های تفاوت مقادیر با یکدیگر (رابطه ۲) و Var (S) پراش S (رابطه ۳) است:

^۵Earth System Grid Federation

^۶Climate Change Scenarios

^۷Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

که n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری (مرتب شده به ترتیب وقوع)، sgn تابع علامت (رابطه ۴) و $|z|$ عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد (رابطه ۵) می‌باشد.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که t تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|z| \leq Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که α سطح معنی‌داری برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد. با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ و سطح معنی‌داری ۹۵ درصد استفاده می‌د.

سپس مقادیر خروجی پایگاه‌های پیش‌بینی اقلیمی بر اساس ضریب تصحیح میانگین برای تولید داده‌های اقلیمی آینده ایستگاه‌های مطالعاتی، اصلاح می‌گردد (رابطه ۶)

$$\text{Mean}_{\text{fut}} = \frac{\text{Mean}_{\text{base}}^{\text{obs}}}{\text{Mean}_{\text{base}}^{\text{GCM}}} * \text{Mean}_{\text{fut}}^{\text{GCM}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه بالا Mean_{fut} میانگین داده‌های اقلیمی آینده، $\text{Mean}_{\text{base}}^{\text{obs}}$ میانگین داده‌های مشاهده شده در دوره پایه، $\text{Mean}_{\text{base}}^{\text{GCM}}$ میانگین داده‌های خروجی مولد برای دوره پایه و $\text{Mean}_{\text{fut}}^{\text{GCM}}$ نیز معرف میانگین داده‌های برآورد شده توسط مولد برای دوره آینده است (هاشمی نسب، ۱۳۹۶).

در ادامه بررسی میزان دقت و همبستگی داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از پیش‌بینی دو پایگاه داده از طریق فرمول همبستگی پیرسون محاسبه گردید (رابطه ۷).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن X متغیر مستقل، Y متغیر وابسته، r ضریب همبستگی، n تعداد آزمودنی‌ها است. برای به دست آوردن مقدار خطا، به روش آریبی Bias و RMSE اختلاف این دو پایگاه داده محاسبه شد. روش آریبی، روشی پرکاربرد برای مقایسه داده‌های اقلیم‌شناسی است (رابطه ۸).

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^N (p_i - o_i)}{N} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که n تعداد مشاهدات، P داده‌های برآورد شده، O داده‌های واقعی می‌باشد. در این روش با کم کردن داده‌های حاصل از پایگاه‌های داده و داده‌های واقعی و تقسیم کردن آن بر کل مشاهدات میزان خطای داده‌های محاسباتی نسبت به داده‌های واقعی به دست می‌آید.

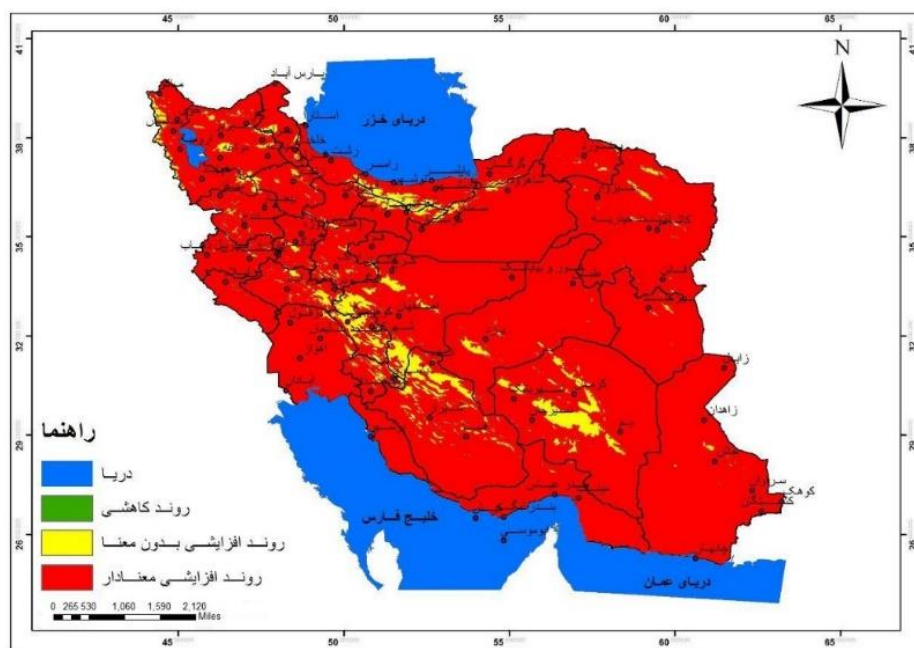
ریشه خطای میانگین مربعات (RMSE) تفاوت‌های کلی بین داده‌های مشاهده‌ای و مقادیر مدل شده را اندازه‌گیری می‌کند (رابطه ۹).

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{0.5} \quad \text{رابطه (۹)}$$

یافته‌ها

بررسی روند داده‌های واقعی

در ایران دمای هوا به شدت تابع ارتفاع، عرض جغرافیایی و محتوای رطوبتی جو است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۷۹). به دلیل قرار گرفتن ایران در طول و عرض جغرافیایی گسترده و نیز به دلیل داشتن کوه‌های مرتفع و داشتن آب‌وهوای چهار فصلی، دمای کمینه نسبتاً ناپایداری دارد. نگاره (۲) دمای کمینه ایستگاه‌های منتخب کشور و روند آن را در سطح اطمینان ۵۰٪ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و معنی‌دار می‌باشد. بیشترین افزایش در ایستگاه گرمسار (۵/۱۲) رخ داده است. بیشترین کاهش مربوط به شهرکرد و ایلام به میزان ۱/۴۴- است که معنی‌دار نیست. در بین ۸۳ ایستگاه منتخب ۶۸ ایستگاه دارای روند افزایشی معنادار و ۱۳ ایستگاه دارای روند افزایشی بدون معنا می‌باشند. این ایستگاه‌ها در مناطق کوهستانی کشور توزیع شده‌اند. این مناطق شامل کوه‌های بلندی مانند سبلان، دماوند، سهند، سلسله جبال زاگرس، هزار و لاله‌زار، زرد کوه و ... می‌باشند و به‌عنوان انبار ذخیره آب نقش مهمی در تأمین آب کشور دارند. با توجه به اینکه بارش در ایران در طول سال توزیع نشده است، کاهش انباره‌های ذخیره آب به دلیل افزایش دما، بحران آب بیشتر مناطق کشور را در بر خواهد گرفت.

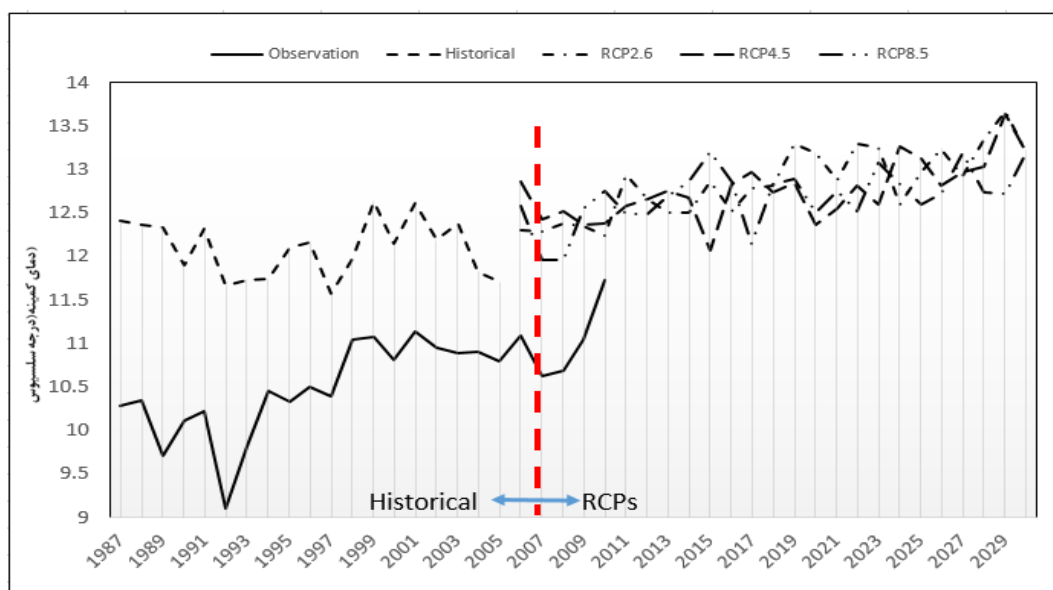


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: روند دمایی کمینه داده‌های واقعی برای ایستگاه‌های منتخب

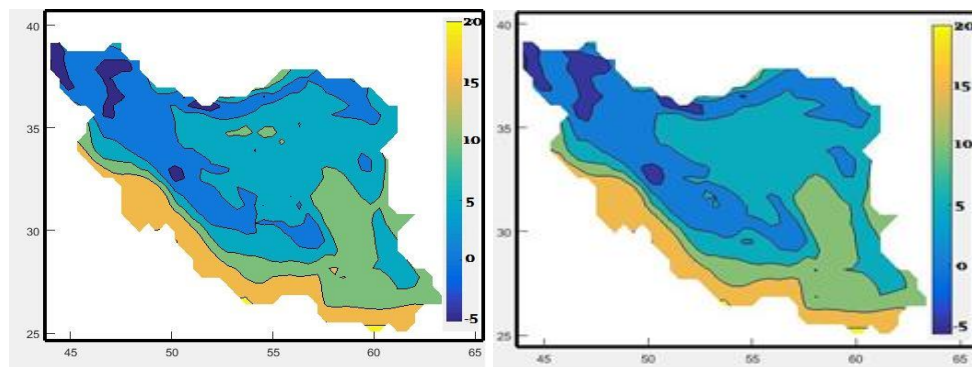
پایگاه داده ESGF پروژه CORDEX

سری زمانی داده‌های دمای کمینه ایستگاه‌های منتخب کشور و داده‌های تاریخی CORDEX برای دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۷ به همراه داده‌های سناریوهای ۲،۶،۴،۵ و ۸،۵ برای دوره زمانی ۲۰۰۶-۲۰۳۰ در نگاره ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات روند دمای کمینه ایران بر اساس داده‌های CORDEX مانند داده‌های واقعی است. بر اساس نقشه‌های (نگاره ۴) به دست آمده از داده‌های این پروژه بیشترین افزایش دمای کمینه در مناطق کوهستانی و سردسیر کشور دیده می‌شود که این موضوع در بررسی داده‌های واقعی نیز آشکار شد. نتایج بررسی نقشه‌ها به وجود آمدن یک هسته دمای کمینه بالا در جنوب رشته‌کوه‌های البرز را نشان داد. این هسته گرم با دمای ۱۰ تا ۱۵ درجه در حالی پس از دوره پایه تشکیل شده است که دمای پیرامون این محدوده ۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس می‌باشد. این مسئله افزایش دمای کمینه در اثر افزایش جزیره گرمایی در کلان‌شهر تهران را نشان می‌دهد. محدوده این دمای بالا در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ در هر سه سناریو بیشتر شده است.

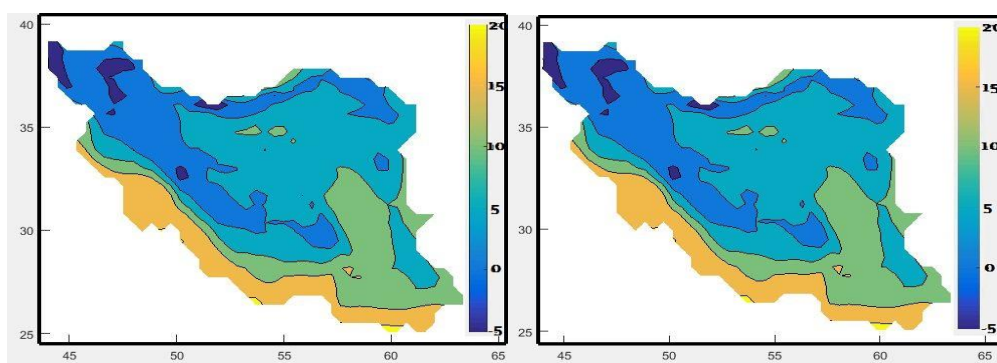


مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: روند سری زمانی داده‌های واقعی و پایگاه CORDEX



دوره تاریخی (۱۹۸۷-۲۰۰۵) سناریو ۲٫۶ (۲۰۰۶-۲۰۳۰)



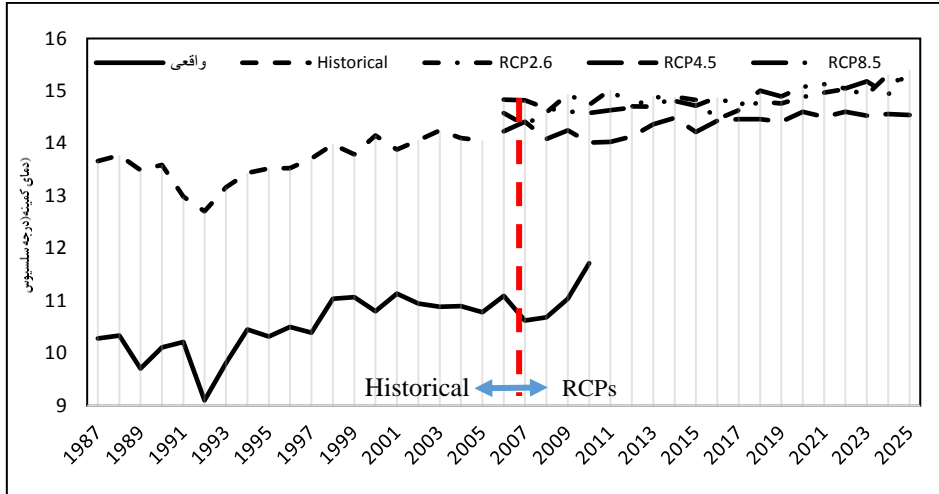
سناریو ۴٫۵ (۲۰۰۶-۲۰۳۰) سناریو ۸٫۵ (۲۰۰۶-۲۰۳۰)

مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه روند دمای کمینه ایران تحت دوره تاریخی و سناریوهای مختلف بر اساس مدل (ICHEC-EC-EARTH)، پروژه CORDEX

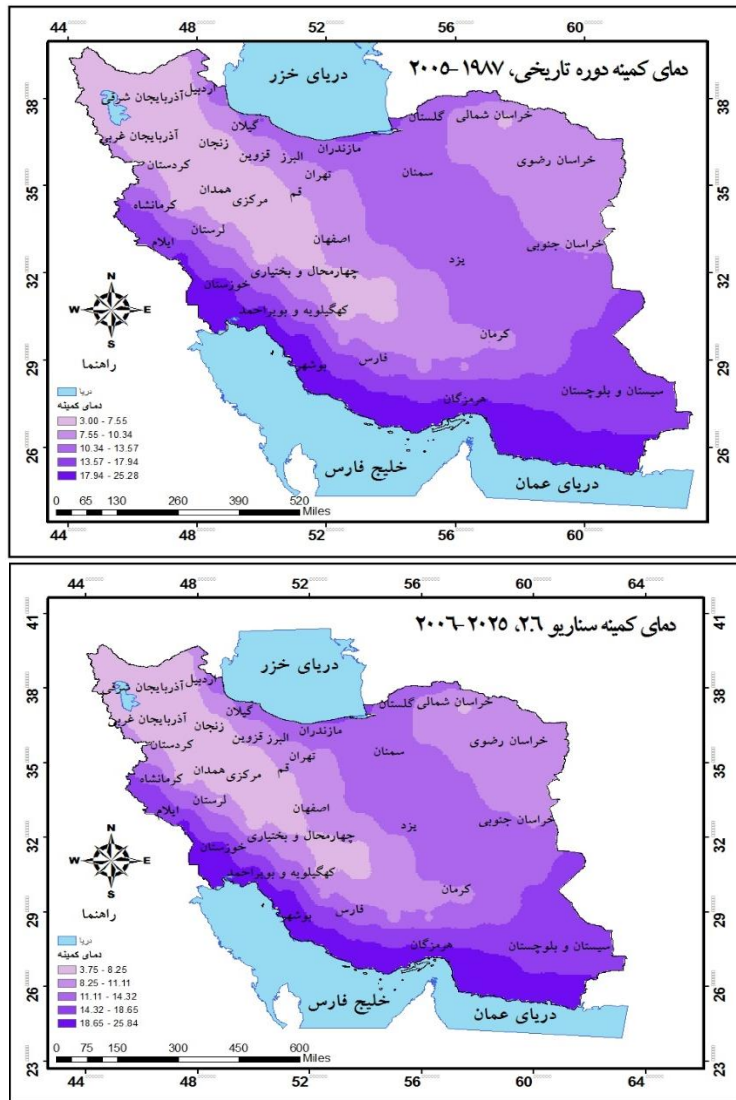
داده‌های پایگاه (CCS)

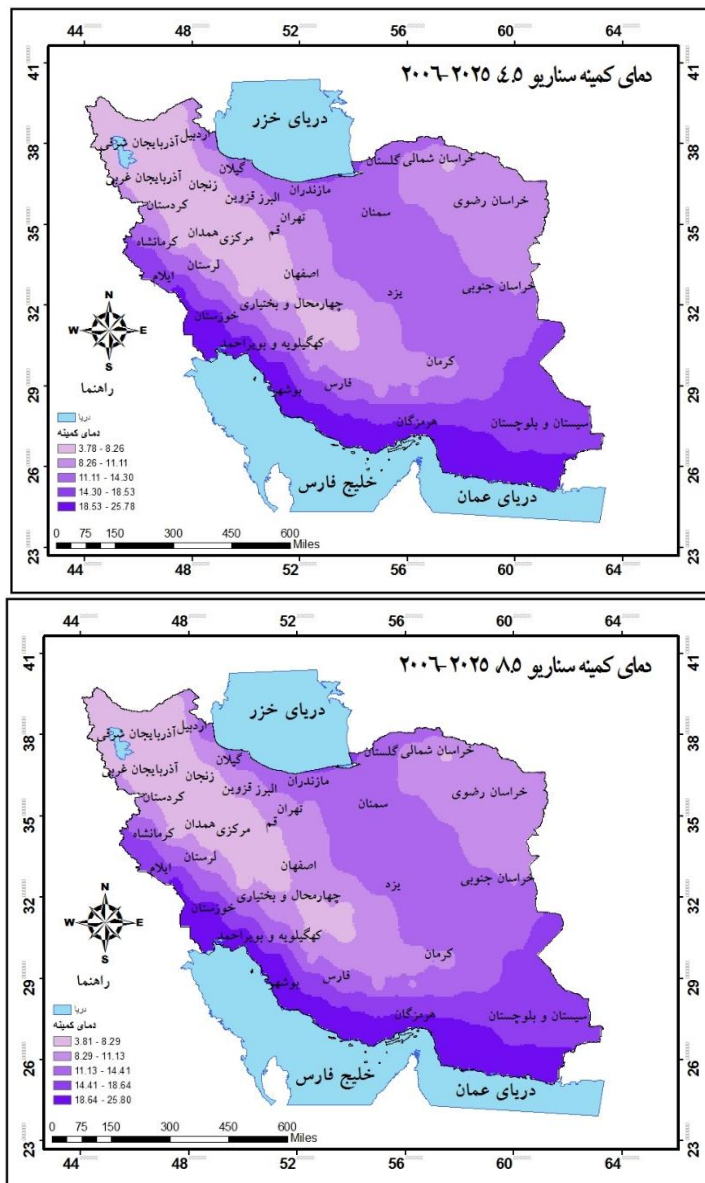
نتایج به دست آمده از این پایگاه هم روند افزایشی را برای اکثر مناطق کشور برآورد می‌کند؛ اما به دلیل اینکه درجه تفکیک آن بالاست تغییرات دمایی را بهتر نمایش نمی‌دهد. در حالی که اختلاف خروجی پایگاه ESGF نسبت به داده‌های واقعی در حدود ۱ درجه سانتی‌گراد است اما میزان اختلاف خروجی پایگاه CCS به ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد هم می‌رسد. دلیل اصلی این اختلاف، تفاوت درجه تفکیک آن‌هاست. پایگاه CCS دارای درجه تفکیک ۱*۱ درجه‌ای است. بدین معنی که در حدود ۱۱۱ کیلومتر را دارای ویژگی‌های یکسان در نظر گرفته است. در حالی که پایگاه ESGF با درجه تفکیک ۰/۴*۰/۴ درجه (حدود ۴۰ کیلومتر) تأثیر میکرو اقلیم و آشیانه‌های اقلیمی را نیز تا حدودی در بر آوردهای خود دخالت می‌دهد؛ بنابراین نتایج خروجی این پایگاه به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: روند سری زمانی داده‌های واقعی و پایگاه (CCS)



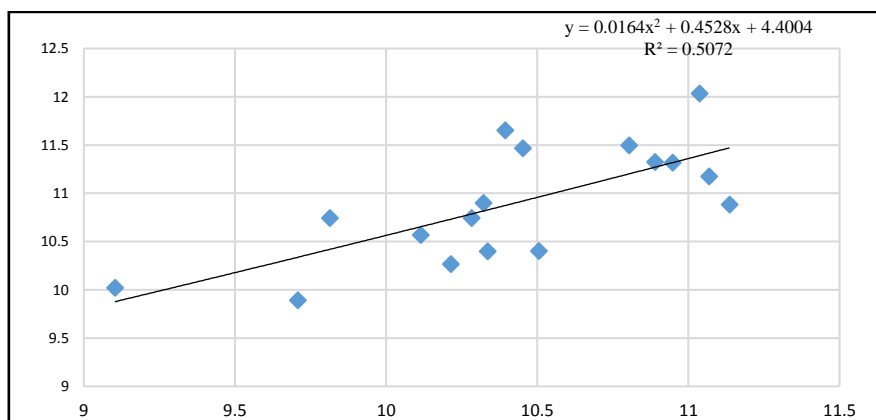


مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: نقشه روند دمای کمینه ایران تحت دوره تاریخی و سناریوهای مختلف بر اساس مدل (CCSM4)

شاخص‌های ارزیابی

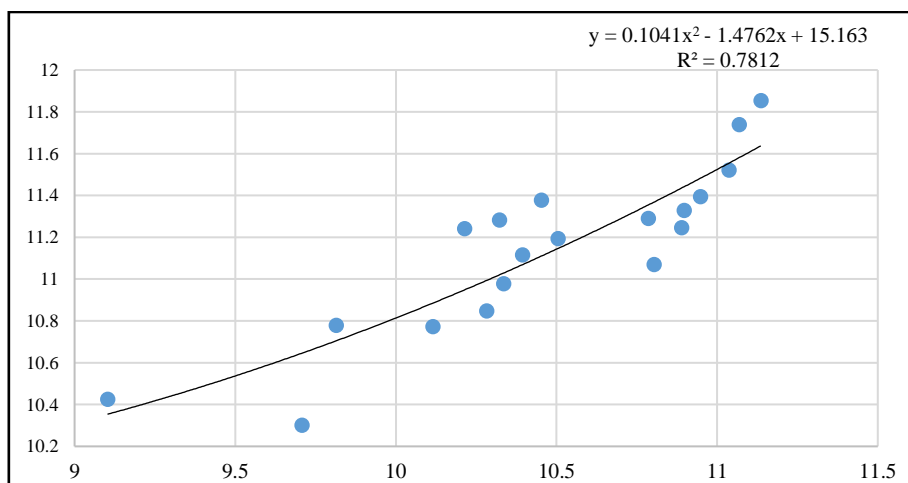
مقدار خطای RMSE و Bias بین داده‌های CORDEX و داده‌های واقعی به ترتیب ۰/۷ و ۰/۵۸ می‌باشد. رابطه خطی بین داده‌های واقعی و خروجی مدل‌های گردش عمومی (نگاره ۴) همبستگی پایینی بین این دو سری داده را نشان می‌دهد. مقدار ضریب تعیین بین این دوسری ۰/۵۰ و مقدار ضریب همبستگی بین آن‌ها ۰/۷ می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: رگرسیون خطی داده‌های مدل شده با داده‌های واقعی (ICHEC-EC-EARTH)

نتیجه قیاس آریبی و خطای RMSE بین داده‌های واقعی با داده‌های پایگاه (CCS) به ترتیب برابر ۰/۶۸ و ۰/۹۱ است. ضریب تعیین و ضریب همبستگی برای این دو سری به ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۰/۸۷ است (نگاره ۷). به طور کلی نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین داده‌های واقعی و خروجی مدل‌های گردش عمومی نشان داد که داده‌های پایگاه ESGF نسبت به داده‌های واقعی خطای کمتری نشان می‌دهند. هر چند مقدار همبستگی بین داده‌های پایگاه CCS و داده‌های واقعی بالا بود اما مقدار خطای بالاتری نسبت به پایگاه ESGF نشان داد. بدین معنا که با وجود اینکه پایگاه CCS روند افزایش و کاهش دما را مانند داده‌های واقعی شبیه‌سازی می‌کند اما دقت آن بسیار کمتر از دقت خروجی پایگاه ESGF است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که به علت خطای کمتر، خروجی پایگاه ESGF برای استفاده در ایران مناسب‌تر است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: رگرسیون خطی داده‌های مدل شده با داده‌های واقعی (CCSM4)

جدول ۱: نتایج شاخص‌های ارزیابی بین داده‌های واقعی و داده‌های مدل شده

پایگاه داده	مدل CCSM4 پایگاه (CCS)	مدل ICHEC-EC-EARTH پایگاه (CORDEX)
R^2	۰/۷۸	۰/۵۰
R	۰/۸۷	۰/۷۰
Bias	۰/۶۸	۰/۵۸
RMSE	۰/۹۱	۰/۷

مأخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از داده‌های بلند مدت دمای کمینه ۸۳ ایستگاه منتخب همدید کشور به همراه داده‌های مدل‌های CCSM4 با درجه تفکیک ۱*۱ و ICHEC-EC-EARTH با درجه تفکیک ۰/۴*۰/۴*۰/۴ مورد تأیید IPCC استفاده گردید. مدل‌های یاد شده نتایج یکسانی را برای دمای کمینه ارائه می‌دهند. مدل CCSM4 افزایش ۱,۵ تا ۲ درجه‌ای دما را برای بیشتر مناطق کشور پیش‌بینی کرده است. روند افزایشی دما برای بیشتر مناطق کشور آشکار گردید. مدل ICHEC-EC-EARTH نیز بیشترین افزایش دما را در مناطق کوهستانی غرب، شمال غرب و البرز پیش‌بینی می‌کند در بین سناریوهای پیش‌فرض سناریو ۸,۵ به دلیل بیشترین انتشار دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید سولفور بیشترین افزایش دما را در همه مدل‌ها نشان می‌دهد. نتایج مطالعات مناطق کوهستانی غرب، شمال غرب و مرکز کشور دارای روند افزایشی، بدون معناداری قابل قبول هستند، این مناطق ذخایر عظیم یخچال و برف را در خود جای داده است؛ بنابراین افزایش دمای کمینه در این مناطق باعث ذوب شدن ذخایر برف و یخ شده و از سوی دیگر شکل بارندگی نیز تغییر خواهد کرد و از میزان بارش‌های جامد که از لحاظ ماندگاری و تأمین سفره‌های آب زیرزمینی و آب رودخانه‌ها دارای اهمیت است، به نفع بارش‌های مایع کاسته می‌شود. افزایش میزان دما تأثیرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی زیادی را بر جوامع بشری خواهد گذاشت.

کشور ایران در منطقه خشک و کم‌آبی قرار گرفته است و هم‌زمان با افزایش دمای کره زمین و تغییرات اقلیمی دمای آن هم رو به افزایش است. همچنان که بررسی‌های ما بر اساس مدل‌های مختلف این موضوع را اثبات کرد. بر این اساس لزوم انجام برنامه‌ریزی‌های کاربردی و اقدامات مدیریتی برای سازگاری با تغییر اقلیم احساس می‌شود. اقدامات مختلف در سطح بین‌الملل برای سازگاری با آثار تغییر اقلیم صورت گرفته است:

- کنترل استفاده از سوخت‌های فسیلی؛
- کنترل بیابان‌زایی و افزایش مراتع و جنگل‌ها و پوشش گیاهی؛
- تغییرات در عملیات کشاورزی از جمله افزایش مقاومت محصولات، تغییر الگوی کشت، جابه‌جایی محصولات از جایی که اقلیم آن دیگر مناسب آن محصول نیست و کاشت در مناطق دارای اقلیم مساعدتر.

منابع

- ۱- حاجی میر رحیمی، سید محمود. بختیار فیضی زاده. (۱۳۸۷): بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش، همایش ژئوماتیک. ۱۳۸۷، تهران.
- ۲- زندکریمی، سمیه. محمد دارند. (۱۳۹۵): ارزیابی دقت داده‌های بارش مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی بر روی ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۰، شماره ۵، صص ۹۵-۱۱۳.
- ۳- طاووسی، تقی. محمد ثریا؛ و زیبا راحتی (۱۳۸۹): بررسی روند دمای ماهانه شهر زاهدان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.
- ۴- عرفانیان، مهدی. سیما کاظم پور و حسن حیدری. (۱۳۹۲): ارزیابی داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، نخستین کنفرانس ملی هواشناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.
- ۵- عزیزی، قاسم. طاهر صفر راد، حسین محمدی و حسنعلی فرجی سبکبار. (۱۳۹۵): ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکاوی شده بارش جهت استفاده در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۳۳-۴۹.
- ۶- علیزاده چوبری، امید. محمد سعید نجفی. (۱۳۹۵): روند تغییر دما و بارش در مناطق مختلف ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ۷- مسعودیان، سید ابوالفضل. فاطمه رعیت پیشه و محمدصادق کیخسروی کیانی. (۱۳۹۳): معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده بارشی TRMM و اسفزاری، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۸، شماره ۴، صص ۳۱-۱۵.
- ۸- مسعودیان، سید ابوالفضل. محمدصادق کیخسروی کیانی و فاطمه رعیت پیشه. (۱۳۹۳): معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه‌های داده CMAP و GPCP، GPCP، و GPCC، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۱۱۲، صص ۷۳-۸۸.
- ۹- مسعودیان؛ سید ابوالفضل. ۱۳۹۰. آب‌وهوای ایران، چاپ اول، مشهد، انتشارات شریعه توس مشهد.
- ۱۰- نجفی، معصومه. سارا طبایی و جهانگیر عابدی کوپایی. (۱۳۹۳): بررسی روند دما و رطوبت بیشینه و کمینه در مقیاس فصلی و سالانه در اقلیم‌های متفاوت ایران، اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط‌زیست پایدار، همدان، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، دانشکده شهید مفتح.
- ۱۱- هاشمی نسب، سادات. فریبا صادقی عطاآبادی. (۱۳۹۴): مدل‌سازی آماری روند کمینه دمای حوضه فلات مرکزی، مجله علمی و ترویجی نیوار، دوره ۲۳، شماره ۸۸ (پیاپی ۸۹)، صص ۱۵-۲۳.
- ۱۲- هاشمی نسب، سادات. (۱۳۹۶): ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در حوضه کارون. رساله دکتری. استاد راهنما: داریوش رحیمی. دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیای طبیعی.

- 13 - Landerer, Felix W, Peter J. Gleckler, Tong Lee. (2004): Evaluation Of CMIP5 Dynamic Sea Surface Height Multi-Model Simulations Against Satellite Observations, Climate Dynamics, VOL 43, No 5-6, Pp: 1271-1283.
- 14- Chen, Hua, Chong-Yuxu, Shenglian Guo. (2012): Comparison And Evaluation Of Multiple Gcms, Statistical Downscaling And Hydrological Models In The Study Of Climate Change Impacts On Runoff, Journal Of Hydrology, Vol. 434-435, Pp: 36-45.
- 15- Cowtan, Kevin, Zeke Hausfather, Ed Hawkins, Peter Jacobs, Michael E. Mann, Sonya K. Miller, Byron A. Steinman, Martin B. Stolpe, Robert G. Way. (2015): Robust Comparison Of Climate Models With Observations Using Blended Land Air And Ocean Sea Surface Temperatures, Geophysical Research Letters, Vol. 42, No 15, Pp: 6526-6534.
- 16- Michaels, Patrick J, Paul C. Knappenberger. (2013): Climate Data Vs. Climate Models, Energy & Environment, Pp: 32-36.
- 17- Siegmund, Peter. (1994): The Generation Of Available Potential Energy: A Comparison Of Results From A General Circulation Model With Observations, Climate Dynamics, Vol: 11, No 2 Pp: 129-140.
- 18- Shen, SH, Moeng, Ch-H (1992): Comparison Of A Computer-Simulated Status-Topped Boundary Layer With Aircraft Observations, Boundary-Layer Meteorology 6S, Pp: 29-53.

- 19- Dessu, Shimelis Behaiu. Assefa M Melesse. (2013): Evaluation And Comparison Of Satellite And GCM Rainfall Estimates For The Mara River Basin, Kenya/Tanzania, Climate Change And Water Resources, Hand Book Of Environmental Chemistry, Vol: 25, Pp: 29–46.
- 20- Nieto, Susana, Concepción Rodríguez-Puebla. (2006): Comparison Of Precipitation From Observed Data And General Circulation Models Over The Iberian Peninsula, Journal Of Climate, Vol: 19, Pp: 4254-4275.
- 21- Samadi, S. Zahra, Gummeneni Sagareswar, Tajiki, Maryam. (2010): Comparison Of General Circulation Models: Methodology For Selecting The Best GCM In Kermanshah Synoptic Station, Iran Int. J. Global Warming, Vol. 2, No. 4, 2010.