



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۹، زمستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۶۱-۷۶
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wme.2020.341365.1300

پژوهش‌های آب‌نخرداری

ارزیابی کارایی مدل گردش عمومی CanESM2 و مدل منطقه‌ای REMO به منظور پیش‌بینی تغییرات ویژگی‌های اقلیمی در آبخیز جازموریان

زهره ابراهیمی خوسفی

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

مریم میراکبری

دکترای تخصصی بیابان‌دایی، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: Zohrebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

تاریخ دریافت: 16 دی 1398 تاریخ پذیرش: 30 شهریور 1399

چکیده

گرم‌شدن سیاره‌ی زمین به دلیل افزایش تغییر در بارندگی و دما بر دست‌رسی به منابع آب، به ویژه در منطقه‌های خشک، اثری جدی دارد. مدل‌های اقلیمی گردش عمومی جو (GCM) و منطقه‌یی (RCM) ابزار اصلی ارزیابی تغییر ویژگی‌های اقلیمی در آینده است. متفاوت بودن تفکیک مکانی این مدل‌ها سبب اختلاف در نتیجه‌های ارزیابی تغییر ویژگی‌های اقلیمی می‌شود. از این رو در این پژوهش کارایی مدل بزرگ مقیاس CanESM2 و مدل منطقه‌یی REMO در آبخیز جازموریان با کاربرد معیارهای آماری ارزیابی شد. نتیجه‌ها نشان داد که مدل CanESM2 عمل کرد بهتری از مدل منطقه‌یی REMO برای پیش‌بینی ویژگی‌های اقلیمی دارد. شبیه‌سازی ویژگی‌های اقلیمی بر پایه‌ی مدل CanESM2 نشان داد که بارندگی در حالت‌های ممکن RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۱۹/۲۳، ۱۸/۵۵ و ۱۴/۵۵ میلی‌متر در ایستگاه ایرانشهر و در ایستگاه بم ۸/۳۱، ۱۰/۶۶ و ۱۵/۷۲ میلی‌متر نسبت به دوره‌ی مشاهده کاهش خواهد یافت. میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی دما در حالت‌های ممکن پژوهش نشان داد که دمای متوسط در ایستگاه ایرانشهر به ترتیب ۱/۵۷، ۲/۱۵ و ۳/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد و در ایستگاه بم ۱/۸۴، ۲/۳۱ و ۳/۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی مشاهده افزایش خواهد یافت. به طور کلی نتیجه‌های پیش‌بینی ویژگی‌های بارندگی و دمای متوسط در آبخیز جازموریان نشان داد که احتمال وقوع دوره‌های خشک طولانی‌تر در آینده نسبت به دوره‌ی مشاهده در این منطقه افزایش خواهد یافت. از این رو اطلاع از روند تغییر ویژگی‌های اقلیمی می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان در دادن راه‌کارهای لازم برای شرایط تغییر اقلیم آینده کمک کند.

واژگان کلیدی: جازموریان، روند تغییر، من - کندال، مدل بزرگ مقیاس، مدل منطقه‌یی

مقدمه

RCP8.5 است که براساس اندازه‌ی واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شدند (مصباح زاده و همکاران ۲۰۱۹). طبق گزارش IPCC اندازه‌ی واداشت تابشی در حالت ممکن RCP2.6 حالت کاهشی سخت‌گیرانه، در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسید، سپس کاهش یافت و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برطبق حالت‌های RCP4.5 و RCP6.0 که حالت‌های حد واسط است، اندازه‌ی واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌یی قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ و ۶ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. بر طبق RCP8.5 که حالت بدبینانه است، اندازه‌ی واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به ۸/۵ وات بر مترمربع خواهد رسید که در این زمان غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ پی پی ام رسیده است و هم‌چنان روند افزایش خواهد داشت (لی و همکاران ۲۰۱۷).

مدل‌های گردش عمومی جو شرایط پستی‌وبلندی، پوشش سطحی و اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، درحالی‌که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده‌ی پژوهشی کاملاً متفاوت است. از این‌رو کاربرد این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌یی و محلی به‌تنهایی مناسب نیست. در واقع پایین‌بودن تفکیک مکانی باعث می‌شود خروجی مدل برای بررسی تأثیر زیست‌محیطی تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌یی کاربردی نیست (گرین و همکاران ۲۰۱۱، گبرچوکاس و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین لازم است خروجی مدل‌های GCM ریزمقیاس شود. مهم‌ترین و مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد ارتباط بین مقیاس محلی/ منطقه‌یی و مقیاس مدل گردش عمومی جو، ریزمقیاس نمایی است. روش‌های متعددی برای ریزمقیاس نمایی^۷ داده شده است که نبودن هماهنگی بین مقیاس‌های جهانی و منطقه‌یی را در نظر می‌گیرند. روش آماری و پویایی (دینامیکی) از پرکاربردترین روش‌های ریزمقیاس نمایی مدل‌های بزرگ‌مقیاس GCM است. در روش پویایی مدل‌های گردش عمومی جو شرایط مرزی را برای مدل‌های ترکیبی با قدرت تجزیه‌ی مکانی فراوان فراهم می‌کند. در این روش معادلات حاکم بر بسته‌ی هوا در شبکه‌ی کوچک‌تری از مدل GCM با روش‌های تجزیه‌وتحلیل عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند. روش‌های آماری براساس رابطه‌ی خطی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی‌کننده) و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده، خروجی مدل GCM را ریزمقیاس می‌کنند. روش آماری در مقیاسه با پویایی مزیت‌ها و قابلیت‌های بیش‌تری دارد (تانگ و همکاران ۲۰۱۸). از متداول‌ترین روش‌های آماری

گرم‌شدن اقلیم کره‌ی زمین در چند دهه‌ی گذشته در مقیاس محلی، منطقه‌یی و جهانی اتفاق افتاده است (ریولی و گنگ ۲۰۱۳). شواهد مربوط به گرم‌شدن سیاره‌ی زمین نشان می‌دهد که با ابهامات در آن، هوای زمین دچار تغییر قابل‌توجهی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف شده است (ابراهیمی خوسفی و همکاران ۲۰۲۰ الف، طبری و همکاران ۲۰۱۱). در سال‌های اخیر، تأثیر این تغییر بر دمای کره‌ی زمین، سطح آب دریاها، منابع برف و یخ، اندازه و الگوی بارش، فعالیت چرخندها و سامانه‌های آب‌شناسی و فعالیت توفان‌های گردوغبار به اثبات رسیده است (ابراهیمی خوسفی و همکاران ۲۰۲۰ ب). طبق آخرین گزارش گروه میان‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)^۱ پیش‌بینی شده است تا پایان قرن ۲۱ دمای هوا در سطح جهانی از ۱/۸۱ تا ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (وانگ و همکاران ۲۰۱۳، دژالانتی ۲۰۱۹). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیمی نیاز به کاربرد مدل‌های اقلیمی در حالت‌های ممکن جدید منتشر شده با گروه میان‌دولتی تغییر اقلیم دارد. گروه میان‌دولتی تغییر اقلیم تاکنون چندین نسخه‌ی مدل اقلیمی در قالب گزارش‌های مختلف داده است که آخرین مجموعه، مدل‌های گزارش پنجم AR5^۲ است. در تهیه‌ی آخرین گزارش، برنامه‌ی درون مقیاسه‌یی مدل‌های جفت شده (CMIP۵)^۳ گروه تغییر اقلیم به‌کارگرفته شد (آقاخانی‌افشار و همکاران ۲۰۱۶). مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)^۴ و مدل‌های منطقه‌یی (RCM)^۵ مناسب‌ترین ابزارها برای پیش‌بینی‌های آینده‌ی متغیرهای اقلیمی است. این مدل‌ها ابزارهای اصلی شناسایی دلایل تغییرپذیری اقلیم و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در آینده است. این مدل‌ها سه‌بعدی است و قادر اند سامانه‌ی اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرایندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌یی شبیه‌سازی کنند. مجموعه‌یی از شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و برنامه‌ی‌های اقلیمی قرن ۲۱ در حالت‌های ممکن جدیدانتشار با عنوان نماینده‌ی خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌یی (RCP)^۶، مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند (وانگ و همکاران ۲۰۲۰). خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌یی، مسیرهای انتشار را براساس تصمیم‌های سیاسی که بر تحولات زمان انتشار گازهای گلخانه‌یی در آینده، ذرات معلق جو، کاربری زمین و پوشش گیاهی اثر گزار است، تولید می‌کند (ماوس و همکاران ۲۰۱۰). حالت‌های ممکن گزارش پنجم گروه میان-دولتی دارای چهار خط سیر کلیدی، RCP4.5، RCP6.0 و

- 1 -International Panel on Climate Change
- 2 -Fifth Assessment Report
- 3 -Coupled Model Intercomparison Project
- 4 -General Circulation Model
- 5 -Regional Climate Model
- 6 -Representative Concentration Pathway
- 7 -Downscaling

بر اساس پیش‌بینی‌های حاصل از پنج مدل GCM بین ۰/۲ تا ۳ درصد کاهش خواهد یافت. مقادیر دوره‌ی بازگشت بارندگی در آینده حاکی از کاهش احتمال وقوع بارندگی‌های بزرگ در منطقه است. تغییر ویژگی‌های اقلیمی بارندگی، دمای حداکثر و دمای حداقل در دشت جیرفت واقع در ناحیه غربی آبخیز جازموریان، با مدل اقلیمی HadCM3 در حالت‌های ممکن B1، A2 و A1B با برخوردی و همکاران (۲۰۱۸) بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که دمای حداکثر در آینده‌ی دور (۲۰۶۵-۲۰۴۰) ۲/۶، ۲، ۲/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و دمای حداقل ۲/۴، ۱/۸، ۲/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد به ترتیب در هر سه حالت افزایش خواهد یافت. میانگین بارندگی سالانه در دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۱۱) ۱۰، ۱۴ و ۲۰ میلی‌متر به ترتیب در حالت‌های ممکن B1، A2 و A1B افزایش خواهد یافت. در آینده‌ی دور (۲۰۶۰-۲۰۴۵) میانگین بارندگی به اندازه‌ی ۸، ۱۰ و ۱ میلی‌متر کاهش می‌یابد. نتیجه‌ی واقفی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که کشور ایران در دوره‌ی آماری ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۹ احتمالاً دوره‌های با دمای حداکثر شدیدتر را در نواحی جنوبی، دوره‌های خشک طولانی‌تر و دوره‌ی مرطوب را نسبت به دوره‌ی آماری ۲۰۰۴-۱۹۸۰ تجربه کند. رضایی و قاسمی (۲۰۱۹) تأثیر تغییر اقلیم را بر تغییرپذیری ویژگی‌های بارندگی و دمای ایستگاه‌های کاشان و خور و بیابانک استان اصفهان با کاربرد مدل HadCM3 در سه دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۰-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی کردند. برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل HadCM3 روش SDSM به‌کار گرفته شد. نتیجه‌ها نشان داد که دمای متوسط ۰/۴۲، ۱/۰۸ و ۲/۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سه دوره‌ی آماری بررسی افزایش خواهد یافت. در اکثر پژوهش‌های تغییر اقلیم مدل‌های بزرگ مقیاس GCM ارزیابی تغییر ویژگی‌های اقلیمی در آینده در شرایط افزایش دمای کره‌ی زمین به‌کار گرفته شده است (تانگ و همکاران ۲۰۱۸، مصباح‌زاده و همکاران ۲۰۱۹، دژالانته ۲۰۱۹). در حالی که انتظار می‌رود مدل‌های منطقه‌ی به‌دلیل دارا بودن تفکیک مکانی زیادتر کارایی بیشتری از مدل‌های GCM دارند. به‌دلیل متفاوت بودن شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه‌های مختلف ارزیابی کارایی این مدل‌ها در پیش‌بینی تغییر اقلیمی آینده ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو در این پژوهش کارایی دو مدل CanESM2 و REMO به‌ترتیب همچون مدل‌های GCM و منطقه‌ی در آبخیز جازموریان ارزیابی شد تا در نهایت بتوان براساس بهترین مدل تغییر اقلیم را برای آینده‌ی این آبخیز کشور پیش‌بینی کرد.

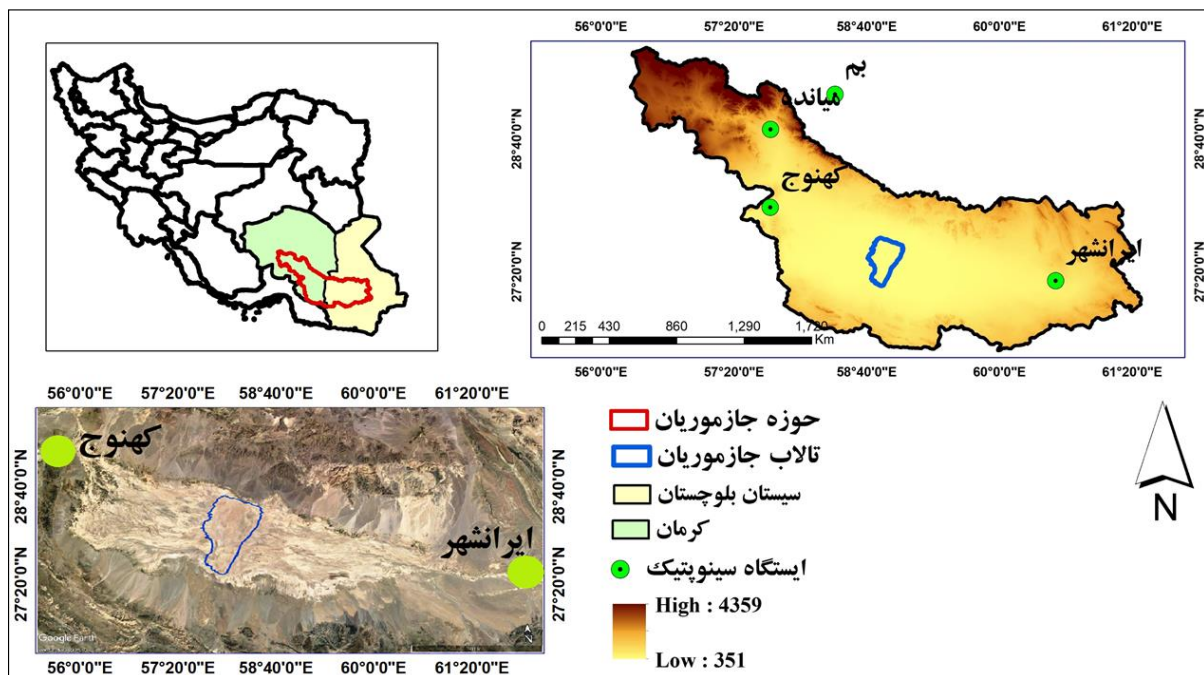
SDSM^۸ است که در این مطالعه برای ریزمقیاس کردن از مدل GCM بهره‌گرفته شد.

مدل‌های منطقه‌ی براساس داده‌های منطقه‌ی ریزمقیاس شده، تغییر اقلیمی آینده را پیش‌بینی می‌کنند. یکی از پایگاه داده‌های استخراج این مدل‌ها CORDEX است. CORDEX با کاربرد هر دو روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و پویا برای به‌دست آوردن متغیرهای اقلیمی منطقه‌ی از مدل‌های بزرگ مقیاس (GCM) بهره می‌گیرد (ژنزا ۲۰۱۴). پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی بررسی تغییر ویژگی‌های اقلیمی در آینده در ایران و سطح جهان انجام شده است که نتیجه‌های حاصل حاکی از افزایش دمای کره‌ی زمین است. بررسی تغییر اقلیم بر بارندگی، دما و تبخیر-تعرق ظرفیت استان مازندران با داده‌های گزارش پنجم و مدل HadCM3 (کلانکی و کاراندیش ۲۰۱۵) نشان داد که دمای حداقل و حداکثر در دوره‌ی ۲۱۰۰-۱۹۸۱ افزایش معنی‌داری خواهد داشت که این افزایش تأثیر مستقیم بر تبخیر-تعرق این منطقه خواهد گذاشت. در جهان‌بخش اصل و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با دو مدل HadCM3 و MPEH5 براساس داده‌های گزارش چهارم در حالت‌های ممکن A2، A1B و B1 بررسی شد. براساس معیارهای ارزیابی آماری در نهایت برای شبیه‌سازی بارش از مدل HadCM3 در حالت A1B و برای شبیه‌سازی دما از مدل MPEH5 در حالت A2 به‌کاربرده شد. نتیجه‌های شبیه‌سازی نشان داد بارش در دوره‌ی آینده ۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت، در حالی که، دمای حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۰/۸۷ درجه افزایش خواهد داشت. غلامی و همکاران (۲۰۱۶) تغییر اقلیمی آینده‌ی حوزه‌ی تالار مازندران را با کاربرد مدل HadCM3 براساس حالت‌های A2، A1B2 و B1 پیش‌بینی کردند. بیش‌ترین تغییر بارندگی در ماه‌های می و اکتبر و کم‌ترین تغییر در ماه‌های جولای و آگوست در آینده وقوع خواهد یافت. ویژگی دما در ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر دارای بیش‌ترین تغییر در آینده خواهد بود. المزرعی و همکاران (۲۰۱۷) بی‌قطعیتی در تغییر دما و بارندگی شبیه‌سازی شده با کاربرد مدل‌های گزارش پنجم در حالت‌های ممکن RCP4.5 و RCP8.5 را در عربستان بررسی کردند. نتیجه‌های این بررسی نشان داد که بارندگی در برخی از نقاط عربستان روند افزایشی و در برخی دیگر روند کاهشی خواهد داشت در حالی که دما در کل منطقه روند افزایشی دارد. مدرس و همکاران (۲۰۱۸) تغییر مقادیر حدی بارندگی را در آینده با کاربرد شش مدل GCM در شمال ایران بررسی کردند. نتیجه‌های این مطالعه نشان داد بارندگی حدی در این منطقه

مواد و روش‌ها

آبخیز جازموریان در جنوب شرق ایران است. در بخش انتهایی این آبخیز، تالاب بین‌المللی جازموریان با مساحتی معادل ۱۰۸۲ کیلومتر مربع در محدوده‌ی جغرافیایی ۲۷° ۹' تا ۲۷° ۴۰' عرض شمالی و ۵۸° ۳۴' تا ۵۹° ۹' طول شرقی و میان استان‌های سیستان بلوچستان و کرمان واقع شده است (شکل ۱). به‌طور کلی ۹۱ رودخانه‌ی کوچک و بزرگ دائمی و فصلی در این آبخیز جریان دارد که بخش عمده‌ی آن از حوزه‌ی رودخانه‌ی هلیل رود و بمپور را زه‌کشی می‌کند و در انتها به

تالاب جازموریان می‌ریزد. میانگین بارندگی سالانه در دوره‌ی آماری ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ در نواحی مرتفع شمالی ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر، در نواحی شرقی بیش از ۱۵۰ میلی‌متر و در نواحی جنوب غربی کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد (لطفی‌نسباصل و همکاران ۲۰۱۸). بر اساس داده‌های بلندمدت هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های هم‌دید در این آبخیز (۲۰۱۸-۱۹۶۴)، میانگین بارندگی ۱۰۵/۷ میلی‌متر و دمای متوسط ۲۷/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. میانگین تبخیر سالانه بین ۱۳۰۰ تا ۳۷۵۰ میلی‌متر متغیر است.



شکل ۱- موقعیت آبخیز جازموریان در ایران و پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های هم‌دید اطراف آن.

بمعیار شده است که برای هر خانه تهیه شده است. این مدل، نسل دوم مدل کانادایی سامانه‌ی زمین است که با CCCma⁹ داده شده است. داده‌های مدل منطقه‌ی REMO با تفکیک مکانی ۰/۲۲ درجه (تقریباً ۲۵ کیلومتر)، از پایگاه داده‌ی CORDEX (ftp://cccr.tropmet.res.in/iRODS_DATA/CORDEX-Data/REMO2009)¹⁰ استخراج شد. CORDEX شامل بیش از ۲۰ گروه مدل منطقه‌ی در سرتاسر جهان است. مدل‌های منطقه‌ی دارای وضوح بیشتر از مدل‌های GCM است که حاصل ریزمقیاس‌نمایی مجموعه‌ی مدل‌های CMIP5

برای ارزیابی کارایی دو مدل CanESM2 و REMO در آبخیز جازموریان داده‌های روزانه‌ی بارندگی و دمای متوسط ایستگاه‌های هم‌دید ایران‌شهر (۲۰۱۸-۱۹۶۴)، کهنوج (۲۰۱۸-۱۹۸۵)، بزم (۲۰۱۸-۱۹۷۹) و میانده‌ی جیرفت (۲۰۱۸-۱۹۸۷) از سازمان هواشناسی در دوره‌ی آماری مربوطه گرفته شد. داده‌های روزانه‌ی مدل CanESM2 و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی NCEP و مدل REMO برای سه حالت RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 براساس طول و عرض جغرافیایی برای هر ایستگاه استخراج شد. داده‌های CanESM2 مجموعه‌های زمانی روزانه‌ی بلندمدت

9 -Canadian Center for Climate Modeling and Analysis

10 -Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2} \quad 2$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2}} \quad 3$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})(y_{mod} - \bar{y}_{mod})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (y_{mod} - \bar{y}_{mod})^2}} \right]^2 \quad 4$$

$$NRMSE = \left(\frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}}{T} \right) / (x_{obs,max} - x_{obs,min}) \quad 5$$

x_{obs} داده‌های مشاهده، \bar{x}_{obs} میانگین داده‌های مشاهده، $x_{obs,max}$ حداکثر مقدار داده‌های مشاهده، $x_{obs,min}$ حداقل مقدار داده‌های مشاهده، y_{obs} داده‌های ریزمقیاس‌شده، \bar{y}_{obs} میانگین مقادیر ریزمقیاس‌شده و T تعداد مشاهده‌ها است.

پس از ارزیابی مدل، ضرایب معادله‌ی که در مرحله‌ی واسنجی تعیین شد برای تولید حالت ممکن و شبیه‌سازی آینده به‌کاربرده شد. در این مرحله برای تولید داده متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی بزرگ مقیاس یا مدل CanESM2 به‌کاربرده شد.

ابتدا خودهم‌بستگی بین ویژگی‌های اقلیمی با روش پیش سفید کردن^{۱۱} (وان استوچ ۱۹۹۹) حذف شد. پس از اطمینان از نبودن خودهم‌بستگی بین داده‌ها با آزمون فیلیپس پرون^{۱۲} ($pvalue < 0.05$)، آزمون من-کندال روی مقادیر بارندگی و دمای متوسط بدون روند اعمال شد. این آزمون ابتدا با من (من ۱۹۴۵) ارائه و سپس با کندال (کندال ۱۹۷۵) بر پایه‌ی رتبه‌ی داده‌ها در یک مجموعه‌ی زمانی بسط و توسعه داده شد. آزمون من-کندال روش ناپویژگی دانسته‌می‌شود که به‌طور متداول و گسترده‌ی در تحلیل روند سری‌های آب‌شناسی و هواشناسی به‌کار گرفته شده است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد

با کاربرد برنامه‌ی تحقیقات جهانی آب‌وهوا (WCRP) و کمیته‌ی ریزمقیاس‌نمایی منطقه‌ی بین‌المللی است (ژاکوب و همکاران ۲۰۱۲).

روش SDSM روش آماری ریزمقیاس‌نمایی است که برای ایجاد رابطه‌ی کمی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس / مدل گردش عمومی جو و متغیرهای مشاهده ریزمقیاس (محلی / منطقه‌ی) برای ریزمقیاس‌کردن مدل CanESM2 به‌کاربرده می‌شود. روش SDSM ترکیب دو روش وایزای خطی چندگانه و مولد آب‌وهوایی آماری است (گبرمسکال و همکاران ۲۰۰۴). این روش دارای چهار بخش اصلی است که شامل تعیین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، واسنجی مدل، صحت‌سنجی مدل و شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در حالت‌های ممکن گزارش پنجم برای دوره‌ی آینده است. داده‌های مدل CanESM2 در دوره‌ی پایه‌ی هر ایستگاه (۲۰۱۸-۱۹۴۶) و در دوره‌ی آینده از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ براساس ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده با کاربرد روش SDSM ریزمقیاس شد.

برای مدل‌سازی داده‌های اقلیمی، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی NCEP و مدل اقلیمی CanESM2 که ارتباط منطقی و مناسبی با ویژگی‌های اقلیمی مشاهده دارند، انتخاب شدند. این متغیرها براساس ضریب هم‌بستگی بین داده‌های مشاهده و ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده تعیین شدند.

واسنجی مدل برای تعیین ضریب‌های معادله‌ی ارتباط متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی منتخب و مشاهده انجام شد. ۷۰٪ از داده‌های مشاهده برای تعیین این ضریب‌ها در نظر گرفته شد. مرحله‌ی صحت‌سنجی برای ۳۰٪ باقی با کاربرد ضریب‌های معادلات حاصل از ارتباط بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی منتخب و داده‌های مشاهده انجام شد.

کارایی مدل‌های اقلیمی در ایستگاه‌های پژوهشی با کاربرد معیارهای ضریب تبیین (R^2)، درصد ضریب اریبی (PBIAS)، ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)، جذر نسبت بمعیار (RSR)، و مجذور مربعات خطای بهنجار شده (NRMSE) برای ویژگی‌های دمای متوسط و بارندگی بررسی شد. براساس این معیارها مدلی دارای کارایی مناسب برای بررسی تغییر اقلیمی است که دارای ضریب تبیین $R^2 \geq 0.6$ ، درصد ضریب اریبی $-25 \leq PBIAS \leq 15$ ، ضریب ناش-ساتکلیف $NS \geq 0.5$ و جذر نسبت بمعیار $RSR \geq 0.6$ باشد (روابط ۱ تا ۵) (آقاخانی افشار و همکاران ۲۰۱۶).

$$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})}{\sum_{t=1}^T x_{obs}} * 100 \quad 1$$

11 -Pre-Whitening

12 -Phillips-perron

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad 8$$

$$\text{Var}(S) = \{n(n-1)(2n+5)\} \quad 9$$

بعد از بررسی کیفیت داده‌های مشاهده، متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی مشاهده (NCEP) و بزرگ‌مقیاس (CanESM2) که دارای بیش‌ترین هم‌بستگی با داده‌های بارندگی و دمای متوسط بود، انتخاب شد. نوع و تعداد متغیرهای پیش‌بینی کننده بسته به نوع فرایند (شرطی و غیرشرطی) برای هر ایستگاه متفاوت بود. جدول ۱ متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی بارندگی و دمای متوسط را در دو ایستگاه کهنوج و ایرانشهر نشان می‌دهد. تعداد متغیرهای پیش‌بینی کننده برای ویژگی دما که فرایند غیرشرطی نسبت به بارندگی (فرایند شرطی) است در ایستگاه‌های پژوهشی کم‌تر است. دلیل آن تبعیت نکردن داده‌های بارندگی از تابع توزیع بهنجار است (میراکبری و همکاران ۲۰۱۸). بعد از تعیین متغیرهای همبسته با داده‌های بارندگی و دمای متوسط در هر ایستگاه، واسنجی مدل براساس ۷۰٪ از داده‌ها، و صحت‌سنجی با کاربرد ۳۰٪ از داده‌ها انجام شد.

نیز از دیگر مزایای این روش است. فرض صفر این آزمون تصادفی بودن و نبودن روند در مجموعه‌ی زمانی داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دیده شدن روند در مجموعه‌ی داده‌ها است. در روش من-کندال فرض بر این است که یک مجموعه‌ی زمانی لبه‌شکل x_1, x_2, \dots, x_n است. آماره‌ی آزمون من-کندال با رابطه‌ی ۶ محاسبه شد. در این رابطه j و k مرتبه‌ی مشاهده‌ها است و تابع علامت $\text{sgn}(x)$ به شکل رابطه‌ی ۷ تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j + x_k) \quad 6$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad 7$$

هنگامی که مقدار S اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد روند نیست، اگر نه روند صعودی و یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، متغیر Z بهنجار بمعیار (رابطه‌ی ۸) به کار برده می‌شود (من ۱۹۴۵). فرض صفر (H_0) در آزمون من-کندال نبود روند و فرض H_1 روند است.

جدول ۱- متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی NCEP منتخب در ایستگاه‌های ایرانشهر و بم.

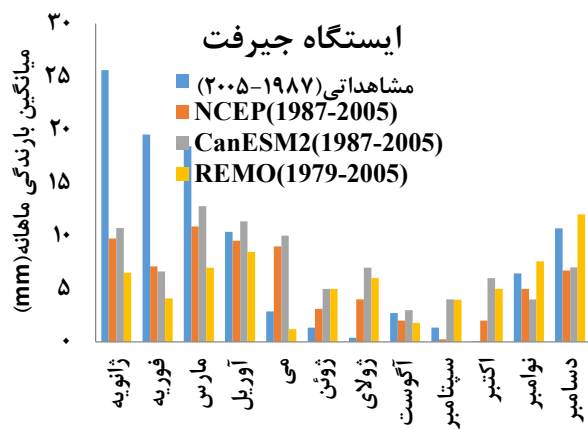
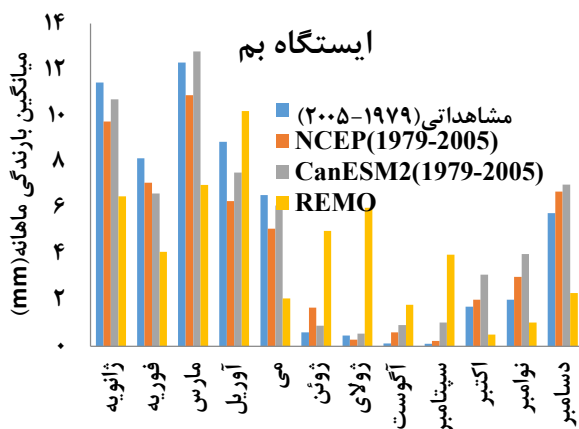
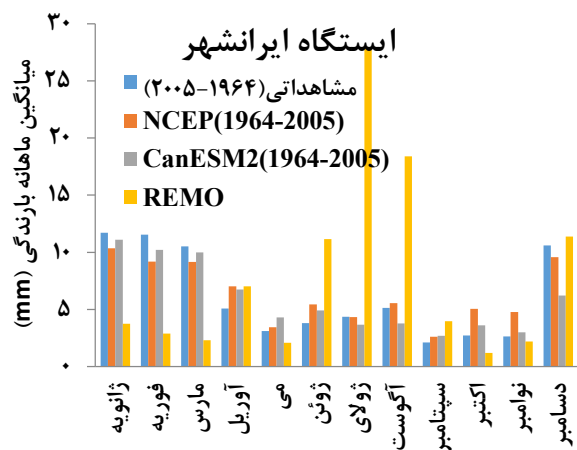
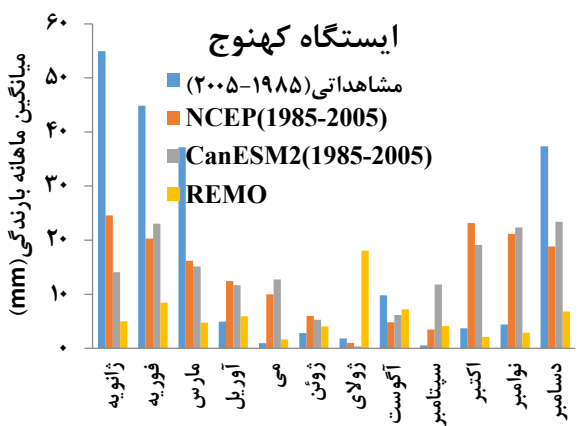
ایستگاه	داده‌ی مشاهده	متغیر NCEP	توضیح
ایرانشهر	بارندگی	ncepp500gl	ارتفاع توان زمین‌شناختی سطح ۵۰ هکتوپاسکال
		ncepprcpgl	بارندگی تجمعی
	دمای متوسط	nceps850gl	رطوبت ویژه‌ی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال
		ncepshumgl	رطوبت ویژه‌ی سطحی
بم	بارندگی	ncepttempgl	دمای سطح در ارتفاع ۲ متری
		ncepp500gl	فشار متوسط سطح دریا
	دمای متوسط	ncepprcpgl	سرعت باد سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
		ncepp500gl	ارتفاع توان زمین‌شناختی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
		ncepttempgl	دمای سطح در ارتفاع ۲ متری

و دمای متوسط نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ و ۳ نیز مقادیر ریزمقیاس شده بارندگی و دمای متوسط را در مقابل مقادیر مشاهده در ایستگاه‌های ایرانشهر، کهنوج، بم و جیرفت نشان می‌دهد. نتیجه‌های معیارهای آماری نشان داد کارایی مدل CanESM2 در ایستگاه کهنوج برای ویژگی بارندگی

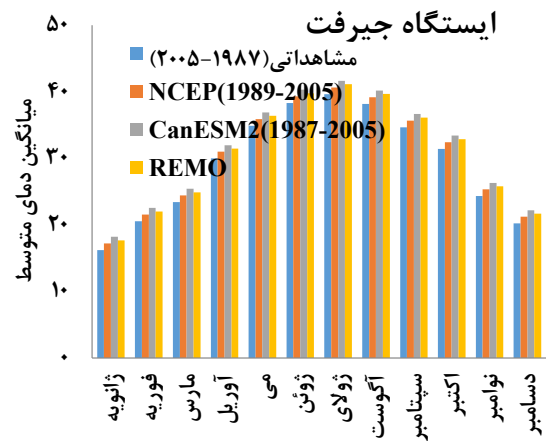
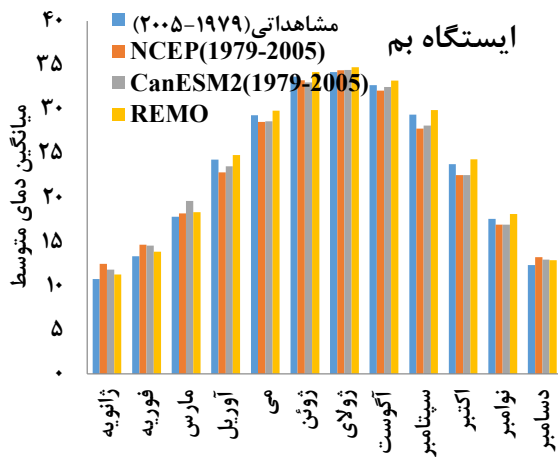
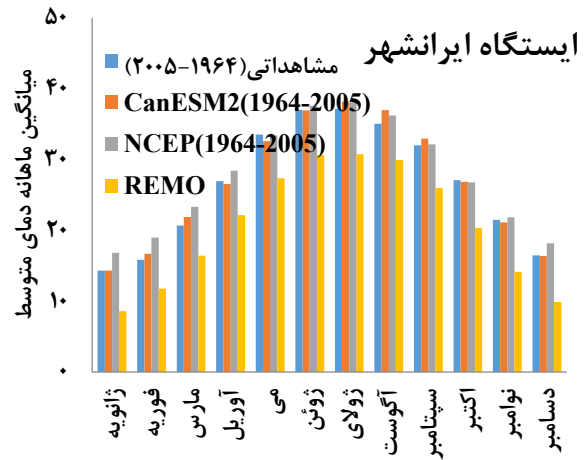
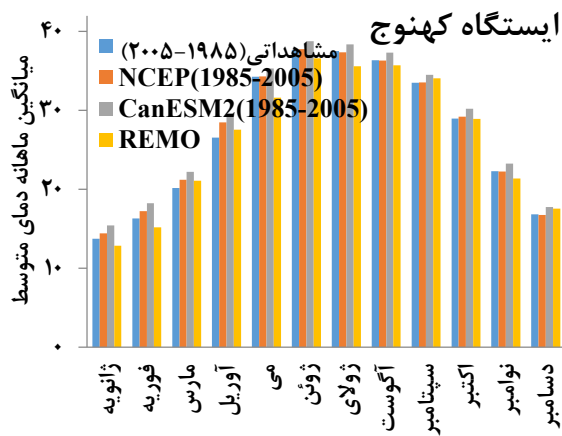
جدول ۲ مقادیر ضریب ناش (NSE)، درصد ضریب ارزیابی (PBIAS)، نسبت جذر بمعیار (RSR)، ضریب تبیین (R^2) و مجذور مربعات خطای بهنجار شده (NRMSE) برای دو مدل CanESM2 و REMO در ایستگاه‌های ایرانشهر، کهنوج، بم و میانه جیرفت براساس ویژگی‌های بارندگی

آگوست بیش‌تر از مقدار مشاهده و در ماه‌های دسامبر تا مارس کم‌تر از مقدار مشاهده بود (شکل‌های ۲ و ۳). در ایستگاه بم مدل CanESM2 تطابق خوبی با داده‌های مشاهده بارندگی در تمام ماه‌های سال داشت، به‌طوری‌که مقادیر بارندگی ریزمقیاس‌شده‌ی حاصل از مدل CanESM2 در ماه‌های اکتبر تا مارس روند تقریباً افزایشی، همانند داده‌های مشاهده در این ماه‌ها داشت. بارندگی ریزمقیاس‌شده در ماه‌های آوریل تا دسامبر دارای روند کاهش‌ی تقریباً مشابهی با داده‌های مشاهده بود. در حالی‌که داده‌های بارندگی حاصل از مدل REMO در ایستگاه ایرانشهر در ماه‌های کم بارش (ژوئن تا سپتامبر) بیش‌تر از داده‌ی مشاهده و در ماه‌های پر بارش (اکتبر تا مارس) کم‌تر از مقادیر مشاهده بود. در ایستگاه جیرفت هر دو مدل CanESM2 و REMO رفتار تقریباً یکسانی داشت، به‌طوری‌که در ماه‌های ژانویه تا مارس بارندگی کم‌تر از مقدار مشاهده بود، و در دیگر ماه‌های سال از روند خاصی پی‌روی نمی‌کرد. برخلاف داده‌ی بارندگی، دمای متوسط حاصل از مدل‌های CanESM2 و REMO در ایستگاه‌های بم و جیرفت تطابق خوبی با مقادیر مشاهده دما داشت.

پذیرفتنی نیست (جدول ۲). بارندگی ریزمقیاس‌شده براساس مدل CanESM2 در ماه‌های دسامبر تا مارس کم‌تر از بارندگی مشاهده‌ها بود، در حالی‌که در ماه‌های آوریل تا سپتامبر به مقادیر مشاهده نزدیک‌تر بود. بارندگی حاصل از مدل REMO نیز مانند CanESM2 در ماه‌های دسامبر تا مارس کم‌تر از داده‌ی مشاهده بود در حالی‌که در دیگر ماه‌های سال، آوریل تا نوامبر، به‌غیر از جولای، داده‌های مدل REMO تطابق خوبی با داده‌های مشاهده داشت. برخلاف بارندگی، داده‌های دما حاصل از هر دو مدل CanESM2 و REMO تطابق خوبی با داده‌های مشاهده داشت. معیارهای ارزیابی مدل CanESM2 در ایستگاه ایرانشهر نشان داد که بارندگی و دمای ریزمقیاس‌شده تطابق خوبی با داده مشاهده دارند (جدول ۱). شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که در تمام ماه‌های سال بارندگی و دمای ریزمقیاس‌شده‌ی حاصل از مدل CanESM2 به مقادیر مشاهده نزدیک بود. برخلاف مدل CanESM2، مدل REMO در ایستگاه ایرانشهر برای هیچ‌یک ویژگی‌های بارندگی و دما از عمل‌کرد خوبی نداشت (جدول ۱)، به‌طوری‌که براساس مدل REMO بارندگی در ماه‌های ژوئن تا



شکل ۲- مقادیر ریزمقیاس‌شده‌ی بارندگی با کاربرد مدل CanESM2 و REMO و مقادیر مشاهده در ایستگاه‌های پژوهشی.



شکل ۳- مقادیر ریزمقیاس شده‌ی دمای متوسط با کاربرد مدل CanESM2 و REMO و مقادیر مشاهده در ایستگاه‌های پژوهشی.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی کارایی مدل CanESM2 و REMO برای ویژگی‌های بارندگی و دمای متوسط در ایستگاه‌های پژوهشی.

ایستگاه	ویژگی	پیش‌بینی کننده	NSE	NRMSE	PBIAS	RSR	R2
کهنوج	بارندگی	NCEP	۰/۱۸	۰/۱۵	۲۵/۳۵	۰/۸۳	۰/۲۵
		CanESM2	۰/۳	۰/۱۷	۱۸/۳	۰/۹	۰/۲۱
	دما	NCEP	۰/۹۸	۰/۰۳۴	-۳/۴۵	۰/۱۲	۰/۹۹
		CanESM2	۰/۹۷	۰/۰۲۱	-۱/۸	۰/۱	۰/۹۸
ایرانشهر	بارندگی	NCEP	۰/۶۸	۰/۰۶۷	۱/۰۱	۰/۵۴	۰/۸۷
		CanESM2	۰/۶۲	۰/۰۸۷	۱/۷	۰/۶	۰/۸
	دما	NCEP	۰/۹۸	۰/۰۲۱	-۰/۹	۰/۰۹	۰/۹۹
		CanESM2	۰/۹۸	۰/۰۲۶	-۱/۲	۰/۱	۰/۹۹
بم	بارندگی	NCEP	۰/۵۴	۰/۰۷	۱۳/۷	۰/۵۷	۰/۸۲
		CanESM2	۰/۵۸	۰/۰۶	۹/۸	۰/۵۴	۰/۷۸
	دما	NCEP	۰/۹۸	۰/۰۲۵	۰/۷۷	۰/۱۲	۰/۹۹
		CanESM2	۰/۹۸	۰/۰۲۳	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۹۹
جیرفت	بارندگی	NCEP	۰/۲۸	۰/۰۸	۱۵/۳۵	۰/۸۳	۰/۲۵
		CanESM2	۰/۴	۰/۰۹	۸/۳	۰/۹	۰/۲۱
	دما	NCEP	۰/۹۸	۰/۰۳۴	۲/۴۵	۰/۱۲	۰/۹۵
		CanESM2	۰/۹۷	۰/۰۲۱	۱/۱	۰/۱	۰/۹۱

جدول ۳ روند تغییر بارندگی و دمای متوسط در دوره‌های تاریخی و آینده را براساس آزمون من- کندال نشان می‌دهد. درصد تغییر میانگین بارندگی و دمای سالانه در آینده نسبت به دوره‌ی تاریخی در ایستگاه ایرانشهر و بم محاسبه شد. براساس نتیجه‌های آزمون من- کندال در ایستگاه ایرانشهر، بارندگی در دوره‌ی مشاهده و آینده دارای روند معنی‌دار نبود. اندازه‌ی تغییر بارندگی در آینده (۲۰۲۰-۲۱۰۰) نسبت به دوره‌ی تاریخی (۲۰۱۸-۱۹۶۴) نشان داد که بارندگی در حالت‌های ممکن RCP کاهش خواهد یافت که این کاهش در حالت RCP2.6 از RCP4.5 و RCP8.5 بیش‌تر است. دما در دوره‌ی مشاهده دارای روند کاهش‌ی معنی‌دار در منطقه‌ی پژوهشی است. درحالی‌که در آینده در حالت‌های ممکن RCP دارای روند افزایشی معنی‌دار خواهد بود. براساس میانگین سالانه‌ی دما از ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ بیش‌ترین و کم‌ترین اندازه‌ی تغییر دما نسبت به دوره‌ی تاریخی به‌ترتیب در حالت‌های ممکن RCP8.5 و RCP2.6 وقوع خواهد یافت. مقادیر آماره‌ی آزمون من- کندال در ایستگاه بم نشان داد که بارندگی در دوره‌ی مشاهده و آینده در حالت‌های ممکن RCP

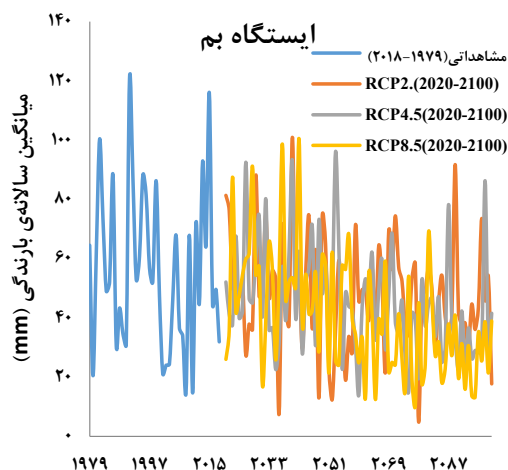
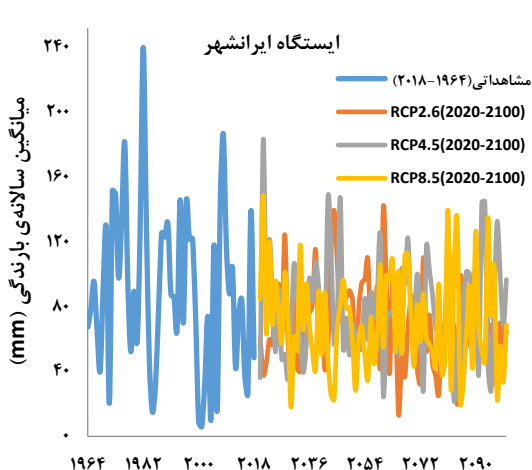
دارای روند کاهش‌ی بود، که در حالت‌های ممکن RCP4.5 و RCP8.5 معنی‌دار بود. مقادیر بارندگی شبیه‌سازی شده در آینده حاکی از کاهش بارندگی نسبت به دوره‌ی مشاهده بوده که اندازه‌ی تغییر در حالت‌های RCP8.5 نسبت به RCP4.5 و RCP2.6 بیش‌تر بود (جدول ۳). به‌طور کلی براساس میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده در حالت‌های ممکن RCP4.5، RCP2.6، بارندگی سالانه در ایستگاه ایرانشهر به ترتیب ۱۹/۲۳، ۱۸/۵۵ و ۱۴/۵۵ میلی‌متر و در ایستگاه بم ۸/۳۱، ۱۰/۶۶ و ۱۵/۷۲ میلی‌متر نسبت به دوره‌ی مشاهده کاهش خواهد یافت. میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی دما در حالت‌های ممکن RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 نشان داد که دمای متوسط در ایستگاه ایرانشهر به ترتیب ۱/۵۷، ۲/۱۵ و ۳/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد و در ایستگاه بم ۱/۸۴، ۲/۳۱ و ۳/۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی مشاهده افزایش خواهد یافت. بنابراین به‌دلیل افزایش دما و کاهش بارندگی انتظار می‌رود منطقه‌ی پژوهشی دوره‌های خشکی طولانی و شدیدتری را نسبت به دوره‌ی تاریخی در آینده تجربه کند.

جدول ۳- مقادیر آماری آزمون روند من- کندال در دوره‌های تاریخی و آینده در حالت‌های ممکن RCP.

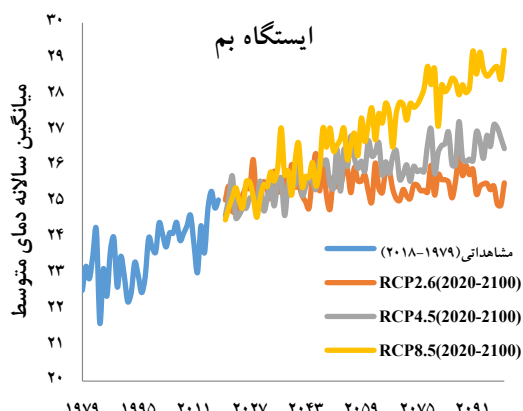
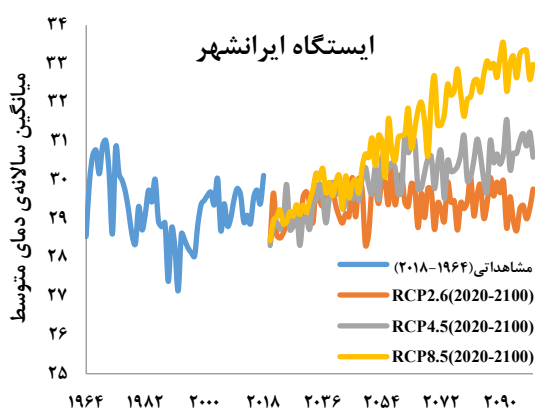
ایستگاه	ایران‌شهر			بم		
	Z	P-value	درصد تغییر	Z	P-value	درصد تغییر
بارندگی	مشاهده	۰/۹۸	-	-۰/۹۶	۰/۱۶	-
	RCP2.6	-۰/۳۳	۰/۳۷	-۱/۵۸	۰/۰۵	-۱۴
	RCP4.5	۰/۷۶	۰/۲۲	-۳/۳	۰/۰۰۰۴	-۱۸/۹
	RCP8.5	-۱/۰۳	۰/۱۵	-۴/۵	۰/۰۰۰	-۲۷
دما	مشاهده	-۱/۸۸	-	۴/۶	۰/۰۰۰	-
	RCP2.6	۱/۵۲	۰/۰۶	۱/۵	۰/۹۳	+۷/۲
	RCP4.5	۸/۱	۰/۰۰۰	۷/۵	۰/۰۰۰	+۸/۹
	RCP8.5	۸/۵۴	۰/۰۰۰	۹/۸	۰/۰۰۰	+۱۲/۴

منطقه‌ی پژوهشی نسبت به دوره‌ی تاریخی در آینده کاهش خواهد یافت درحالی‌که دمای متوسط روند افزایشی خواهد داشت.

شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر میانگین سالانه‌ی بارندگی و دمای متوسط مشاهده و شبیه‌سازی شده در حالت‌های ممکن RCP را در ایستگاه‌های ایران‌شهر و بم نشان می‌دهد. بارندگی در



شکل ۴- میانگین سالانه‌ی بارندگی در دوره‌های تاریخی (۲۰۱۸-۱۹۶۴) و آینده (۲۰۲۰-۲۱۰۰).



شکل ۵- میانگین سالانه‌ی دمای متوسط در دوره‌های تاریخی (۲۰۱۸-۱۹۶۴) و آینده (۲۰۲۰-۲۱۰۰).

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های اقلیمی امکان ارزیابی تغییر آینده ویژگی‌های اقلیمی را فراهم آورده است. مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) و مدل‌های منطقه‌ی ابزارهای اصلی پیش‌بینی ویژگی‌های اقلیمی و شناسایی علل تغییرپذیری اقلیم در آینده اند و کاربرد فراوانی دارند. در این پژوهش کارآیی دو مدل CanESM2 و REMO همچون مدل‌های بزرگ‌مقیاس و منطقه‌ی در آبخیز جازموریان بررسی شد.

نتیجه‌های بررسی‌ها نشان داد که مدل CanESM2 در منطقه‌ی پژوهشی کارآیی مناسب‌تری از مدل منطقه‌ی REMO دارد. خروجی مدل CanESM2 در دو ایستگاه بم و ایرانشهر انطباق مناسبی با داده‌های مشاهده بارندگی و دمای متوسط داشت.

در حالی که مدل منطقه‌ی REMO به‌رغم دارا بودن تفکیک مکانی بیشتر، در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های پژوهشی کارآیی پذیرفتنی برای ویژگی‌های بارندگی نداشت. نتیجه‌های سلیمی (۲۰۲۰) نیز نشان داد که مدل CanESM2 نسبت به مدل منطقه‌ی REMO کارآیی بیشتری در بررسی تغییر ویژگی‌های اقلیمی بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد در استان اصفهان دارد. با توجه به این‌که مدل REMO در منطقه‌ی اروپا گسترش یافته و آزموده شده است، از این‌رو این امکان هست به‌دلیل متفاوت بودن شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه‌ی پژوهشی با شرایط منطقه‌ی توسعه‌ی مدل، این مدل کارآیی پذیرفتنی برای پیش‌بینی تغییر اقلیم در منطقه‌ی پژوهشی داشته باشد.

نتیجه‌های ارزیابی کارآیی مدل نشان داد که مدل CanESM3 در پیش‌بینی ویژگی‌های بارندگی به‌دلیل مقادیر زیاد صفر در مجموعه‌ی زمانی از عمل کرد کم‌تری در مقایسه با ویژگی‌های دما برخوردار است. مصباح‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که مدل CanESM2 در پیش‌بینی تغییر بارندگی کارآیی کم‌تری نسبت به ویژگی‌های دمای متوسط دارد. نتیجه‌های شبیه‌سازی بارندگی حاکی از کاهش بارندگی آینده در حالت‌های ممکن RCP است که اندازه‌ی این کاهش در حالت RCP8.5 در ایستگاه بم و حالت RCP2.6 و RCP4.5 در ایستگاه ایرانشهر از دیگر حالت‌ها بیشتر است.

براین‌اساس بارندگی در ایستگاه ایرانشهر بین ۲۵ تا ۳۲/۹٪ و در ایستگاه بم ۱۴ تا ۲۷٪ نسبت به دوره‌ی مشاهده در آینده کاهش خواهد داشت. مقادیر آماره‌ی آزمون من-کندال نشان داد که بارندگی در حالت‌های ممکن RCP2.6 و RCP8.5 روند کاهشی و طبق حالت RCP4.5 روند افزایشی داشت که از نظر آماری معنی‌دار نیست. در حالی که بارندگی ایستگاه بم بر طبق هر سه حالت

دارای روند تغییر کاهشی معنی‌دار است. نتیجه‌های این بخش از پژوهش با پژوهش‌های آفاخانی افشار و همکاران (۲۰۱۶) و میرگل و نظری (۲۰۱۸) مطابقت دارد. این محققان نیز در پژوهش‌های خود کاهش بارندگی آینده را به‌دلیل تغییر اقلیمی تأیید کردند.

در حالی که برخوری و همکاران (۲۰۱۸) افزایش بارندگی را برای دوره‌ی آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۰) در دشت جیرفت گزارش کردند. متفاوت بودن مدل اقلیمی و دوره‌ی آماری آینده، می‌تواند از دلایل احتمالی تطابق نداشتن نتیجه‌های این پژوهشگران با نتیجه‌های این پژوهش باشد.

برخلاف بارندگی، دمای متوسط در حالت‌های ممکن RCP در ایستگاه‌های ایرانشهر و بم دارای روند افزایشی معنی‌داری خواهد بود. از این‌رو می‌توان دریافت که فرضیه‌ی گروه میان-دولتی تغییر اقلیم در ارتباط با افزایش دمای آینده در منطقه‌ی پژوهشی تأیید می‌شود.

براساس نتیجه‌های حاصل از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل CanESM2 در ایستگاه بم، دمای متوسط بین ۷/۲ تا ۱۲/۴٪ و در ایستگاه ایرانشهر ۶ تا ۱۱٪ در مقایسه با دوره‌ی پایه افزایش خواهد داشت. این درصد تغییر افزایشی دما تقریباً معادل با ۱/۸ تا ۳/۳ درجه در ایستگاه بم و ۱/۵۷ تا ۳/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد در ایستگاه ایرانشهر خواهد بود. افزایش دمای متوسط در آینده در پژوهش‌های آفاخانی افشار و همکاران (۲۰۱۶)، میرگل و نظری (۲۰۱۸)، بذرکار و همکاران (۲۰۱۵)، برخوری و همکاران (۲۰۱۸) و یی و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش شد.

براساس نتیجه‌های این پژوهش، حالت RCP8.5 به‌دلیل اندازه‌ی واداشت تابشی فراوان، افزایش دمای بیش‌تری را نسبت به دیگر حالت‌ها پیش‌بینی می‌کند، در حالی که تغییر ویژگی‌های بارندگی در حالت‌های ممکن RCP از الگوی خاصی در منطقه‌ی پژوهشی تبعیت نمی‌کند. نتیجه‌های این بخش با نتیجه‌های میراکبری و همکاران (۲۰۱۸) نیز مطابقت دارد. در واقع افزایش گازهای گلخانه‌ی موجب افزایش دما شده است که به‌دنبال افزایش دما، تبخیر از سطح دریاها بالا رفته است و سبب افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان خواهد شد. تأثیر افزایش دما در نواحی مختلف زمین به‌دلیل تغییر الگوهای فشاری یکسان نخواهد بود، و برخی نواحی با کاهش بارندگی مواجه خواهند شد (باباییان و همکاران ۲۰۱۴).

نتیجه‌ی پیش‌بینی‌های مدل نشان داد که منطقه‌ی پژوهشی در آینده شرایط خشک‌تری را از دوره‌ی کنونی تجربه خواهد کرد، و انتظار می‌رود پی‌آمدهای نامطلوبی از جمله کاهش منابع آبی دسترس، خشک‌سالی‌های شدید و طولانی را به‌دنبال داشته باشد. از این‌رو می‌توان دریافت که اطلاع از تغییر ویژگی‌های

سپاس‌گزاری

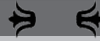
این پژوهش حاضر برگرفته از طرح پژوهشی به شماره‌ی ۴۸۱۲-۹۸-۵ است که با حمایت مالی دانشگاه جیرفت انجام شد. نویسندگان از معاونت آموزشی و پژوهشی این دانشگاه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

اقلیمی در آینده می‌تواند در پیش‌بینی وقایعی هم‌چون سیل و خشک‌سالی و پیامدهای ناشی از آن‌ها مفید واقع شود و در دادن راهکارهای لازم به مدیران و برنامه‌ریزان کاهش خسارات احتمالی کمک خواهد کرد.

- Aghakhani Afshar A, Hassanzadeh Y, Besalatpour A, Pourreza-Bilondi M. 2016. Annual assessment of Kashafrood Watershed Basin climate components in future periods using fifth report of intergovernmental panel on climate change. *Water and Soil Conservation*. 23(6): 217–233. (In Persian).
- Almazroui M, Nazrul Islam M, Saeed F, Alkhalaf AK, 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: 202–13.
- Bazrkar MH, Zamani N, Eslamian S, Eslamian A, Dehghan D. 2015. Urbanization and climate change. *Handbook of Climate Change Adaptation*, 619–655, Springer, Berlin.
- Barkhori S, Mahdavi R, Zehtabian Gh, Gholami H. 2019. Evaluation of the climatic variables of Jiroft Plain using HadCM3 model in future periods. *Journal of Range and Watershed Management*. 71 (2): 355–366. (In Persian).
- Djalante R. 2019. Key assessments from the IPCC special report on global warming of 1.5 °C and the implications for the Sendai framework for disaster risk reduction. *Progress in Disaster Science*, 1: 100001.
- Ebrahimi Khusfi Z, Roustaei F, Ebrahimi Khusfi M, Naghavi S. 2020 A. Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management*. p. 1–25.
- Ebrahimi Khusfi Z, Khosroshahi M, Roustaei F, Mirakbari M. 2020 B. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, 365: 114–225.
- Gebrechorkos SH, Hulsmann S, Bernhofer Ch. 2019. Statistically downscaled climate dataset for East Africa. *Scientific Data*. 6 (1): 1–8.
- Gholami A, Shahedi K, Habibnejad Roushan M, Vafakhah M, Soleimani K. 2017. Projection and comparison of future climate changes using global circulation models under different scenarios in Talar Watershed Basin of Mazandaran. *Range and Watershed Management*. 70(1): 181–196. (In Persian).
- Gebremeskel S, Liu YB, de Smedt F, Hoffmann L, Pfister L. 2005. Analysing the effect of climate changes on stream flow using statistically downscaled GCM scenarios. *International Journal River Basin Management*. 2(4): 271–280.
- Green TR, Taniguchi M, Kooi H, Gurdak JJ, Allen DM, Hiscock KM, Treidel H, Aureli A. 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*. 405(3): 532–560.
- IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. USA. p. 1–32.
- Jahanbakhsh Asl S, Khorshiddoust A, Alinejad MH, Pourasghar F. 2016. Impact of climate change on projection and temperature by taking the uncertainty of models and climate scenarios (Case study: Shahrchay basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*. 2(7): 107–122. (In Persian).
- Jacob D, Elizalde A, Haensler A, Hagemann S, Kumar P, Podzun R, Rechid D, Remedio AR, Saeed F, Sieck K. 2012. Assessing the transferability of the regional climate model Remo to different Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (Cordex) Regions. *Atmosphere*. 3(1): 181–99.

- Kalanaki M, Karandish F. 2015. Predicting the long-term effect of climate change on climatic variables in humid region. *Irrigation and Water Engineering*. 5(20): 131–148. (In Persian).
- Kendall M. 1975. *RankCorrelation Methods* (4th Edn.) Charles Griffin. San Francisco, CA, 8.
- Lee S, Yoo SH, Choi JY, Bae S. 2017. Assessment of the impact of climate change on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981–2100. *Water*. 9 (8): 579.
- Mann HB. 1945. Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*. 245–59.
- Mesbahzadeh T, Miglietta .M, Mirakbari M, Soileimani Sardoo F, Abdolhoseini M. 2019. Joint modeling of precipitation and temperature using copula theory for current and future prediction under climate change scenarios in arid lands (Case study: Kerman Province, Iran). *Advances in Meteorology*. 2019: 1–15.
- Mirgol B, Nazari M. 2018. Possible Scenarios of Winter Wheat Yield Reduction of Dryland Qazvin Province, Iran, Based on Prediction of Temperature and Precipitation Till the End of the Century. *Climate*. 6 (4): 78.
- Mirakbari M, Mesbahzadeh T, Mohseni Saravi M, Khosravi H, Mortezaie Gh. 2018. Performance evaluation of CMIP5 series model in projection and simulation of climatic variables of precipitation, temperature and wind speed, case study: Yazd Province. *Natural Geography Research*. 50 (3): 593–609. (In Persian).
- Modarres R, Ghadami M, Naderi S, Naderi M. 2018. Future extreme rainfall change projections in the north of Iran. *Meteorological Applications*. 25 (1): 40–48. (In Persian).
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, Van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T. 2010. The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature*. 463 (7282): 747–756.
- Rezaei M, Ghasemieh H. 2019. Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case study: Kashan and Khur and Biabank Stations). *Arid Biome Scientific Journal*. 9 (1): 8–98. (In Persian).
- Rui-li L, Geng Sh. 2013. Impacts of Climate Change on Agriculture and Adaptive Strategies in China. *Journal of Integrative Agriculture*. 12(8): 1402–08.
- Salimi A. 2020. Assessment of wind erosion changes based on regional climate change model, case study: Isfahan province. Ms.C thesis, University of Tehran, Iran. 160 p. (In Persian).
- Tabari H, Marofi S, Aeini A, Hosseinzadeh Talaeae P, Mohammadi K. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151(2):128–136.
- Tang J, Niu X, Wang Sh, Gao H, Wang X, Wu J. 2019. Statistical downscaling and dynamical downscaling of regional climate in China: Present climate evaluations and future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 121 (5): 2110–2129.
- Ujeneza EL. 2014 Simulation the Characteristics of Droughts in Southern Africa. Ms.c thesis, University of Cape Town.
- Von Storch H. 1999. Misuses of statistical analysis in climate research. In: *Analysis of climate variability*, 1–26, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Vaghefi SA, Keykhai M, Jahanbakhshi F, Sheikholeslami J, Ahmadi A, Yang H, Abbaspour K. 2019. The future of extreme climate in Iran. *Nature*. 9(1): 1–11.
- Wang XL, Feng Y, Compo GP, Swail VR, Zwiers FW, Allan RJ, Sardeshmukh PD. 2013. Trends and Low Frequency Variability of Extra-Tropical Cyclone Activity in the Ensemble of Twen-

- tieth Century Reanalysis. *Climate Dynamics*. 40(11-12): 2775-2800.
- Wang J, Hu L, Li D, Ren M. 2020. Potential Impacts of Projected Climate Change under CMIP5 RCP Scenarios on Streamflow in the Wabash River Basin. *Advances in Meteorology*. 10 Feb 2020: 1- 18.
- Ye L, Shi K, Zhang H, Xin Zh, Hu J, Zhang Ch. 2019. Spatio-temporal analysis of drought indicated by SPEI over northeastern china. *Water*. 11(5): 2-18.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 4, Ser. No: 129, Winter 2020, pp. 61 -76
DOI: 10.22092/wme.2020.341365.1300

Performance Evaluation of the CanESM2 Global Circulation Model and the REMO Regional Model to Predict Changes of Climatic Parameters in the Jazmourian Watershed

Zohre Ebrahimi-Khusfi

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Department of Natural Science, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran

Maryam Mirakbari

PhD, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

*Corresponding Author: Email: Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

Received: 06 January 2020

Accepted: 20 September 2020

Abstract

Global warming has a serious impact on access to water resources, especially in arid regions due to changes in rainfall and temperature. The Global Circulation Models (GCM) and the Regional Climate Models (RCM) have been considered as the main tools for assessing changes in climatic variables in the future. The difference in the spatial resolution of these models causes the different results in climate change assessment. The performance of the CanESM2 and REMO models was evaluated using statistical criteria in the Jazmourian Watershed. The results indicated that the CanESM2 has performed better than the REMO regional model for predicting climatic parameters. Climate parameter simulation based on the CanESM2 model showed that precipitation will decrease under the RCP scenarios (RCP2., RCP4.5, RCP8.5) by 19.23, 18.55, 14.55 mm, respectively at the Iranshahr Station and 8.31, 10.6, 15.72 mm, respectively at the Bam Station. The mean projected temperature based on the RCP scenarios showed that temperature will increase by 1.57, 2.15 and 3.1 °C at the Iranshahr Station and 1.84, 2.31 and 3.35 °C at Bam station under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5, respectively. Generally, the finding of simulated precipitation and temperature in the Jazmourian Watershed showed that the long dry periods is more likely to occur in the future as compared to the historical period. Hence, knowing the trend of the changes in climatic variables can help managers and planners to provide required strategies under the future climate change conditions.

■ **Keywords: Changes Trend, Jazmourian, Large-scale model, Mann- Kendall, Regional Model** ■