

صحت سنجی داده های دما و بارش شبیه سازی شده توسط اجرای منفرد و گروهی پنج مدل AOGCM برای منطقه شمال شرق ایران

بتول اشرف^{۱*} - امین علیزاده^۲ - محمد موسوی بایگی^۳ - محمد بنایان اول^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۲

چکیده

با توجه به اهمیت مدل های اقلیمی به عنوان ابزار اصلی مطالعات تغییر اقلیم و نیز تعدد این مدل ها، انتخاب بهترین و مناسب ترین مدل برای منطقه مورد مطالعه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این پژوهش ابتدا داده های دما و بارش شبیه سازی شده توسط ۵ مدل BCM2، CGCM3، CNRMCM3، MRICGCM2.3 و MIROC3.2 در سه منطقه تربت حیدریه، سبزوار و مشهد بر اساس سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به روش تناسبی ریزمقیاس شد. سپس با استفاده از آماره های ضریب همبستگی (R^2)، شاخص توافق (D) و میانگین مربعات انحرافات (MSD) صحت سنجی هر یک از مدل ها به طور منفرد و نیز به صورت گروهی انجام شد. نتایج نشان داد که بر اساس اجرای منفرد مدل ها و بر اساس هر سه سناریوی انتشار، در تربت حیدریه و مشهد مدل MRICGCM2.3 و در سبزوار مدل MIROC3.2 بهترین عملکرد را در شبیه سازی دما و مدل های MIROC3.2، MRICGCM2.3 و CNRMCM3 به ترتیب در تربت حیدریه، سبزوار و مشهد دقیق ترین پیش بینی را برای بارش ارائه کرده اند. همچنین دمای شبیه سازی شده توسط همه مدل ها در تربت حیدریه و سبزوار بر مبنای سناریوی B1 و در مشهد بر اساس سناریوی A2 کمترین عدم قطعیت را داشته است. بیشترین دقت در مدل سازی بارش نیز در تربت حیدریه بر اساس سناریوی A2 و در سبزوار و مشهد بر مبنای سناریوی B1 انجام شده است. به طور کلی بررسی آماره های محاسبه شده توسط اجرای گروهی ۵ مدل منتخب نشان از کاهش چشمگیر خطای شبیه سازی و در نتیجه افزایش دقت پیش بینی های صورت گرفته بر مبنای هر سه سناریوی انتشار داشته است. در این حالت، بیشترین مطابقت داده های دمای شبیه سازی شده و مشاهده شده در تربت حیدریه و سبزوار بر مبنای سناریوی B1 و در مشهد بر مبنای سناریوی A2 و در مدل سازی بارش در تربت حیدریه بر مبنای سناریوی A2 و در سبزوار و مشهد بر مبنای سناریوی B1 حاصل شده است. بنابراین با عنایت به نتایج این تحقیق لازم است قبل از انجام مطالعات تغییر اقلیم ابتدا مدل GCM بهینه منطقه برای شبیه سازی هر پارامتر اقلیمی انتخاب شود.

واژه های کلیدی: اجرای گروهی، تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمائی تناسبی، سناریو، مدل AOGCM

مقدمه

دهند، میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بر مبنای پیش بینی سناریوهای مختلف اقلیمی به میزان ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی گراد نسبت به صد سال گذشته، افزایش خواهد یافت (۱۳). IPCC همچنین بیان کرده است که اگرچه کاهش گازهای گلخانه ای می تواند از تشدید پدیده تغییر اقلیم در دوره های آتی بکاهد، ولی باید توجه داشت که حتی اگر در حال حاضر، انتشار تمامی گازهای گلخانه ای در سطح کره زمین متوقف شود، اثرات این پدیده تا اواخر قرن بیست و یکم به دلیل عمر ماندگاری طولانی دی اکسید کربن به عنوان مهمترین گاز گلخانه ای موجود در جو کره زمین، ادامه خواهد یافت (۱۴). بنابراین با توجه به اجتناب ناپذیر بودن اثرات تغییر اقلیم بر زندگی بشر، بررسی و پیش بینی دقیق این پدیده در دوره های آتی

مطالعات زیادی مؤید آن است که تغییر اقلیم در قرن حاضر اجتناب ناپذیر است. طبق گزارش چهارم هیأت بین الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۵ اگر کشورها نتوانند انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول: (Email: Samaneh_ashraf@yahoo.com)

۴ - دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 و دو مدل HADCM3 و CGCM3 برای سه دوره آتی بررسی نمودند. در این تحقیق، جهت ریزمقیاس نمایی از مدل ASD استفاده شده و مشاهده شد که در دوره های آتی، میانگین دما طبق هر دو مدل و دو سناریو افزایش خواهد یافت اما بارش بر اساس مدل HADCM3 افزایش و طبق مدل CGCM3 دچار کاهش خواهد شد. در تحقیق اشرف و همکاران (۱) نیز داده های مدل HADCM3 طبق سه سناریوی A2، A1B و B1 توسط مدل LARS-WG، ریزمقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق، حاکی از افزایش بارش های بهاره، پاییزه و زمستانه، افزایش دما و کاهش ساعت آفتابی دوره مورد مطالعه در اغلب مناطق استان بوده است. علی رغم توانمندی بالای مدل های اقلیمی در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی، مدل سازی های انجام شده همیشه با عدم قطعیت های فراوانی همراه است که عمده ترین دلایل ایجاد آن ها، ساده سازی های صورت گرفته در شرایط اولیه مدل ها و پارامترهای مدل بوده و در حقیقت ناشی از این واقعیت است که برخی از فرآیندها در سامانه اقلیم به خوبی شناخته نشده اند (۸، ۱۲، ۱۹). اخیراً توسط IPCC اجرای گروهی^۶ مدل ها و یا عبارت دیگر استفاده از چندین مدل به جای اجرای منفرد مدل ها جهت کاهش عدم قطعیت های پیش بینی های اقلیمی توصیه شده است (۱۲). زمنف و استراتونویچ (۱۹) با اجرای گروهی ۱۵ مدل AOGCM به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در انگلستان پرداخته و بر کاهش معنی دار عدم قطعیت پیش بینی ها در مقایسه با استفاده از یک مدل منفرد تأکید نمودند. در تحقیق فنگ و فو (۸) کاهش معنی دار خطای اریبی در شبیه سازی بارش و دما توسط اجرای گروهی ۸ مدل RCM به روش وزنی در مقایسه با اجرای منفرد هر مدل مشاهده شد. فولر و اکستروم (۹) نیز توسط اجرای گروهی ۱۳ مدل RCM بر اساس روش وزنی به مطالعه اثر تغییر اقلیم بر بارش های حدی انگلستان در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ پرداخته و به کاهش قابل توجه خطای مدل ها و در نتیجه کاهش عدم قطعیت پیش بینی بارش مناطق مورد مطالعه اشاره نمودند.

با توجه به اهمیت مدل های اقلیمی به عنوان ابزار اصلی در تحقیقات تغییر اقلیم و نیز تعدد این مدل ها، انتخاب بهترین و مناسب ترین مدل برای منطقه مورد مطالعه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است که تاکنون در کمتر تحقیقی به آن پرداخته شده است. لذا لازم است تحقیقاتی در خصوص صحت سنجی این مدل ها بر اساس سناریوهای انتشار، انجام شده و مدل بهینه هر منطقه در جهت به حداقل رساندن عدم قطعیت های موجود در پیش بینی های اقلیمی، انتخاب گردد. مطالعه حاضر در راستای این هدف و با مقایسه ۵ مدل

و ارائه راهکارهای سازگاری با آن از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار است (۱۶). امروزه بیشترین اطلاعات از وضعیت تغییر اقلیم در آینده با استفاده از شبیه سازی های صورت گرفته توسط مدل های جفت شده جوی- اقیانوسی (AOGCM)^۱ به دست می آید (۱۵). در این مدل ها، روابط توصیف کننده رفتار جو بر مبنای شبکه ای سه بعدی که نشان دهنده سطح افقی کره زمین و ارتفاع عمودی جو است، حل می شوند (۱۷). مهمترین بخش مدل های اقلیمی، تفکیک مکانی^۲ آن ها است که به وسیله آن، اقلیم واقعی کره زمین شبیه سازی می گردد. اما با توجه به این که قدرت تفکیک مدل های اقلیمی به طور نسبی پایین بوده و سلول های محاسباتی این مدل ها بزرگتر از وسعت منطقه مورد مطالعاتی می باشند، لازم است که خروجی این مدل ها جهت فراهم شدن امکان مقایسه با داده های مشاهداتی، ریزمقیاس شود (۱۳). روش های ریزمقیاس نمایی تناسبی^۳، دینامیکی^۴ و آماری^۵ عمده ترین روش های مورد استفاده جهت ریزمقیاس نمایی داده های خروجی مدل های اقلیمی و افزایش قدرت تفکیک آن ها می باشند (۱۱ و ۱۴). در تحقیق استیل و همکاران (۲۰) که جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم در ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند انجام شد، داده های بارش و دمای استخراج شده از مدل ECHAM5 با استفاده از روش تناسبی ریزمقیاس شد. نتایج نشان داد که بارش زمستانه و تابستانه حوضه های مورد مطالعه به ترتیب افزایش و کاهش و دما در همه مناطق افزایش یافت. در مطالعه سادات آشفته و مساح (۲) مقادیر دما و بارش ماهانه مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 برای حوضه آیدوگوموش آذربایجان غربی به روش تناسبی، ریزمقیاس شد. نتایج، نشان از افزایش دما به میزان ۱/۵ تا ۴ درجه و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه داشته است. در تحقیق اکستروم و همکاران (۷)، بارش های حداکثر کشور انگلستان توسط مدل اقلیم منطقه ای HADRCM و ریزمقیاس نمایی به روش دینامیکی شبیه سازی شد. نتایج، حاکی از افزایش شدت رخدادهای کوتاه مدت و بلندمدت در یک دوره بازگشت معین بوده است. کمال و مساح بوانی (۴) با استفاده از خروجی سناریوی A2 مدل HADCM3 و ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل SDSM، نوسانات و مقادیر متوسط متغیرهای دما و بارش حوضه قره سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ را شبیه سازی نموده و افزایش دما در همه ماه ها و تغییرات بارش بین ۱۰- تا ۲۰ میلی متر را گزارش نمودند. سیاری و همکاران (۳) تأثیر گرمایش جهانی بر حداکثر و حداقل دما و الگوی بارش حوضه کشف رود را

- 1- Atmospheric Ocean General Circulation Model
- 2- Resolution
- 3 - Proportional downscaling
- 4 - Dynamical downscaling
- 5 - Statistical downscaling

اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل های AOGCM مستقیماً از سلولی که منطقه مورد مطالعه در آن قرار دارد، استخراج شده و در حقیقت، هیچ عملیات آماری مقدماتی بر روی داده های خروجی ارائه شده به کاربر صورت نگرفته و بنابراین در مقایسه با روش های ریزمقیاس نمائی آماری و دینامیکی که به دلیل اعمال روش های آماری مختلف بر روی داده ها با منابع خطای عمده ای همراه خواهند بود، کم خطا تر می باشد (۲۰). در عین حال لازم به ذکر است که در این روش تنها متوسط متغیرهای اقلیمی، در نظر گرفته شده و نوسانات اقلیمی عملاً نادیده گرفته می شود، بنابراین برای مطالعاتی که هدف، بررسی نوسانات و تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی در طول زمان است، مناسب نمی باشد (۱۰). اما چنان چه قبلاً گفته شد، قدرت تفکیک فضایی مدل های اقلیمی مختلف با یکدیگر متفاوت است، بنابراین شبکه بندی آن ها نیز همگی بر هم منطبق نبوده و در حقیقت طول و عرض جغرافیایی سلولی که ایستگاه مورد نظر در آن قرار گرفته در مدل های مختلف متفاوت است. در نتیجه مسلماً داده های خروجی شبیه سازی شده در مدل ها از مناطق مختلف، استخراج شده و مقایسه آن ها صحیح نمی باشد. برای رفع این مسأله و فراهم شدن امکان مقایسه، لازم است که مدل هایی که سلول های آن ها بر هم منطبق می باشند، شناسایی شوند که بر این اساس از مجموع مدل های موجود، نهایتاً ۵ مدل BCM2^۴ طراحی شده در مرکز BCCR^۵ نروژ، CGCM3^۶ طراحی شده در مرکز CCCM^۷ کانادا، CNRMCM3^۸ طراحی شده در مرکز CNRM^۹ فرانسه، MRI CGCM2.3^{۱۱} طراحی شده در مؤسسه MRI^{۱۱} ژاپن و MIROC3.2^{۱۲} طراحی شده در مرکز IRCC^{۱۳} ژاپن مورد انتخاب قرار گرفتند.

- 4- Bergen Climate Model-Version 2
- 3- Bjerknes Centre for Climate Research
- 6- Coupled Global Climate Model-Version 3
- 7- Canadian Centre for Climate Modelling
- 8- Centre National de Recherche Meteorologiques-Climate Model- version 3
- 9- Centre National de Recherche Meteorologiques
- 10- Meteorological Research Institute- Coupled General Circulation Model- version 2.3
- 11- Meteorological Research Institute
- 12- Model for Interdisciplinary Research Centre on Climate- version 3.2
- 13- Interdisciplinary Research Centre on Climate

مختلف AOGCM برای منطقه شمال شرق ایران انجام شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شمال شرق ایران بوده و از داده های سه ایستگاه تربت حیدریه، سبزوار و مشهد که در دوره پایه^۱ منتخب (۲۰۰۰-۱۹۷۱) داده ثبت شده داشته اند، به عنوان مرجع این منطقه، استفاده شده است (جدول ۱). لازم به ذکر است که در اغلب تحقیقات گذشته تغییر اقلیم، با توجه به توصیه سازمان جهانی هواشناسی (WMO)^۲، دوره ۳۰ ساله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به عنوان دوره پایه در نظر گرفته شده است. اما اخیراً هیأت بین الدول تغییر اقلیم اعلام کرده که این دوره هر ۱۰ سال یک بار باید به جلوتر منتقل گردد (۱۳). بنابراین در حال حاضر دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه و مبنای مقایسه داده های خروجی مدل های اقلیمی و داده های واقعی مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه ها در مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می گیرد.

انتخاب مدل های AOGCM و روش ریزمقیاس نمائی

امروزه تهیه و استخراج داده های خروجی مدل های اقلیمی (در مقیاس ماهانه) از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی، امکان پذیر است. یکی از معتبرترین مراکز ارائه دهنده این داده ها، سایت CCCSN^۳ که متعلق به سازمان محیط زیست کانادا است می باشد (۲۲). این سایت، امکان استخراج داده های ماهانه شبیه سازی شده توسط ۲۴ مدل گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی برای اغلب پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، بارش، فشار و غیره) بر اساس سناریوهای مختلف انتشار (A1B، A2 و B1) را بر اساس خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه برای کاربر فراهم می کند. اما چنان چه قبلاً ذکر شد، عمده ترین مسأله در استفاده از خروجی مدل های AOGCM، بزرگ بودن مقیاس سلول های محاسباتی آن ها در مقایسه با منطقه مورد مطالعه و یا به عبارت دیگر کم بودن قدرت تفکیک فضایی آن هاست (۱۵). بنابراین لازم است خروجی آن ها قبل از استفاده در مطالعات تغییر اقلیم جهت تولید سناریوهای اقلیم منطقه ای، ریز مقیاس شود (۱۸). در این تحقیق با توجه به هدف مطالعه، روش ریزمقیاس نمائی تناسبی که بر اساس آن، سری زمانی داده های شبیه سازی شده توسط مدل ها عیناً مورد استفاده قرار می گیرند، انتخاب شد (۱۰). در روش ریزمقیاس نمائی تناسبی، متغیرهای

- 1- Base period
- 2- World Meteorological Organization
- 3- Canadian Climate Change Scenarios Network

جدول ۱- خصوصیات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم (دومارتن)
تربت حیدریه	۵۹° ۱۳' E	۳۵° ۱۶' N	۱۴۵۰/۸	نیمه خشک
سبزوار	۵۷° ۴۳' E	۳۶° ۱۲' N	۹۷۷/۶	خشک
مشهد	۵۹° ۳۸' E	۳۶° ۱۶' N	۹۹۹/۲	نیمه خشک

صحت سنجی داده های شبیه سازی شده توسط اجرای

منفرد مدل های AOGCM

جهت صحت سنجی مدل ها ابتدا مقدار ضریب تعیین R^2 یا R^2 (رابطه ۱)، برای مقایسه دما و بارش شبیه سازی شده توسط مدل ها بر اساس هر سه سناریوی انتشار و مقادیر واقعی ثبت شده در ایستگاه‌ها محاسبه شد. سپس با توجه به این که مقدار ضریب R^2 به تنهایی معیار مناسبی برای ارزیابی توانمندی یک مدل نمی باشد، مقدار شاخص توافق D یا D (رابطه ۲) نیز مورد محاسبه قرار گرفت. بر اساس شاخص D ، مقادیر نزدیکتر به ۱، نشان دهنده توافق بیشتر مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده می باشند (۵). علاوه بر محاسبه دو ضریب مذکور، جهت بررسی میزان خطای مدل از شاخص خطاسنجی میانگین مربعات انحرافات یا MSD^۴ (رابطه ۳) استفاده شد. این شاخص، نشان دهنده انحراف کلی پیش بینی از مشاهدات بوده و در حقیقت حاصل جمع (رابطه ۴) سه شاخص اریبی مربع یا SB^۵ (رابطه ۵)، انحراف معیار مربعات اختلاف یا SDDS^۶ (رابطه ۶) و عدم همبستگی داده ها یا LCS^۷ (رابطه ۷) می باشد. در بین اجزای میانگین مربعات خطا، اریبی مربع معرف میزان اریبی یا بایاس مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده، انحراف معیار مربعات اختلاف نشان دهنده تفاوت در پراکنش مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده و عدم همبستگی داده ها معرف الگوی زمانی نوسانات مشاهدات و پیش بینی ها می باشند (۶).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

انتخاب سناریوهای انتشار و استخراج داده های مورد نیاز

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره های آتی، ورودی اصلی مدل های اقلیمی را تشکیل می دهد. اما با توجه به این که تعیین میزان انتشار این گازها به طور قطعی امکان پذیر نیست، سناریوهای مختلفی به نام سناریوهای انتشار^۱ که در برگزیده مؤلفه هایی است که تغییرات گازهای گلخانه‌ای مختلف در آینده را برآورد و تعیین می کنند، ارائه شده است (۱۳ و ۱۷). این سناریوها شامل عناصر مختلف فیزیکی، شیمیایی، اجتماعی و اقتصادی می باشند که به منظور هر چه نزدیکتر شدن خروجی مدل ها به شرایط واقعی، در آن ها منظور می شوند (۱۴ و ۱۵). معتبرترین سناریوهای اقلیمی که توسط IPCC مورد تأیید قرار گرفته و امروزه در انواع مدل های مختلف پیش بینی تغییر اقلیم در سطح جهان مورد استفاده قرار می گیرند، سناریوهای A1B، A2 و B1 می باشند. بر اساس سناریوی A1B رشد سریع اقتصادی و جمعیتی در جهان رخ خواهد داد به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن بوده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهشی خواهد بود. همچنین، رشد سریع فناوری های نوین و مؤثر بر اساس این سناریو در دوره های آتی به وقوع خواهد پیوست. سناریوی A2 مبین رشد سریع جمعیت جهان اما همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف می باشد. بر طبق سناریوی B1 نیز در دهه های آتی همگرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت (۱۳). با توجه به این که هدف از مطالعه حاضر، صحت سنجی مدل ها و سناریوهای اقلیمی و انتخاب مدل بهینه در جهت کاهش هر چه بیشتر عدم قطعیت پیش بینی های اقلیمی است، هر سه سناریوی مذکور مورد استفاده قرار گرفته اند. پس از انتخاب ۵ مدل اقلیمی مذکور و نیز سناریوهای انتشار، استخراج داده های بارش و دمای متوسط بر اساس موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه تربت حیدریه، سبزوار و مشهد به روش ریزمقیاس نمائی تناسبی صورت گرفت.

2- Coefficient of determination

3- Index of agreement

4- Mean Squared Deviations

5- Squared Bias

6- Squared Difference between Standard Deviation

7- lack of Correlation

1- Emission scenarios

$$W_i = \frac{(1/\Delta F_i)^2}{\sum_{i=1}^n (1/\Delta F_i)^2} \quad (۸)$$

در این رابطه W_i وزن هر مدل در ماه مورد نظر، ΔF_i انحراف میانگین بلندمدت پارامتر شبیه سازی شده توسط هر یک از مدل ها در دوره پایه از میانگین داده های واقعی یا مشاهده شده و n تعداد مدل ها، می باشد.

اجرای گروهی مدل های AOGCM و صحت سنجی داده های شبیه سازی شده

چشم پوشی از عدم قطعیت های مرتبط با تغییر اقلیم در تحقیقات، از اعتبار نتایج کاسته و منجر به اعمال نتایج غیر واقعی و غیر کاربردی به کاربران خواهد شد (۱۲). اجرای گروهی چندین مدل از جمله روش های کاهش عدم قطعیت های پیش بینی است که به روش های مختلف از جمله روش وزنی قابل محاسبه است (۸ و ۹). بر اساس این روش، ابتدا وزن محاسبه شده مدل ها طبق رابطه ۸ در مقادیر میانگین آن ها در ماه مورد نظر (M_i) ضرب شده و سپس مقادیر حاصل، مطابق رابطه ۹ با هم جمع می شوند (۸).

$$E = \sum_{i=1}^n W_i M_i \quad (۹)$$

پس از انجام این محاسبات برای داده های شبیه سازی شده دما و بارش در مناطق مورد مطالعه به صورت جداگانه، در نهایت جهت صحت سنجی نتایج حاصل، مجدداً از روابط ۱ تا ۷ استفاده شد.

نتایج و بحث

در جدول های ۱ و ۲ به ترتیب مقادیر شاخص های آماری محاسبه شده برای صحت سنجی داده های دما و بارش شبیه سازی شده توسط اجرای منفرد ۵ مدل منتخب در مناطق مورد مطالعه، نشان داده شده است. بر اساس شاخص های آماری نشان داده شده در جدول های ۱ و ۲، مدلی که بالاترین ضریب R^2 و شاخص توافق و کمترین مقدار شاخص های خطاسنجی را داشته باشد به عنوان مورد اعتمادترین و بهترین مدل برای منطقه مورد نظر انتخاب خواهد شد. بدین ترتیب چنانچه در جدول ۱ مشاهده می شود، در منطقه تربت حیدریه مطابق هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل ژاپنی MRICGCM2.3 بیشترین کارایی را در شبیه سازی داده های دمای این منطقه داشته است. پس از این مدل، مدل های BCM2 و CNRMCM3 به ترتیب در رده های دوم و سوم قرار می گیرند ولی سایر مدل ها گرچه دارای مقادیر قابل قبول ضرایب R^2 و

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S'_i| + |O'_i|)^2} \right] \quad (۲)$$

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \quad (۳)$$

$$MSD = SB + SDDS + LCS \quad (۴)$$

$$SB = (\bar{S} - \bar{O})^2 \quad (۵)$$

$$SDDS = (SD_S - SD_O)^2 \quad (۶)$$

$$LCS = 2SD_S SD_O (1 - r) \quad (۷)$$

در روابط ۱ تا ۷، S_i و O_i به ترتیب i امین داده شبیه سازی شده توسط مدل و واقعی (مشاهده شده)، \bar{S} و \bar{O} میانگین کل داده های S_i و O_i در جامعه آماری، $S'_i = S_i - \bar{S}$ ، $O'_i = O_i - \bar{O}$ تعداد کل نمونه های مورد ارزیابی، SD_S و SD_O انحراف معیار داده های S_i و O_i و ضریب همبستگی می باشند.

بررسی عدم قطعیت مدل های AOGCM و سناریوهای انتشار

به طور کلی در تمامی مراحل مختلف شبیه سازی متغیرهای اقلیمی توسط مدل های AOGCM، منابع عدم قطعیت مختلفی وجود دارد که از جمله مهمترین آن ها می توان به عدم قطعیت مربوط به شبیه سازی مدل های اقلیمی در مقیاس منطقه ای، عدم قطعیت در استفاده از روش های مختلف ریزمقیاس نمائی و عدم قطعیت مربوط به سناریوهای انتشار اشاره نمود (۸، ۱۲ و ۲۱). یکی از روش های بررسی عدم قطعیت مدل های اقلیمی و سناریوهای انتشار، روش وزن دهی پارامترهای مدل سازی شده است که بر طبق آن، مدل های منتخب بر اساس میزان انحراف پارامتر هواشناسی شبیه سازی شده در دوره پایه از میانگین داده های مشاهداتی این دوره، طبق رابطه ۸، وزن دهی می شوند (۸ و ۲۱). در حقیقت بر اساس این روش، هر مدل که وزن بیشتری در مدل سازی گذشته منطقه داشته باشد، طبیعتاً انتظار می رود در مدل سازی آینده هم کم و بیش همان وزن را داشته باشد و بنابراین به عنوان مدل بهینه انتخاب خواهد شد (۹ و ۲۱).

بیشترین توافق داده های شبیه سازی شده دما با داده های واقعی بوده و پس از آن، مدل CNRMCM3 در رتبه دوم قرار می گیرد.

می باشند اما به دلیل میزان نسبتاً بالای شاخص های خطاسنجی، برای این منطقه قابل توصیه نمی باشند. در منطقه سبزوار مدل ژاپنی MIROC3.2 بر طبق سناریوهای نام برده شده در بالا، دارای

جدول ۱- صحت سنجی دمای متوسط شبیه سازی شده توسط اجرای منفرد مدل های منتخب

LCS	SDSD	SB	MSD	D	R ²	مدل	سناریو	منطقه
0.1752	2.1737	0.3451	2.6941	0.9931	0.9973	BCM2	A1B	
1.3293	5.5870	6.0378	12.9541	0.9664	0.9938	CGCM3		
0.8041	3.9445	0.3087	5.0573	0.9861	0.9963	CNRMCM3		
0.4846	0.2393	0.0825	0.8064	0.9964	0.9991	MRICGCM2.3		
0.9592	2.7241	12.4014	16.0847	0.9418	0.9912	MIROC3.2		
0.1848	2.3024	0.1830	2.6702	0.9928	0.9973	BCM2	A2	تربت حیدریه
1.2183	5.6871	6.0261	12.9315	0.9662	0.9937	CGCM3		
0.7755	3.9960	0.2828	5.0543	0.9861	0.9952	CNRMCM3		
0.4765	0.2263	0.0759	0.7787	0.9965	0.9994	MRICGCM2.3		
0.9494	2.703	12.0911	15.7435	0.9425	0.9901	MIROC3.2		
0.1841	2.2058	0.2259	2.6158	0.9929	0.9974	BCM2	B1	
1.3173	5.6333	5.9050	12.8556	0.9663	0.9951	CGCM3		
0.7752	3.9952	0.2830	5.0534	0.9854	0.9962	CNRMCM3		
0.4761	0.2143	0.0744	0.7648	0.9962	0.9994	MRICGCM2.3		
0.9321	2.7452	14.089	17.7663	0.9132	0.9939	MIROC3.2		
0.3410	1.2385	12.7234	14.3029	0.9459	0.9934	BCM2	A1B	
1.6575	2.7449	14.5328	18.9352	0.9074	0.9912	CGCM3		
0.7126	1.5999	4.7748	7.0873	0.9813	0.9937	CNRMCM3		
0.6309	0.0138	12.0851	12.7298	0.9538	0.9948	MRICGCM2.3		
1.1554	0.0240	1.2322	2.4116	0.9903	0.9971	MIROC3.2		
0.3430	1.2214	12.6582	14.2226	0.9461	0.9923	BCM2	A2	سبزوار
1.5984	4.3226	11.4521	17.3731	0.9162	0.9901	CGCM3		
0.7121	1.5974	4.7717	7.0812	0.9815	0.9957	CNRMCM3		
0.6314	0.0145	12.0842	12.7301	0.9532	0.9938	MRICGCM2.3		
1.1552	0.0221	1.2316	2.4089	0.9923	0.9971	MIROC3.2		
0.3510	1.2421	13.6318	15.2249	0.9459	0.9926	BCM2	B1	
1.6385	4.6546	12.4851	18.7782	0.9063	0.9912	CGCM3		
0.7038	1.6008	4.7760	7.0806	0.9817	0.9941	CNRMCM3		
0.6314	0.0142	14.124	14.7696	0.9539	0.9933	MRICGCM2.3		
1.1324	0.0220	1.2112	2.3656	0.9913	0.9967	MIROC3.2		
0.1837	4.5228	1.1456	5.8521	0.9849	0.9971	BCM2	A1B	
1.2874	5.9873	9.6692	16.9439	0.9554	0.9938	CGCM3		
0.8350	2.8101	2.4430	6.0881	0.9816	0.9957	CNRMCM3		
0.6376	1.3778	0.2222	2.2376	0.9921	0.9985	MRICGCM2.3		
1.0832	4.4494	13.3144	18.847	0.9112	0.9916	MIROC3.2		
0.1480	0.0457	1.8949	2.0886	0.9928	0.9972	BCM2	A2	مشهد
1.0770	0.3108	11.6317	13.0195	0.9215	0.9937	CGCM3		
0.5564	0.0135	3.3040	3.8739	0.9858	0.9966	CNRMCM3		
0.7003	0.3112	0.0004	1.0119	0.9950	0.9989	MRICGCM2.3		
0.9465	0.8675	11.8847	13.6987	0.9175	0.9926	MIROC3.2		
0.8011	2.7385	1.2221	4.7617	0.9823	0.9958	BCM2	B1	
1.3280	5.8411	9.9408	17.1099	0.9544	0.9935	CGCM3		
0.1915	4.4407	1.2266	5.8588	0.9848	0.9990	CNRMCM3		
0.6293	1.3259	0.2172	2.1724	0.9923	0.9966	MRICGCM2.3		
1.0804	4.4397	13.5651	19.0852	0.9130	0.9944	MIROC3.2		

جدول ۲- صحت سنجی بارش شبیه سازی شده توسط اجرای منفرد مدل های منتخب

LCS	SDSD	SB	MSD	D	R ²	مدل	سناریو	منطقه
16.8033	3.7470	1.8936	22.4439	0.7124	0.8379	BCM2		
13.1290	2.9190	3.0630	19.1110	0.8144	0.8854	CGCM3		
17.4574	3.8372	2.1942	23.4888	0.6981	0.8268	CNRMCM3		
16.5291	3.3706	1.4958	21.3955	0.7226	0.8540	MRICGCM2.3		
14.9698	1.0014	1.2497	17.2209	0.8348	0.9104	MIROC3.2		
14.0908	2.1190	3.1571	19.3669	0.8098	0.8514	BCM2		
13.0810	1.0754	2.0049	17.1613	0.8323	0.9174	CGCM3		
13.6658	3.7199	2.5387	19.9244	0.8039	0.8558	CNRMCM3	A2	ترتیب حیدریه
13.9981	2.1447	2.1812	18.3240	0.8297	0.8707	MRICGCM2.3		
12.2293	1.7251	2.5282	16.4826	0.8435	0.9321	MIROC3.2		
13.6387	5.4975	3.0623	22.1985	0.7969	0.8623	BCM2		
16.1279	2.1564	1.1019	19.3862	0.8214	0.8891	CGCM3		
14.9967	5.3471	2.7952	23.1390	0.7757	0.8558	CNRMCM3	B1	
15.8409	2.4598	2.1538	20.4545	0.8152	0.8707	MRICGCM2.3		
13.3655	2.7096	1.5587	17.6338	0.9188	0.9116	MIROC3.2		
15.0524	2.6177	1.8076	19.4777	0.8639	0.8979	BCM2		
17.7716	2.4996	2.0555	22.3267	0.7813	0.8367	CGCM3		
17.3039	1.3742	1.7785	20.4566	0.8226	0.8522	CNRMCM3	A1B	
15.0593	1.6282	0.4793	17.1668	0.9103	0.9175	MRICGCM2.3		
16.1313	1.5025	1.0205	18.6543	0.8809	0.9120	MIROC3.2		
15.7881	2.2029	1.4599	19.4529	0.8722	0.8894	BCM2		
16.4358	2.0591	2.9883	21.4832	0.8110	0.8434	CGCM3		
17.5897	1.7780	1.9059	21.2736	0.8126	0.8365	CNRMCM3	A2	سبزوار
15.1042	1.3412	0.2218	16.6672	0.9206	0.9525	MRICGCM2.3		
16.1123	1.4862	1.0321	18.6306	0.8623	0.9170	MIROC3.2		
15.6601	2.3229	1.2341	19.2171	0.8881	0.8794	BCM2		
16.7723	2.2316	2.0421	21.0460	0.7456	0.8367	CGCM3		
17.3606	1.3674	1.7884	20.5164	0.7573	0.8520	CNRMCM3	B1	
15.2324	1.1185	0.2598	16.6107	0.9308	0.9718	MRICGCM2.3		
16.2901	1.3221	1.0014	18.6136	0.8996	0.9170	MIROC3.2		
17.8411	3.0069	1.9439	22.7919	0.7887	0.9304	BCM2		
14.1857	2.4249	1.8870	18.4976	0.8546	0.9615	CGCM3		
12.8295	1.0558	0.9205	14.8058	0.9143	0.9745	CNRMCM3	A1B	
15.6047	2.5555	1.5295	19.6897	0.8257	0.9557	MRICGCM2.3		
16.4739	2.3428	1.9351	20.7518	0.8090	0.9499	MIROC3.2		
17.5530	3.9674	1.6784	23.1988	0.7579	0.8828	BCM2		
13.5377	3.2376	1.5540	18.3293	0.8342	0.9542	CGCM3		
12.1923	1.6146	0.9797	14.7866	0.9131	0.9738	CNRMCM3	A2	مشهد
14.7242	2.8854	1.9789	19.5885	0.8141	0.9419	MRICGCM2.3		
16.0425	2.8817	1.6845	20.6087	0.7900	0.9294	MIROC3.2		
16.9361	3.1819	1.6785	21.7965	0.8427	0.8881	BCM2		
13.7197	2.7844	1.7737	18.2778	0.8972	0.9214	CGCM3		
12.6911	1.1398	0.8241	14.6550	0.9118	0.9448	CNRMCM3	B1	
15.4736	2.6269	1.3056	19.4061	0.8788	0.9075	MRICGCM2.3		
16.5271	2.9408	1.6286	21.0965	0.8564	0.8896	MIROC3.2		

سناریوی A1B، A2 و B در شبیه سازی های صورت گرفته توسط مدل MRICGCM2.3 حاصل شده و مدل های BCM2 و CNRMCM3 به ترتیب در رتبه های دوم و سوم قرار می گیرند. دو

سایر مدل ها برای این منطقه با توجه به مقادیر نسبتاً بالای خطا در شبیه سازی قابل توصیه نمی باشند. در منطقه مشهد کمترین میزان خطا و بالاترین ضریب همبستگی و توافق مطابق هر سه

۲ نشان داده شده است، بالاترین تا کمترین وزن محاسبه شده در شبیه سازی بارش در منطقه تربت حیدریه به ترتیب متعلق به مدل های CGCM3، MIROC3.2، MRICGCM2.3، BCM2 و CNRMCM3، در منطقه سبزوار به ترتیب مربوط به مدل های CGCM3 و در منطقه مشهد به ترتیب متعلق به مدل های CNRMCM3، MRICGCM2.3، CGCM3، MIROC3.2 و BCM2 می باشد. همچنین این شکل نشان می دهد که در منطقه تربت حیدریه به ترتیب سناریوهای A2، A1B و B1 و در دو منطقه سبزوار و مشهد به ترتیب سناریوهای B1، A2 و A1B بهترین و مناسب ترین سناریو برای پیش بینی بارش این مناطق بوده اند. در جدول ۳ آماره های محاسبه شده جهت صحت سنجی دمای متوسط شبیه سازی شده توسط اجرای گروهی مدل های منتخب نشان داده شده است. چنان چه مشاهده می شود، مقادیر ضرایب همبستگی و توافق در همه مناطق مورد مطالعه نسبتاً افزایش و خطا به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. بیشترین مطابقت داده های دمای شبیه سازی شده با استفاده از اجرای دسته جمعی ۵ مدل منتخب با داده های مشاهداتی در دو منطقه تربت حیدریه و سبزوار بر مبنای سناریوی B1 و در منطقه مشهد بر مبنای سناریوی A2 حاصل شده است.

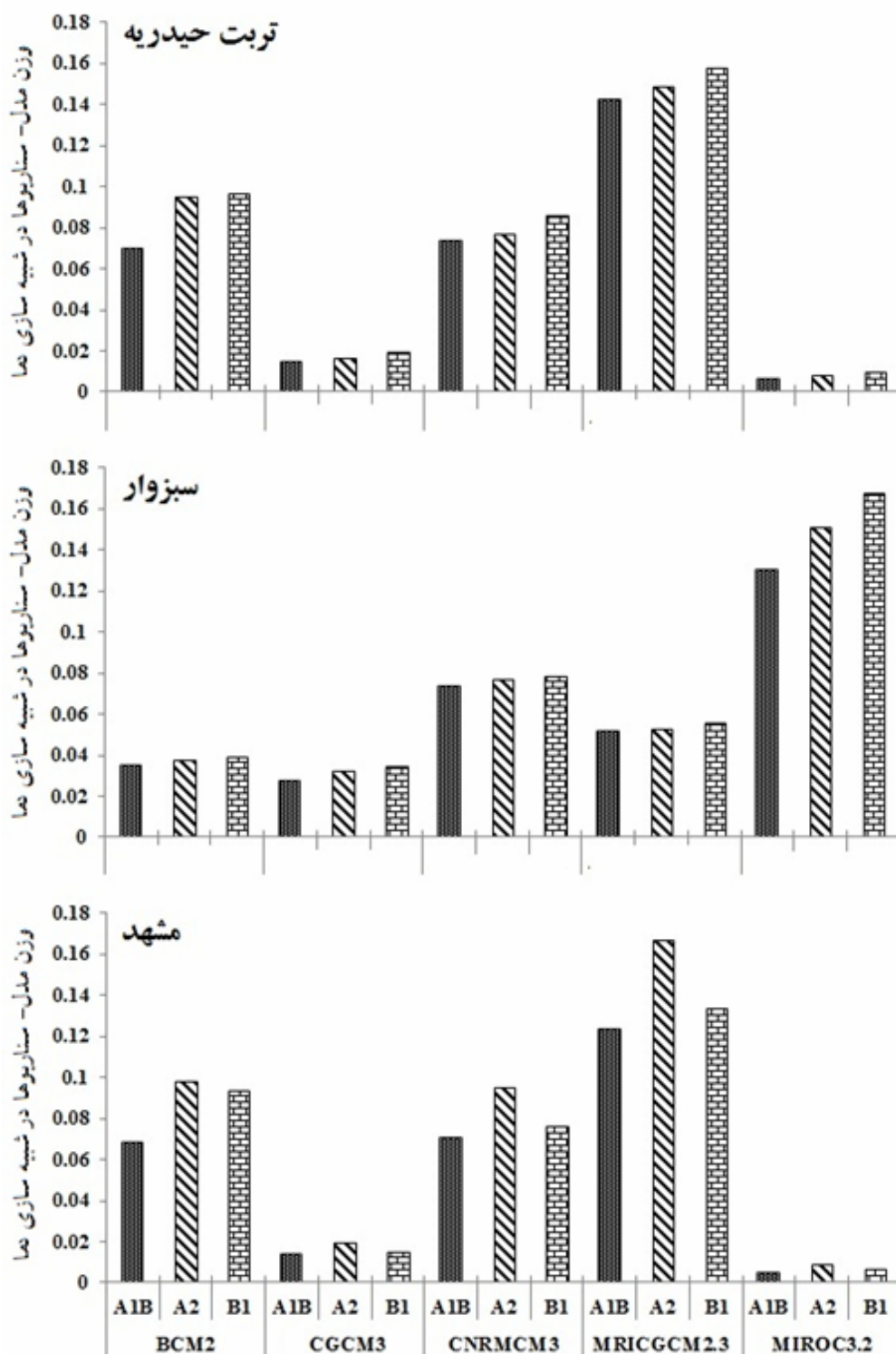
در جدول ۴ آماره های محاسبه شده جهت صحت سنجی بارش شبیه سازی شده توسط اجرای گروهی مدل های منتخب نشان داده شده است. چنان چه مشاهده می شود، در رابطه با این پارامتر نیز همچون دما در هر سه منطقه مورد مطالعه، خطا به میزان چشمگیری کاهش یافته است و با عنایت به این که اغلب مدل های اقلیمی قابلیت بالایی در شبیه سازی بارش ندارند، این میزان کاهش خطا بسیار قابل توجه می باشد. بیشترین مطابقت داده های بارش شبیه سازی شده با استفاده از اجرای دسته جمعی ۵ مدل منتخب با داده های مشاهداتی در منطقه تربت حیدریه بر مبنای سناریوی A2 و در دو منطقه سبزوار و مشهد بر مبنای سناریوی B1 حاصل شده است.

مدل CGCM3 و MIROC3.2 با توجه به میزان خطای نسبتاً بالا برای این منطقه مدل های قابل اعتمادی نمی باشند. چنان چه در جدول ۲ مشاهده می شود به طور کلی میزان خطاهای موجود در شبیه سازی بارش توسط ۵ مدل مختلف در مقایسه با خطاهای موجود در شبیه سازی دما بالاتر می باشد که البته با توجه به خاصیت بی ثباتی و تغییرپذیری بارش قابل توجیه بوده و نسبتاً قابل قبول می باشد. بر اساس آماره های ضریب R^2 و شاخص توافق و شاخص MSD در منطقه تربت حیدریه مطابق هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل ژاپنی MIROC3.2 بهترین عملکرد را در شبیه سازی بارش منطقه دارا بوده و مدل کانادایی CGCM3 پس از آن در رتبه دوم قرار دارد. در منطقه سبزوار مدل MRICGCM2.3 بر اساس هر سه سناریوی ذکر شده، بیشترین مطابقت را با داده های واقعی داشته و مدل MIROC3.2 در مرحله بعدی قرار می گیرد و در نهایت در منطقه مشهد مدل فرانسوی CNRMCM3 طبق همه سناریوها توانمندترین مدل در شبیه سازی بارش این منطقه بوده و رتبه دوم متعلق به مدل کانادایی CGCM3 می باشد.

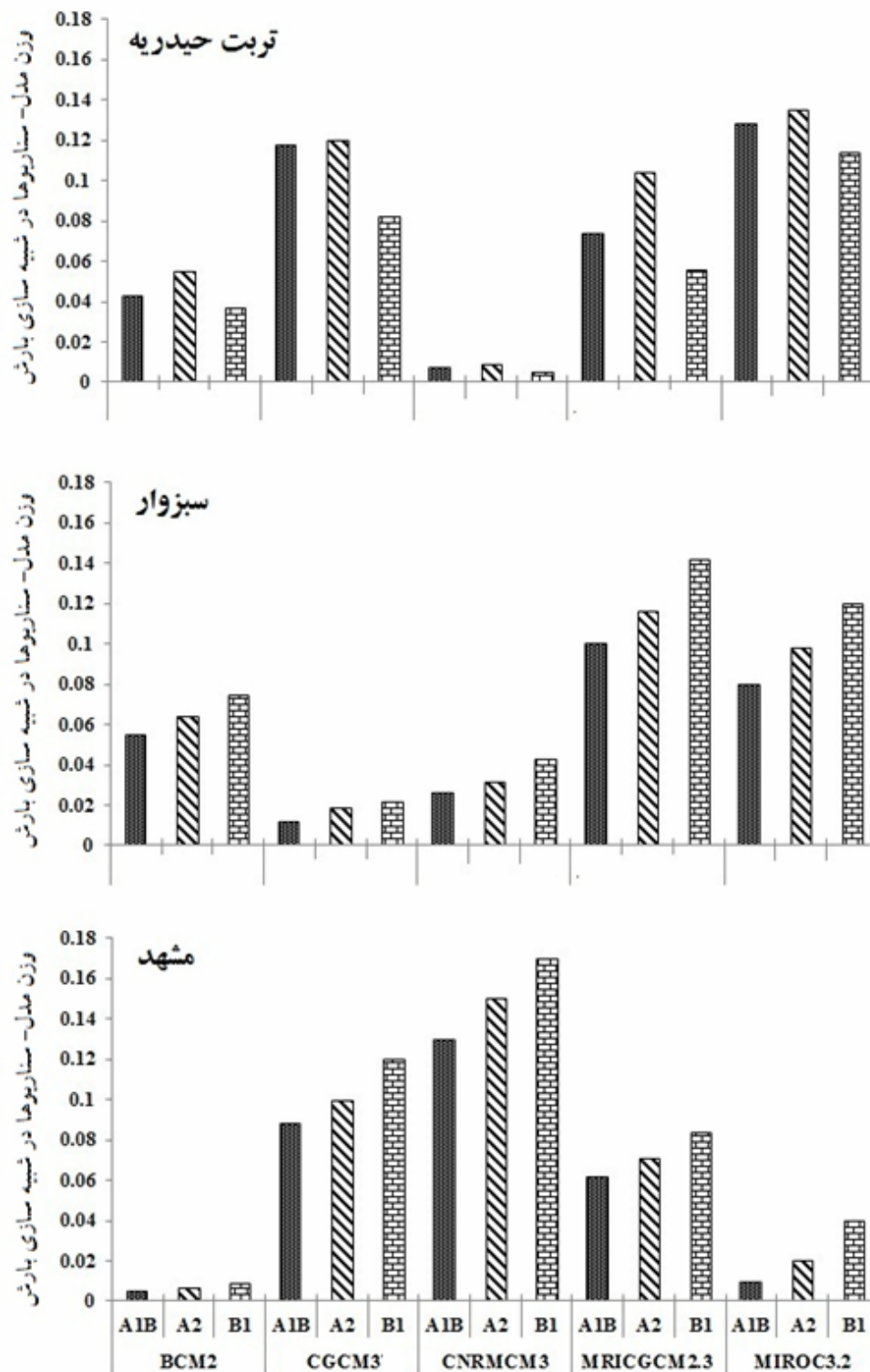
در شکل های ۱ و ۲ وزن مدل - سناریوها به ترتیب برای پارامترهای دما و بارش در مناطق مورد مطالعه نشان داده شده است. در شکل ۱ ملاحظه می شود که چنان چه انتظار می رود، بیشترین وزن به مدل هایی که کمترین خطا و بالاترین ضرایب همبستگی و توافق را داشته اند تعلق گرفته است. بدین ترتیب که در منطقه تربت حیدریه و مشهد مدل های MRICGCM2.3، BCM2، CNRMCM3، CGCM3 و MIROC3.2 و در منطقه سبزوار مدل های MIROC3.2، CNRMCM3، MRICGCM2.3 و BCM2 به ترتیب بیشترین کمترین وزن را به خود اختصاص داده و بنابراین کمترین تا بیشترین عدم قطعیت در پیش بینی دمای این مناطق را دارا می باشد. همچنین در شکل ۱ مشاهده می شود که در منطقه تربت حیدریه و سبزوار به ترتیب سناریوهای B1، A2 و A1B و در منطقه مشهد به ترتیب سناریوهای B1 و A1B به ترتیب بیشترین تا کمترین وزن را در همه مدل ها به خود اختصاص داده اند. چنان چه در شکل

جدول ۳- صحت سنجی دمای متوسط شبیه سازی شده توسط اجرای گروهی مدل های منتخب

منطقه	سناریو	R^2	D	MSD	SB	SDSD	LCS
تربت حیدریه	A1B	0.9979	0.9974	0.1719	0.0319	0.0034	0.1366
	A2	0.9988	0.9981	0.1695	0.0304	0.0029	0.1362
	B1	0.9992	0.9988	0.1583	0.0222	0.0029	0.1332
سبزوار	A1B	0.9968	0.9943	0.6214	0.4358	0.0064	0.1792
	A2	0.9975	0.9956	0.6180	0.4348	0.0051	0.1781
	B1	0.9981	0.9963	0.6047	0.4244	0.0040	0.1763
مشهد	A1B	0.9982	0.9967	0.4150	0.0525	0.1145	0.2480
	A2	0.9989	0.9979	0.3692	0.1215	0.1335	0.1142
	B1	0.9986	0.9970	0.3892	0.0522	0.0971	0.2399



شکل ۱- وزن مدل - سناریوها برای دما در مناطق مورد مطالعه



شکل ۲- وزن مدل - سناریوها برای بارش در مناطق مورد مطالعه

جغرافیایی) و نوع اقلیم این مناطق تأثیر جدی بر شبیه سازی هر دو پارامتر مورد مطالعه، داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده و تعیین بهترین مدل ها برای برآورد دما و بارش در نواحی سه گانه تربت حیدریه، سبزوار و مشهد، به نظر می رسد که به طور کلی شرایط جغرافیایی (ارتفاع و عرض

جدول ۴- صحت سنجی بارش شبیه سازی شده توسط اجرای گروهی مدل های منتخب

LCS	SDSD	SB	MSD	D	R ²	سناریو	منطقه
4.2505	2.1404	1.8510	8.2419	0.9604	0.9829	A1B	تربت حیدریه
2.4140	2.8840	1.1179	6.4159	0.9693	0.9880	A2	
4.9378	3.4824	1.2231	9.6433	0.9581	0.9821	B1	
4.7753	2.0353	1.0004	7.8110	0.9659	0.9878	A1B	سبزوار
2.7068	2.1319	1.5524	6.3911	0.9683	0.9882	A2	
2.9720	1.5218	1.0253	5.5191	0.9833	0.9886	B1	
3.8558	2.7092	1.3404	7.9054	0.9628	0.9876	A1B	مشهد
3.2588	2.3056	1.2412	6.8056	0.9633	0.9879	A2	
2.4421	1.5238	1.1352	5.1011	0.9867	0.9891	B1	

همچون منطقه مورد مطالعه در این پژوهش (خراسان) نکته ای بسیار مثبت بوده و قابل توجه فراوان است.

نتیجه گیری و پیشنهادها

بخش کشاورزی از جمله بخش‌هایی است که به شدت در مقابل تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است. تغییرات اقلیمی با تأثیرگذاری مستقیم بر فرآیندهای رشد و نمو گیاهان و نیز عوامل مرتبط در تولید کشاورزی به خصوص آب قابل دسترس خاک و افزایش تبخیر- تعرق گیاه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در تولیدات کشاورزی به وجود می‌آورند. پیش‌بینی صحیح تغییر اقلیم، مهمترین گام در مقابله با کاهش اثرات منفی ناشی از تغییرات اقلیمی است و برای دستیابی به دقیقترین پیش‌بینی، لازم است که ابتدا مناسب‌ترین مدل برای هر منطقه شناسایی شده و سپس اقدام به انجام پیش‌بینی شود. بر این اساس در پژوهش حاضر، ۵ مدل AOGCM برای سه منطقه در شمال شرق ایران مورد آزمون قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از شاخص‌های آماری محاسبه شده در ابتدا یک مدل به عنوان توانمندترین مدل در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش به طور جداگانه برای هر منطقه مشخص شد. سپس در بررسی نتایج آماره‌های محاسبه شده برای اجرای گروهی مدل‌ها مشاهده شد که استفاده از مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف می‌تواند باعث افزایش قابل توجه دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی و یا به عبارت دیگر کاهش عدم قطعیت‌های مربوطه در مقایسه با استفاده از تنها یک مدل، شود که این نتایج منطبق با دست‌آورد پژوهش‌های فنگ و فو (۸)، فولر و اکستروم (۹) و زمنف و استراتونویچ (۱۹) می‌باشد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در یک منطقه لزوماً یک مدل یکسان، دقیق‌ترین پیش‌بینی را برای همه پارامترهای اقلیمی ارائه نمی‌دهد و ممکن است بهترین پیش‌بینی برای پارامترهای دما و بارش آن منطقه توسط دو مدل مختلف ایجاد شود. با عنایت به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که در همه مطالعاتی که با هدف انجام پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم و یا

بدین ترتیب که در ارتباط با بارش چنان چه مشاهده شد در سه ایستگاه متفاوت، سه مدل مختلف به عنوان مدل بهینه هر منطقه انتخاب شدند که این امر در نگاه اول می‌تواند با توجه به ماهیت فیزیکی پیچیده و تغییرپذیر بارش، قابل پذیرش باشد. در عین حال، نگاه دقیق‌تر به این موضوع، گویای این مطلب است که با توجه به این که نقش متغیرهای محیطی در مقدار و پراکندگی بارش هر منطقه، انکارناپذیر است و در حقیقت، تفاوت در میزان و نوع ریزش‌های جوی و سیستم‌های بارندگی نقاط همجوار توسط دخالت عوامل محلی خصوصاً ویژگی‌های توپوگرافیک و جغرافیایی منطقه قابل توجه است می‌توان به این نتیجه رسید که این عوامل بدون شک در ساختار فیزیکی مدل‌های بهینه گنجانده شده و در برآوردهای نهایی آن‌ها مؤثر بوده است و بنابراین، انتخاب سه مدل متفاوت به عنوان مورد اعتمادترین مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش سه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، منطقی به نظر می‌رسد. در ارتباط با شبیه‌سازی دما نیز چنان چه مشاهده شد در دو منطقه مشهد و تربت حیدریه، مدل‌های یکسانی رتبه‌های اول تا سوم را کسب کردند اما منطقه سبزوار، متفاوت از آن‌ها بود. با یادآوری این که سبزوار دارای شرایط اقلیمی خشک نسبت به دو ایستگاه دیگر است (جدول ۱) می‌توان گفت که در واقع همسایگی کویر برای سبزوار، عامل اصلی تفاوت نسبت به دو منطقه دیگر می‌باشد. همچنین می‌دانیم که تربت حیدریه از نظر ارتفاعی نسبت به مشهد در جایگاه بلندتری قرار داشته ولی عرض جغرافیایی آن، یک درجه پایین‌تر است (جدول ۱). با توجه به این مطلب نیز می‌توان چنین استنباط کرد که تأثیر بلندی ارتفاع ایستگاه تربت حیدریه که می‌تواند باعث کاهش دما شود به دلیل پایین بودن یک درجه‌ای عرض جغرافیایی آن که منجر به دریافت گرمای بیشتری می‌شود، جبران شده و بنابراین مدل‌های بهینه در شبیه‌سازی دمای دو منطقه تربت حیدریه و مشهد مشابه می‌باشند. تمامی موارد ذکر شده در بالا مؤید این مطلب است که مدل‌های منتخب در این تحقیق، نسبت به کمترین تغییرات اقلیمی و جغرافیایی حساسیت نشان می‌دهند و این نکته در مناطقی با شباهت جغرافیایی بالا و عدم وجود تنوع اقلیمی زیاد،

اقلیمی و دسترسی آسان به داده های خروجی آن ها در زمان اندک، پیشنهاد می شود تا حد امکان از چندین مدل به جای یک مدل در مطالعات تغییر اقلیم استفاده شود و بدین وسیله عدم قطعیت پیش بینی های انجام شده را تا حد قابل قبول کاهش داد.

بررسی اثرات آن در مناطق مختلف صورت می گیرد، ابتدا نسبت به انتخاب مدل بهینه آن منطقه به طور جداگانه برای همه پارامترهای مورد بررسی اقدام شود تا نتایج هر چه واقعی تر جهت ارائه به بخش های اجرایی حاصل شود. همچنین با توجه به تعدد مدل های

منابع

- ۱- اشرف ب.، موسوی بایگی م.، کمالی غ. و داوری ک. ۱۳۹۰. پیش بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴، ۹۵۷-۹۴۵.
- ۲- سادات آشفته پ. و مساح بوانی ع. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر اقلیم بر دبی های حداکثر: مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۴، شماره ۵۳، ۳۹-۲۵.
- ۳- سیاری ن.، علیزاده ا.، بنایان اول م.، فریدحسینی ع. و حسامی کرمانی م. ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM) در پیش بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود). مجله آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴، ۹۲۵-۹۱۲.
- ۴- کمال ع. و مساح بوانی ع. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. مجله آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۵، ۹۳۱-۹۲۰.
- 5- Andarzian B., Bannayan M., Stedutoc P., Mazraeha H., Baratid M.E., Baratie M.A., and Rahnamaa A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Water Management*, 100: 1- 8.
- 6- Bannayan M., Kazuhiko K., Han-Yong K., Liefferingd M., Okadae M. and Miura Sh. 2005. Modeling the interactive effects of atmospheric CO₂ and N on rice growth and yield. *Journal of Field Crops Research* 93: 237-251.
- 7- Ekstrom M., Fowler H.J., Kilsby G.G., and Jones P.D. 2003. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. *Journal of Hydrology* 31: 234-251.
- 8- Feng J. and Fu C. 2012. A multi-ensemble of regional climate simulation from RMIP for Asia. Report of key laboratory of regional climate-environment for east Asia, START regional center for temperature east Asia, IAP, CAS: 1-38.
- 9- Fowler H.J. and Ekstrom M. 2009. Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes. *International Journal of Climatology*, 29: 385-416.
- 10- Hay L., Wilby R.L. and Leavesley G.H. 2000. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *Journal of Water Research*, 362: 387-397.
- 11- Hewitson B.C. and Crane R.G. 1996. Climate downscaling: Techniques and application. *Climate Research*, 7: 85-95.
- 12- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2010. Meeting Report IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections, National Center for Atmospheric Research, Boulder Colorado, USA. 115 p.
- 13- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 14- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Impact, adaptation and vulnerability of climate change. Contribution of working group II to the Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 15- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. The Science of Climate Change. Contribution of working group I to the second assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 16- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. Impacts, adaptations and mitigation of Climate Change. Contribution of working group II to the second assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 17- 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 Resource Planning and Management*, 125(4): 194-204.
- 18- Mitchell T.D. 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.
- 19- Semenov M. and Pierre Stratonovitch P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.
- 20- Steele-Dunne S., Lynch P., McGrath R., Semmler T., Wang S.H., Hanafin J. and Nolan P. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*, 356: 28-45.

- 21- 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 Resource Research 42: 1-10.
- 22- www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dd-gcm (visited 17 April 2012).

Verification of Temperature and Precipitation Simulated Data by Individual and Ensemble Performance of Five AOGCM Models for North East of Iran

B. Ashraf^{1*} - A. Alizadeh² - M. Mousavi Baygi³ - M. Bannayan Awal⁴

Received:27-01-2013

Accepted:23-06-2013

Abstract

Since climatic models are the basic tools to study climate change and because of the multiplicity of these models, selecting the most appropriate model for the studying location is very considerable. In this research the temperature and precipitation simulated data by BCM2, CGCM3, CNRMCM3, MRICGCM2.3 and MIROC3 models are downscaled with proportional method according A1B, A2 and B1 emission scenarios for Torbat-heydariye, Sabzevar and Mashhad initially. Then using coefficient of determination (R^2), index of agreement (D) and mean-square deviations (MSD), models were verified individually and as ensemble performance. The results showed that, based on individual performance and three emission scenarios, MRICGCM2.3 model in Torbat-heydariye and Mashhad and MIROC3.2 model in Sabzevar had the best performance in simulation of temperature and MIROC3.2, MRICGCM2.3 and CNRMCM3 models have provided the most accurate predictions for precipitation in Torbat-heydariye, Sabzevar and Mashhad respectively. Also simulated temperature by all models in Torbat-heydariye and Sabzevar base on B1 scenario and, in Mashhad based on A2 scenario had the lowest uncertainty. The most accuracy in modeling of precipitation was resulted based on A2 scenario in Torbat-heydariye and, B1 scenario in Sabzevar and Mashhad. Investigation of calculated statistics driven from ensemble performance of 5 selected models caused notable reduction of simulation error and thus increase the accuracy of predictions based on all emission scenarios generally. In this case, the best fitting of simulated and observed temperature data were achieved based on B1 scenario in Torbat-heydariye and Sabzevar and, A2 scenario in Mashhad. And the best fitting simulated and observed precipitation data were obtained based on A2 scenario in Torbat-heydariye and, B1 scenario in Sabzevar and Mashhad. According to the results of this research, before any climate change research it is necessary to select the optimum GCM model for the studying region to simulate climatic parameters.

Keywords: Ensemble performance, Climate change, Proportional downscaling, Scenario, AOGCM models

1,2,3- PhD Student and Professors of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(*- Corresponding Author Email: Samaneh_ashraf@yahoo.com)

4- Associate Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad