

صص ۲۱-۳۷

عدم قطعیت مدل های گزارش پنجم تغییر اقلیم در بر آورد دما و بارش**مصطفی یعقوب زاده***

استادیار گروه علوم و مهندسی آب و گروه پژوهشی خشک سالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

محسن پور رضا بیلندی

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب و گروه پژوهشی خشک سالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

عباس خاشعی سیوکی

استاد گروه علوم و مهندسی آب و گروه پژوهشی خشک سالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

جواد رمضانی مقدم

استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۷

چکیده

مدل های GCM تفاوت آشکاری در برآورد متغیرهای هواشناسی دارند. بدین منظور در این پژوهش، قطعیت مدل های گزارش پنجم تغییر اقلیم ایستگاه سینوپتیک بیرجند با استفاده از سه دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ در مقابل دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۵ و دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 برای تعیین متغیرهای هواشناسی مدل های GCM بررسی شد. بدین منظور، ابتدا مقایسه ای بین داده پایه ایستگاه سینوپتیک با داده پایه مدل انجام شد و سپس برای اطمینان از نتایج مدل ها برای هر یک از متغیرهای دما و بارش، قطعیت یا عدم قطعیت مدل ها با استفاده از نمودار جعبه ای مشخص شد. نتایج نشان داد که برای بارش، مدل های CESM1-CAM5 و CANESM2 دارای باند جعبه ای بزرگ و قطعیت کم و مدل های BNU-ESM و MIROC-ESM-CHEM دارای قطعیت بیشتری نسبت به بقیه مدل ها هستند. در مورد دمای کمینه و دمای بیشینه، مدل های سری GFDL کمترین قطعیت و سری GISS-E2 دارای بهترین قطعیت می باشند. همچنین نتایج نشان داد که قطعیت مدل ها برای برآورد دمای کمینه و دمای بیشینه نسبت به بارش بیشتر است. همچنین مشخص شد علاوه بر اینکه سناریو RCP 8.5 نسبت به سناریو RCP 4.5 متوسط تغییرات دمای بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان می دهد در سناریو RCP 8.5 انحراف مدل ها نسبت به مقدار متوسط نیز بیشتر است.

واژگان کلیدی: مدل AOGCM، عدم قطعیت، متغیر هواشناسی، تغییر اقلیم، نمودار جعبه ای.

مقدمه

با روند صنعتی شدن کشورهای و افزایش استفاده از سوخت های فسیلی، تولید CO₂ و متان در هوا را افزایش یافته که این امر به مرور سبب گرم شدن کره زمین شده است. گرم شدن کره زمین نیز سبب تغییرات مهم در جنبه های مختلف زندگی

بشر گردیده است. خشک‌سالی یکی از پیامدهای گرم شدن کره زمین است که در هر سال اثرات آن آشکارتر می‌شود. گازه‌های گلخانه‌ای موجود در جو زمین نسبت به امواج با طول موج کوتاه که از سوی خورشید به سمت زمین گسیل می‌شوند، شفاف بوده ولی امواج با طول موج بلندی که از طرف زمین ارسال می‌شود را جذب می‌کنند. این امر باعث بالا رفتن دمای هوای سطح زمین شده و در نهایت بخش قابل توجهی از انرژی امواج بلند به سطح زمین بازگردانده می‌شود و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌گردد. به منظور مقابله با اثرات تغییر اقلیم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم بنا شده است که تاکنون شش گزارش برای مقابله با تأثیرات تغییر اقلیم بر جنبه‌های مختلف زندگی مردم ارائه کرده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم یک سری سناریوهای نماینده مسیر غلطت را برای برآورد آب و هوای آینده بر اساس پروژه بین‌الملل مدل جفت شده (CMIP5)^۱ تعریف کرده است (Van Vuuren et al, 2012: 5). این هیئت برآورد می‌کند که برای مثال طبق گزارش پنجم، متوسط جهانی دمای سطحی ۲ درجه سانتی‌گراد در پایان قرن نسبت به دوره پایه ۳۰ ساله از ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ افزایش می‌یابد. بیشتر به‌طور مشخص دمای متوسط بیشتر از ۱ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو کم انتشار (RCP2.6)^۲ و بیشتر از ۴ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو حداکثر غلظت (RCP 8.5) افزایش می‌یابد (Knutti and Sedláček, 2013: 369). فرآیند کلی ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب دارای سه بخش پیش‌بینی تغییر اقلیم با مدل‌های GCM، مدل‌های ریزمقیاس‌کننده برآوردهای آب و هوا از سطح جهانی به مقیاس منطقه‌ای و تولید برآوردهای هیدرولوژیکی با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است. همه این فرآیندها یعنی برآورد کننده‌های هواشناسی، روش‌های ریزمقیاس‌کننده و شبیه‌سازهای هیدرولوژیکی جزو منابع عدم قطعیت می‌باشند (Bae et al., 2011). افزایش در تغییرات بارش و دما می‌تواند تعادل آب منطقه‌ای و رژیم‌های هیدرولوژیکی را تغییر دهد. در این میان، وجود مدل‌های متعدد که از سوی نهاد و سازمان‌های مختلف جهان ارائه می‌شود انتخاب مدل مناسب برای منطقه را با مشکل مواجه کرده است. طبق پژوهش‌های محققان، عوامل زیادی سبب بروز عدم قطعیت می‌شود که در میان عوامل مختلف عدم قطعیت، تأثیر انتخاب مدل GCM^۳ مناسب دارای عدم قطعیت فراوان‌تری است. انتخاب مدل‌های اقلیم جهانی (GCM) معمولاً به‌عنوان بزرگ‌ترین عامل عدم قطعیت اثرات تغییر اقلیم شناخته می‌شود. تغییرات زمانی عدم قطعیت مدل‌های GCM نشان می‌دهد برای مقابله با تغییرات آب و هوایی باید تصمیم‌گیری‌های طولانی مدت و مدل‌های اشتراکی مورد بررسی قرار گیرد. (عباس‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵) دامنه عدم قطعیت تعیین دمای حداکثر مربوط به مدل‌ها و سناریوهای گزارش چهارم را در ۷ ایستگاه سینوپتیک و انصاری و همکاران (۱۳۹۳) برآورد بارش و دما ایستگاه سینوپتیک مشهد را مورد ارزیابی قرار دادند. هوشمند و خردادی (۱۳۹۳) با بررسی باند عدم قطعیت ناشی از ۱۵ مدل AOGCM^۴ تحت تأثیر سه سناریو انتشار A1B، A2 و B1 به بررسی تغییرات پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی در ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در حوضه قره قوم پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود بیشترین باند عدم قطعیت در برآوردهای

1- Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

2- Representative Concentration Pathways

3- Global Circulation Model

4- Atmosphere Ocean Global Circulation Model

مربوط به سناریو A1B و برای دمای کمینه و بارندگی سناریو B1 و برای دمای بیشینه سناریو A2 تعیین شد. آشفته و مساح بوانی (۱۳۹۱) تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قرنقو در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی را با لحاظ نمودن عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما در دوره آتی داشته به طوری که دمای حوضه در دوره آتی برای سناریو A2 بین ۰/۲ تا ۳ و برای B2 بین ۰/۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. این نویسندگان در پژوهشی دیگر (۱۳۸۸) عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM ناشی از پدیده تغییر اقلیم را در حوضه آیدوغموش را تحت سناریوی اقلیمی A2 و برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل HADCM3^۱ نسبت به سایر مدل‌ها بیشترین وزن را برای هر دو متغیر دما و بارش به خود اختصاص داده است.

قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش مشابه عدم قطعیت مربوط به پنج مدل AOGCM^۲ مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که در تخمین میانگین بلندمدت دما و بارش ماهانه با یکدیگر تطابق نداشته که خود بیانگر وجود عدم قطعیت در خروجی مدل‌هاست. شن^۳ و همکاران (2018) تغییرات زمانی (عمدتاً طولانی مدت) عدم قطعیت مربوط به انتخاب GCM را در پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی با استفاده از چند مدل GCM در چندین دوره پشت سرهم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که هر دو تغییر آب و هوا در آینده (بارش و درجه حرارت) و پاسخ هیدرولوژیکی پیش‌بینی شده توسط بیست مدل GCM دارای عدم قطعیت زیاد بود و این عدم قطعیت در طول زمان به طور قابل توجهی افزایش یافت. پرودهومه و دیویس^۴ (2009) سه مدل، دو سناریو انتشار و دو روش ریزمقیاس (مدل ریزمقیاس آماری (SDSM)^۵) و مدل ریزمقیاس دینامیکی (RCM HadRM3)^۶ به منظور بررسی عدم قطعیت اثرات تغییر اقلیم روی جریان رودخانه چهار حوضه بریتیش به کار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های GCM بزرگ‌ترین منبع عدم قطعیت و بیشتر از سناریو انتشار و روش‌های ریزمقیاس است. چن^۷ و همکاران (2011) یک پژوهش گسترده از عدم قطعیت دو سناریو انتشار، شش مدل GCM، چهار روش ریزمقیاس، سه مدل هیدرولوژیکی و ده مجموعه پارامترهای مدل هیدرولوژیکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در میان این منابع عدم قطعیت، انتخاب مدل GCM بزرگ‌ترین عامل عدم قطعیت است. مطالعات زیاد دیگر نیز نشان می‌دهد که مدل‌های GCM بزرگ‌ترین منبع عدم قطعیت در میان عوامل قطعیت می‌باشد و استفاده از گروه‌های چند مدله GCM در پژوهش‌ها توصیه می‌شود (Teng et al., 2012: 122; Zhang et al., 2011: 94; Minville et al., 2008: 70) یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۶) جهت عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار در برآورد رطوبت خاک تحت تأثیر

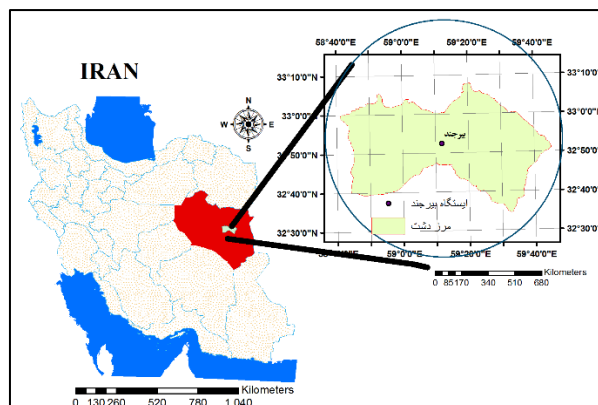
1- Hadley Centre coupled model
 2- Atmosphere- Ocean General Circulation Model
 3- Shen
 4- Prudhomme and Davies
 5- Statistical DownScaling Model
 6- Regional Climate Model Hadley Centre's
 7- Chen

تغییر اقلیم، از ده مدل گزارش چهارم تغییر اقلیم برای تعیین رطوبت خاک استفاده کردند و نتایج روش‌ها را باهم مقایسه کردند.

پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی با استفاده از مدل‌های AOGCM انجام می‌پذیرد. گزارش پنجم تغییر اقلیم نیز مشابه گزارش چهارم از مدل‌های AOGCM زیادی استفاده می‌کند که دارای تفاوت‌های زیادی در ارائه نتایج برآورد دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش و سایر متغیرها برای دوره‌های آتی است. استفاده از هریک مدل‌های تغییر اقلیم می‌تواند نتایج یک پژوهش را تغییر دهد. در مورد انتخاب بهترین مدل تغییر اقلیم در داخل کشور، پژوهش‌های به بررسی دو یا چند مدل و در خارج از کشور به پژوهش‌های چند محقق از جمله صمدی^۱ و همکاران (۲۰۱۰) با گزارش چهارم تغییر اقلیم برمی‌گردد. در این میان فقط یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه بیرجند پرداختند ولی آن‌ها به بحث قطعیت نتایج مدل‌ها در ادامه نتایج نپرداختند. بدین منظور در این پژوهش سعی شد مقایسه‌ای بین مدل‌های گزارش پنجم در ایستگاه سینوپتیک بیرجند از نظر برآورد متغیرهای هواشناسی صورت گیرد و قطعیت یا عدم قطعیت مدل‌ها مورد بررسی قرار گیرد. انتخاب مدل با قطعیت زیاد که بتوان در پژوهش‌های آینده از آن استفاده کرد می‌تواند در اینکه نتایج حاصل از تغییر اقلیم برای آینده جنبه کاربردی داشته باشد را بیشتر از پیش با اهمیت می‌نماید.

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در ایستگاه سینوپتیک بیرجند واقع در شهر و دشت بیرجند مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. شهر بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد واقع است. آب و هوای آن خشک و نیمه‌خشک و متوسط دمای سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد با متوسط بارش سالیانه ۱۷۱ میلی‌متر است. (شکل ۱).



ماخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

داده‌ها و روش‌ها

روش پژوهش

این پژوهش عدم قطعیت مدل‌های GCM تغییر اقلیم در برآورد متغیرهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این پژوهش سعی شده است از تقریباً همه مدل‌های CMIP5 که حدود ۳۴ مدل است جهت پیش‌بینی پارامترهای بارندگی و دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره آتی استفاده شود. سه دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ در مقابل دوره پایه ۱۹۷۵-۲۰۰۵ در این پژوهش استفاده شده است.

در مرحله اول داده‌های اقلیمی مورد نیاز از طریق یکی از سایت‌های تولید داده گزارش پنجم به دست می‌آید. این داده‌ها از دو سناریو Rcp4.5 و Rcp8.5 و برای دوره آتی به دست می‌آید. این داده‌ها که با فرمت NC هستند برای منطقه بیرجند با استفاده از کد نویسی در نرم‌افزار متلب و استفاده از چهار گرید مجاور به دست می‌آیند. با استفاده از این داده‌ها که به صورت ماهانه هستند میانگین دوره پایه و آتی ۳۱ ساله از مدل‌های مختلف برای دوره‌های آتی مختلف محاسبه می‌شوند. در مرحله دوم داده‌های بارش و درجه حرارت دوره پایه از ایستگاه سینوپتیک بیرجند اخذ می‌شود. میانگین دوره پایه در مقابل سه دوره آتی محاسبه می‌شود تا از تغییرات بارش و درجه حرارت اطلاع حاصل شود. در مرحله بعد علاوه بر مقادیر متغیرهای هواشناسی، تغییرات متغیرها نیز نسبت به دوره پایه همه مدل‌ها در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و با استفاده از روش نمودار جعبه‌ای عدم قطعیت مدل‌ها محاسبه می‌شوند و مدل‌هایی که قطعیت بیشتر و کمتر انتخاب می‌شوند تا در پژوهش‌های بعدی، سعی شود مدل‌هایی استفاده شود که دارای تغییرات قابل قبول است. نمودار جعبه‌ای یک روش استاندارد برای نمایش توزیع داده‌ها است که بر اساس شاخص‌های آماری «کوچک‌ترین مقدار (Minimum)، چارک اول (First Quartile - Q1)، میانه (Median)، چارک سوم (Third Quartile - Q3) و بزرگ‌ترین مقدار (Maximum) ساخته شده است. همچنین این نمودار می‌تواند در مورد وجود داده‌های دورافتاده (Outlier) یا پرت، اطلاعاتی به شما بدهد و مقدار آن‌ها را تعیین کند. برای نشان دادن قطعیت یا عدم قطعیت مدل‌ها نیز از باند جعبه‌ای استفاده می‌شود. در جدول (۱) مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند ارائه شده است.

جدول ۱: سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم ارائه شده در این پژوهش (IPCC, 2013)

سناریو	وداشت تابشی	غلظت دی اکسید کربن
RCP4.5	۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۶۵۰ و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند
RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	۳۷۰ تا سال ۲۱۰۰

ماخذ: نگارندگان

سناریوها و مدل‌های مورد استفاده

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود AR5 از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های چهار خط سیر کلیدی گازهای گلخانه‌ای با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 استفاده کرده است که در این پژوهش از دو سناریو RCP 4.5 و RCP8.5 به شرح ذیل استفاده شده است:

– سناریو RCP 4.5 :

میزان غلظت CO2 تا سال ۲۱۰۰، ۷۵۰ Ppm تخمین زده شده و بازتابش ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴٫۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. در این سناریو میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP2.6 تخمین زده شده است؛

– سناریوی RCP8.5 :

میزان غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰، ۱۹۶۰ ppm تخمین زده شده که ادامه روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸٫۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. یعنی تابش ورودی منهای تابش خروجی از جو ۸٫۵ وات بر مترمربع است.

شاخص‌های ارزیابی

به‌منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این پژوهش، چهار معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) و میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) درصد خطای نسبی^۳ (RD) و PBIAS مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|}{n} \quad (۲)$$

$$RD = \left| \frac{x_i^{obs} - x_i^{sim}}{x_i^{obs}} \right| \quad (۳)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n 100(X_m - X_i)}{\sum_{i=1}^n X_m} \quad (۴)$$

در این معادلات، x_i : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل GCM، x_m : مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک بیرجند، n : تعداد مدل و x_m : مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده است.

1- Root Mean Square Error

2- Mean Absolute Error

3 - Relative Difference

بحث و نتایج

برای اطمینان از نتایج مدل‌ها برای دوره آتی، ابتدا از بین مدل‌ها سه مدلی که بین داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره پایه و داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند بیشترین شباهت وجود دارد انتخاب شد (جدول ۲). به دلیل اهمیت بیشتر شاخص RMSE مدل‌هایی که کمترین مقدار RMSE داشتند انتخاب شد. از نتایج جدول مشخص شد که مدل NorESM1-M برای بارش و مدل‌های GISS-E2-R و CSIROMK3.6 در مورد دمای بیشینه و دمای کمینه بیشترین شباهت را به داده‌های ایستگاه سینوپتیک بیرجند دارد. مدل HADGEM2-CC نیز در برآورد بارش نتایج دقیق ارائه کرده است که مدل گزارش چهارم HADCM2 از سازمان ارائه دهنده HADGEM در پژوهش‌های Smadi و همکاران (۲۰۱۰) به‌عنوان بهترین GCM ایستگاه کرمانشاه انتخاب شده بود.

جدول ۲: تعیین بهترین مدل GCM برای متغیرهای هواشناسی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی خطا

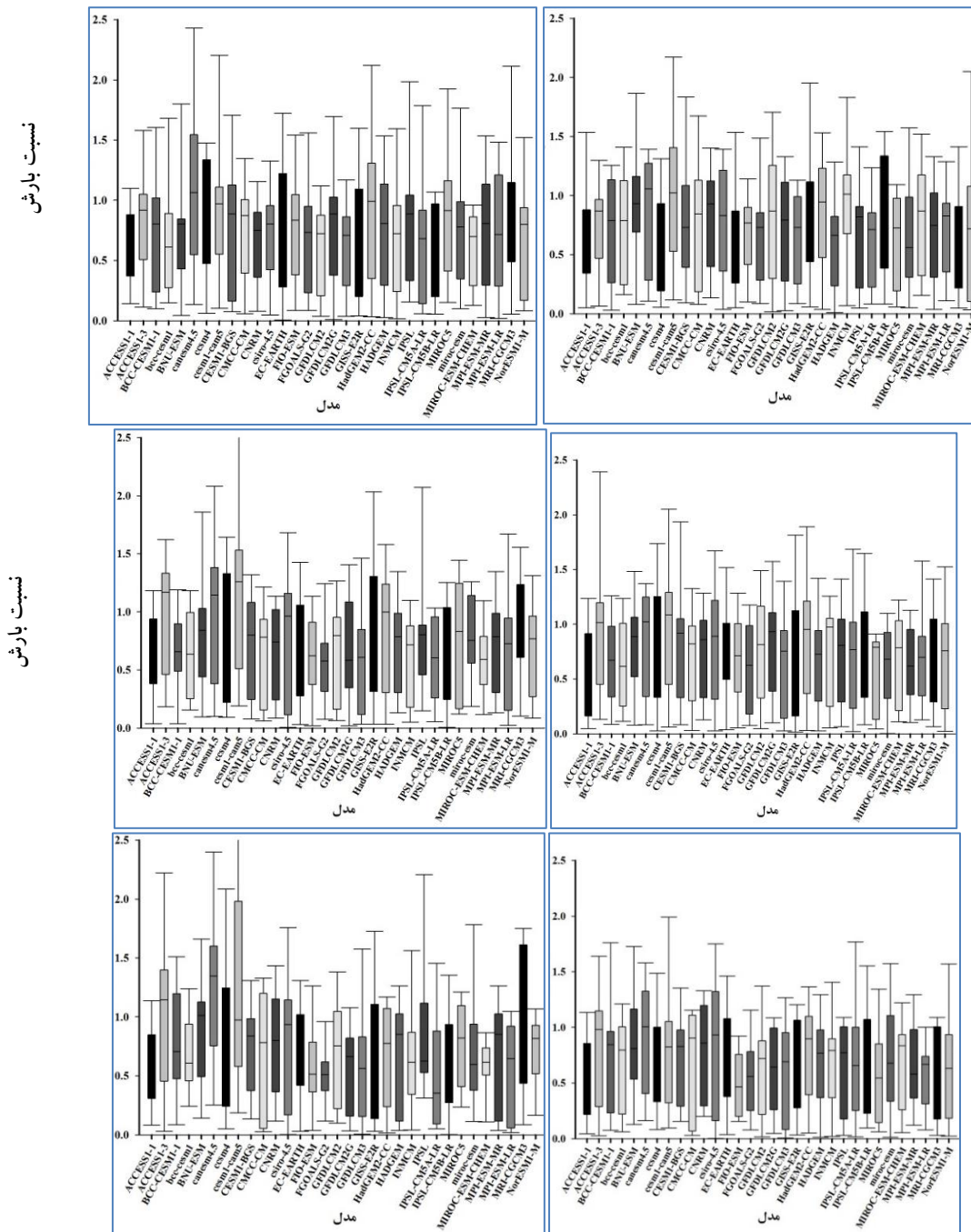
متغیر	مدل	RMSE	MAE	PBIAS
بارش	NorESM1-M	۰/۰۹۱	۰/۰۰۷	۱/۴۰۱
	HADGEM2-CC	۰/۰۹۵	۰/۰۲۳	۴/۷۷۴
	GFDL-ESM2G	۰/۰۹۸	۰/۰۱۵	۲/۹۸۸
دمای بیشینه	GISS-E2-R	۰/۰۹۱	۰/۰۰۷	۱/۴۰۱
	ACCESS1	۰/۰۹۵	۰/۰۲۳	۴/۷۷۴
	CSIROMK3.6	۰/۰۹۸	۰/۰۱۵	۲/۹۸۸
دمای کمینه	CSIROMK3.6	۰/۰۷۸	۰/۰۶۸	۸/۸۸۹
	GISS-E2-R	۰/۰۸۳	۰/۰۷۳	۹/۱۶۸
	MIROC-ESM	۰/۰۸۲	۰/۰۷۱	۹/۴۱۰

ماخذ: نگارندگان

عدم قطعیت مدل‌ها در برآورد بارش

بعد از مشخص شدن مقادیر دوره‌های آتی و دوره پایه، نسبت دوره آتی به پایه محاسبه شده و مبنای نتایج این پژوهش قرار گرفت. در این پژوهش برای نشان دادن قطعیت مدل‌ها از نمودار جعبه‌ای استفاده شد و نمودار جعبه‌ای برای استوار است که هرچه باکس نمودار جعبه‌ای در مدلی کوچک‌تر باشد قطعیت نتایج در آن مدل بیشتر است. شکل (۲) نمودار جعبه‌ای نسبت مقادیر بارش دوره‌های آتی به دوره پایه برای مدل‌های مختلف و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، برای دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۰، قطعیت مدل‌ها در سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵ بیشتر است. همچنین مدل BNU-ESM در همه اشکال دارای بیشترین قطعیت است و مدل cesm1-cam5 کمترین قطعیت را در بین مدل‌ها دارد. برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۰، قطعیت مدل‌ها در سناریو ۴/۵ برای همه مدل‌ها تقریباً یکسان است ولی در سناریو ۸/۵ تفاوت بین قطعیت مدل‌ها زیادتر است و مدل‌های bcc-cesm1 و canesm2 به ترتیب بیشترین و کمترین قطعیت را در برآورد بارش برای سناریو ۸/۵ دارند. برای دوره (۲۰۷۰-۲۱۰۰) باز هم قطعیت مدل‌ها در سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵

متفاوت‌تر است و این قطعیت برای سناریو ۴/۵ برای مدل MPI-ESM-MR و برای سناریو ۸/۵ برای دو مدل MIROC-ESM-CHEM و FGOALS-S-G2 نسبت به مدل‌های دیگر در وضعیت بهتری قرار دارد. همچنین مدل‌های cesm1-cam5 و cesm4 دارای نتایج با قطعیت پایین‌تری نسبت به مدل‌های دیگر هستند.

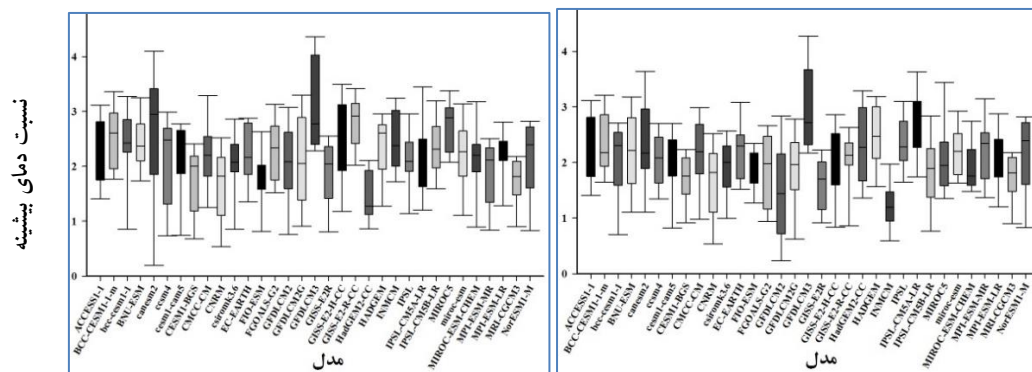


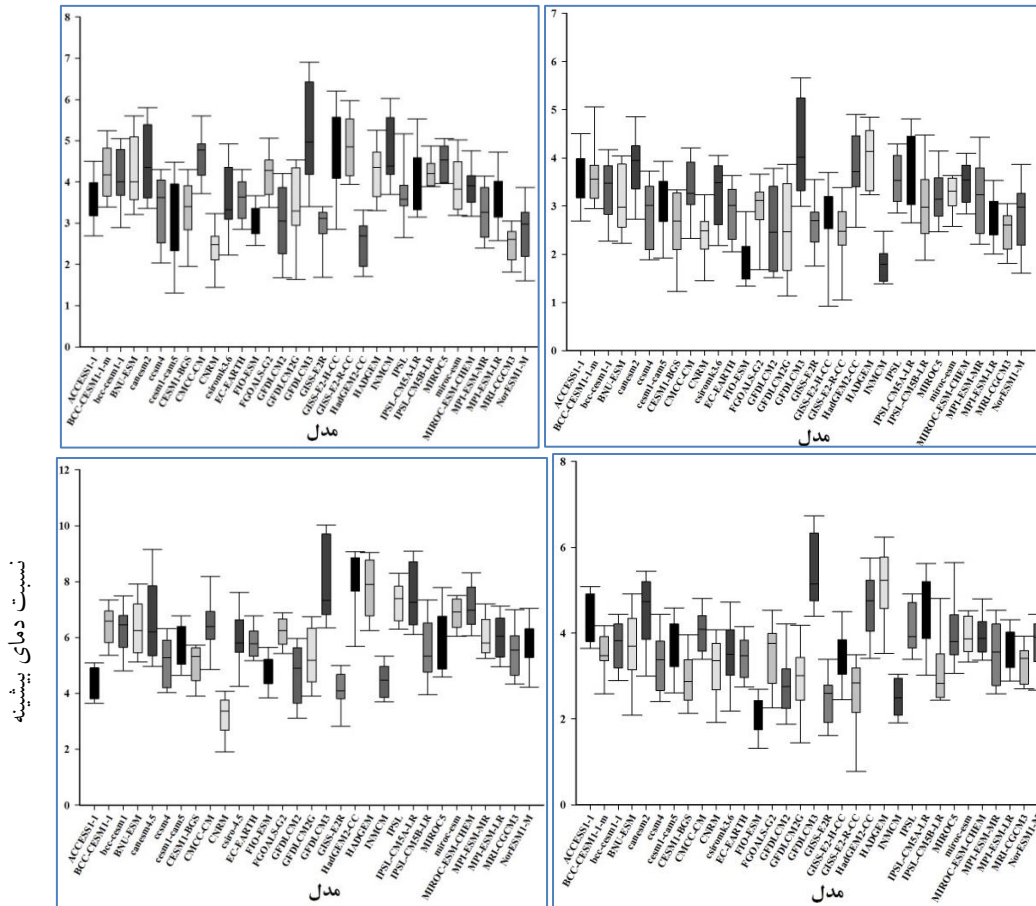
ماخذ: نگارندگان

شکل ۲: نمودار جعبه‌ای مقادیر نسبت بارش مدل‌های AOGCM دوره‌های آبی (۲۰۱۰-۲۰۴۰) در بالا، (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در وسط و (۲۱۰۰-۲۰۷۰) در پایین (شکل) به دوره پایه برای سناریو ۴/۵ (راست) و ۸/۵ (چپ) (۲۰۷۰) در پایین

عدم قطعیت مدل‌ها در برآورد دمای پیشینه

شکل (۳) نمودار جعبه‌ای نسبت مقادیر دمای پیشینه دوره‌های آتی به دوره پایه برای مدل‌های مختلف و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ را نشان می‌دهد. برای دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۴۰) و سناریو ۴/۵، مدل GISS-E2-R-CC دارای کوچک‌ترین باند و دارای بهترین قطعیت و برای سناریو ۸/۵ مدل‌های MPI-ESM-LR و MIROC-ESM-CHEM دارای قطعیت بهتری هستند. مدل‌های GFDLCM2 و GFDLCM3 و CANESM2 دارای پهنای باند جعبه‌ای بزرگ‌تر و قطعیت کمتر می‌باشند. برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و سناریو ۴/۵ بیشتر مدل‌ها دارای باند کوچک‌تر و وضعیت قطعیت بهتری قرار دارند که در این میان می‌شود از مدل MIROC-ESM و CNRM به‌عنوان مدل‌های با قطعیت خوب نام برد. ولی بدون شک می‌توان گفت دو مدل GFDLCM2G و GFDLCM3 دارای وضعیت ضعیف از نظر قطعیت می‌باشند. این وضعیت ضعیف عدم قطعیت برای سناریو ۸/۵ نیز وجود دارد با این تفاوت که مقادیر تغییرات دما دوره آتی نسبت به پایه تا حدود ۷ می‌رود. مدل GIS-E2-R و GFDLCM3 به ترتیب بهترین و کمترین قطعیت را در برآورد متغیر دما برای دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۷۰ دارند. بررسی عدم قطعیت در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ نشان می‌دهد که این دوره نسبت به دو دوره آتی دیگر دارای پهنای باند جعبه‌ای کوچک‌تر و قطعیت بیشتر است. در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰، بیشتر مدل‌ها دارای وضعیت یکسانی هستند ولی مدل GFDLCM3 دارای پهنای باند کمتر و قطعیت بیشتر برای هر دو سناریو و مدل‌های BCC-کمتر است.





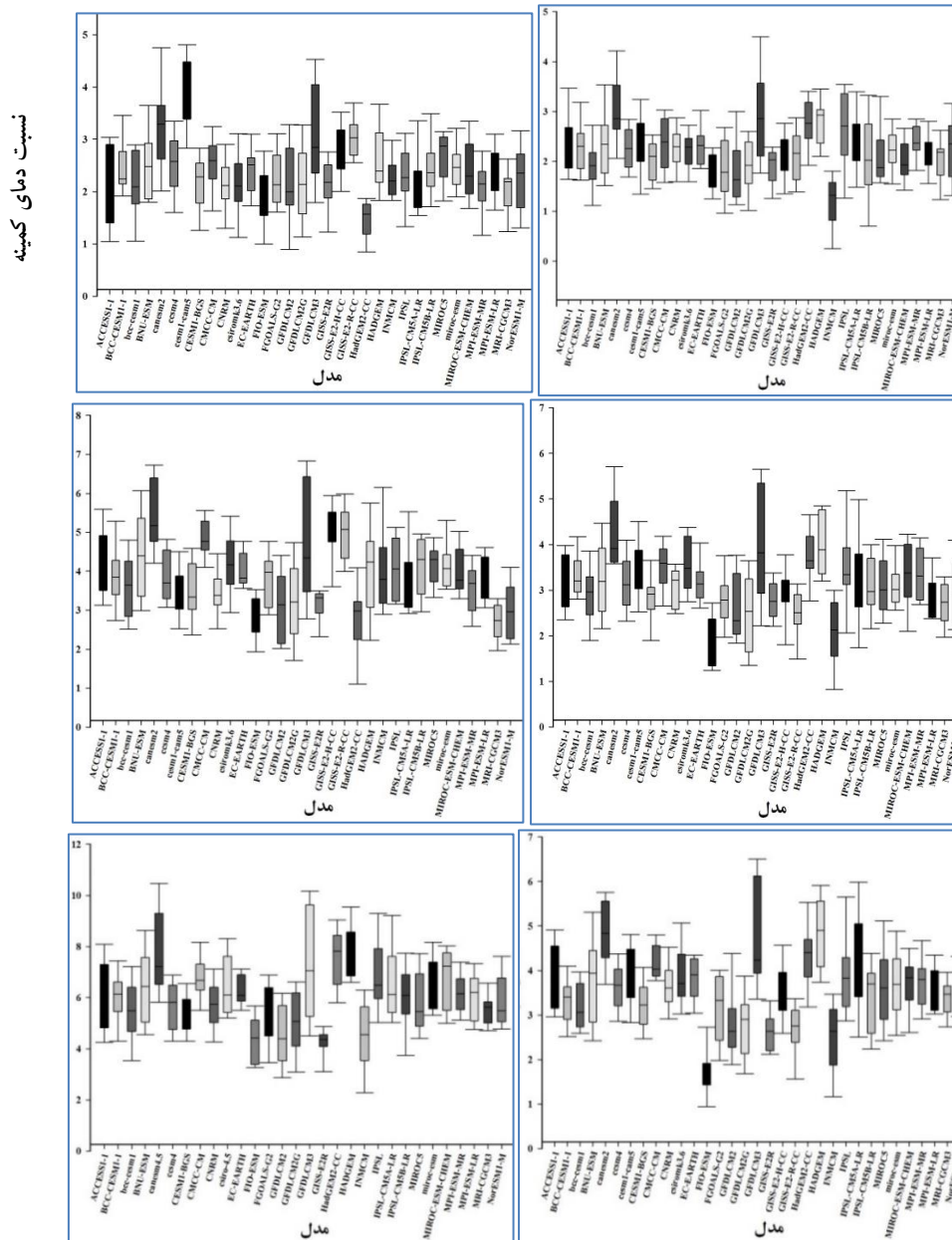
ماخذ: نگارندگان

شکل ۳: نمودار جعبه‌ای مقادیر نسبت دمای بیشینه مدل‌های AOGCM دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۴۰) در بالا، (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در وسط و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در پایین شکل) به دوره پایه برای سناریو ۴/۵ (راست) و ۸/۵ (چپ)

عدم قطعیت مدل‌ها در برآورد دمای کمینه

شکل (۴) نمودار جعبه‌ای نسبت مقادیر دمای کمینه دوره‌های آتی به دوره پایه برای مدل‌های مختلف و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ را نشان می‌دهد. برای دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۴۰) اندازه تغییرات دمای کمینه بین ۱ تا ۴ برای سناریو ۴/۵ و برای سناریو این مقادیر تغییرات تا ۸/۵ بالا می‌رود. نتایج نشان داد دامنه تغییرات دمای کمینه از دمای بیشینه کمتر و دارای قطعیت زیاد است. مدل GFDLCM3 برای هر دو سناریو دارای باند قطعیت بزرگ‌تر و عدم قطعیت بیشتر نسبت به سایر مدل‌هاست. برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۷۰ برای سناریو ۴/۵ و ۸/۵، مدل GFDLCM3 بزرگ‌ترین باند جعبه‌ای و کمترین قطعیت هستند با این تفاوت که برای سناریو ۴/۵ مدل GISS-E2-H-CC و برای سناریو ۸/۵ مدل GISS-E2-R دارای کوچک‌ترین باند قطعیت و قطعیت زیاد است. در سناریو ۴/۵ بیشتر مدل‌ها نسبت تغییرات ۲ تا ۴ و برای سناریو ۸/۵ بیشتر مدل‌ها نسبت تغییرات ۳ تا ۵ را برآورد می‌کنند. برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰، مدل‌های MRI-CGCM3 و GISS-E2-R و FIO-ESM دارای بهترین قطعیت و مدل GFDLCM3 دارای کمترین قطعیت و بزرگ‌ترین باند جعبه‌ای هستند. برای سناریو ۸/۵ نیز مدل‌های GISS-E2-R و MRI-CGCM3 دارای بهترین قطعیت است. اندازه

مقادیر تغییرات نسبت دوره آتی نسبت به پایه نیز برای سناریو ۴/۵ بین ۲ تا ۵ و برای سناریو ۸/۵ بین ۳ تا ۸ تغییر می‌کنند.



ماخذ: نگارندگان

شکل ۴: نمودار جعبه‌ای مقادیر نسبت دمای کمیته مدل‌های AOGCM دوره‌های آتی ((۲۰۱۰-۲۰۴۰) در بالا، (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در وسط و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در پایین شکل به دوره پایه برای سناریو ۴/۵ (راست) و ۸/۵ (چپ)

تفاوت مدل‌های تغییر اقلیم

برای مدل‌های تغییر اقلیم در دوره آتی ۲۰۲۵ (۲۰۱۰-۲۰۴۰) بیشترین تفاوت در ماه‌های آوریل و می اتفاق خواهد افتاد و برای این دو ماه نسبت بارش دوره آتی به دوره پایه بیشتر خواهد شد و در ماه‌های اوت و سپتامبر نیز اتفاق خاصی

نخواهد افتاد (جدول ۳). مقادیر متوسط سال نیز نشان می‌دهد که متوسط سال مقادیر تغییرات دوره آتی نسبت به پایه کمتر از یک می‌باشد و این نشان‌دهنده کاهش بارش برای دوره آتی نزدیک نسبت به دوره پایه است. برای دوره دوم ۲۰۵۵ (۲۰۷۰-۲۰۴۰) به جز در ماه‌های آوریل، می و اکتبر در بقیه ماه‌ها، کاهش دما نسبت به دوره پایه برآورد شده است و در مجموع نیز مقدار متوسط سال دوره آتی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. وجود مقدار ۰/۴۱ و ۱/۴۱ تفاوت نسبت به متوسط مقادیر نسبت‌ها نشان می‌دهد بین مدل‌ها تفاوت آشکاری در برآورد متغیر بارش وجود دارد که سبب می‌شود یک مدل ۶۰ درصد کمتر از مقدار متوسط و یک مدل ۴۱ درصد بیشتر از مقدار متوسط را برای یک ماه پر بارش مانند فوریه در آینده برآورد می‌کنند.

برای دوره آتی ۲۰۸۵ (۲۰۷۰-۲۱۰۰) مقادیر متوسط مدل‌ها نشان می‌دهد که به جز ماه‌های ژانویه، آوریل و می در بقیه ماه‌ها کاهش بارش نسبت به دوره پایه اتفاق می‌افتد. این جدول نیز مشخص کرد که در ماه فوریه در بعضی مدل‌ها، ۷۰ درصد کاهش نسبت به متوسط بارش مدل‌ها اتفاق می‌افتد و در مدل دیگر ۷۸ درصد بیشتر از متوسط بارش‌ها اتفاق می‌افتد. با اینکه متوسط سال نسبت در سناریو ۸/۵ از ۴/۵ بیشتر است ولی به دلیل اینکه در ماه‌های پر بارش فوریه تا می مقادیر بارش سناریو ۸/۵ از ۴/۵ کمتر است می‌توان بیان داشت که سناریو ۸/۵ میزان بارش کمتری نسبت به سناریو ۴/۵ برآورد می‌کند.

جدول (۴) نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات دمای بیشینه نسبت به دوره پایه برای دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۰) در ماه‌های گرم ژوئیه تا سپتامبر اتفاق می‌افتد که حدود ۲/۵ درجه می‌باشد که این تفاوت برای سناریو ۸/۵ بیشتر است. وجود مقادیر ۴ درصد برای سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۰ مدل یا مدل‌هایی وجود دارد که برآورد ۴ درصد افزایش دما در ماه‌های گرم سال را دارند. برای دوره آتی (۲۰۷۰-۲۰۴۰)، این مقادیر افزایش دما در سناریو ۸/۵ از ۶ تا ۷ درجه در ماه‌های ژوئن در بیشترین مقدار تا کمترین مقدار در ماه آوریل و می برای سناریو ۴/۵ که حدود ۱ درجه افزایش دما را برآورد می‌کنند متغیر است.

در دوره آتی (۲۰۷۰-۲۱۰۰) مقادیر متوسط تغییرات دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در ماه‌های مختلف سال از حدود ۲/۶۸ تا ۴/۲۶ برای سناریو ۴/۵ و از حدود ۵ تا حدود ۷ برای سناریو ۸/۵ تغییر می‌کند. وجود مقادیر ۱۰ و نزدیک به ده برای سه ماه ژوئیه تا سپتامبر برای سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد که مدل‌هایی وجود دارد که تا ۱۰ درجه افزایش دما را برای بعضی ماه‌های سال برآورد می‌کنند. البته وجود مقادیر ۳ و ۴ درجه در همین ماه‌ها مشخص می‌کند که در کنار این مدل‌های بیش برآورد، مدل‌های دیگری نیز وجود دارند که کمتر تخمین می‌زنند. نتایج، متوسط بیشترین مقدار تغییرات دمای بیشینه سال را برای سناریو ۸/۵ حدود ۸ درجه در مقابل ۵ درجه برای سناریو ۴/۵ نشان می‌دهد همچنین سناریو ۸/۵ در دوره‌های آتی نسبت به سناریو ۴/۵، تغییرات دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را خیلی بیشتر برآورد می‌کند.

جدول ۳: مقادیر حدی تغییرات بارش دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه برای ماه‌های مختلف سال

مقدار حدی	سناریو	دوره آبی	ماه میلادی												
			ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
متوسط	۴/۵	۲۰۲۵	۱/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۱/۱۱	۱/۵۵	۰/۶۵	۰/۲۶	۰/۱	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۷۶
		۲۰۵۵	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۸۷	۱/۱۲	۱/۵۱	۰/۵۶	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۷۹	۱/۰۲	۰/۸۴	۰/۷۵
		۲۰۷۵	۱/۰۲	۰/۸۸	۰/۸۳	۱/۰۵	۱/۴	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۶۶	۰/۹۳	۰/۷۹	۰/۷۱
	۸/۵	۲۰۲۵	۱/۰۱	۰/۸۸	۰/۸۶	۱/۰۹	۱/۷	۰/۶۸	۰/۳	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۸	۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۷۷
		۲۰۵۵	۱/۰۵	۰/۸۴	۰/۸۶	۱/۰۶	۱/۴۴	۰/۵۴	۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۷۵
		۲۰۷۵	۱/۰۳	۰/۸۲	۰/۸	۰/۹۹	۱/۳۷	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۸۱	۰/۷۵
حداقل مقدار	۴/۵	۲۰۲۵	۰/۷۷	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۵۸	۱/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۴	.	۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۵	۰/۵۴	۰/۶۱
		۲۰۵۵	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۸۴	۰/۰۶	۰/۰۴	.	.	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۵۳	۰/۵۵
		۲۰۷۵	۰/۷۳	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۰۲	.	.	۰/۱۹	۰/۴	۰/۴۱	۰/۵۱
	۸/۵	۲۰۲۵	۰/۷۸	۰/۵۲	۰/۶۷	۰/۷۹	۰/۸	۰/۰۹	۰/۰۶	.	.	۰/۳	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۶۲
		۲۰۵۵	۰/۷۴	۰/۴۱	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۰۲	.	.	۰/۳	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۵۷
		۲۰۷۵	۰/۴۷	۰/۳	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۳۶	۰/۰۶	.	.	.	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۵۱
حداکثر مقدار	۴/۵	۲۰۲۵	۱/۴۶	۱/۱۱	۱/۰۹	۱/۴۶	۲/۴۶	۱/۶۸	۰/۶۷	۰/۳	۰/۲۶	۲/۰۸	۱/۸۳	۱/۱۲	۱/۰۵
		۲۰۵۵	۱/۳۷	۱/۱۱	۱/۰۹	۱/۴۴	۲/۸۳	۱/۸۱	۱/۱۳	۰/۳۳	۰/۱۹	۱/۳۳	۱/۵۴	۱/۳۳	۱/۰۳
		۲۰۷۵	۱/۵	۱/۲۵	۱/۰۸	۱/۳۹	۲/۲۸	۱/۴۸	۰/۸	۰/۴۷	۰/۲۴	۱/۳۳	۱/۸۸	۱/۰۷	۰/۹۱
	۸/۵	۲۰۲۵	۱/۴۴	۱/۱۵	۱/۳۲	۱/۰۴	۲	۳/۲۳	۰/۹۸	۵/۲۷	۱/۰۷	۲/۲۲	۲/۷۷	۱/۴۳	۱/۵۵
		۲۰۵۵	۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۲۶	۱/۷	۲/۹۶	۱/۷۱	۱/۱۵	۰/۵۶	۰/۲۴	۱/۶۸	۱/۸۴	۱/۵۶	۱/۲
		۲۰۷۵	۱/۷۱	۱/۷۸	۱/۴۴	۱/۴۴	۲/۶۳	۲/۵۱	۱/۴۲	۰/۷۶	۰/۲۴	۲/۶۱	۱/۹۸	۱/۲۸	۱/۲۷

ماخذ: نگارندگان

جدول ۴: مقادیر حدی تغییرات دمای بیشینه دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه برای ماه‌های مختلف سال

مقدار حدی	سناریو	دوره آبی	ماه میلادی												
			ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
متوسط	۴/۵	۲۰۲۵	۱/۸۸	۲/۰۴	۱/۹۸	۱/۱۷	۱/۸۲	۲/۲۶	۲/۴۴	۲/۵۹	۲/۴۸	۲/۳۳	۱/۸۱	۱/۸۵	۲/۰۵
		۲۰۵۵	۲/۸۲	۲/۹۷	۲/۹	۲/۱۱	۲/۸۴	۲/۲۸	۲/۶۱	۳/۶۹	۳/۴۹	۳/۴	۲/۸۴	۲/۷۹	۳/۰۶
		۲۰۷۵	۳/۴	۳/۵۲	۳/۵۱	۲/۶۸	۳/۴۸	۳/۹۱	۳/۲۶	۴/۲۲	۴/۲۴	۳/۸۹	۳/۲۹	۳/۲۴	۳/۶۲
	۸/۵	۲۰۲۵	۲/۰۴	۲/۳۳	۲/۱۹	۱/۳۲	۱/۹	۲/۴	۲/۷	۲/۸۹	۲/۷	۲/۴۹	۱/۸۹	۲/۰۲	۲/۲۲
		۲۰۵۵	۳/۴۷	۳/۶۱	۳/۶۴	۲/۸۵	۳/۷۱	۴/۰۷	۴/۴۹	۴/۶۲	۴/۴۴	۴/۰۹	۳/۵	۳/۴۹	۳/۸۳
		۲۰۷۵	۵/۲۷	۵/۵۵	۵/۶۵	۴/۸۳	۵/۹	۶/۳۶	۶/۸	۶/۹۵	۶/۶۷	۶/۲۶	۵/۶۱	۵/۵۲	۵/۹۵
حداقل مقدار	۴/۵	۲۰۲۵	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۳	۰/۷۸	۱/۳۵	۱/۴۳	۱/۳۷	۰/۶۵	۱/۱۸	۰/۱۴	۰/۹۹	۱/۲۲
		۲۰۵۵	۱/۰۴	۱/۳۵	۱/۵۸	۰/۶۶	۱/۱	۱/۸	۱/۸۵	۲/۵	۱/۶۱	۱/۶۷	۱/۳۸	۱/۵۶	۱/۸۱
		۲۰۷۵	۱/۸۴	۱/۸۸	۲/۱۶	۰/۳۷	۱/۹۶	۱/۷۴	۲/۰۶	۱/۹۵	۲/۶۶	۱/۹۱	۱/۷۶	۱/۴۶	۲/۰۳
	۸/۵	۲۰۲۵	۰/۳۷	۱	۱/۱۷	۰/۰۸	۰/۴۷	۱/۱۹	۱/۵۸	۱/۹۸	۱/۱۱	۱/۴۹	۰/۶۸	۰/۸۶	۱/۴۶
		۲۰۵۵	۱/۶۹	۱/۷۳	۱/۹۱	۰/۹۱	۲/۲۲	۲/۶۷	۲/۳۴	۳/۰۶	۲/۶۳	۲/۶۲	۱/۶۶	۱/۹۲	۲/۴۱
		۲۰۷۵	۲/۵۹	۲/۸	۲/۶۵	۱/۶۳	۳/۶	۴/۱۱	۳/۶۳	۴/۰۲	۳/۸	۳/۲۸	۲/۹۵	۳/۴۵	۳/۲۱
حداکثر مقدار	۴/۵	۲۰۲۵	۲/۶۷	۳/۰۴	۳/۳	۲/۲۷	۲/۷۶	۳/۶۲	۳/۶۹	۴/۱۶	۴/۳۲	۴/۳۶	۳/۸۶	۲/۷	۲/۹۷
		۲۰۵۵	۴/۵	۴/۲۸	۵/۱۱	۴/۹۳	۳/۳۵	۴/۰۵	۵/۲۹	۵/۷۸	۵/۳۹	۵/۱	۴/۹۴	۴/۵۶	۳/۸۸
		۲۰۷۵	۵/۲۴	۵/۳۱	۴/۹۵	۴/۵۲	۴/۹۳	۶/۷۵	۶/۴۶	۶/۶۹	۶/۹۴	۵/۹۴	۵/۶۹	۵/۱۷	۵/۴
	۸/۵	۲۰۲۵	۳/۱۱	۳/۳۷	۳/۰۸	۲/۶۲	۳/۴۹	۳/۸۵	۴/۴۲	۴/۰۹	۴/۲۴	۴/۲۸	۲/۸۷	۳/۲۴	۳/۱۳
		۲۰۵۵	۵/۱۱	۵/۲۳	۵/۱۴	۴/۴۱	۴/۸۵	۶/۰۶	۶/۹۶	۶/۵۵	۶/۷۷	۵/۸۲	۶/۰۷	۴/۸۵	۵/۱
		۲۰۷۵	۷/۵	۸/۵۶	۷/۸۷	۷/۵۵	۸/۱۸	۹/۷۱	۹/۹۴	۱۰/۱	۹/۶۸	۸/۸۲	۸/۳۳	۷/۸۳	۸/۰۴

ماخذ: نگارندگان

جدول (۵) مقادیر حدی نسبت تغییرات دمای کمینه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه را برای ماه‌های سال نشان می‌دهد. بر طبق این جدول، بیشترین افزایش تغییرات برای دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۰) در ماه سپتامبر است که متوسط بالای ۳ درجه افزایش دما نسبت به دوره پایه در آن برآورد شده است. با این وجود مدل‌هایی وجود داشت که ۵ درجه افزایش را نسبت به دوره پایه در ماه اکتبر برآورد می‌کنند. البته کمترین افزایش نسبت به دوره پایه نیز در ماه‌های آوریل و می اتفاق می‌افتد. این جدول همچنین نشان می‌دهد که سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵ افزایش بیشتری از تغییرات دمای کمینه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه برآورد می‌کند. برای دوره (۲۰۷۰-۲۰۴۰) برخلاف دمای بیشینه که متوسط مقادیر نسبت‌ها به ۵ درجه سانتی‌گراد نرسیده بود برای دمای کمینه و در ماه‌های اوت و سپتامبر به‌طور متوسط حدود ۵ درجه افزایش در دوره آتی نسبت به دوره پایه برآورد شده است. این امر به نحوی است که در کل مدل‌ها، نیز حدود ۴ درجه در کل ماه‌های سال، افزایش دما نسبت به دوره پایه اتفاق خواهد افتاد. در بین ماه‌های سال، ماه‌های ژوئیه تا نوامبر حدود ۶/۵ تا ۷ درجه بیشتر از دوره پایه است و این نشان‌دهنده روند افزایش دما در دوره‌های آتی دور است. با این وجود مقادیر نسبت ۹ تا ۱۰/۷ برای چهار ماه ژوئن تا اکتبر نشان می‌دهد مدل یا مدل‌هایی وجود دارد که پیش‌بینی افزایش دمای بسیار زیادی نسبت به پایه دارند. در مقابل این ماه‌های بیش برآورد تغییرات دمای کمینه، ماه‌های دیگری مانند آوریل وجود دارد که افزایش تخمین ۰/۷۸ نسبت به دوره پایه را دارند که مقدار بسیار کمی برای دوره آتی دور است.

جدول ۵: مقادیر حدی تغییرات دمای کمینه دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه برای ماه‌های مختلف

متوسط سال	ماه میلادی												دوره آتی	سناریو	مقادیر حدی
	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه			
۲/۲۲	۲/۰۵	۲/۲	۲/۵۲	۲/۹۷	۲/۶۳	۲/۲۵	۲/۱۲	۲/۰۱	۱/۵۸	۲/۱۷	۲/۰۲	۲/۰۶	۲۰۲۵	۴/۵	متوسط
۳/۱۱	۲/۷۶	۳/۱	۳/۵۶	۴/۰۱	۳/۷۲	۳/۳۶	۳/۰۹	۲/۹۵	۲/۵	۲/۹۶	۲/۶۴	۲/۶۹	۲۰۵۵		
۴/۵۸	۳/۰۳	۳/۵	۳/۹۵	۴/۵۶	۴/۲۴	۳/۹۳	۳/۷۱	۳/۴۲	۲/۹۴	۳/۴	۳/۱۱	۳/۱۳	۲۰۷۵		
۲/۴۲	۲/۱۷	۲/۳۴	۲/۷۴	۳/۲۵	۲/۹۴	۲/۵۲	۲/۳۵	۲/۳۴	۱/۸۱	۲/۳۷	۲/۱۱	۲/۰۹	۲۰۲۵	۸/۵	
۳/۹۴	۳/۴۵	۳/۸۴	۴/۳۹	۵/۱۱	۴/۸۲	۴/۳	۴/۰۴	۳/۸۴	۳/۲۳	۳/۶۷	۳/۲۷	۳/۳۶	۲۰۵۵		
۶/۰۳	۵/۲۲	۵/۸۸	۶/۸۲	۷/۵۹	۷/۴۲	۶/۷۵	۶/۳۲	۶/۰۶	۵/۰۳	۵/۴۹	۴/۹۳	۴/۸۷	۲۰۷۵		
۱/۱۷	-۰/۷۹	۱/۱۶	-۰/۳۴	۱/۸۹	۱/۶	۱/۲۷	۱/۴	-۰/۵	-۰/۸۳	۱/۲۶	-۰/۲۱	۱/۱۲	۲۰۲۵	۴/۵	حداقل مقدار
۱/۸۵	۱/۳۴	۱/۳۱	۱/۵۹	۲/۵۴	۲/۷۳	۲	۱/۷۲	۱/۴۱	۱/۳۴	-۰/۶۲	۱/۲۹	۱/۲۱	۲۰۵۵		
۱/۷۲	۱/۴۳	۱/۷۸	۲/۰۹	۳	۱/۷۲	۱/۷۹	۱/۷	۱/۹۶	-۰/۷۸	۱/۱۴	۱/۲۱	۱/۴۳	۲۰۷۵		
۱/۴۹	۱/۴	-۰/۷۲	۱/۷۹	۱/۵۳	۱/۸۹	۱/۶۸	۱/۲۸	۱/۱۱	-۰/۸۷	۱/۱	-۰/۷۳	۱	۲۰۲۵	۸/۵	
۲/۷۷	۲/۳۷	۲/۰۶	۳/۱۳	۳/۳۱	۲/۹۸	۲/۹۶	۲/۸۳	۲/۶۸	۲	۱/۶۱	-۰/۹	۱/۵۵	۲۰۵۵		
۴/۲۶	۳/۴۶	۳/۴۸	۴/۹۴	۴/۵۵	۴/۳	۴/۵۵	۴/۳۲	۳/۹۱	۲/۷۶	۳/۶۵	۱/۸۴	۲/۶	۲۰۷۵		
۳	۳/۴۸	۳/۶۵	۴/۴۶	۴/۶۲	۴/۲۱	۳/۶	۳/۴۷	۲/۸۶	۲/۲۳	۳/۲۳	۳/۰۲	۳/۳۲	۲۰۲۵	۴/۵	حداکثر مقدار
۴/۲۴	۳/۸۹	۵/۲۵	۵/۹	۵/۶۸	۵/۵۳	۵/۶۱	۴/۷۹	۴/۰۷	۳/۷۹	۴/۳۱	۴/۱	۴/۲۲	۲۰۵۵		
۴/۸۵	۴/۵۸	۵/۴۹	۵/۶۵	۶/۱۶	۶/۶۱	۶/۲۶	۶/۰۴	۴/۸۵	۴/۱۷	۴/۵۹	۴/۴۳	۴/۷۸	۲۰۷۵		
۳/۹	۳/۶۲	۴/۰۸	۵/۰۵	۴/۹۳	۴/۴۷	۴/۴	۴/۴۸	۳/۶۶	۲/۹۸	۳/۷۴	۳/۳	۳/۴۶	۲۰۲۵	۸/۵	
۵/۴۲	۵/۷۱	۶/۴۹	۶/۴۸	۶/۹۱	۶/۶۴	۶/۶۳	۵/۸۱	۴/۹۵	۴/۵۱	۵/۴۳	۵/۳۶	۴/۸۹	۲۰۵۵		
۷/۸	۷/۹۳	۸/۵۴	۹/۹۷	۱۰/۷	۱۰/۲	۹/۸۲	۹/۰۳	۷/۹۷	۶/۷۳	۷/۹۱	۷/۰۵	۶/۹۴	۲۰۷۵		

مأخذ: نگارندگان

نتیجه گیری

مدل های تغییر اقلیم، متغیرهای هواشناسی را برای دوره های آتی به کمک سناریوهای انتشار برآورد می کنند. این مدل ها نتایج متفاوتی در مورد متغیرهای هواشناسی برای نقاط مختلف ارائه می نمایند. نتایج این پژوهش نشان داد که قطعیت مدل ها برای برآورد دمای کمینه و دمای بیشینه نسبت به بارش بیشتر است و در مورد بارش، مدل ها تقریباً قطعیت یکسانی دارند. مدل CESM1-CAM5 و CANESM2 دارای باند جعبه ای بزرگ و قطعیت کم و مدل های -BNU-ESM و MIROC-ESM-CHEM دارای قطعیت بهتری نسبت به بقیه مدل ها هستند. در مورد دمای کمینه و دمای بیشینه، مدل ها سری GFDL کمترین قطعیت و سری GISS-E2 دارای بهترین قطعیت می باشند. روند تغییرات بارش در ماه های مختلف سال و در طی دوره های آتی نشان داد که متوسط بارش از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش می یابد که البته تغییرات از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ ناچیز است و بیشتر بارش ها از ماه های زمستان به سمت ماه های بهار خواهد رفت. در بین ماه ها نیز ماه فوریه و آوریل بیشترین تفاوت انحراف نسبت به مقدار متوسط وجود دارد. روند تغییرات دمای کمینه و دمای بیشینه نشان می دهد که دما از دوره آتی نزدیک به سمت دوره آتی دور، متوسط افزایش از ۲ تا ۶ درجه خواهد داشت با این وجود بعضی مدل ها در چند ماه های سال برای سناریو ۸/۵ برآورد افزایش دمای ۱۰ درجه را برای دوره آتی دور داشتند. دمای کمینه نیز به طور متوسط نسبت به دمای بیشینه افزایش دما داشته است. ماه های گرم سال نیز بیشترین انحراف را نسبت به دوره پایه داشتند. وجود اختلاف ۱۰۰ درصد بیشتر و ۱۰۰ کمتر انحراف نسبت به مقدار متوسط مدل ها نشان داد بعضی مدل ها در بعضی از ماه های سال اختلاف زیادی وجود دارد و این امر لزوم انتخاب مدل مناسب و دارای دقت مناسب برای منطقه مورد مطالعه را بیشتر آشکار می کند. نتایج نشان داد که علاوه بر اینکه سناریو RCP 8.5 نسبت به سناریو RCP 4.5 متوسط تغییرات دمای بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان می دهد در این سناریو (RCP 8.5) انحراف مدل ها نسبت به مقدار متوسط نیز بیشتر است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۳۹۷/د/۱۳۹۹ مورخ ۱۳۹۷/۸/۲۸ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

منابع

- ۱- آشفته، پریسا سادات، مساح بوانی، علیرضا (۱۳۸۸): تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی. مجله دانش آب و خاک، دوره ۱ شماره ۱۹، صص ۸۵-۹۸.

- ۲- آشفته، پریسا سادات، مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۱): بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوضه قرقو، آذربایجان شرقی، مجله تحقیقات منابع آب، دوره ۸، شماره ۲، صص ۳۶-۴۷.
- ۳- انصاری، حسین، خدیوی، مهدی، صالح نیا، نسرین، بابائیان ایمان (۱۳۹۳): بررسی عدم قطعیت مدل LARS تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در پیش‌بینی بارش و دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۸، شماره ۴، صص ۶۶۴-۶۷۲.
- ۴- عباس نیا، محسن، طاووسی، تقی، خسروی، محمود، توروس، حسین (۱۳۹۵): تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای بیشینه روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۷، صص ۲۹-۴۳.
- ۵- قاسمی، الهه، فتاحی، ابراهیم، ام السلمه (۱۳۹۲): تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب با رویکرد عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، جلد ۴، شماره ۱۳، صص ۳۷-۵۳.
- ۶- هوشمند، دل آرام، خردادی، محمدجواد (۱۳۹۳): بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار در برآورد پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۱، صص ۷۷-۹۲.
- ۷- یعقوب زاده، مصطفی، امیرآبادی‌زاده، مهدی، رضانی، یوسف، پور رضا بیلندی، محسن (۱۳۹۶): بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو در برآورد رطوبت خاک تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۸، شماره ۵، صص ۱۱۰۹-۱۱۱۹.
- ۸- یعقوب زاده، مصطفی، رضانی، یوسف (۱۳۹۸): ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه بیرجند، مجله پژوهش اقلیم‌شناسی، دوره ۳۷، صص ۸۷-۱۰۰.
- 9- Bae, D_H., Jung, Il-W, And Lettenmaier, D.P. (2011): Hydrologic Uncertainties In Climate Change From IPCC AR4 GCM Simulations Of The Chungju Basin, Korea. *Journal Of Hydrology*, 401: 90-105.
- 10- Chen, J., Brissette, F.P., Poulin, A. And Leconte, R. (2011): Overall Uncertainty Study Of The Hydrological Impacts Of Climate Change For A Canadian Watershed. *Water Resource. Res.* 47, W12509. <https://doi.org/10.1029/2011wr010602>.
- 11- IPCC, (Intergovernmental Panel On Climate Change). (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.
- 12- Knutti, R. And Sedláček, J. (2013): Robustness And Uncertainties In The New CMIP 5 Climate Model Projections. *Nature Climate Change*. 3 (4): 369-373. <https://doi.org/10.1038/Nclimate1716>.
- 13- Minville, M., Brissette, F. And Leconte, R. (2008): Uncertainty Of The Impact Of Climate Change On The Hydrology Of A Nordic Watershed, *Journal Of Hydrolog*, 358 (2):70-83.
- 14- Prudhomme, C. And Davies, H. (2009): Assessing Uncertainties In Climate Change Impact Analyses On The River Flow Regimes In The UK. Part 2: Future Climate, *Climatic Change*, 93 (1-2): 197-222.
- 15- Samadi, Z., Sagareswar, 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.
- 16- Shen, M.; Chen, J. Zhuan, M. Hua Chen, H. Xu, CH. And Xiong. L. (2018): Estimating Uncertainty And Its Temporal Variation Related To Global Climate Models In Quantifying Climate Change Impacts On Hydrology, *Journal Of Hydrology*, 556: 10-24.
- 17- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... Rose, S.K., (2011): The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 109(1):5-31.

- 18- Teng, J., Vaze, J., Chiew, F.H.S., Wang, B. And Perraud, J.M. (2012): Estimating The Relative Uncertainties Sourced From Gcms And Hydrological Models In Modeling Climate Change Impact On Runoff, Journal Of Hydrometeorology, 13 (1): 122–139.
- 19- Zhang, H., Huang, G.H., Wang, D.L. And Zhang, X.D. (2011): Uncertainty Assessment Of Climate Change Impacts On The Hydrology Of Small Prairie Wetlands, Journal Of Hydrology, 396 (1–2): 94–103.