

## بررسی عدم قطعیت گروهی مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک رشت)

پریسا شاهین رخسار<sup>۱</sup>، امین علیزاده<sup>۲\*</sup>، حسین انصاری<sup>۳</sup> و محمد قربانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴

### چکیده

یکی از معتبرترین روش‌ها برای ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو (AOGCM) است ولی این شبیه‌سازی‌ها دارای عدم قطعیت می‌باشند. چشم‌پوشی از عدم قطعیت‌های مرتبط با تغییر اقلیم در تحقیقات، از اعتبار نتایج کاسته و منجر به اعمال نتایج غیرواقعی و غیرکاربردی خواهد شد. در این پژوهش ابتدا داده‌های دما، بارش و تابش شبیه‌سازی شده توسط ۵ مدل HADCM3، NCCCSM، INCM3، GFCM21 و MPEH5 در ایستگاه سینوپتیک رشت بر اساس سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به روش آماری ریزمقیاس شدند. ارزیابی کارایی مدل‌ها به صورت منفرد و گروهی با استفاده از آماره‌های خطا سنجی انجام شد. همچنین عدم قطعیت هر یک از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار به روش وزن دهی بررسی شد. نتایج آزمون آماره‌های محاسبه شده برای هر یک از مدل‌ها به صورت منفرد نشان داد مدل INCM3 در سناریوی A1B برای شبیه‌سازی بارش، مدل NCCCSM در سناریوی A1B برای شبیه‌سازی تابش و GFCM21 تحت سناریوی B1 برای شبیه‌سازی دمای کمینه و مدل HADCM3 در سناریوی A1B برای شبیه‌سازی دمای بیشینه بیشترین کارایی را در شبیه‌سازی داشته‌اند. نتایج اجرای گروهی مدل‌ها نشان داد که در برنامه‌ریزی آبی می‌توان از ترکیب گروهی مدل‌ها با عدم قطعیت کمتر و دقت بیشتری پارامترهای اقلیمی را شبیه‌سازی کرد. به منظور انتخاب سناریوی برتر بر اساس اجرای گروهی مدل‌ها مشاهده شد بیشترین مطابقت داده‌های بارش شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی بر مبنای سناریوی B1، برای داده‌های تابش بر مبنای سناریوی A1B و دمای کمینه و بیشینه بر مبنای سناریوی B1 می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، ریزمقیاس آماری، سناریوهای انتشار، صحت سنجی

### مقدمه

تولید محصولات کشاورزی به شدت به اقلیم وابسته است این بخش بیشترین تأثیر را از فرایند تغییر اقلیم می‌پذیرد و به طوری که در بعضی از مناطق حتی تغییرات کم‌دما و بارش موجب شیوع خشک‌سالی یا بحران آب در فعالیتهای کشاورزی شده است. امروزه استفاده از مدل‌های پیش‌بینی به‌عنوان ابزاری مفید در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در ارتباط با پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده روش‌های مختلفی وجود دارد که از معتبرترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی<sup>۵</sup> (AOGCM) اشاره کرد (Wilby and Harris, 2006). این مدل‌ها توانایی پیش‌بینی و شبیه‌سازی رفتار جو بر مبنای شبکه‌ای سه‌بعدی (سطح افقی کره زمین و ارتفاع عمودی جو) با استفاده از سناریوهای تأیید شده مجمع بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی<sup>۶</sup> را دارند (Lane et al.

افزایش دمای سطح زمین و تغییرات الگوی بارندگی از نظر مقدار و پراکنش زمانی از تبعات منفی پدیده تغییر اقلیم می‌باشد که به‌طور مستقیم بر منابع آب و به تبع بر کشاورزی نیز تأثیر منفی می‌گذارد (IPCC, 2001). امروزه تغییرات اقلیمی و پیامدهای ناشی از آن مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است و از آنجایی که میزان

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و عضو هیات علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۴- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

\* - نویسنده مسئول: (Email: alizadeh@um.ac.ir)

5- Atmospheric Ocean General Circulation Model

6- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

اقليمی استان گیلان توسط کاظمی راد و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد مدل MPEH5 تحت سناریوی A2 از دقت بالاتری برخوردار است. پیرمردیان و همکاران (۱۳۹۱) با اجرای منفرد مدل های مختلف گردش عمومی جو، پیش بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک رشت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم را انجام دادند. برای انتخاب بهترین مدل جهت پیش بینی هر پارامتر از آماره خطا سنجی RMSE استفاده شد. بدین ترتیب برای پارامتر دمای کمینه مدل GIAOM، برای دمای بیشینه مدل FGOALS و GIAOM و برای بارش مدل INCM3 به عنوان بهترین مدل ها و تحت سناریوی A1B انتخاب شدند. بررسی مساح بوانی و همکاران (۱۳۸۹) در برآورد تأثیر تغییر اقلیم در حوضه آبخیز زاینده رود نشان داد استفاده از خروجی یک مدل گردش عمومی جو تحت یک سناریوی انتشار نمی تواند نتایج درستی برای برنامه ریزی های مربوط به کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم داشته باشد. نتایج تکمیلی آنان نشان داد که در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به مدل های گردش عمومی موجب تعیین دقیق تر تغییرات پارامترهای شبیه سازی شده در منطقه مورد مطالعه می شود (کمال و مساح بوانی، ۱۳۹۰). در مطالعات تغییر اقلیم عدم قطعیت های مختلفی بر نتایج نهایی تأثیر می گذارند و با نادیده گرفتن هر یک از آن ها از اعتبار نتایج کاسته می شود (IPCC, 2010). عدم قطعیت در مدل ها در واقع تفاوت بین نتایج مدل و مقادیر اندازه گیری شده یا مشاهده شده است که می تواند ناشی از کمبود اطلاعات و تغییرپذیری مدل و پارامترهای آن باشد. وجود خطا در داده ها نیز موجب عدم قطعیت در مدل ها می شود. از جمله این عدم قطعیت ها می توان به عدم قطعیت مدل های گردش عمومی و سناریوهای پخش گازهای گلخانه ای اشاره کرد (Semenov and Stratonovitch, 2010; Feng and Fu, 2012). برای کاهش عدم قطعیت این مدل ها در مطالعات تغییر اقلیم نباید به یک مدل گردش عمومی جو اکتفا کرد و باید سعی کرد که از نتایج چندین مدل کمک گرفته شود (IPCC, 2010). علاوه بر این، باید در تحقیقات از سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه ای استفاده کرد (New and Hulme, 2000). مطالعات انجام شده در این راستا نیز مؤید کاهش عدم قطعیت های پیش بینی های اقلیمی با اجرای گروهی مدل ها و یا عبارت دیگر استفاده از چندین مدل به جای اجرای منفرد مدل ها می باشد. به عنوان مثال ارزیابی اثرات تغییر اقلیم با اجرای گروهی ۱۵ مدل AOGCM در انگلستان نشان دهنده کاهش معنی دار عدم قطعیت پیش بینی ها در مقایسه با استفاده از یک مدل منفرد بود (Semenov and Stratonovitch, 2010). نتایج پژوهش فنگ و فو (۲۰۱۲) نیز نشان داد با اجرای گروهی ۸ مدل آب و هوا منطقه ای (RCM) کاهش معنی دار خطای آریبی در شبیه سازی به روش وزنی در بارش و دما در

(1999). از ضعف این مدل ها می توان به قدرت کم تفکیک مکانی<sup>۱</sup> آن ها اشاره کرد که برای حل این مشکل خروجی این مدل ها ریزمقیاس می شوند (IPCC, 2007). یکی از روش های مورد استفاده جهت ریزمقیاس نمایی داده های خروجی مدل های اقلیمی، روش ریزمقیاس نمایی آماری<sup>۲</sup> می باشد. از جمله مزیت این روش در مقایسه با روش هایی نظیر ریزمقیاس نمایی تناسی<sup>۳</sup> و دینامیکی<sup>۴</sup> هزینه کمتر و ارزیابی سریع تر عوامل مؤثر بر پارامترهای اقلیمی می باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹ و عزیزاده و همکاران، ۱۳۸۹ و Benestad, 2004). از جمله مدل های مورد استفاده در روش های آماری مدل LARS-WG است. در این مدل داده های بارش روزانه در همراه با استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه اول مورد بررسی و از داده های تحلیل شده به منظور تعیین مشخصات آماری نظیر تعداد روزهای خشک و تر، میانگین و توزیع بارش های روزانه در همراه از سال استفاده می شوند. مدل LARS-WG برای هر یک از متغیرهای دمای حداکثر و حداقل، تابش خورشیدی و ساعات آفتابی توزیع نیمه تجربی جداگانه ای در نظر می گیرد. در مدل فرض بر این است که دما دارای توزیع نرمال بوده و متوسط و انحراف معیار دمای روزانه مطابق با سری فوریه محدود تغییر می کند. برای دماهای حداکثر و حداقل، فرض می شود که خودهمبستگی زمانی در طول سال برای یک ایستگاه معین به صورت ثابت باشد. برای تابش خورشیدی نیز، توزیع های نیمه تجربی با بازه های مساوی مورد استفاده قرار می گیرد (Semenov and Barrow, 2002; Semenov and Brooks, 1999). دقت بالای این مدل در تولید داده های آب و هوایی مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا توسط ویلیامز<sup>۵</sup> (۱۹۹۱) و ۲۰ ایستگاه در انگلیس توسط سمونوف<sup>۶</sup> (۲۰۰۸)، بابائیان و نجفی (۱۳۸۵) و ماوروماتیس و هانسن<sup>۷</sup> (۲۰۰۱) گزارش شده است. نتایج بررسی خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) در خصوص بررسی توانایی مدل LARS-WG را در شبیه سازی دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش بود، اما پارامتر بارش نسبت به سایر پارامترها خطای بیشتری را نشان داد. تاکنون مطالعات زیادی برای ارزیابی کارایی مدل های گردش عمومی صورت گرفته است تا مدل گردش عمومی جو (GCM) بهینه منطقه یا ایستگاه هواشناسی مشخص برای شبیه سازی هر پارامتر اقلیمی انتخاب شود. به عنوان مثال نتایج ارزیابی دو مدل گردش عمومی HADCM3 و MPEH5 تحت دو سناریوی A2 و B1 برای پیش بینی تغییرات

- 1- Resolution
- 2- Statistical Downscaling
- 3- Proportional Downscaling
- 4- Dynamical Downscaling
- 5- Williams, 1991
- 6- Semenov, 2008
- 7- Mavromatis and Hansen, 2001

تجربی صورت می‌گیرد. مدل از سه بخش واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده تشکیل شده است. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی یا تابش خورشیدی دوره پایه برای ایستگاه موردبررسی تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های خطا اقدام به ارزیابی و صحت سنجی داده‌های تولیدشده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) موجود در دوره پایه می‌گردد.

### ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG

در این پژوهش ارزیابی مدل بر اساس مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده و واقعی در دوره پایه با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام گردید. جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل متغیرهای آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطای نسبی ( $nRMSE$ )، ضریب جرم باقی‌مانده‌ها ( $CRM$ ) و ضریب کارایی مدل ( $EF$ ) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد. همچنین برای آزمون معنی‌داری تفاوت میانگین‌های ماهانه شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی از آزمون تی استیودنت استفاده شده است.

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

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (2)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$CRM = \frac{|\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n S_i|}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (4)$$

که در این روابط  $S_i$ : مقادیر شبیه‌سازی مدل،  $O_i$ : مقادیر مشاهده شده،  $n$ : تعداد اندازه‌گیری،  $\bar{O}$  و  $\bar{S}$ : میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است. معادله ۸ نحوه‌ی برآورد شاخص توافق ( $IOA$ )<sup>۵</sup> را نشان می‌دهد. مقادیر نزدیک‌تر به ۱، نشان‌دهنده توافق بیشتر مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشند (Andarzian et al., 2011).

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{P}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (5)$$

که در این روابط،  $P_i$ : مقدار شبیه‌سازی مدل،  $O_i$ : مقدار اندازه‌گیری واقعی،  $n$ : تعداد اندازه‌گیری واقعی،  $\bar{P}$  و  $\bar{O}$ : به ترتیب میانگین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی است.

میانگین مربعات خطا به‌عنوان درصدی از میانگین مشاهدات است

مقایسه با اجرای منفرد هر مدل مشاهده شده است. بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی انگلستان با اجرای گروهی ۱۳ مدل آب‌وهوا منطقه ای (RCM) بر اساس روش وزنی توسط فولر و اکستروم<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) نیز نشان داد که اجرای گروهی مدل‌ها منجر به کاهش قابل توجه خطای مدل‌ها و در نتیجه کاهش عدم قطعیت پیش‌بینی بارش مناطق مورد مطالعه شدند. نتایج اشرف و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان داد که آماره‌های محاسبه‌شده توسط اجرای گروهی ۵ مدل MRICGCM2.3، CNRMCM3، CGCM3، BCM2 و MIROC3.2 نشان‌دهنده کاهش چشمگیر خطای شبیه‌سازی و در نتیجه افزایش دقت پیش‌بینی‌های صورت گرفته بر مبنای هر سه سناریوی انتشار (A2، A1B، B1) بوده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در بسیاری از مطالعات انجام‌شده معمولاً از نتایج ریزمقیاس شده یک یا دو مدل گردش عمومی جو برای پیش‌بینی و بررسی تغییرات اقلیمی آینده استفاده شده است. درحالی که اولاً نتایج هر مدل گردش عمومی جو منحصر به همان ناحیه و منطقه مورد بررسی است و از طرف دیگر امکان دارد یک مدل شبیه‌سازی بارش را با دقت بالاتری شبیه‌سازی کند ولی دما توسط مدل دیگری شبیه‌سازی دقیق‌تری داشته باشد. هدف از پژوهش حاضر کاهش عدم قطعیت‌های موجود برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم منطقه رشت بر اساس اجرای گروهی ۵ مدل AOGCM می‌باشد. در راستای این هدف ۵ مدل AOGCM گردش عمومی جو توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند و سپس کارایی و عدم قطعیت این مدل‌ها در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک رشت ابتدا به‌صورت منفرد و سپس به‌صورت گروهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهر رشت در استان گیلان واقع در شمال ایران بود و از داده‌های ایستگاه سینوپتیک رشت به مشخصات عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه در ارتفاع ۸/۶- سطح آزاد دریا در دوره منتخب پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) استفاده شد.

### مدل ریزمقیاس LARS-WG

در این پژوهش از نسخه LARS-WG5.5 استفاده شده است که شبیه‌سازی تمامی متغیرهای هواشناسی بر مبنای توزیع‌های نیمه

2- Normalized Root Mean Square Error

3- Coefficient of Residual Mass

4- Modeling Efficiency

5- Index of Agreement (IOA)

1- Fowler and Ekstrom, 2009

پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های هواشناسی)، شبیه‌سازی می‌کند. در این پژوهش داده‌های ۵ مدل چرخش عمومی جو NCCCSM، HADCM3، INCM3، GFCM21 و MPEH5 بر اساس سناریوهای انتشار معتبر A2، B1 و A1B انجام شد و استخراج داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش بر اساس موقعیت جغرافیایی ایستگاه رشت به روش ریزمقیاس نمایی آماری انجام گرفت. مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده در این پژوهش را در جداول ۱ و ۲ ملاحظه می‌کنید. دلیل انتخاب ۵ مدل مذکور، وجود هر سه سناریوی انتشار در آن مدل‌ها بود. با توجه به این که هدف از مطالعه حاضر، صحت سنجی مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی و انتخاب مدل بهینه در جهت کاهش هر چه بیشتر عدم قطعیت پیش‌بینی‌های اقلیمی است، هر سه سناریوی مذکور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پس از انتخاب ۵ مدل اقلیمی مذکور و نیز سناریوهای انتشار، استخراج داده‌های بارش و دمای متوسط بر اساس موقعیت جغرافیایی ایستگاه رشت به روش ریزمقیاس نمایی آماری صورت گرفت.

که با nRMSE نشان داده می‌شود. اگر nRMSE کم‌تر از ده درصد باشد، بیان‌کننده‌ی شبیه‌سازی عالی مدل است و چنانچه nRMSE بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، نشان‌دهنده‌ی کارکرد خوب و بین ۲۰ الی ۳۰ درصد نشان‌دهنده‌ی کارکرد متوسط مدل است. nRMSE بیش‌تر از ۳۰ درصد نشان‌دهنده‌ی ضعیف بودن مدل می‌باشد (Bannayan and Hoogenboom, 2009). شاخص CRM نیز هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است. در واقع شاخص CRM بیان‌گر تمایل شبیه‌سازی برای برآورد بیش‌ازحد و یا کم‌تر از حد در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای است. اگر تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده باهم برابر شوند مقدار عددی CRM برابر با صفر خواهد بود (Homaei et al., 2002).

### ریزمقیاس نمایی داده‌ها و انتخاب سناریوهای انتشار

پس از کنترل و تأیید توانایی مدل در شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی در دوره پایه، شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آینده و سناریوهای GCM بر اساس داده‌های مدل‌های اقلیمی صورت می‌پذیرد. در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار متغیرها در دوره پایه و ریزمقیاس آماری داده‌های مدل چرخش عمومی جو،

جدول ۱- مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای تغییر اقلیم موجود برای هر مدل (Semenov and Stratonovitch, 2010)

مرکز تحقیقات	کشور	مدل جهانی آب‌وهوا	نام مخفف مدل	تفکیک جوی (درجه)	سناریوهای مورد تأیید IPCC	مرجع
پژوهشکده ماکس پلانک در هواشناسی <sup>۱</sup>	آلمان	ECHAM5-OM	MPEH5	۱/۹×۱/۹	A1B و A2.B1	Roeckner et al. (1996)
مرکز ملی پژوهش‌های جو <sup>۲</sup>	آمریکا	CCSM3	NCCCSM	۱/۴×۱/۴	A1B و A2.B1	Collins et al. (2004)
مرکز هواشناسی انگلیس <sup>۳</sup>	انگلیس	HadCM3	HadCM3	۲/۵×۳/۷۵	A1B و A2.B1	Gordon et al. (2000), Pope et al (2000)
آزمایشگاه ژئوفیزیک دینامیک سیالات <sup>۴</sup>	آمریکا	GFDL-CM2.1	GFCM21	۲/۰×۲/۵	A1B و A2.B1	GFDL-GAMDT (2004)
Institute for Numerical Mathematics	روسیه	INCM33.0	INCM3	۴/۰×۵/۰	A1B و A2.B1	Galini et al. (2003)

جدول ۲- خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم

سناریوی تغییر اقلیم	مشخصات
A1B	متوسط رشد سریع اقتصادی و جمعیتی در جهان بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی جمعیت
A2	خوش‌بینانه رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر
B1	بدبینانه رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصادی، کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر

- 1- Max Planck Institute for Meteorology
- 2- National Centre for Atmospheric Research
- 3- UK Meteorological Office
- 4- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

2003). به‌طور کلی این منابع شامل عدم قطعیت مدل‌های GCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، روش‌های کوچک‌مقیاس کردن و عدم قطعیت‌های مربوط به سناریوهای مختلف انتشار می‌باشند (آشفته، ۱۳۸۹). در این پژوهش جهت بررسی عدم قطعیت ناشی از به‌کارگیری مدل‌ها-سناریوهای مختلف از روش وزن دهی استفاده شده است. بر طبق آن، مدل‌های منتخب بر اساس میزان انحراف پارامتر هواشناسی شبیه‌سازی شده، در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی این دوره، طبق رابطه ۱۲ وزن دهی می‌شوند (Wilby and Harris, 2006 و Hashemi-Ana et al., 2015).

$$W_i = \frac{\left(\frac{1}{\Delta Fi}\right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\Delta Fi}\right)^2} \quad (10)$$

در این رابطه  $W_i$  وزن هر مدل در ماه موردنظر،  $\Delta Fi$ : انحراف میانگین بلندمدت پارامتر شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌ها در دوره پایه از میانگین داده‌های واقعی یا مشاهده شده و  $n$  تعداد مدل‌ها می‌باشد. بدین ترتیب در این پژوهش ابتدا وزن مربوط به توانایی عملکرد هر یک از مدل-سناریوها در شبیه‌سازی پارامتر دمای مشاهداتی با استفاده از رابطه فوق محاسبه گردید.

همچنین در ادامه پژوهش با توجه به دامنه عدم قطعیت مربوط به خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس محلی، برای دریافت دیدی جامع نسبت به تغییرات دما در دهه‌های آینده، سناریوی ترکیبی<sup>۵</sup> با لحاظ نمودن وزن هر مدل-سناریو در پیش‌بینی‌ها ایجاد گردید. اجرای گروهی چندین مدل از جمله روش‌های کاهش عدم قطعیت‌های پیش‌بینی است که به روش‌های مختلف از جمله روش وزنی قابل محاسبه است (۸ و ۹). بر اساس این روش، ابتدا وزن محاسبه شده مدل‌ها ( $W_i$ ) طبق رابطه ۱۰ در مقادیر میانگین آن‌ها در ماه موردنظر ( $M_i$ ) ضرب شده و سپس مقادیر حاصل، مطابق رابطه ۱۱ باهم جمع می‌شوند.

$$E = \sum_{i=1}^n W_i M_i \quad (11)$$

پس از انجام این محاسبات برای داده‌های شبیه‌سازی 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

### ارزیابی صحت مدل LARS- WG

به‌منظور تأیید صحت مدل، مقادیر دیده‌بانی و مدل شده برای پارامترهای بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه در ایستگاه سینوپتیک رشت برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ مقایسه شدند. ارزیابی مدل بر اساس مقایسه داده‌های آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل با

### صحت سنجی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد مدل‌های گردش عمومی جو

پس از اجرای مدل LARS-WG برای هر ۵ مدل گردش عمومی تحت سناریوهای تعریف شده، ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده هر مدل بر اساس روابط ۱ تا ۵ انجام شد. علاوه بر محاسبه آماره‌های مذکور، جهت بررسی میزان خطای مدل از شاخص خطا سنجی میانگین مربعات انحرافات ( $MSD$ ) استفاده شد. این شاخص نشان‌دهنده انحراف کلی پیش‌بینی از مشاهدات می‌باشد. بر اساس رابطه ۸ این شاخص حاصل جمع سه شاخص اریبی مربع<sup>۲</sup> ( $SB$ )، انحراف معیار مربعات اختلاف<sup>۳</sup> ( $SDSD$ )، عدم همبستگی داده‌ها<sup>۴</sup> ( $LCS$ ) می‌باشد. در بین اجزای میانگین مربعات خطا، اریبی مربع، نماینده مقدار بایاس مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده و شاخص انحراف معیار مربعات اختلاف، نماینده تفاوت در پراکنش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده و عدم همبستگی داده‌ها، معرف الگوی زمانی نوسانات مشاهدات و پیش‌بینی‌ها می‌باشند (Bannayan et al., 2005).

$$MSD = SB + SDSD + LCS \quad (6)$$

$$SB = (\bar{S} - \bar{O})^2 \quad (7)$$

$$SDSD = (SD_s - SD_o)^2 \quad (8)$$

$$LCS = 2SD_s SD_o (1 - r) \quad (9)$$

که در این روابط همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد؛  $S_i$ :  $i$  امین مقادیر شبیه‌سازی مدل،  $O_i$ :  $i$  امین مقادیر مشاهده شده،  $n$ : تعداد اندازه‌گیری،  $\hat{O}$  و  $\hat{S}$ : میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است.  $SDS$  و  $SDO$  انحراف معیار داده‌های ضریب همبستگی  $r$  و  $O_i$  و  $S_i$  می‌باشند.

### بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار

در مطالعات تغییر اقلیم برحسب پیش‌بینی‌ها و نتایج مختلف مدل‌ها-سناریوها لازم است ابتدا عدم قطعیت در مراحل ارزیابی تغییر اقلیم در نظر گرفته شده تا نتایج قابل اطمینان‌تری حاصل شود. در ارزیابی تغییر اقلیم نیز منابع متعددی از عدم قطعیت‌ها وجود دارد که در دو گروه اصلی جای می‌گیرند نخستین مورد به ساختار دینامیکی مدل اقلیمی جهانی و فرآیند گسسته سازی عددی آن‌ها مرتبط است که سهم این نوع عدم قطعیت به دلیل افزایش کیفیت و دقت مدل‌ها به تدریج کاهش می‌یابد. دومین موضوع در عدم قطعیت مربوط به میزان خروجی و انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Covey et al.,

1- Mean Squared Deviations

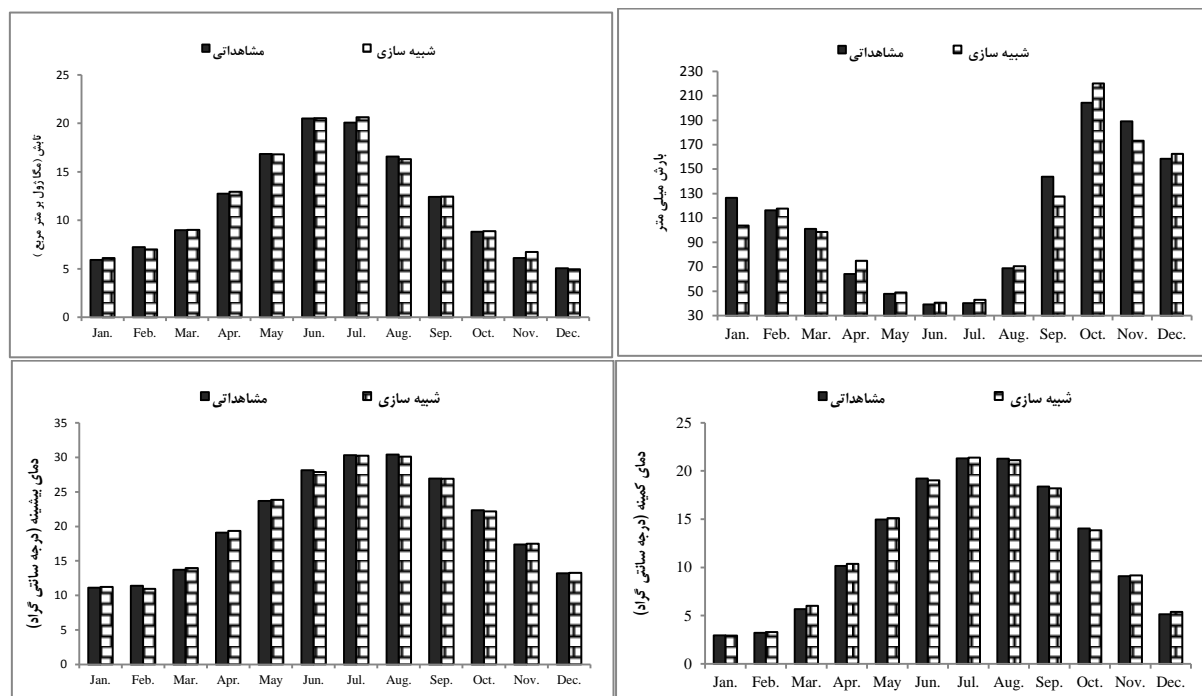
2- Squared Bias

3- Squared Difference between Standard Deviation

4- Lack Of Correlation

شده و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود ندارد و میانگین پارامترهای اقلیمی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی شبیه به هم بوده و همبستگی بالایی بین آن‌ها وجود دارد (شکل ۱).

استفاده از آماره‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام گردید. تحلیل نتایج به دست آمده از آزمون آماری تی استیودنت نشان داد که در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی داری بین داده‌های دیده‌بانی



شکل ۱- میانگین پارامترهای اقلیمی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی

مشاهده شده در دوره پایه است. با وجودی که مدل داده‌های بارش را با دقت کمتری در مقایسه با داده‌های کمینه و بیشینه و تابش تولید کرد ولی در محدوده‌ی قابل قبول آماری قرار داشت؛ بنابراین توانایی مدل LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم ایستگاه مورد مطالعه مورد تأیید قرار گرفت.

آماره‌های واسنجی محاسبه شده جهت ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) در جدول ۳ نشان داده شده است. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) در همه پارامترهای اقلیمی از میزان قابل توجهی برخوردار است. همچنین مقادیر شاخص‌های خطا سنجی پایین بوده که نشان دهنده‌ی انطباق قابل قبول مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر

جدول ۳- مقادیر آماره‌های واسنجی جهت ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)

EF	CRM	NRMSE	IOA	$R^2$	آماره‌های خطا سنجی پارامتر اقلیمی
۰/۹۶۰۳	۰/۰۱۵۰	۱۰/۱۴۲۲	۰/۹۸۹۸	۰/۹۶۱۲	بارش
۰/۹۹۷۱	-۰/۰۰۸۳	۲/۴۳۱۸	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۷۵	تابش
۰/۹۹۹۳	-۰/۰۰۲۶	۱/۴۸۶۵	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۵	دمای کمینه
۰/۹۹۹۱	۰/۰۰۲۴	۱/۰۴۰۱	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۲	دمای بیشینه

را داشته باشد، به عنوان مدل مورد تأیید انتخاب می‌شود. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در سناریوی A1B هر ۵ مدل دارای ضریب تعیین و شاخص توافق و کارایی بالایی بودند ولی مدل INCM3 با کمترین اربیی مربع (SB) و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) خوب به عنوان مدل مطلوب ارزیابی شد. گرچه سایر

#### انتخاب مدل مناسب گردش عمومی جو

در جدول ۴ صحت سنجی داده‌های بارش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد ۵ مدل منتخب ایستگاه مورد مطالعه نشان داده است. به منظور انتخاب مدل مناسب، با مقایسه ضریب تعیین ( $R^2$ ) و شاخص توافق و سایر شاخص‌های خطا سنجی، مدلی که کمترین مقدار خطا

به‌عنوان مدل مناسب این سناریو ارزیابی شد. در سناریوی B1 مدل NCCCSM با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۷/۹۰ و مقادیر خوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۱۶/۱۵ به‌عنوان مدل مناسب این سناریو ارزیابی شد.

مدل‌ها دارای مقادیر قابل قبول و مناسب ضرایب و شاخص‌های خطا سنجی بودند ولی مدل INCM3 در سناریوی A1B بیشترین کارایی را در شبیه‌سازی داده‌های بارش داشته است. در سناریوی A2 مدل HADCM3 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۰/۶۱۹ و مقدار مناسب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۱۴/۷۸

جدول ۴- صحت سنجی بارش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد مدل‌های منتخب

سناریو	مدل	R2	IOA	SB	SDSD	LCS	MSD	nRMSE	CRM	EF
A1B	HADCM3	۰/۹۶	۰/۹۸	۷۲/۰۷	۱۵۵/۸۴	۱۴۶/۰۹	۳۷۳/۹۹	۱۷/۲۴	-۰/۰۸	۰/۸۹
	NCCCSM	۰/۹۶	۰/۹۸	۲۲/۷۱	۶۴/۵۵	۱۵۳/۶۳	۲۴۰/۸۹	۱۳/۷۸	-۰/۰۴	۰/۹۳
	INCM3	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۴۴	۴۳/۶۳	۹۲/۰۷	۱۳۶/۱۴	۱۰/۳۲	+۰/۰۱	۰/۹۶
	GFCM21	۰/۹۶	۰/۹۹	۵/۱۸	۴/۳۴	۱۲۴/۹۷	۱۳۴/۴۹	۱۰/۲۷	+۰/۰۲	۰/۹۶
	MPEH5	۰/۹۲	۰/۹۷	۶۲/۳۷	۶۱/۶۲	۳۱۶/۲۱	۴۴۰/۲۰	۱۸/۶۶	+۰/۰۷	۰/۸۷
A2	HADCM3	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۶۱۹	۴۷/۰۲	۲۳۱/۹۹	۲۷۹/۶۳	۱۴/۷۸	-۰/۰۱	۰/۹۱
	NCCCSM	۰/۹۸	۰/۹۹	۳۹/۶۴۸	۹۵/۲۷	۸۸/۴۰	۲۲۳/۳۱	۱۳/۳۲	-۰/۰۶	۰/۹۳
	INCM3	۰/۹۶	۰/۹۴	۳۱۵/۹۹۵	۵۷۲/۳۴	۱۹۸/۴۹	۱۰۸۶/۸۲	۲۹/۵۲	-۰/۱۶	۰/۶۶
	GFCM21	۰/۹۶	۰/۹۹	۷/۳۵۵	۳۷/۶۰	۱۳۷/۵۵	۱۸۲/۵۰	۱۱/۹۶	-۰/۰۳	۰/۹۵
	MPEH5	۰/۹۵	۰/۹۹	۱۳/۲۸۰	۳/۱۷	۱۹۱/۴۵	۲۰۷/۹۰	۱۲/۷۸	+۰/۰۳	۰/۹۴
B1	HADCM3	۰/۸۸	۰/۹۵	۱۹/۵۱	۳۷۱/۸۸	۵۱۵/۱۳	۸۰۶/۵۳	۲۵/۱۳	-۰/۰۴	۰/۷۶
	NCCCSM	۰/۹۴	۰/۹۸	۷/۹۰	۹۵/۶۷	۲۲۹/۴۲	۳۳۲/۹۹	۱۶/۱۵	-۰/۰۳	۰/۹۰
	INCM3	۰/۹۷	۰/۹۹	۱۰/۵۸	۵۳/۱۴	۱۱۶/۹۰	۱۸۰/۶۳	۱۱/۹۱	-۰/۰۳	۰/۹۵
	GFCM21	۰/۸۰	۰/۹۳	۷۰/۱۳	۲۴۷/۵۸	۹۰۲/۸۵	۱۲۲۰/۵۶	۳۰/۹۶	-۰/۰۸	۰/۶۳
	MPEH5	۰/۹۸	۰/۹۹	۷۸/۲۹	۱۵/۶۸	۶۳/۳۱	۱۵۷/۲۸	۱۱/۳۳	+۰/۰۸	۰/۹۵

جدول ۵- صحت سنجی تابش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد مدل‌های منتخب

سناریو	مدل	R2	IOA	SB	SDSD	LCS	MSD	NRMSE	CRM	EF
A1B	HADCM3	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۵۴	۰/۰۷۰	۲/۱۵۷	+۰/۰۰۸	۰/۹۹۸
	NCCCSM	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۶۷	۰/۰۹۸	۲/۵۵۱	-۰/۰۰۱	۰/۹۹۷
	INCM3	۰/۹۹۵	۰/۹۹۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۸	۳/۵۰۳	-۰/۰۱۲	۰/۹۹۴
	GFCM21	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۵۴	۰/۰۵۷	۱/۹۴۱	+۰/۰۰۳	۰/۹۹۸
	MPEH5	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۴	۰/۰۷۶	۰/۰۳۰	۰/۱۱۱	۲/۷۱۰	-۰/۰۰۶	۰/۹۹۶
A2	HADCM3	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۰۹	۰/۰۷۱	۰/۰۷۸	۰/۱۵۹	۳/۲۵۱	-۰/۰۰۸	۰/۹۹۵
	NCCCSM	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۰۷۶	۰/۰۲۹	۰/۱۰۵	۲/۶۳۶	۰/۰۰۰	۰/۹۹۷
	INCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۲۷	۰/۰۹۸	۰/۰۳۷	۰/۱۶۲	۳/۲۹۷	-۰/۰۱۴	۰/۹۹۵
	GFCM21	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰	۰/۰۷۲	۲/۱۸۱	-۰/۰۰۳	۰/۹۹۸
	MPEH5	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۱۲	۰/۰۵۷	۰/۰۶۲	۰/۱۳۱	۲/۹۵۳	-۰/۰۰۹	۰/۹۹۶
B1	HADCM3	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۵۷	۰/۰۷۰	۰/۱۲۸	۲/۹۱۴	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۶
	NCCCSM	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۰۰۴	۰/۰۲۹	۰/۰۸۱	۰/۱۱۴	۲/۷۵۰	-۰/۰۰۵	۰/۹۹۶
	INCM3	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۱۱۰	۰/۰۶۷	۰/۰۶۲	۰/۲۳۹	۴/۰۶۰	-۰/۰۲۸	۰/۹۹۲
	GFCM21	۰/۹۹۴	۰/۹۸۵	۰/۵۷۶	۱/۳۷۱	۰/۲۴۱	۲/۱۸۸	۱۲/۱۷۹	-۰/۰۶۵	۰/۹۲۸
	MPEH5	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۵۷	۰/۰۷۱	۲/۱۷۷	-۰/۰۰۸	۰/۹۹۸

مربع (SB) نزدیک به صفر و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) بسیار عالی (۲/۵۵) به‌عنوان مدل مطلوب ارزیابی شد. در سناریوی A2 مدل NCCCSM با کمترین (در حدود صفر) خطای

بررسی داده‌های تابش شبیه‌سازی شده در جدول ۵ نشان داد که در سناریوی A1B هر ۵ مدل دارای ضریب تعیین و شاخص توافق و کارایی بسیار بالایی بودند ولی مدل NCCCSM با خطای اریبی

نسبی (nRMSE) بسیار عالی (به ترتیب ۰/۵۴۷ و ۴/۵۱۲) به عنوان مدل مطلوب ارزیابی شد. در سناریوی A2 مدل GFCM21 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۰/۵۰۵ و مقادیر خوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) به ترتیب ۴/۵۹۹ به عنوان مدل مناسب این سناریو انتخاب شد (جدول ۶). در سناریوی B1 مدل GFCM21 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۰/۰۲۳ و مقادیر خوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۳/۳۵۹ به عنوان مدل مناسب این سناریو ارزیابی شد. همان گونه که ملاحظه می شود مدل GFCM21 در دو سناریوی انتشار A2 و B1 و مدل HADCM3 در سناریوی A1B عملکرد مطلوبی در شبیه سازی داده های دمای کمینه در منطقه رشت داشتند (جدول ۶). گرچه سایر مدل ها نیز از نظر شاخص های خطا سنجی آماری در محدوده مطلوب و قابل قبول ارزیابی شدند.

اریبی مربع (SB) و مقادیر خوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۲/۶۳۶ به عنوان مدل مناسب این سناریو انتخاب شد. در سناریوی B1 مدل NCCCSM با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۰/۰۰۴ و مقادیر خوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۲/۷۵۰ به عنوان مدل مناسب این سناریو ارزیابی شد (جدول ۵). همان گونه که ملاحظه می شود مدل NCCCSM در هر سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 عملکرد مطلوبی در شبیه سازی داده های تابش در منطقه رشت داشت.

در جدول ۶ نتایج صحت سنجی شبیه سازی دمای کمینه توسط اجرای منفرد مدل های منتخب ۵ مدل منتخب مشاهده می شود نتایج نشان داد در سناریوی A1B هر ۵ مدل دارای ضریب تعیین و شاخص توافق و کارایی بسیار بالایی بودند ولی مدل HADCM3 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) به میزان ۰/۲۵۸ و ریشه میانگین مربعات خطای

جدول ۶- صحت سنجی دمای کمینه شبیه سازی شده توسط اجرای منفرد مدل های منتخب

سناریو	مدل	R2	IOA	SB	SDSD	LCS	MSD	nRMSE	CRM	EF
A1B	HADCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۲۵۸	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴	۰/۳۰۳	۴/۵۱۲	۰/۰۴۲	۰/۹۹۳
	NCCCSM	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۶۴۵	۰/۰۱۳	۰/۰۳۱	۰/۶۹۰	۶/۸۳۶	۰/۰۶۶	۰/۹۸۵
	INCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۲۵۴	۰/۰۰۸	۰/۰۴۹	۰/۳۱۱	۴/۵۶۷	۰/۰۴۲	۰/۹۹۳
	GFCM21	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۳۸۶	۰/۰۱۳	۰/۰۴۹	۰/۴۴۹	۵/۴۹۷	۰/۰۵۱	۰/۹۹۰
	MPEH5	۰/۹۹۹	۰/۹۷۵	۴/۳۷۹	۰/۰۰۶	۰/۰۵۰	۴/۴۳۵	۱۷/۳۷۴	۰/۱۷۳	۰/۹۰۱
A2	HADCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۴۷۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۰	۰/۵۰۹	۵/۸۷۷	۰/۰۵۷	۰/۹۸۹
	NCCCSM	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۷۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۷۶۵	۷/۲۰۴	۰/۰۷۱	۰/۹۸۳
	INCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۳۷۱	۰/۰۱۱	۰/۰۷۲	۰/۴۵۴	۵/۵۱۷	۰/۰۵۰	۰/۹۹۰
	GFCM21	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۲۵۵	۰/۰۳۳	۰/۰۲۷	۰/۳۱۵	۴/۵۹۹	۰/۰۴۲	۰/۹۹۳
	MPEH5	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۳۷۷	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۴۰۹	۵/۲۵۹	۰/۰۵۱	۰/۹۹۱
B1	HADCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۳۸۶	۰/۰۱۳	۰/۰۴۹	۰/۴۴۹	۵/۴۹۷	۰/۰۵۱	۰/۹۹۰
	NCCCSM	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۵۸۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۱	۰/۶۳۱	۶/۵۳۷	۰/۰۶۳	۰/۹۸۶
	INCM3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۲۳۲	۰/۰۱۹	۰/۰۴۵	۰/۲۹۶	۴/۴۵۰	۰/۰۴۰	۰/۹۹۳
	GFCM21	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۹۳	۰/۰۲۳	۰/۰۵۶	۰/۱۷۲	۳/۳۵۹	۰/۰۲۵	۰/۹۹۶
	MPEH5	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۵۵۷	۰/۰۰۲	۰/۰۳۲	۰/۵۹۱	۶/۳۳۱	۰/۰۶۲	۰/۹۸۷

HADCM3 در دو سناریوی انتشار A1B و B1 و مدل GFCM21 در سناریوی انتشار A2 عملکرد مطلوبی در شبیه سازی داده های دمای کمینه در منطقه رشت داشتند. گرچه سایر مدل های نیز از نظر شاخص های خطا سنجی آماری در محدوده مطلوب و قابل قبول ارزیابی شدند.

همان طور که در جدول ۸ مشاهده می شود مقایسه آماره های محاسبه شده جهت صحت سنجی پارامترهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط اجرای گروهی مدل های مورد بررسی نشان داد که مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) و شاخص توافق (D) در تمامی پارامترهای اقلیمی و سناریوهای انتشار مورد بررسی افزایش و سایر مقادیر آماره های خطا سنجی نظیر خطای اریبی مربع (SB) و ریشه میانگین مربعات خطای

در جدول ۷ نتایج صحت سنجی داده های دمای بیشینه شبیه سازی شده مشاهده می شود. نتایج نشان داد که در سناریوی A1B مدل HADCM3 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) به میزان ۰/۲۴۲ و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) بسیار عالی (۳/۱۲۴) به عنوان مدل مطلوب ارزیابی شد. در سناریوی A2 مدل GFCM21 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۰/۲۱۹ و مقادیر خوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۴/۵۹۹ به عنوان مدل مناسب این سناریو انتخاب شد. در سناریوی B1 مدل HADCM3 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) ۰/۳۳۹ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) ۳/۱۹۸ به عنوان مدل مناسب این سناریو ارزیابی شد. همان گونه که ملاحظه می شود مدل



باشد نشان‌دهنده عملکرد عالی مدل می‌باشد؛ و همان‌گونه که در جدول ۹ ملاحظه می‌شود این شاخص در تمام پارامترها و سه سناریوی انتشار (A1B، A2 و B1) کمتر از ۱۰ درصد حاصل شد. با توجه به اینکه اغلب مدل‌های اقلیمی به‌صورت منفرد قابلیت شبیه‌سازی با دقت بالای بارش را ندارند. این میزان کاهش خطا مخصوصاً در مورد این پارامتر بسیار قابل توجه و مقبول است. به‌منظور انتخاب سناریوی برتر بر اساس مقایسه آماره‌های محاسبه‌شده صحت سنجی مشاهده شد بیشترین مطابقت داده‌های بارش شبیه‌سازی‌شده با داده‌های واقعی بر مبنای سناریوی B1، برای داده‌های تابش بر مبنای سناریوی A1B و دمای کمینه و بیشینه بر مبنای سناریوی B1 می‌باشد.

نسبی (nRMSE) به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که با نتایج اشرف و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. نتایج پژوهش‌های سایر محققان نظیر فنگ و فو (۲۰۱۲)، فولر و اکستروم (۲۰۰۹) و سمنوف و استراتونویچ (۲۰۱۰) نیز مؤید این مسئله است که اجرای گروهی مدل‌ها در مقایسه با اجرای انفرادی آن‌ها می‌تواند باعث افزایش قابل توجه دقت پیش‌بینی‌های پارامترهای اقلیمی شود؛ که در این پژوهش نیز مشاهده می‌شود این دقت در شبیه‌سازی بخصوص در مورد پارامتر بارش بیشتر مشهود است. همان‌گونه که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود شاخص‌های خطا سنجی نظیر ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) به عنوان درصدی از میانگین مشاهدات است و در صورتی که این شاخص کمتر از ۱۰ درصد

جدول ۷- صحت سنجی دمای بیشینه شبیه‌سازی‌شده توسط اجرای منفرد مدل‌های منتخب

EF	CRM	nRMSE	MSD	LCS	SDSD	SB	IOA	R <sup>2</sup>	مدل	سناریو
۰/۹۹۱	-۰/۰۲۴	۳/۱۲۴	۰/۴۳۰	۰/۱۲۳	-۰/۰۶۵	۰/۲۴۲	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	HADCM3	A1B
۰/۹۸۲	-۰/۰۳۹	۴/۵۰۰	۰/۸۸۰	۰/۱۴۲	-۰/۰۹۷	۰/۶۴۰	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	NCCCSM	
۰/۹۸۵	-۰/۰۳۴	۴/۲۰۲	۰/۷۷۴	۰/۱۶۰	-۰/۱۲۷	۰/۴۸۶	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	INCM3	
۰/۹۹۱	-۰/۰۲۶	۳/۲۳۳	۰/۴۵۸	۰/۱۴۷	-۰/۰۲۶	۰/۲۸۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	GFCM21	
۰/۹۱۶	-۰/۰۹۷	۹/۷۶۶	۴/۰۵۶	۰/۰۸۵	-۰/۰۰۸	۳/۹۶۲	۰/۹۷۹	۰/۹۹۸	MPEH5	
۰/۹۹۰	-۰/۰۳۲	۳/۳۴۶	۰/۴۸۰	۰/۰۴۱	-۰/۰۱۴	۰/۴۲۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	HADCM3	A2
۰/۹۸۵	-۰/۰۳۷	۴/۰۸۹	۰/۷۲۱	۰/۰۷۸	-۰/۰۶۱	۰/۵۸۳	۰/۹۹۶	۰/۹۹۹	NCCCSM	
۰/۹۹۰	-۰/۰۲۷	۳/۳۰۸	۰/۴۷۷	۰/۱۱۳	-۰/۰۴۴	۰/۳۲۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	INCM3	
۰/۹۹۱	۰/۰۲۳	۳/۲۴۸	۰/۴۶۸	۰/۰۹۰	-۰/۱۵۹	۰/۲۱۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	GFCM21	
۰/۹۹۲	-۰/۰۲۸	۳/۰۳۸	۰/۳۹۷	۰/۰۵۵	-۰/۰۱۳	۰/۳۳۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	MPEH5	
۰/۹۹۱	-۰/۰۲۸	۳/۱۹۸	۰/۴۴۳	۰/۰۵۳	-۰/۰۵۱	۰/۳۳۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	HADCM3	B1
۰/۹۸۸	-۰/۰۳۵	۳/۷۵۲	۰/۶۰۴	۰/۰۶۸	-۰/۰۱۲	۰/۵۲۴	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	NCCCSM	
۰/۹۹۰	-۰/۰۲۶	۳/۴۵۳	۰/۵۲۵	۰/۱۲۳	-۰/۰۰۹	۰/۲۹۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	INCM3	
۰/۹۵۲	+۰/۰۶۱	۷/۳۷۸	۲/۳۷۷	۰/۲۱۰	-۰/۵۹۲	۱/۵۷۶	۰/۹۹۶	۰/۹۸۹	GFCM21	
۰/۹۸۵	-۰/۰۳۶	۴/۰۹۴	۰/۷۳۷	۰/۱۵۱	-۰/۰۴۰	۰/۵۳۶	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	MPEH5	

جدول ۸- صحت سنجی پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده توسط اجرای گروهی مدل‌های منتخب

EF	CRM	nRMSE	MSD	LCS	SDSD	SB	IOA	R <sup>2</sup>	سناریو	
۰/۹۸۵	+۰/۰۱۴	۶/۱۸۲	۴۸/۷۰۸	۳۸/۳۹۲	۷/۹۷۷	۲/۳۴۰	۰/۹۹۷	۰/۹۸۹	A1B	بارش
۰/۹۵۹	-۰/۰۳۴	۱۰/۲۹۴	۱۳۴/۳۷۸	۷۷/۹۱۳	۴۲/۶۳۶	۱۳/۸۲۹	۰/۹۹۱	۰/۹۷۹	A2	
۰/۹۹۲	+۰/۰۰۷	۴/۵۴۷	۲۶/۴۱۰	۲۴/۵۸۶	۱/۲۵۱	۰/۵۷۲	۰/۹۹۸	۰/۹۹۳	B1	
۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۱/۴۱۸	۰/۰۳۰	۰/۰۲۳	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	A1B	تابش
۰/۹۹۹	-۰/۰۰۴	۱/۶۳۶	۰/۰۴۰	۰/۰۱۳	-۰/۰۲۵۰	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	A2	
۰/۹۹۷	-۰/۰۱۱	۲/۴۱۲	۰/۰۸۶	۰/۰۴۲	-۰/۰۲۸	-۰/۰۱۷	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	B1	
۰/۹۸۱	-۰/۰۷۶	۷/۷۱۱	۰/۸۷۶	۰/۰۳۶	-۰/۰۰۲	۰/۸۳۸	۰/۹۹۵	۰/۹۹۹	A1B	دمای کمینه
۰/۹۹۱	-۰/۰۴۸	۵/۱۱۵	۰/۳۸۸	۰/۰۳۱	-۰/۰۱۷	۰/۳۴۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	A2	
۰/۹۹۴	-۰/۰۴۲	۴/۳۵۵	۰/۲۸۱	۰/۰۱۹	-۰/۰۰۹	۰/۲۵۳	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	B1	
۰/۹۸۲	-۰/۰۴۱	۴/۵۱۸	۰/۸۸۰	۰/۱۲۲	-۰/۰۴۲	۰/۷۱۶	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	A1B	دمای بیشینه
۰/۹۹۲	-۰/۰۲۷	۳/۰۴۶	۰/۴۰۲	۰/۰۴۶	-۰/۰۵۰	۰/۳۰۶	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	A2	
۰/۹۹۵	-۰/۰۲۱	۲/۳۳۸	۰/۲۳۶	۰/۰۳۸	-۰/۰۱۴	۰/۱۸۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	B1	

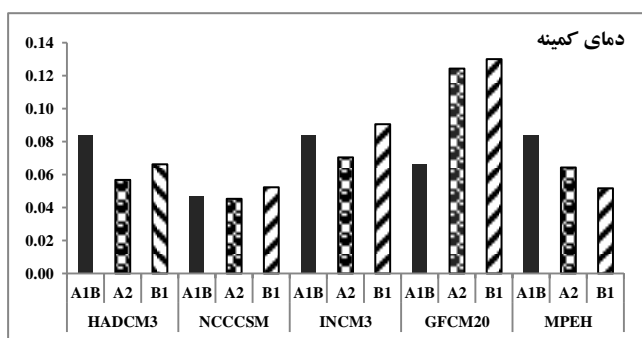
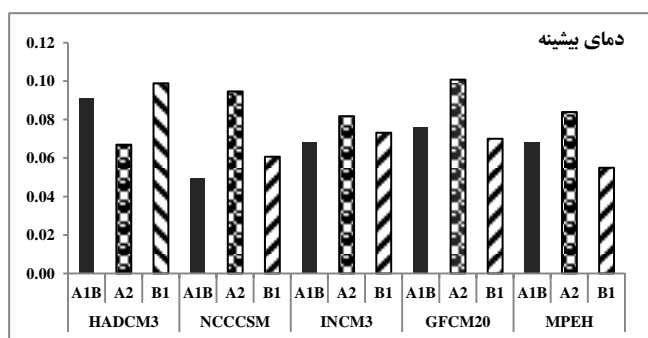
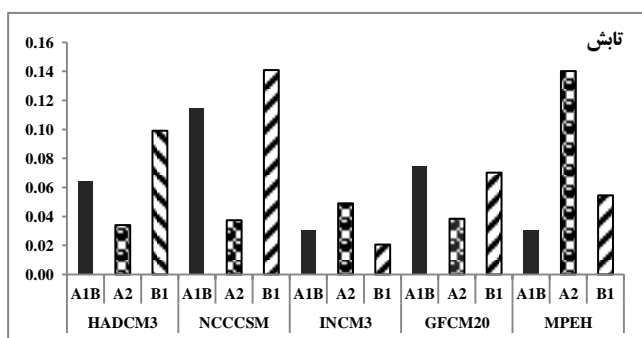
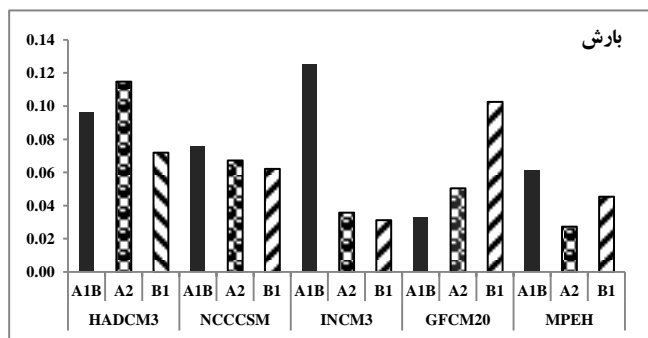
همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود بیشترین وزن مدل - سناریوها برای پارامتر دمای بیشینه در سناریوی A1B به ترتیب مربوط به مدل های HADCM3 و GFCM21 و INCM3 و در سناریوی A2 به ترتیب مربوط به GFCM21 و NCCCSM و MPEH5 و در سناریوی B1 به ترتیب مربوط به مدل های HADCM3، INCM3 و GFCM21 بود. به طور کلی بیشترین وزن مدل - سناریو دمای بیشینه برای منطقه رشت به طور مشترک مربوط به سناریوی B1 در مدل HADCM3 و سناریوی A2 در مدل GFCM21 و کمترین آن مربوط به مدل NCCCSM و سناریوی A1B می باشد.

مقایسه وزن - مدل سناریو دمای کمینه نشان داد بیشترین وزن در سناریوی A1B به ترتیب مربوط به مدل های HADCM3، MPEH5 و INCM3 و در سناریوی A2 به ترتیب مربوط به GFCM21، INCM3 و HADCM3 و در سناریوی B1 به ترتیب مربوط به مدل های GFCM21، INCM3 و HADCM3 بود. به طور کلی بیشترین وزن مدل - سناریو دمای کمینه برای منطقه رشت مربوط به سناریوی B1 در مدل GFCM21 و کمترین آن مربوط به مدل NCCCSM و سناریوی A2 می باشد (شکل ۲).

### بررسی عدم قطعیت مدل های AOGCM و سناریوهای انتشار

در شکل ۲ وزن مدل - سناریوها برای پارامتر بارش در منطقه مورد مطالعه مشاهده می شود نتایج نشان داد بیشترین وزن در سناریوی A1B به ترتیب مربوط به مدل های INCM3، HADCM3 و NCCCSM و در سناریوی A2 به ترتیب مربوط به GFCM21 و NCCCSM و در سناریوی B1 به ترتیب وزن مدل به ترتیب مربوط به مدل های GFCM21، HADCM3 و NCCCSM می باشد. به طور کلی بیشترین وزن مدل - سناریو بارش برای منطقه رشت مربوط به مدل INCM3 و سناریوی A1B و کمترین آن مربوط به مدل MPEH5 و سناریوی A2 می باشد.

مقایسه وزن مدل - سناریوها برای تابش در شکل ۲ نشان داد بیشترین وزن در سناریوی A1B به ترتیب مربوط به مدل های NCCCSM، HADCM3 و GFCM21 و در سناریوی A2 به ترتیب مربوط به MPEH5، INCM3 و NCCCSM و در سناریوی B1 به ترتیب مربوط به مدل های HADCM3، NCCCSM و GFCM21 بود. به طور کلی بیشترین وزن مدل - سناریو دمای کمینه برای منطقه رشت مربوط به مدل NCCCSM در سناریوی B1 و کمترین آن مربوط به مدل INCM3 در سناریوی B1 می باشد.



شکل ۲- وزن مدل - سناریوها برای پارامترهای اقلیمی مورد بررسی

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج پژوهش حاضر و بررسی شاخص‌های آماری خطای سنجی و صحت سنجی پارامترهای اقلیمی دوره‌های دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه سینوپتیک رشت، ملاحظه شد که مدل LARS-WG توانایی مطلوبی در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی ایستگاه موردنظر دارد. به منظور انتخاب مدل مناسب، با مقایسه ضریب تعیین ( $R^2$ )، شاخص توافق و سایر شاخص‌های خطای سنجی مشاهده شد مدل INCM3 در سناریوی A1B، مدل NCCCSM در سناریوی B1 و مدل HADCM3 در سناریوی A2 بیشترین کارایی را در شبیه‌سازی داده‌های بارش داشته‌اند. در خصوص تابش مدل‌های NCCCSM در سناریوی A1B و مدل NCCCSM هم در سناریوی B1 و هم در سناریوی A2 دارای ضریب تعیین و شاخص توافق و کارایی بسیار بالایی بودند. نتایج صحت سنجی داده‌های دمای کمینه شبیه‌سازی شده نیز نشان داد که مدل‌های HADCM3 در سناریوی A1B و مدل GFCM21 در سناریوهای A2 و B1 با کمترین خطای اریبی مربع (SB) و مقادیر مطلوب ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRMSE) به عنوان مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی این پارامتر انتخاب شدند. از مقایسه مدل‌های مختلف و سناریوهای انتشار برای دمای بیشینه بر اساس شاخص‌های آماری مشاهده شد مدل‌های HADCM3 در سناریوهای A1B و B1 و مدل GFCM21 در سناریوی A2 دارای ضریب تعیین و شاخص توافق و کارایی بسیار بالایی بودند؛ بنابراین مشاهده می‌شود که مدل‌های مورد بررسی دقت یکسانی برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ندارند. بررسی عدم قطعیت مدل‌ها نشان داد مدل INCM3 و سناریوی A1B دارای بیشترین وزن مدل - سناریو در خصوص پیش‌بینی بارش و مدل NCCCSM در سناریوی B1 دارای بیشترین وزن مدل - سناریو در خصوص پیش‌بینی تابش و مدل GFCM21 در سناریوی A2 در خصوص دمای بیشینه و در سناریوی B1 در خصوص دمای کمینه می‌باشد. نتایج اجرای گروهی مدل‌ها نیز نشان داد که در برنامه‌ریزی آبی می‌توان از ترکیب گروهی مدل‌ها با عدم قطعیت کمتر و دقت بیشتری پارامترهای اقلیمی را شبیه‌سازی کرد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آبی از چندین مدل ترکیبی برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استفاده کرد.

## منابع

- خلیلی اقدم، ن.، ا. مساعدی، ا. سلطانی و ب. کامکار. ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنج. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۹: ۴-۸۵.
- سادات آشفته پ. و مساح بوانی، ع. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب؛ مطالعه موردی حوضه قرقو، آذربایجان شرقی، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، هیدرولوژی، هیدرولیک و جنبه‌های مختلف منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه: ۱۶۱ - ۱۴۷.
- عباسی ف.، ملبوسی ش.، بابائیان ا.، اثمیری م. و برهانی ر. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. مجله آب و خاک، ۲۴: ۲۱۸-۲۳۳.
- علیزاده ا.، سیاری ن.، حسامی کرمانی م.ر.، بنیان اول م. و فریدحسینی ع. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف رود). مجله آب و خاک، ۲۴: ۴-۸۳۵.
- کمال، ع و ع. مساح بوانی. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژیکی. مجله آب و خاک، ۲۴: ۵-۹۳۱-۹۲۰.
- مساح بوانی، ع.، س. مرید و م. محمد زاده. ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های کوچک‌مقیاس کردن و مدل‌های AOGCM بررسی تأثیر تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۶: ۴-۱۱۰.
- Andarzian B., Bannayan M., Stedutoc P., Mazraeha H., Baratid M.E., Baratie M.A., and Rahnamaa A. 2011. Validation and testing of the Aqua Crop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Water Management*, 100: 1-8.
- Bannayan M., Kazuhiko K., Han-Yong K., Lieffering M., Okadae M. and Miura Sh. 2005. Modeling the interactive effects of atmospheric CO<sub>2</sub> and N on rice growth and yield. *Journal of Field Crops Research*, 93: 237-251.
- Bannayan, M. and G. Hoogenboom. 2009. Using Pattern Recognition for Estimating Cultivar Coefficients of a Crop Simulation Model. *Field Crops Research*, 111:290-302.
- Benestad, R.E. 2004. Empirical Statistical Downscaling in Climate Modeling. EOS, Transactions American

بابائیان، ا. و نجفی نیک، ز. ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳. مجله نیوار، ۶۲ و ۶۳: ۴۹ - ۶۹.

اشرف، ب.، علیزاده، ا.، موسوی بایگی، م. و بنیان اول، م. ۱۳۹۳.

- Resource Planning and Management, 125.4: 194-204.
- Mavromatis, Th. and Hansen, J.W. 2001. Inter Annual Variability Characteristics And Simulated Crop Response Of Four Stochastic Weather Generators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109: 283-296.
- New, M. and Hulme, M. 2000. Representing Uncertainty in Climate Change Scenarios: A Monte-Carlo Approach, *Integrated Assessment*, 1: 203-213.
- Semenov M.A. and Barrow E.M. 2002. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User's Manual, Version 3.0.
- Semenov, M. and Stratonovitch, P. 2010. Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Models For Assessment of Climate Change Impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.
- Semenov, M.A. 2008. Simulation of Extreme Weather Events by a Stochastic Weather Generator. *Climate Research*, 35: 203-212.
- Semenov, M.A. and Brooks, R.J. 1999. Spatial Interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. *Climate Research*, 11.2: 137-148.
- Semenov, M.A., and Stratonovitch, P., 2010. Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts. *Climate Research*, 41, 1-14.
- Turley, M.C., and Ford, E.D. 2009. Definition and Calculation of Uncertainty in Ecological Process Models. *Ecological Modeling*, 220: 1968-1983.
- Wilby, R., and Harris, I. 2006. A Framework for Assessing Uncertainties in Climate Change Impacts: Low Flow Scenarios for the River Thames, UK, *Water Resources Research*, 42: 2419-2429.
- Williams, A.G. 1991. Modeling Future Climates: from GCMS to Statistical Downscaling Approaches, University of Toronto At Scarborough, 56p.
- Geophysical Union. 85.42: 417-422.
- Covey, C., AchutaRao, K. M., Cubasch, U., Jones, P., Lambert, S. J., Mann, M. E. and Taylor, K. E. 2003. An Overview of Results from The Coupled Model Inter Comparison Project. *Global and Planetary Change*, 37.1:133-103.
- 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.
- 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.
- Hashemi Ana, S. K., Khosravi, M. and Tavousi, T. 2015. Validation of AOGCMs Capabilities for Simulation Length of Dry Spells under the Climate Change in Southwestern Area of Iran. *Open Journal of Air Pollution*, 4 .2:76-85.
- Homaee M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002. Simulation of Root Water Uptake. I. Nouniform Transient Salinity Stress Using Different Macroscopic Reduction Functions. *Agricultural Water Management*, 57: 89-109.
- IPCC. 2001. Climate Change. The Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. 2010. Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado, USA.
- IPCC.2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by M. Parry et al., Cambridge University Press, UK.
- 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

## Evaluation of Ensemble Uncertainty in the Simulation of Atmospheric General Circulation Models a Meteorological Data (Case Study of Synoptic Station in Rasht)

P. Shahinroksar<sup>1</sup>, A. Alizadeh<sup>\*2</sup>, H. Ansary<sup>3</sup>, M. Ghorbany<sup>4</sup>

Recived: Nov.01, 2019

Accepted: Jan.04, 2019

### Abstract

One of the most reliable methods for assessing the effects of climate change is the use of climate variables simulated by general atmospheric circulation (GCM) models, but these simulations have uncertainties. Avoiding the uncertainties associated with climate change in research will reduce the credibility of the results and result in unrealistic and unrealistic results. In this study, the data of temperature, precipitation and radiation simulated by 5 models HADCM3, NCCCSM, NCCCSM, INCM3, GFCM21 and MPEH5 at the Synoptic Station of Rasht based on A1B, A2 and B1 emission scenarios were statistically analyzed. Also, the uncertainty of each of the general atmospheric circulation models and diffusion scenarios was investigated by weighting method. The results of the test of the calculated statistics for each model were presented individually. The INCM3 model in the A1B scenario for simulating rainfall, the NCCCSM model in the A1B scenario for radiation simulation and GFCM21 under B1 scenario for simulating minimum temperature and HADCM3 model in the A1B scenario for maximum temperature simulation. The results of ensemble performance of the models also showed that in the future planning, the group composition of the models can be simulated with less uncertainty and more accurately the climatic parameters. In order to select the best scenario based on the group implementation of the models, the best match is the simulated rainfall data with real data based on B1 scenario, for A1B scenario data and minimum and maximum temperature based on scenario B1.

**Keywords:** Climate Change, Emission scenarios, Statistical Measurement, Verification

1- Ph.D. Student Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Agricultural Engineering Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran

2-Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Author Email: alizadeh@um.ac.ir).