

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دهم، شماره سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵

صص ۶۸-۷۸

انتخاب بهترین مدل تغییر اقلیم در برآورد متغیرهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند

مصطفی یعقوبزاده*، استادیار مهندسی آب-دانشگاه بیرجند

عباس خاشعی سیوکی، دانشیار مهندسی آب-دانشگاه بیرجند

یوسف رمضانی، دانشیار مهندسی آب-دانشگاه بیرجند

سیده عاطفه حسینی، استادیار مهندسی گیاه پزشکی - دانشگاه بیرجند

چکیده

امروزه تغییر آب و هوا یکی از دلایل اصلی نگرانی‌های مرتبط به آب است. علت این امر آن است که امکان دارد این تغییر سبب خشک‌سالی یا سیلاب‌های شدید، کوتاه و طولانی‌مدت در آینده شود. در این تحقیق سعی شد بهترین مدل GCM از بین مدل‌های تغییر اقلیم به منظور تعیین دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند در دوره‌های آتی مشخص شود. بدین منظور تعداد ۳۵ مدل GCM برای هر یک از متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش تعیین شد و با نتایج ایستگاه سینوپتیک بیرجند مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مدل NorESM1-M به دلیل دارا بودن مقدار RMSE برابر ۰/۰۹۱ و مدل GISS-E2-R نیز با دارا بودن مقدار PBIAS پایین می‌تواند مدل انتخابی مناسب برای تحقیقات در مورد بارش باشد. در مورد دمای بیشینه و دمای کمینه نیز به ترتیب مدل GISS-E2-R با مقدار RMSE برابر ۰/۶۶۴ و مدل CSIRO-Mk3.6 با داشتن مقادیر RMSE برابر ۰/۷۷۸ بیش‌ترین شباهت را به داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند دارد. از مقایسه‌ی داده‌های مدل‌ها با داده‌ی ایستگاه سینوپتیک، بیش‌ترین درصد خطای نسبی مقادیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه به ترتیب برای ماه‌های اول (ژانویه)، دوم (فوریه) و پنجم (می) مشخص شده است. همچنین در مقایسه‌ی قطعیت مدل‌های GCM، متغیرهای بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه به ترتیب در ماه‌های پنجم (می)، سوم (مارس) و اول (ژانویه) نسبت به بقیه‌ی ماه‌ها کم‌ترین قطعیت را دارند.

واژگان کلیدی: مدل GCM، تغییر اقلیم، بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه.

* Email: M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

۱- مقدمه

افزایش درجه حرارت از سال ۱۸۶۰ تاکنون حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است و پیش‌بینی می‌شود در آستانه‌ی سال ۲۱۰۰ میلادی دمای کره‌ی زمین بین ۲ تا ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی ۱۸۵۰ تا ۱۹۵۰ افزایش یابد (IPCC, 2007: 5). یکی از مهم‌ترین عواقب تغییر اقلیم اثراتی است که در اکوسیستم‌های طبیعی می‌گذارد. این امر خود سبب تغییر در میزان تولید و خدمات این منابع و درنهایت، منافع حاصل از آن‌ها می‌گردد. از جمله تغییرات پدیده‌ی اقلیم می‌توان به تغییر در کیفیت و کمیت منابع آب، وضعیت جنگل‌ها و مراتع، فضای سبز، حیات‌وحش، آبریزان و... اشاره نمود (Jana & Majumder, 2010: 1). یکی از نگرانی‌های اصلی متخصصین شاخه‌های مختلف علوم در خصوص تغییر اقلیم، اثراتی است که بر منابع آب دارد؛ چراکه این ماده‌ی حیاتی در کلیه‌ی فعالیت‌های انسانی موردنیاز است (Fung et al., 2010: 128). با توجه به اهمیت این پدیده در سطح جهان، در سال ۱۹۸۸ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۱ توسط سازمان هواشناسی جهانی (WMO)^۲ و برنامه‌ی محیط زیست سازمان ملل (UNEP)^۳ تأسیس شد. وظیفه‌ی این هیئت، شناخت تمام جنبه‌های پدیده‌ی تغییر اقلیم در سطح جهان است (IPCC, 2007: 5). از آنجاکه متغیرهای بارش، درجه حرارت و تشعشع خورشیدی مهم‌ترین ورودی‌های اکوسیستم‌های طبیعی، خصوصاً حوضه‌های آبخیز می‌باشند، هر نوع تغییری در این متغیرها می‌تواند میزان عملکرد و ساختار اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد. بدون شک، میزان آب قابل‌دسترس در یک حوضه‌ی آبخیز از نظر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و... حساس‌ترین و مهم‌ترین فاکتوری است که تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد؛ بنابراین بررسی اثر تغییر اقلیم روی این ماده‌ی حیاتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس سیستم آب‌وهوایی تکامل زمین در هر زمان شامل شرایط اتمسفر، اقیانوس، یخ دریا و شرایط سطح زمین و جو را شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های گردش عمومی جو توصیف می‌کنند که چگونه این مؤلفه‌ها با هریک از مدل‌ها برای ایجاد و تغییر متغیرهای اقلیمی پیچیده‌ی زمین ارتباط برقرار می‌کنند؛ بنابراین آن‌ها به‌عنوان ابزار بسیار مهم برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم و از این‌رو برآورد آینده شناخته شده‌اند (Meeh et al., 2007: 1383; Houghton et al., 1995: 125; Su et al., 2016: 138; Saeed et al., 2012).

در مورد مقایسه‌ی مدل‌های تغییر اقلیم، گره‌گوری^۴ و همکاران (۲۰۰۱) به مقایسه‌ی ده مدل گزارش سوم تغییر اقلیم و صدی^۵ و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه‌ی ۱۱ مدل گزارش چهارم تغییر اقلیم پرداختند. کمال و مساح بوانی (۱۳۹۱) از خروجی‌های هفت مدل TAR (گزارش سوم تغییر اقلیم) شامل ECHAM4, CSIRO-MK2, CGCM2, CCSR, HadCM3, GFDL-R30, NCAR-DOE PCM و نه مدل منتخب از AR4 (گزارش چهارم تغییر اقلیم) شامل MIROC-med, ECHAM5, HadCM3, GISS E-R, GFDL CM2.1, CSIRO Mk3, CGCM3, CCSM3 PCM تحت سناریو انتشار A2 جهت مقایسه‌ی عدم قطعیت مدل‌های TAR و AR4 در تأثیر بر رواناب حوضه‌ی قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های AR4 ضمن مدیریت بیش‌تر عدم قطعیت نتایج کاربردی‌تری نسبت به مدل‌های TAR به همراه خواهد داشت.

یعقوب‌زاده (۱۳۹۴) در پژوهش خود بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه را برای دو دوره‌ی آتی به کمک مدل‌های گزارش چهارم تغییر اقلیم برآورد کردند. وی برای دوره‌ی پایه و آتی از دوره‌ی ۲۰ ساله استفاده کرد. سیاری و همکاران

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

2- World Meteorological Organization

3- United Nation Environmental Program

4- Gregory

5- Samadi

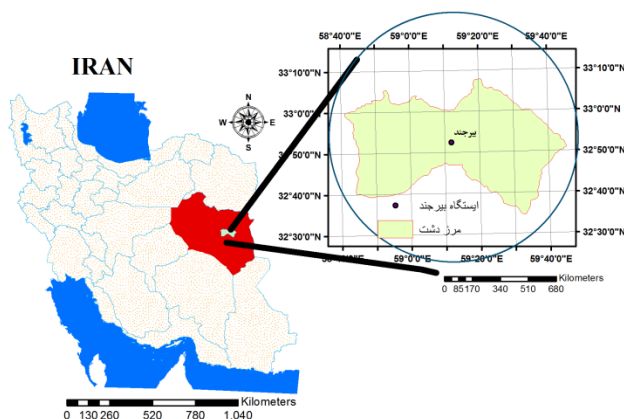
(۱۳۹۰) تأثیر گرمایش جهانی بر حداقل و حداکثر دما، الگوی بارش و تبخیر و تعرق گیاهانی نظیر گندم، ذرت، گوجه‌فرنگی و چغندر قند در حوضه‌ی کشف‌رود تحت دو سناریو انتشار A2 و B2 و دو مدل گردش عمومی جو (CGCM2, Hadcm3) در سه دوره‌ی زمانی مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. برای ریزمقیاس‌نمایی، از مدل آماری ASD استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تبخیر و تعرق پیش‌بینی‌شده با مدل HadCM3 و با هر دو سناریو برای تمامی دوره‌ها و محصولات افزایش نشان می‌دهد؛ در صورتی‌که در مدل CGCM2 با هر دو سناریو میزان این افزایش بسیار ناچیز بود. مقایسه‌ی دو مدل و دو سناریو نشان داد که سناریوی A2 شرایط بحرانی‌تری را برای حوضه پیش‌بینی می‌کند. عباسی و ائمری (۱۳۹۰) شرایط اقلیم ایران را در طی دهه‌های ۲۰۰۰، ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ با استفاده از خروجی دو مدل گردش عمومی (HADCM2 و ECGAM4) با لحاظ ۱۸ سناریوی انتشار IPCC الگوسازی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که این دو مدل تا دهه‌ی ۲۱۰۰ به‌طور میانگین افزایش دما ۳ تا ۳/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد را برای کشورمان پیش‌بینی می‌کنند که در هر دو مدل توزیع مکانی افزایش دما با هم مطابقت دارند.

عباسی و همکاران (۱۳۹۱) شرایط اقلیمی ایران را در دهه‌های ۲۰۰۰، ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ با استفاده از خروجی دو مدل گردش عمومی جو HADCM2 و ECHAM4 و با در نظرگیری ۱۸ سناریوی انتشار IPCC مدل‌سازی کردند. نتایج مدل HADCM2 حاکی از کاهش بارش‌های ایران تا دهه‌ی ۲۱۰۰ به میزان ۲/۵ درصد دارد؛ در حالی‌که برای دوره‌ی مشابه در مدل ECHAM4 بارش‌های کشور به میزان ۱۹/۸ درصد افزایش یافته است. موسوی و همکاران (۱۳۹۵) اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر تغییرات مکانی و زمانی بارش در سطح کشور تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 تا سال ۲۱۰۰ بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر اقلیم باعث افزایش غیریکنواخت بارش در دو مقیاس مکانی و زمانی در بخش اعظم کشور خواهد شد. المزروعی^۶ و همکاران (۲۰۱۷) برآورد دما و بارش را به‌صورت فصلی و سالانه بر اساس داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم برای منطقه‌ی شبه‌جزیره‌ی عربی برآورد کردند. نتایج آن‌ها برای بخش شمالی و جنوبی شبه‌جزیره‌ی تحت سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب کاهش و افزایش بارش را تخمین زده است. وینبرگر^۷ و همکاران (۲۰۱۷) افزایش دما را در مناطق شهری بزرگ برای دو دوره‌ی آتی برآورد کردند و حتی تأثیر افزایش دما را بر مرگ‌ومیر مورد بررسی قرار دادند. طبق برآورد بیش‌تر روش‌ها، انتظار افزایش دما و کاهش برای بارش بسیار محتمل است که تأثیر آن افزایش تنش خشکی و مقاومت کم گیاهان به امراض و بیماری‌هاست. محققان بیان کردند که افزایش خشک‌سالی در اثر تغییر اقلیم می‌تواند سبب شود مقاومت گیاهان به بیماری‌ها کم شده و آفات ثانویه‌ی گیاهان تبدیل به آفات اولیه شوند. آن‌گونه که در تحقیقات ارائه‌شده مشخص شده است، انتخاب مدل AOGCM می‌تواند نتایج را با تغییرات گسترده بیان کند؛ بنابراین در این تحقیق سعی شده است برای انتخاب مدل مناسب‌تر، تقریباً از همه‌ی مدل‌های CMIP5 (گزارش پنجم تغییر اقلیم) برای برآورد پارامترهای بارش و دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره‌ی آتی استفاده شود و مقادیر حدی، درصد خطای نسبی و عدم قطعیت پارامترهای هواشناسی برای همه‌ی مدل‌ها محاسبه گردد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

این تحقیق به‌منظور تعیین مدل یا مدل‌های مناسب گزارش پنجم برای برآورد دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در ایستگاه سینوپتیک بیرجند انجام شد. این ایستگاه در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ درجه‌ی شرقی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۷ درجه‌ی شمالی قرار دارد (شکل ۱). آب‌وهوای آن، خشک و نیمه‌خشک و متوسط دمای سالیانه ۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد با متوسط بارش سالیانه ۱۷۱ میلی‌متر است.

6- Almazroui
7- Weinberger



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- روش انجام تحقیق

برای انجام مراحل این تحقیق، در مرحله‌ی اول، داده‌های بارش و درجه حرارت دوره‌ی پایه از ایستگاه سینوپتیک بیرجند اخذ شد. در مرحله‌ی بعد، داده‌های اقلیمی مورد نیاز از طریق یکی از سایت‌های تولید داده، گزارش پنجم به دست آمد (<ftp://gdo-dcp.ucllnl.org/pub/dcp/archive/cmip5/bcsd/BCSD/>). این داده‌ها از دو سناریو Rcp4.5 و Rcp8.5 و برای دوره‌ی آتی به دست می‌آید. این داده‌ها که با فرمت NC هستند، برای منطقه‌ی بیرجند با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار متلب و استفاده از چهار گرید مجاور به دست می‌آیند. با استفاده از این داده‌ها که به صورت ماهانه هستند، میانگین دوره‌های پایه از مدل‌های مختلف برای دوره‌های آتی مختلف محاسبه می‌شوند. در مرحله‌ی بعد، میانگین هریک از این دوره‌ها نسبت به میانگین دوره‌ی پایه‌ی ایستگاه سینوپتیک مقایسه و درصد خطا محاسبه می‌شوند. این عمل برای حدود ۳۵ مدل گزارش پنجم تغییر اقلیم انجام می‌شود. همچنین این عمل برای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش انجام شد. به دلیل اینکه این اعمال برای چهار روش ارزیابی خطا انجام شد و از حدود ۲۰ دوره‌ی پایه‌ی متفاوت بهره گرفته شده، حدود ۸۴۰۰ داده برداشت شده است. سپس میانگین و مقادیر حدی سه متغیر هواشناسی و درصد خطای نسبی متغیرها و در پایان، عدم قطعیت سه متغیر هواشناسی با نمودارهای جعبه‌ای بیان گردید. در جدول (۱) مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ارائه شده است.

جدول ۱: مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم ارائه شده در این تحقیق

کشور مؤسس	مدل	#	کشور مؤسس	مدل	#	کشور مؤسس	مدل	#
Russia	INMCM4	25	Europe	EC-RARTH	13	Australia	ACCESS1	1
France	IPSL-CM5A-MR	26	China	FGOALS	14	Australia	ACCESS1-3	2
France	IPSL-CM5A-LR	27	China	FIO-ESM	15	China	BCC-CSM1-1	3
France	IPSL-CM5B-LR	28	America	GFDL-ESM2M	16	China	BCC-CSM1-M	4
Japan	MIROC5	29	America	GFDL-CM3	17	China	BNU-ESM	5
Japan	MIROC-ESM	30	America	GFDL-	18	Canada	CANESM2	6

				ESM2G				
Japan	MIROC-ESM-CHEM	31	America	GISS-E2-H-CC	19	America	CCSM4	7
Germany	MPI-ESM-LR	32	America	GISS-E2-R	20	America	CESM1-BGC	8
Germany	MPI-ESM-MR	33	America	GISS-E2-R-CC	21	America	CESM1-CAM5	9
Japan	MRI-CGCM3	34	England	HADCM3	22	Italy	CMCC-CM	10
Norway	NorESM1-M	35	England	HADGEM2-ES	23	France	CNRM-CM5	11
			England	HADGEM2-CC	24	Australia	CSIROMK3.6	12

منبع: (IPCC, 2013: 1).

۳-۱- شاخص‌های ارزیابی

به منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این تحقیق، چهار معیار ارزیابی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)^۸ و میانگین خطای مطلق (MAE)^۹ و درصد خطای نسبی (RD)^{۱۰} و PBIAS مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}}$$

رابطه‌ی ۱:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|}{n}$$

رابطه‌ی ۲:

$$RD = \left| \frac{x_i - x_m}{x_m} \right|$$

رابطه‌ی ۳:

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n 100(X_m - X_i)}{\sum_{i=1}^n X_m}$$

رابطه‌ی ۴:

در این معادلات، x_i : مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل GCM، x_m : مقادیر اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه سینوپتیک بیرجند، n : تعداد مدل و x_m : مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده است (اخوان و همکاران، ۲۰۱۰: ۹).

۴- بحث و نتایج

داده‌های گزارش پنجم آخرین سری از داده‌های تغییر اقلیم هستند که توسط کشورها و سازمان‌های مختلف ارائه شده است که نتایج متفاوتی در تولید بارش و دما را دارا هستند؛ بنابراین انتخاب مدل مناسب که دما و بارش متناسب با داده‌های منطقه‌ی موردتحقیق ارائه بدهد، از اهمیت خاصی برخوردار است. اثرات نتایج تغییر اقلیم با وجود مدل‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. جدول (۲) ده مدلی که بیش‌ترین شباهت به دوره‌ی پایه یا کم‌ترین درصد خطا با داده‌ی بارش

8- Root Mean Square Error

9- Mean Absolute Error

10- Relative Difference

روزانه‌ی ایستگاه سینوپتیک را دارند، مشخص می‌کند. بر طبق این جدول، مدل NorESM1-M به دلیل دارا بودن کم‌ترین مقدار RMSE (RMSE=0.091) و مقدار PBIAS (PBIAS=1.401) نسبت به مدل‌های دیگر AOGCM تطابق بیش‌تری با داده‌ی مشاهداتی دارد. مدل GISS-E2-R نیز با دارا بودن مقدار PBIAS پایین می‌تواند مدل انتخابی مناسب برای تحقیقات در مورد بارش باشد. جدول (۳) ده مدل برتر و نتایج نزدیک‌تر با داده‌ی دمای بیشینه را نشان می‌دهد. مدل‌های GISS-E2-R با کم‌ترین مقدار RMSE برابر ۰/۶۶۴ و مدل‌های CSIROMKMK3.6 و HADGEM2-CC با کم‌ترین مقدار MAE (برابر ۰/۴۶) و PBIAS (برابر ۱/۹) بیش‌ترین شباهت را به داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند دارد. برای دمای کمینه نیز مدل CSIROMKMK3.6 با داشتن مقادیر RMSE برابر ۰/۷۷۸ و مقدار MAE برابر ۰/۶۸ و مقدار PBIAS برابر ۸/۸۸۹ بیش‌ترین تطابق را با داده‌ی مشاهداتی دارد (جدول ۴). مدل GISS-E2-R نیز با دارا بودن مقادیر خطای پایین از تطابق خوبی برخوردار است. این جداول مشخص می‌کند با توجه به هدف و اهمیت موضوع موردتحقیق، در آینده می‌توان مدل مناسب را انتخاب نمود؛ ولی در مجموع اگر خواسته شود دو مدل را که برای برآورد بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه نتایج دقیق‌تری برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند ارائه می‌نمایند، نام برد می‌توان مدل‌های GISS-E2-R و CSIROMK3.6 را انتخاب کرد.

جدول ۲: تعیین بهترین مدل گزارش پنجم از مقایسه‌ی داده‌های ایستگاه بیرجند با داده‌های بارش مدل‌های تغییر اقلیم

ردیف	مدل	RMSE	MAE	PBIAS
1	NorESM1-M	0.091	0.007	1.401
2	HADGEM2-CC	0.095	0.023	4.774
3	GFDL-ESM2G	0.098	0.015	2.988
4	GFDL-ESM2M	0.102	0.015	2.971
5	GISS-E2-R	0.106	0.008	1.613
6	MPI-ESM-LR	0.106	0.014	2.835
7	CANESM2	0.107	0.017	3.498
8	BNU-ESM	0.108	0.009	1.799
9	CSIROMK3.6	0.109	0.025	5.031
10	IPSL-CM5A	0.109	0.025	5.113

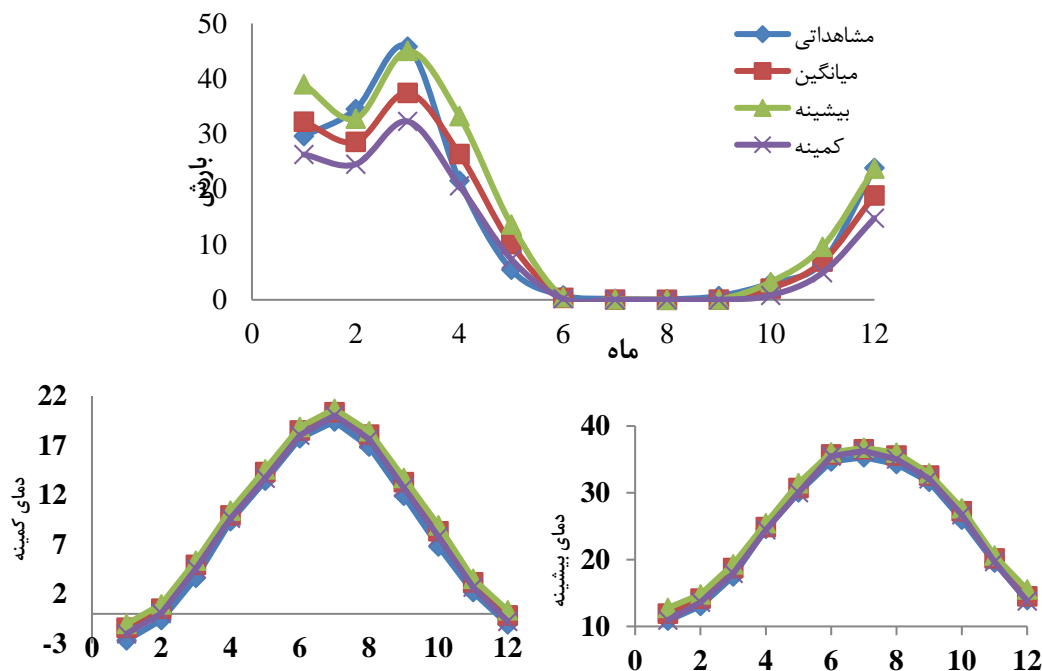
جدول ۳: تعیین بهترین مدل گزارش پنجم از مقایسه‌ی داده‌های ایستگاه بیرجند با داده‌های دمای بیشینه‌ی مدل‌های تغییر اقلیم

ردیف	مدل	RMSE	MAE	PBIAS
1	GISS-E2-R	0.664	0.480	1.975
2	ACCESS1	0.677	0.475	1.957
3	CSIROMK3.6	0.690	0.462	1.905
4	HADGEM2-CC	0.710	0.461	1.902
5	GFDL-ESM2G	0.731	0.566	2.330
6	CNRM-CM5	0.746	0.545	2.241
7	GFDL-CM3-PR	0.764	0.559	2.299
8	MIROC-ESM	0.782	0.569	2.343
9	NorESM1-M	0.800	0.663	2.729
10	GISS-E2-R-CC	0.803	0.575	2.367

جدول ۴: تعیین بهترین مدل گزارش پنجم از مقایسه‌ی داده‌های ایستگاه بیرجند با داده‌های دمای کمینه‌ی مدل‌های تغییر اقلیم

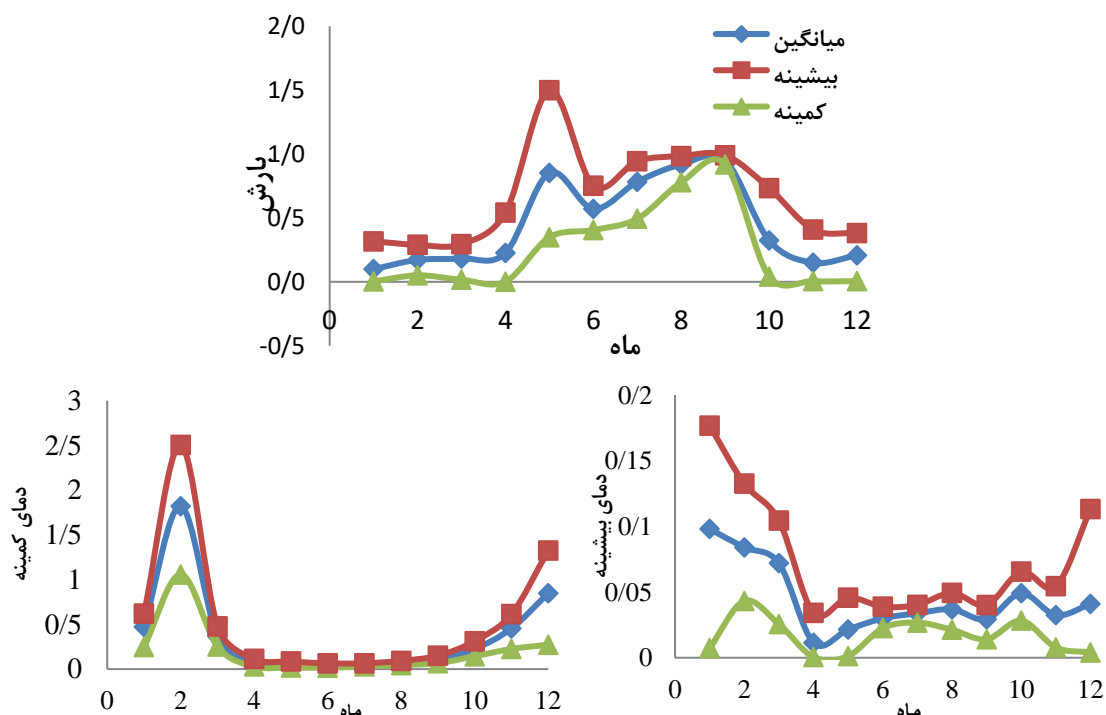
ردیف	مدل	RMSE	MAE	PBIAS
1	CSIROMK3.6	0.778	0.680	8.889
2	GISS-E2-R	0.813	0.734	9.168
3	MIROC-ESM	0.827	0.719	9.410
4	ACCESS1	0.832	0.754	10.47
5	GFDL-CM3-PR	0.833	0.742	10.06
6	IPSL-CM5A-MR	0.841	0.747	10.73
7	GFDL-ESM2G	0.865	0.777	11.05
8	CNRM-CM5	0.871	0.784	9.87
9	CCSM4	0.872	0.760	9.686
10	IPSL-CM5A-LR	0.874	0.790	9.326

شکل (۲) مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه‌ی بارش ماهانه، دمای بیشینه و دمای کمینه‌ی مدل‌های گزارش پنجم با مقادیر بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه‌ی دوره‌ی پایه‌ی ایستگاه سینوپتیک در طی ماه‌های سال را نشان می‌دهد. در بین ماه‌های سال، متوسط بارش ماه‌های دوم (فوریه) و سوم (مارس) و پنجم (می) میلادی مدل‌ها با مقادیر دوره‌ی پایه اختلاف حدود ۵ میلی‌متر دارند. این اختلاف بارش دوره‌ی ماهانه‌ی مدل‌ها و دوره‌ی پایه برای بعضی ماه‌ها مانند ماه سه (مارس) میلادی خیلی زیاد است. برخلاف بارش، در مورد دمای کمینه و دمای بیشینه‌ی مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه‌ی مدل‌ها اختلاف ناچیزی با مقادیر دوره‌ی پایه‌ی ایستگاه سینوپتیک دارد. بیش‌ترین اختلاف دماها در مورد مقادیر ۷ ماه (جولای) افتاده که در مورد دمای بیشینه از دمای کمینه‌ی این اختلاف بیش‌تر است.



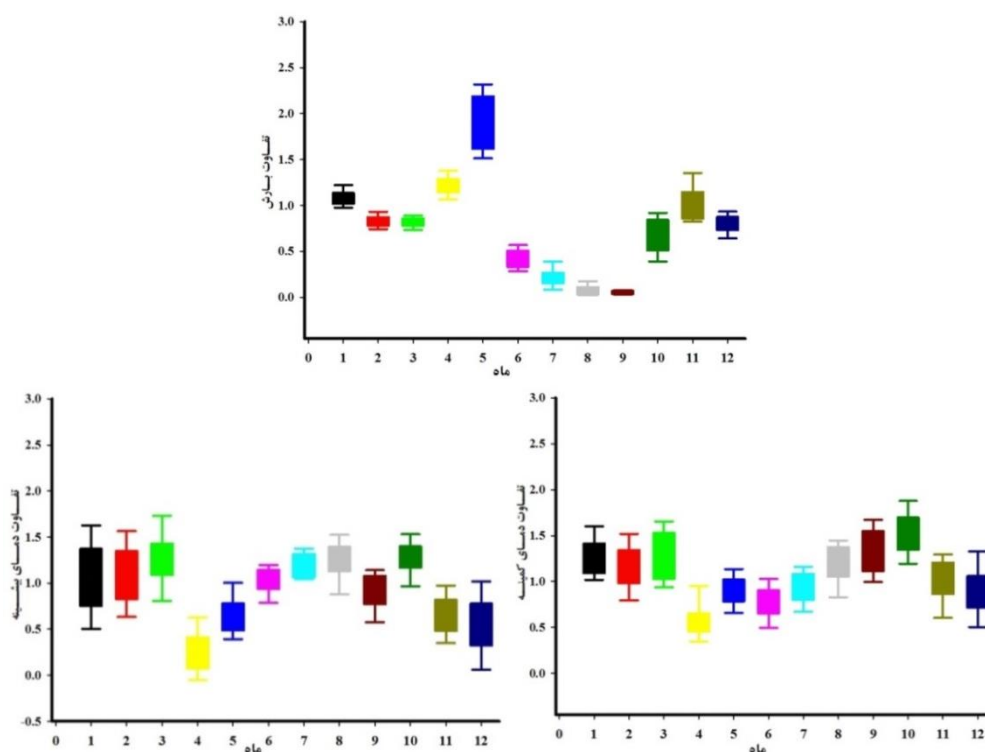
شکل ۲: مقادیر متوسط، بیشینه، کمینه و مقادیر مشاهده‌ی بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه‌ی مدل‌های تغییر اقلیم برای ماه‌های مختلف

اگر بخواهیم با توجه به جداول (۲) تا (۴) بین سه متغیر هواشناسی مقایسه‌ای انجام شود، مشخص خواهد شد که متغیر بارش از درصد خطای کمتری برخوردار است؛ این در حالی است که با توجه به تحقیقات محققان (یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۳) بارش باید از درصد خطای بیشتری برخوردار باشد که در این تحقیق فقط به دلیل اینکه مقادیر بارش به صورت روزانه است، درصد خطا نیز پایین به دست آمده است. به دلیل اینکه در بین ماه‌های مختلف سال در مناطق خشک و نیمه‌خشک تفاوت زیادی از نظر میزان بارش وجود دارد، بارش نسبت به دمای کمینه و دمای بیشینه از درصد خطای ماهانه و سالانه‌ی بیشتری برخوردار است؛ بدین سبب سعی شد با محاسبه‌ی درصد خطای نسبی سه متغیر، مقایسه‌ای نیز صورت بگیرد. شکل (۳) درصد خطای نسبی مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه‌ی بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه‌ی مدل‌های تغییر اقلیم نسبت به دوره‌ی پایه برای ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. از مقایسه‌ی داده‌های مدل‌ها با داده‌ی ایستگاه سینوپتیک، بیشینه‌ی درصد خطای نسبی مقادیر بارش برای ماه پنجم (می) میلادی مشخص شده است. همچنین در ماه نه (سپتامبر) میلادی مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه‌ی درصد خطا نزدیک به هم و به جز مقدار بیشینه‌ی درصد خطا، مقادیر متوسط و کمینه نسبت به ماه‌های دیگر میلادی بیشتر است؛ اما نکته‌ی حائز اهمیت آن است که در ماه‌های پربارش میلادی، درصد خطا نسبت به ماه‌های دیگر کمتر است. در مورد دمای بیشینه، مقادیر درصد خطا نسبت به بارش و دمای کمینه بسیار ناچیز است و این، دقت بیشتر مدل‌های تغییر اقلیم برای شبیه‌سازی دمای بیشینه را نشان می‌دهد. مقادیر درصد خطای دمای بیشینه در ماه دسامبر تا مارس نسبت به بقیه‌ی ماه‌ها بیشتر است. برخلاف دمای بیشینه، مدل‌های تغییر اقلیم در برآورد دمای کمینه برای دوره‌ی پایه، اختلاف قابل توجهی به خصوص برای ماه دوم (فوریه) میلادی دارند.



شکل ۳: درصد خطای نسبی مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه‌ی متغیرهای مدل‌های GCM نسبت به دوره‌ی پایه برای ماه‌های مختلف

برای اینکه بتوان تغییرات متغیرهای هواشناسی را بیش‌تر نشان داد و مشخص شود در چه ماهی داده‌ها ممکن است از قطعیت کم‌تری برخوردار باشند، از نمودار جعبه‌ای استفاده شد. شکل (۴) نمودار جعبه‌ای تفاوت بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه دوره‌ی پایه‌ی مدل‌های GCM با داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند برای ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، تفاوت بارش برای ماه پنجم (می) نسبت به بقیه‌ی ماه‌ها بیش‌تر است و نمودار جعبه‌ای برای این ماه نیز قطعیت کم‌تر نسبت به ماه‌های دیگر میلادی را نشان می‌دهد. کم‌ترین تغییرات بارش برای ماه نهم (سپتامبر) و کم‌ترین تفاوت دمای بیشینه و دمای کمینه در ماه چهارم (آوریل) در شکل مشخص شده است. همچنین بیش‌ترین تفاوت دمای بیشینه و دمای کمینه مدل‌ها با داده‌های ایستگاه بیرجند در ماه‌های با دمای پایین اول، دوم و سوم میلادی مشخص شد که نمودار دمای کمینه‌ی ماه سوم و نمودار دمای بیشینه‌ی ماه اول دارای پراکندگی بیش‌تری از دما هستند که این امر نشان می‌دهد که مدل‌های GCM در این ماه‌ها دارای اختلاف بیش‌تری نسبت به داده‌های ایستگاه بیرجند هستند.



شکل ۴: نمودار جعبه‌ای تفاوت بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه‌ی مدل‌های GCM با داده‌های مشاهده‌ای ماه‌های مختلف

۵- نتیجه‌گیری

امروزه با روند گسترش تحقیقات در مورد تغییر اقلیم، اهمیت تعیین مدل مناسب که بتواند بر اساس آن مدل برای آینده پیش‌بینی نمود، بیش‌تر می‌شود؛ به همین علت در این تحقیق از ۳۵ مدل مختلف برآوردکننده‌ی متغیرهای هواشناسی استفاده شد و بهترین مدل‌ها انتخاب گردید. بر اساس این تحقیق، مدل‌های GISS-E2-R و CSIRO-Mk3.6 به دلیل داشتن مقادیر RMSE و PBIAS پایین و تطابق با داده‌های مشاهده‌ای به‌عنوان بهترین و دقیق‌ترین مدل‌ها برای انتخاب در مورد بارش و دمای بیشینه و دمای کمینه برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند انتخاب شدند. مقایسه‌ی داده‌های مدل‌ها با داده ایستگاه سینوپتیک نیز نشان داد بیش‌ترین درصد خطای نسبی مقادیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه به

ترتیب برای ماه‌های اول (ژانویه)، دوم (فوریه) و پنجم (می) میلادی است. در ماه‌های پربارش میلادی، درصد خطا نسبت به ماه‌های دیگر کم‌تر و در مورد دمای بیشینه، مقادیر درصد خطا نسبت به بارش و دمای کمینه بسیار ناچیز است و این دقت بیش‌تر مدل‌های تغییر اقلیم برای شبیه‌سازی دمای بیشینه را نشان می‌دهد. وجود ۲/۵ درصد خطا در تعیین دمای کمینه‌ی ماه دوم میلادی می‌تواند اهمیت بررسی و توجه به علت به وجود آمدن این مقدار خطا را بیش‌ازپیش موردتوجه قرار دهد. همچنین نتایج مدل‌ها مشخص کرد که ماه‌های پنجم، اول و سوم برای متغیرهای بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه از پراکندگی بیش‌تر و قطعیت کم‌تر و ماه‌های نهم، ششم و چهارم از قطعیت بهتری نسبت به ماه‌های دیگر برخوردارند.

۶- تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره‌ی ابلاغیه ۱۳۹۶/۵/۲۶۰۰۳ مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۲ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- منابع

- سیاری، نسرین، علیزاده، امین، بنایان اول، محمد، فریدحسینی، علیرضا، حسامی کرمانی، مسعودرضا (۱۳۹۰). مقایسه‌ی دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی کشف‌رود). مجله‌ی آب‌و‌خاک. جلد ۲۵، شماره‌ی ۱، صص ۹۱۲-۹۲۵.
- عباسی، فاطمه، اثمیری، مرتضی (۱۳۹۰). پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی AGICC-SCENGEN. مجله‌ی آب‌و‌خاک. جلد ۲۵، شماره‌ی ۱، صص ۷۰-۸۳.
- عباسی، فاطمه، بابائیان، ایمان، ملبوسی، شراره، اثمیری، مرتضی، گلی مختاری، لیلی (۱۳۹۱). ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، مجله‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره‌ی ۱، صص ۲۳۰-۲۰۵.
- کمال، علیرضا، مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۱). مقایسه‌ی عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم AOGCM-TAR و AOGCM-AR4 در تأثیر بر رواناب حوضه در دوره‌ی آتی، مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، دوره‌ی ۳۸، شماره‌ی ۳، صص ۱۷۵-۱۸۸.
- موسوی، سیدسعید، کاراندیش، فاطمه، طبری، حسین (۱۳۹۵). تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰. مجله‌ی مهندسی آبیاری و آب، سال هفتم، شماره‌ی ۲۵، صص ۱۶۵-۱۵۲.
- یعقوب‌زاده، مصطفی (۱۳۹۴). شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و رطوبت خاک به‌منظور ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی برای دوره‌های پایه و آتی به کمک تکنیک سنجش‌ازدور، پایان‌نامه‌ی دکتری علوم آب‌گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- یعقوب‌زاده، مصطفی، امیرآبادی‌زاده، مهدی، سیدکابلی، سیدحسام (۱۳۹۷). بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای تغییر اقلیم در برآورد دما، بارش و تبخیر و تعرق منطقه‌ی شیراز، مجله‌ی مخاطرات محیطی، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۱۷، صص ۶۸-۵۳.
- Akhavan, S., Abedi Koupaee, J., Mousavi, S.F., Abbaspour, K., Afyuni, M. and Eslamian, S.S. (2010). Estimation of Blue Water and Green Water Using SWAT Model in Hamadan-Bahar Watershed, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 14(53), 9-23.
- Almazroui, M., Islam, N., Saeed, F., Alkhalaf, A.k. and Dambul, R. (2017). Assessing the robustness and uncertainties of projected changes in temperature and precipitation in AR5 Global Climate Models over the Arabian Peninsula, Atmospheric Research, 194, 202-213.
- Fung, C. F., Lopez, A., New, M. (2011). Modelling the impact of climate change on water resources. John Wiley & Sons.

11. Gregory, J.M., Church, J.A., Boer, G.J., Dixon, K.W., Flato, G.M., Jackett, D.R., Lowe, J.A., Farrell, S.P., Roeckner, E., Russell, G.L., Stouffer R. J. and Winton, M. (2001). Comparison of results from several AOGCMs for global and regional sea-level change 1900–2100. *Climate Dynamics*, 18, 225-240.
12. Houghton, J.T., Meira, F.L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K. (1995). *Climate Change 1995, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge.
13. IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2007). The physical science basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 996.
14. IPCC, (2013). The physical science basis. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
15. Jana, B. K. and Majumder, M. (2010). *Impact of climate change on natural resource management*. Springer Science & Business Media.
16. Meeh, G.A., Covey, C., Taylor, K.E., Delworth, T., Stouffer, R.J., Latif, M., McAvaney, B. and Mitchell, J.F.B. (2007). The WCRP CMIP3 multi model dataset: a new era in climate change research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 88 (9), 1383–1394.
17. Saeed, F., Hagemann, S. and Jacob, D. (2012). A framework for the evaluation of South Asian summer monsoon in a regional climate model applied to REMO. *Int. J. Climatol.* 32, 430–440.
18. Samadi S.Z. Sagaraswar, G., and Tajiki M. (2010). Comparison of General Circulation Models: methodology for selecting the best GCM in Kermanshah Synoptic Station, Iran. *Int. J. Global Warming*, 2(4), 347-365.
19. Su, B., Huang, J., Gemmer, M., Jian, D., Tao, H., Jiang, T. and Zhao, C. (2016). Statistical downscaling of CMIP5 multi-model ensemble for projected changes of climate in the Indus River Basin. *Atmos. Res.* 178–179, 138–149.
20. Weinberger, K.R., Haykin, L., Eliot, M.N., Schwartz, J.D., Gasparini, A., and Wellenius, G.A. (2017). Projected temperature-related deaths in ten large U.S metropolitan areas under different climate change scenarios, *Environment International*, 107, 196–204.