

## شبیه‌سازی و پیش‌بینی مولفه‌های اقلیمی دمای حداکثر و حداقل با استفاده از خروجی مدل CanESM2 در دوره‌های آتی، مطالعه موردی دشت میمه استان اصفهان

- ❖ سحر ذاکری انارکی؛ دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
- ❖ غلامرضا زهتابیان؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ❖ حسن خسروی\*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
- ❖ حسین آذر نیونده؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

### چکیده

گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم نشان می‌دهد که میانگین دمای جهان در قرن بیستم برابر  $0.6 \pm 0.2$  درجه سانتی‌گراد افزایش یافته‌است. بنابراین پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی امری بدیهی است. در مطالعه حاضر به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مشاهداتی دمای حداقل و حداکثر ایستگاه وزوان میمه استان اصفهان، از مدل SDSM استفاده شده است. داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی جدید انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به منظور پیش‌بینی دوره آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۰۶)، آینده میانی (۲۰۷۸-۲۰۳۷) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۹) مورد استفاده قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان‌دهنده توانایی بالای مدل SDSM در مدل‌سازی دمای حداکثر و حداقل در دوره پایه می‌باشند. نتایج پژوهش حاضر، حاکی از آن است که هر چه به قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم دمای حداقل و حداکثر در منطقه مطالعاتی افزایش می‌یابد. تغییرات میانگین دمای حداکثر بیشترین افزایش را تحت سناریوی RCP8.5 در دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۹)، در ماه ژولای خواهد داشت که این افزایش به  $7/9$  درجه سانتی‌گراد نیز خواهد رسید. تغییرات میانگین دمای حداقل نیز بیشترین افزایش را در ماه آگوست تحت سناریوی RCP8.5 نشان داده است. لذا با توجه به اینکه این افزایش دما در دوره‌های آتی بر روی وضعیت منطقه مطالعاتی، منابع آبی و طبیعی اثرگذار خواهد بود پیشنهاد می‌گردد، برنامه‌ریزان و مسئولین بخش‌های مربوطه راهکارهای لازم از قبیل تدابیری جهت اصلاح نظام آبیاری، روش‌هایی به منظور کاهش تبخیر و اصلاح نظام کشت، برای تعدیل خسارات ناشی از گرمایش و یا سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید اتخاذ نمایند.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، دمای حداقل، دمای حداکثر، سناریوی جدید انتشار، میمه

## ۱. مقدمه

ماهیت عناصر اقلیمی، نظامی کمابیش متغیر دارند که در مناطق مختلف جهان مشاهده می‌شود [۱۳]. تغییرات اقلیمی به تغییر سال به سال اقلیم مربوط است. اگر چه یک سال گرم‌تر یا سردتر نمی‌تواند شاهدی برای تغییر اقلیم باشد. اما تغییرات سیستماتیک در شرایط میانگین در طول سالیان متمادی می‌تواند گواه تغییر اقلیم باشد [۱۵، ۲۲].

تغییر اقلیم یکی از پدیده‌هایی است که شرایط آب و هوایی مناطق مختلف جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در واقع هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی، که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ دهد می‌باشد. شواهد حاکی از آن است که ما در یک دوره تغییر اقلیم ناشی از تغییر غلظت گازهای گلخانه‌ای قرار داریم. غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر از ۱۹۵۰ میلادی در حال افزایش می‌باشد. ادامه این پدیده ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای ویژگی‌های اقلیمی منطقه و جهانی از قبیل بارش و دما را تغییر دهد. تغییر اقلیم می‌تواند اثر قابل توجهی بر روی چرخه هیدرولوژی از طریق بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و دما داشته باشد. چرخه هیدرولوژی با بارش و تبخیر بیشتر دچار دگرگونی می‌شود. با این حال، بارش اضافی ایجاد شده به صورت نامتوازن در سرتاسر جهان توزیع خواهد شد. به گونه‌ای که برخی از نقاط جهان ممکن است شاهد کاهش شدید بارش یا تغییرات کلی در مدت زمان فصول خشک و مرطوب باشند [۱۶]. میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتباً در حال افزایش است به گونه‌ای که سناریوهای اخیر<sup>۱</sup> IPCC افزایش متوسط جهانی دما را ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند [۱۱]. همراه با تغییرات آب و هوایی و تغییر در الگوهای

دما و بارش، مولفه‌های دیگری مانند رواناب و رطوبت خاک که برای سیستم‌های طبیعی و انسانی مهم هستند، دچار دگرگونی خواهند شد [۲۶].

فرآیند تغییر اقلیم به ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی-اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چراکه سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند [۷، ۳۰]. تغییرات معنی‌دار دمای کره زمین یا گرمایش جهانی به عنوان مهمترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است [۱۰، ۳۱]. بنابراین پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی، جهت اطلاع از میزان تغییرات آن‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی مورد توجه بسیاری از مجامع علمی جهانی قرار گرفته است و امری لازم و بدیهی می‌باشد [۸]. بر همین اساس مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)<sup>۲</sup> توسعه یافته‌اند [۲۳]. مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) به عنوان مدل‌های عددی که فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند، می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط اقلیم آینده را تحت سناریوهای مختلف، تصویرسازی نمایند [۱، ۹، ۱۸].

نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده گردید، تحت عنوان پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده (CMIP5) شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها شامل شبیه‌سازی قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن ۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP)<sup>۳</sup>، مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند [۲۰]. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در

<sup>۱</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

<sup>۲</sup> General Circulation Model

<sup>۳</sup> Representative Concentration Pathway

شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۱۰) و با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به کار بردند [۲]. نتایج نشان دادند که بارش به‌طور کلی در فصل زمستان افزایش و در بقیه فصول، منطقه مورد مطالعه، با کاهش بارش مواجه خواهد بود. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش و حداقل دما در سه سناریوی مورد بررسی برای سه دوره مورد مطالعه آتی، افزایش می‌یابد.

مدل SDSM بر روی داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از مدل جهانی HadCM3 به کار برده شده است و نتایج نشان داد که داده‌های دما و بارش ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهداتی تقریباً مطابقت داشته‌اند [۲۱]. در تحقیقی دیگر به بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی در آینده بر اکوهیدرولوژی حوضه رودخانه جیوشو در کشور چین با استفاده از ریزمقیاس گردانی SDSM پرداخته شده است [۲۹]. نتایج نشان داد که درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه در ۹۰ سال آینده افزایش خواهد داشت.

داده‌های هواشناسی و نتایج مدل‌های شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که متوسط دمای اتمسفر در حال افزایش است که خود سبب کاهش مقدار بارش تابستانه و افزایش احتمال و شدت وقوع خشکسالی و امواج حرارتی، به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک می‌گردد [۲۱]. از طرف دیگر با توجه به این‌که انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم در قرن ۲۱ ام ادامه یابد [۲۷] پیدایش و تکامل پیوسته انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد. از این‌رو ارزیابی توانمندی مدل SDSM به‌منظور شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر ایستگاه مطالعاتی در دوره مشاهداتی و نیز پیش‌بینی دوره آتی به‌منظور مدیریت بهینه در منابع آب و خاک و

تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5)<sup>۱</sup> از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده‌است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند [۸]. مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) در مقیاس فضایی اتمسفری و قاره‌ای نتایج معنی‌داری را به نمایش می‌گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی سیستم کره زمین را ترکیب می‌کنند، اما ذاتاً قادر نیستند که دینامیک و اشکال با شبکه ریزمقیاس تر محلی را به نمایش بگذارند [۴]. لذا ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد، رویکرد اساسی همان مدل‌های ریزمقیاس گردانی هستند [۲۸].

مدل SDSM<sup>۲</sup> یکی از پرکاربردترین ریزمقیاس گردانی می‌باشد که کاربرد بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و زیست محیطی دارد [۸]. زیرا در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ مقیاس در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم‌هزینه از تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد همچنین در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش‌های توابع شکل‌یافته نتایج قابل قبولی ارائه داده‌است [۲۴]. با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM تغییرات آتی دماهای حداکثر در یک دوره ۳۰ ساله، (۲۰۵۱-۲۰۲۱) در ایستگاه سینوپتیک ارومیه تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ارائه شده است که بر اساس نتایج به‌دست آمده از داده‌های مدل CanESM2 میزان دماهای حداکثر، افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش تحت سناریوی RCP2.6 ارائه شده‌است [۸]. روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM را برای

<sup>1</sup> Assessment Report

<sup>2</sup> Statistical DownScaling Model

تولید داده‌های آب و هوای مصنوعی برای ریزمقیاس‌گردانی می‌باشد. مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM یکی از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی تابع انتقالی آماری محسوب می‌شود. در واقع بهترین ترکیب از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری به حساب می‌آید. این مدل با استفاده از ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی چند متغیره و در نظر گرفتن سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (متغیرهای مرکز ملی و پیش‌بینی محیطی) متغیرهایی چون بارش و دما را در بلندمدت شبیه‌سازی می‌کند [۲۸].

در مطالعه حاضر داده‌های دمای حداکثر و حداقل ایستگاه وزوان میمه و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی NCEP<sup>۱</sup> که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، برای کالیبره کردن و ارزیابی مدل داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی جدید انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به منظور پیش‌بینی دوره‌های آبی، ورودی‌های نرم افزار SDSM می‌باشند. داده‌های مشاهداتی ایستگاه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو در مقیاس روزانه اخذ گردید. داده‌های شبیه‌سازی شده خروجی مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۰۶)، آینده میانی (۲۰۳۷-۲۰۷۸) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۹) و داده‌های NCEP، با توجه به ایستگاه مورد مطالعه از سایت شبکه بندی تغییر اقلیم کانادا [www.cccsn.ec.gc.ca](http://www.cccsn.ec.gc.ca) دریافت شد و با توجه به داده‌های ایستگاه مطالعاتی و در اختیار داشتن داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی تا سال ۲۰۰۵ دوره‌های مشترک ۲۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۰) انتخاب شدند. داده‌های سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ نیز برای برآورد چشم‌انداز تغییرات اقلیمی دهه‌های آبی مورد استفاده قرار گرفتند. مدل CanESM2 چهارمین نسل از مدل‌های آب و هوایی است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب و هوایی کانادا<sup>۲</sup> CCCma

جلوگیری از پیامدهای تغییر اقلیم، به‌عنوان دو هدف این پژوهش، مورد بررسی قرار گرفتند.

## ۲. روش‌شناسی

### ۱.۲. منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی دشت میمه یکی از بخش‌های حوزه آبخیز گاوخونی به وسعت ۲۰۶۳/۸ کیلومتر مربع می‌باشد که در شمالی‌ترین قسمت حوضه در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۳° ۹' تا ۳۳° ۴۱' طول‌های جغرافیایی ۴۵° ۵۰' تا ۳۴° ۳۴' در فاصله ۹۵ کیلومتری شمال اصفهان و در کنار اتوبان اصفهان-تهران واقع شده است. این محدوده دارای دو دشت وزوان و میمه است. این دشت از غرب به دشت گلپایگان، از سمت شرق به دشت نطنز، از سمت شمال و شمال غربی به دشت‌های موته و کاشان و از جنوب و جنوب شرقی به دشت‌های نجف‌آباد و مورچه خورت منتهی می‌شود. حداقل ارتفاع منطقه مطالعاتی ۱۸۵۷ متر، و حداکثر ارتفاع ۳۵۹۲ متر از سطح دریا می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه مطالعاتی ۲۷۲۲ متر است.

### ۲.۲. مواد و روش‌ها

مدل‌های گردش عمومی جو یک فرصت مناسب جهت ارزیابی اقلیم آینده تحت خطوط سیر مختلف، یا سناریوهای واداشت تابشی را فراهم می‌آورند. این مدل‌ها دارای وضوح نسبتاً پایین بوده (تفکیک‌پذیری درشت) و برای مطالعات منطقه‌ای و محلی مناسب نمی‌باشند. بنابراین، خروجی این مدل‌ها باید به‌منظور فراهم شدن جهت استفاده در مقیاس منطقه‌ای ریزمقیاس شوند [۵]. در مطالعه حاضر به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مشاهداتی از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM استفاده شده است. این مدل در سال ۲۰۰۲ در انگلستان تهیه شده است که اساس آن استفاده از ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و

<sup>۱</sup> National Centers for Environmental Prediction

<sup>۲</sup> Canadian Center for Climate Modeling and Analysis

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}{T}} \quad (۳)$$

پس از اطمینان از عملکرد مدل با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM براساس داده‌های مدل گردش عمومی جو، سری زمانی دمای حداکثر و حداقل برای دوره آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۰۶)، آینده میانی (۲۰۷۸-۲۰۳۷) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۹) تحت سناریوهای جدید انتشار در ایستگاه مورد مطالعه شبیه‌سازی شد.

سپس به منظور تجزیه و تحلیل روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل از آزمون غیرپارامتری من-کندال استفاده گردید. آزمون من-کندال یک روش آماری است که برای تشخیص روند تغییرات در پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون من-کندال به عنوان یک آزمون غیرپارامتری برای تشخیص روند توسط [۱۷] و به عنوان یک آزمون توزیع آماری برای تست روند غیرخطی و نقطه عطف توسط [۱۴] فرموله گردید.

رابطه (۴)، ارائه دهنده رابطه بین آماره کندال (Z) و آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار  $\alpha$  می‌باشد.

$$Z < Z_{\alpha/2} \quad (۴)$$

$\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده شده است.

در بررسی حاضر این آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵% به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود [۱۷، ۱۴]. مقدار  $\alpha$  برای سطح ۹۵%، برابر با ۰/۰۵ است. در سطح اطمینان ۹۵%، Z برابر ۱/۹۶، در نظر گرفته می‌شود [۲].

در پژوهش حاضر آماره کندال Z محاسبه شده و در سطح اطمینان ۵٪ برای بررسی معنی‌داری مقایسه شد. اگر مقدار مطلق Z محاسبه شده از مقدار Z استاندارد

زیر نظر سازمان محیط زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل کل زمین به صورت ۶۴\*۱۲۸ سلول شبکه‌بندی شده است [۳].

سناریوهای جدید انتشار براساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ بنا شده‌اند. در سناریوی RCP2.6 که کم‌ترین RCP می‌باشد واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ به اوج خود می‌رسد و بعد از آن روند کاهش را دنبال می‌کند. در سناریوی RCP4.5، که یک سناریوی ثابت با افزایش نیروی واداشت تابشی کل تا سال ۲۰۷۰ و با غلظت‌های پایدار بعد از سال ۲۰۷۰ می‌باشد. همچنین سناریوی RCP8.5، به طور مداوم در حال افزایش نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ و تقریباً برابر ۸/۵ وات بر مترمربع می‌باشد [۲۹]. این سناریوها در پنجمین گزارش ارزیابی (AR5) در سال ۲۰۱۴ بر مبنای واداشت تابش در بالای اتمسفر ارائه شدند [۳]. جهت ارزیابی عملکرد مدل، معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا، مقدار ضریب تبیین و ضریب ناش-ساتکلیف، محاسبه شدند. ضریب ناش-ساتکلیف (NSE) در رابطه (۱) ارائه شده است. رابطه (۲) که تحت عنوان ضریب تبیین (R2)، شناخته می‌شود بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد که معیاری بدون بعد است [۲۵]. مجذور مربعات خطا (RMSE) در رابطه (۳) ارائه شده که می‌تواند به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار رود. در این روابط  $x_{obs}$  و  $y_{mod}$  به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده می‌باشند [۸].

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (۱)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})(y_{mod} - \bar{y}_{mod})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2 \sum_{t=1}^T (y_{mod} - \bar{y}_{mod})^2}} \right]^2 \quad (۲)$$

نرمال در سطح ۵٪ که ۱/۹۶ می‌باشد، بیشتر باشد روند معنی‌دار است [۲].

### ۳. نتایج

به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر

از بین ۲۶ متغیر اتمسفری NCEP، شش پارامتر نهایی بزرگ مقیاس برای متغیرهای اقلیمی مد نظر انتخاب شدند. نتایج پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب، جهت کالیبره نمودن مدل، در جدول (۱) مشخص شده‌است. در مطالعه حاضر داده‌های دمای حداقل و حداکثر همبستگی خوبی با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند.

جدول ۱. پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب جهت ریزمقیاس کردن آماری متغیرهای دمای حداقل و دمای حداکثر

متغیر	پیش‌بینی‌کننده
حداقل دمای	فشار متوسط از سطح دریا ncepmslpgl.dat
	سرعت ناحیه‌ای ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ncepp1-ugl.dat
	ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال ncepp500gl.dat
	رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتوپاسکال nceps850gl.dat
دمای حداکثر	دمای سطح در ارتفاع ۲ متری nceptempgl.dat
	سرعت باد ۵۰۰ هکتوپاسکال Ncepp5-fgl.dat
	ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال ncepp500gl.dat
	واگرایی ۸۵۰ هکتوپاسکال ncep8zhgl.dat
	رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتوپاسکال nceps850gl.dat
دمای سطح در ارتفاع ۲ متری nceptempgl.dat	

تحت سناریوهای RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6، RCP8.5 تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی، تحت سناریوهای RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 در شکل‌های (۳) تا (۵) ارائه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات میانگین دمای حداکثر در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۰۶)، به جز ماه نوامبر در هر سه سناریو و ماه اکتبر در سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در سایر ماه‌ها افزایش خواهد داشت. بیشترین افزایش دما، در ماه ژوئیه، تحت سناریوی RCP2.6، برابر ۳/۵ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی RCP8.5، برابر ۳/۱ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است. همچنین بررسی‌ها نشان دادند که در آینده میانی (۲۰۳۷-۲۰۷۸)، به غیر از ماه

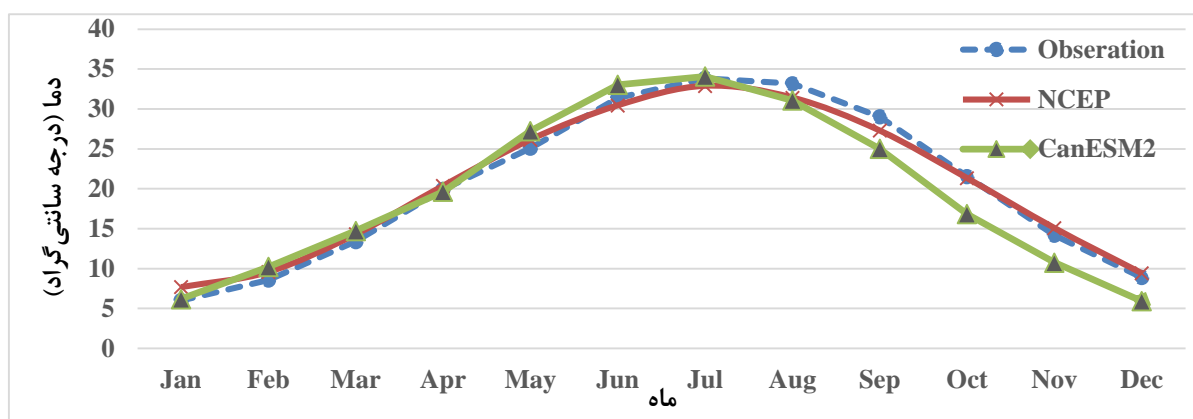
به‌منظور مشخص نمودن توانمندی مدل، علاوه بر روش ترسیمی از روش‌های آماری و محاسبه معیارهای آماری نیز استفاده شد. جدول (۲) ارائه‌دهنده شاخص‌های ارزیابی مدل در دماهای حداکثر و حداقل ایستگاه وزوان میمه می‌باشد. همچنین مقایسه داده‌های مشاهداتی در دوره پایه، با داده‌های شبیه‌سازی شده میانگین دمای حداکثر و حداقل در نرم افزار SDSM با استفاده از داده‌های NCEP و CanESM2 در شکل شماره (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. نتایج به‌دست آمده از محاسبات آماری و گرافیکی، حاکی از توانمندی بالای مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی پارامتر دمای حداقل و حداکثر می‌باشد. پس از ارزیابی دقت مدل برای دوره پایه اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دمای حداقل و حداکثر برای دوره‌های آتی و براساس مدل جهانی CanESM2

به غیر از ماه‌های نوامبر و اکتبر تحت سناریوی RCP2.6، در سایر ماه‌ها افزایش دما پیش‌بینی می‌گردد که این افزایش در ماه‌های ژولای و ژوئن تحت سناریوی RCP8.5، به ترتیب به ۷/۹ و ۷/۳ نیز خواهد رسید.

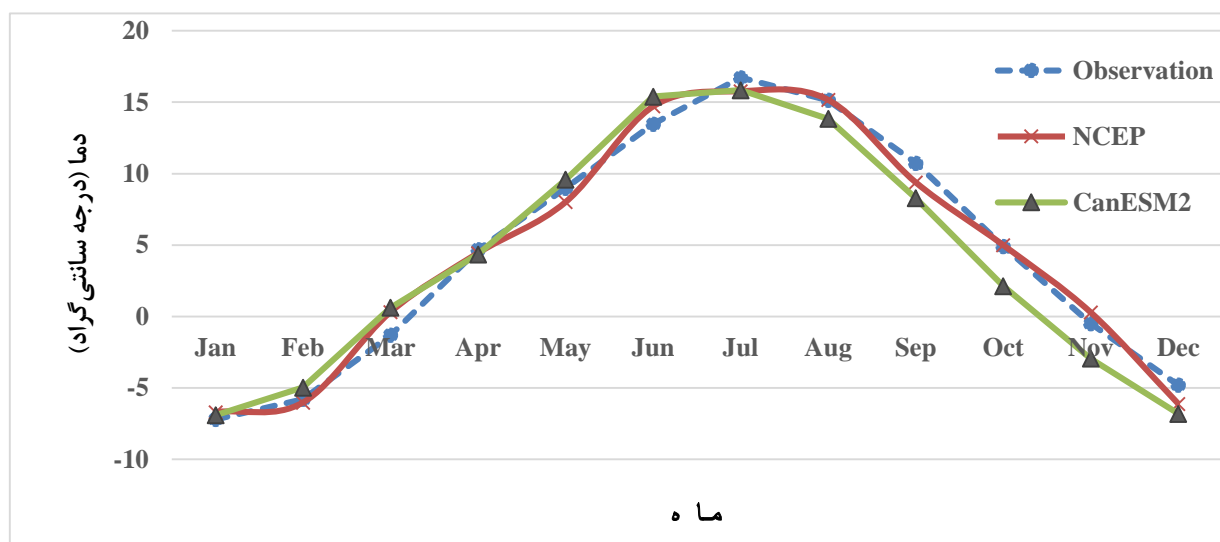
نوامبر، تحت سناریوی RCP2.6، سایر ماه‌ها افزایش دما خواهند داشت و بیشترین افزایش دما مربوط به ماه‌های ژولای و ژوئن تحت سناریوی RCP8.5، به ترتیب برابر ۵/۷ و ۵/۳ خواهد بود. در دوره آینده دور (۲۰۷۹-۲۱۰۰)،

جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی مدل در دمای حداکثر و دمای حداقل ایستگاه وزوان میمه

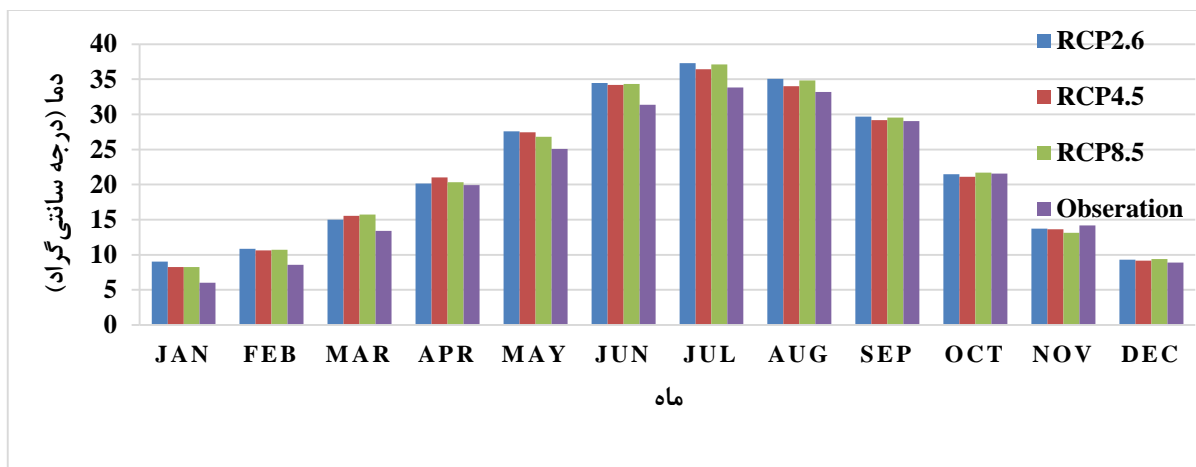
	RMSE	R2	N-S
دمای حداکثر	۰/۰۵	۰/۹۴	۰/۹۴
دمای حداقل	۰/۰۸	۰/۹۶	۰/۹۵



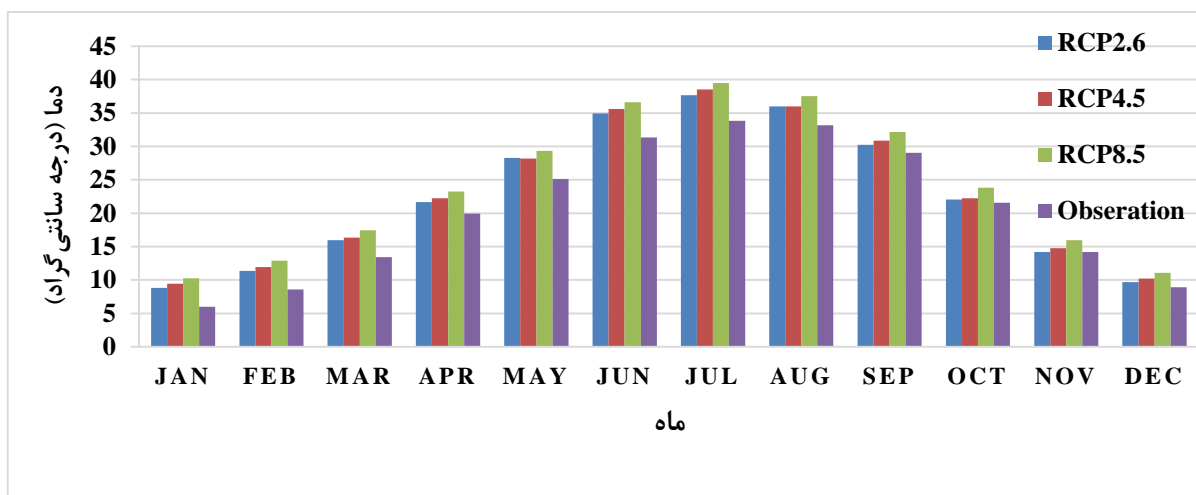
شکل ۱. مقایسه داده‌های مشاهداتی و مدل شده میانگین دمای حداکثر در دوره پایه



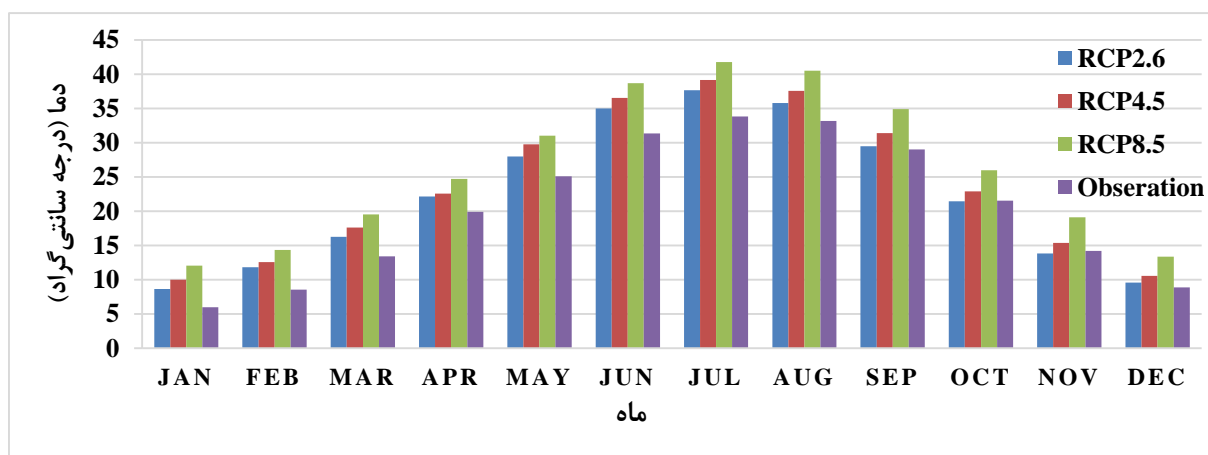
شکل ۲. مقایسه داده‌های مشاهداتی و مدل شده میانگین دمای حداقل در دوره پایه



شکل ۳. تغییرات میانگین دمای حداکثر ایستگاه وزوان میمه در دوره آتی ۲۰۰۶-۲۰۲۶ در مقایسه با دوره پایه



شکل ۴. تغییرات میانگین دمای حداکثر ایستگاه وزوان میمه در دوره آتی ۲۰۲۷-۲۰۴۷ در مقایسه با دوره پایه

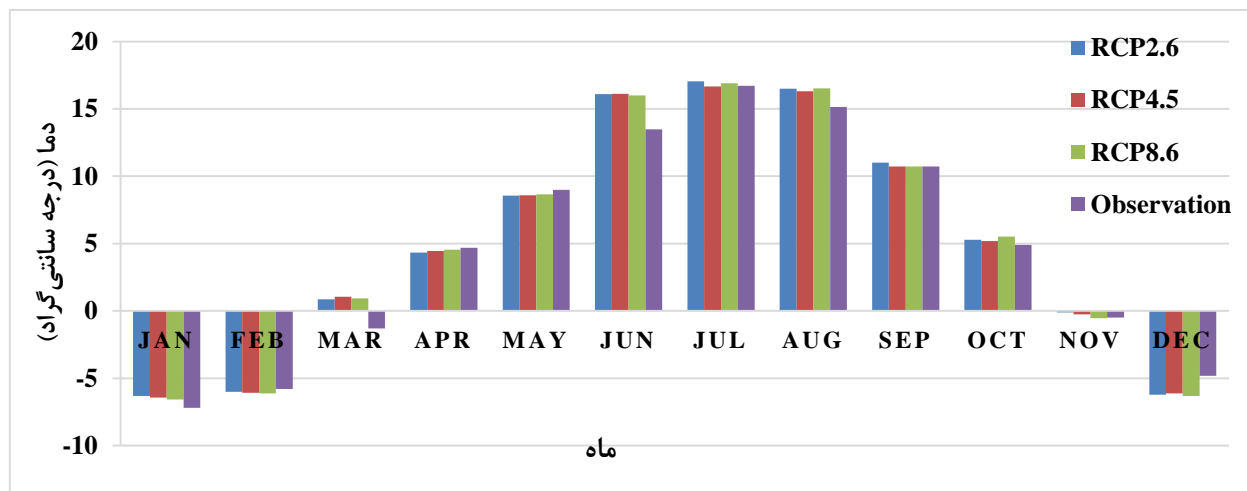


شکل ۵. تغییرات میانگین دمای حداکثر ایستگاه وزوان میمه در دوره آتی ۲۰۷۹-۲۱۰۰ در مقایسه با دوره پایه

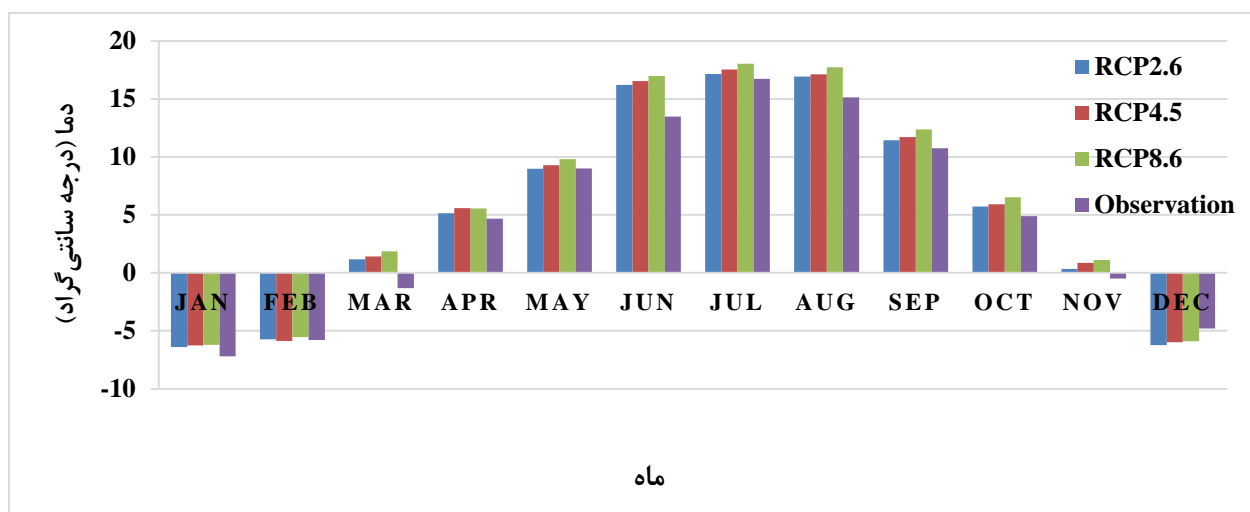


سناریو و ماه فوریه در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در سایر ماه‌ها افزایش دما مشاهده شده است، این افزایش به ۳/۵ درجه سانتی‌گراد هم می‌رسد و در ماه ژوئن تحت سناریوی RCP8.5 پیش‌بینی شده است. بررسی‌ها در آینده دور (۲۰۷۹-۲۱۰۰)، نیز نشان‌دهنده افزایش دما در همه ماه‌ها به غیر از ماه دسامبر، تحت هر سه سناریو و ماه فوریه تحت سناریوی RCP2.6، می‌باشد که این افزایش دما در ماه آگوست و مارس تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب به ۴/۴ و ۴/۲ هم می‌رسد.

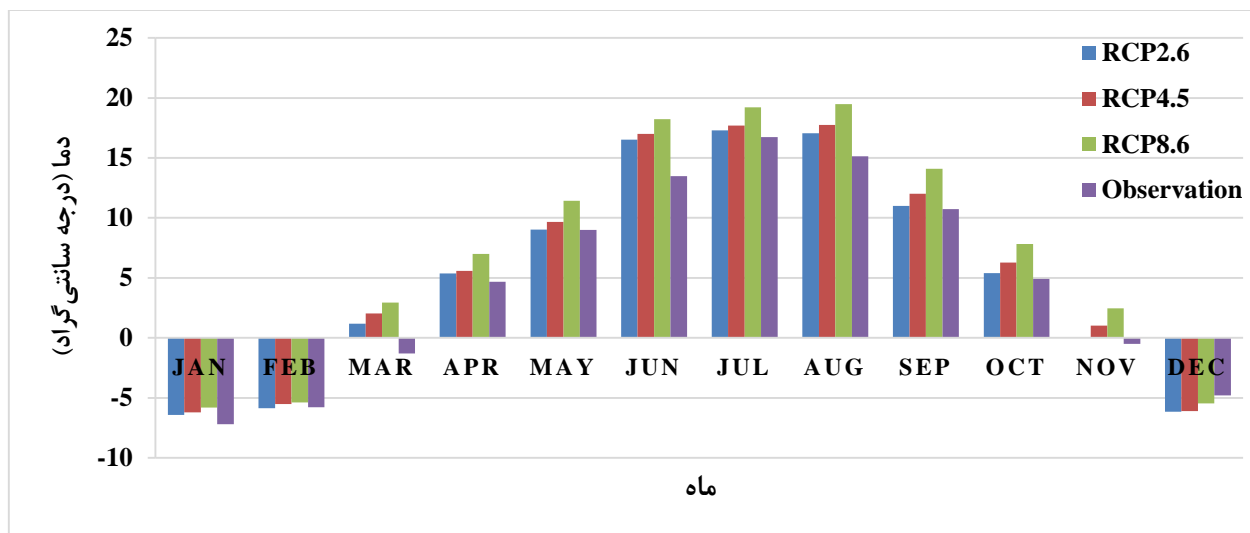
مقایسه میانگین دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در شکل‌های (۶) تا (۸) ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۰۶)، به غیر از ماه‌های فوریه، آپریل، می و دسامبر تحت هر سه سناریو و ماه ژولای تحت سناریوی RCP4.5 سایر ماه‌ها افزایش دما خواهند داشت که بیشترین افزایش در ماه‌های ژوئن و مارس تحت سناریوی RCP8.5 و به ترتیب برابر ۲/۵ و ۲/۲ خواهد بود. همچنین در آینده میانی (۲۰۳۷-۲۰۷۸)، به جز ماه دسامبر تحت هر سه



شکل ۶. تغییرات میانگین دمای حداقل ایستگاه وزوان میمه در دوره آتی ۲۰۰۶-۲۰۳۶ در مقایسه با دوره پایه



شکل ۷. تغییرات میانگین دمای حداقل ایستگاه وزوان میمه در دوره آتی ۲۰۳۷-۲۰۷۸ در مقایسه با دوره پایه



شکل ۸. تغییرات میانگین دمای حداقل ایستگاه وزوان میمه در دوره آتی ۲۰۷۹-۲۱۰۰ در مقایسه با دوره پایه

Z محاسبه شده برای داده‌های تولید شده تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 برای دمای حداکثر به ترتیب برابر ۳/۴۶، ۹/۶۲، ۱۱/۶۲ و برای دمای حداقل برابر ۳/۸۵، ۹/۲۰، ۱۱/۷۸ می‌باشد. با توجه به اینکه، آماره Z به دست آمده از آزمون من-کندال بیشتر از ۱/۹۶ است، دمای حداکثر و حداقل تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 دارای روند افزایشی معنی‌دار، در سطح ۵٪ در دوره آینده می‌باشند.

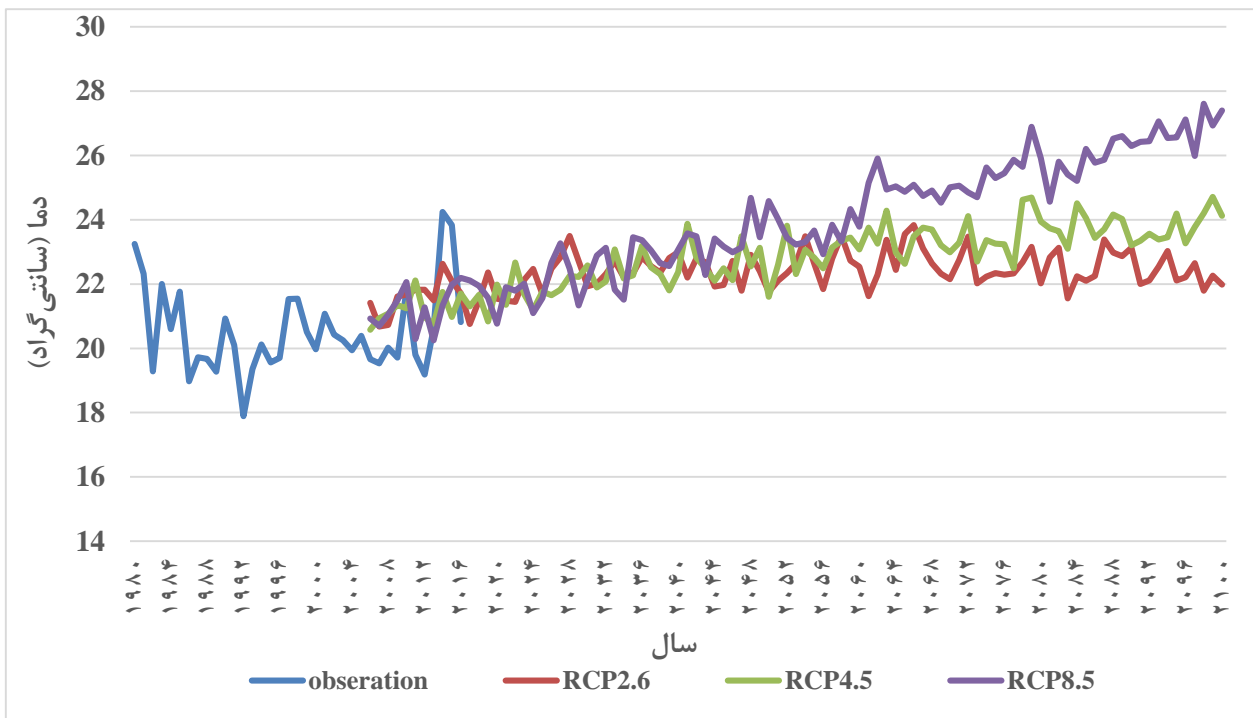
جدول ۳ ارائه دهنده پارامترهای مورد بررسی در آزمون من-کندال به منظور بررسی روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل می‌باشد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که آماره Z محاسبه شده برای دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۲۶ می‌باشد، با توجه به اینکه مقدار مطلق آماره Z، کوچکتر از ۱/۹۶ است، دمای مشاهداتی حداکثر و حداقل، روند افزایشی معنی‌داری در دوره آماری مورد بررسی نداشته است. همچنین، نتایج آزمون من-کندال نشان داد که آماره

جدول ۳. نتایج آزمون من-کندال برای داده‌های مشاهداتی و سناریوهای RCP

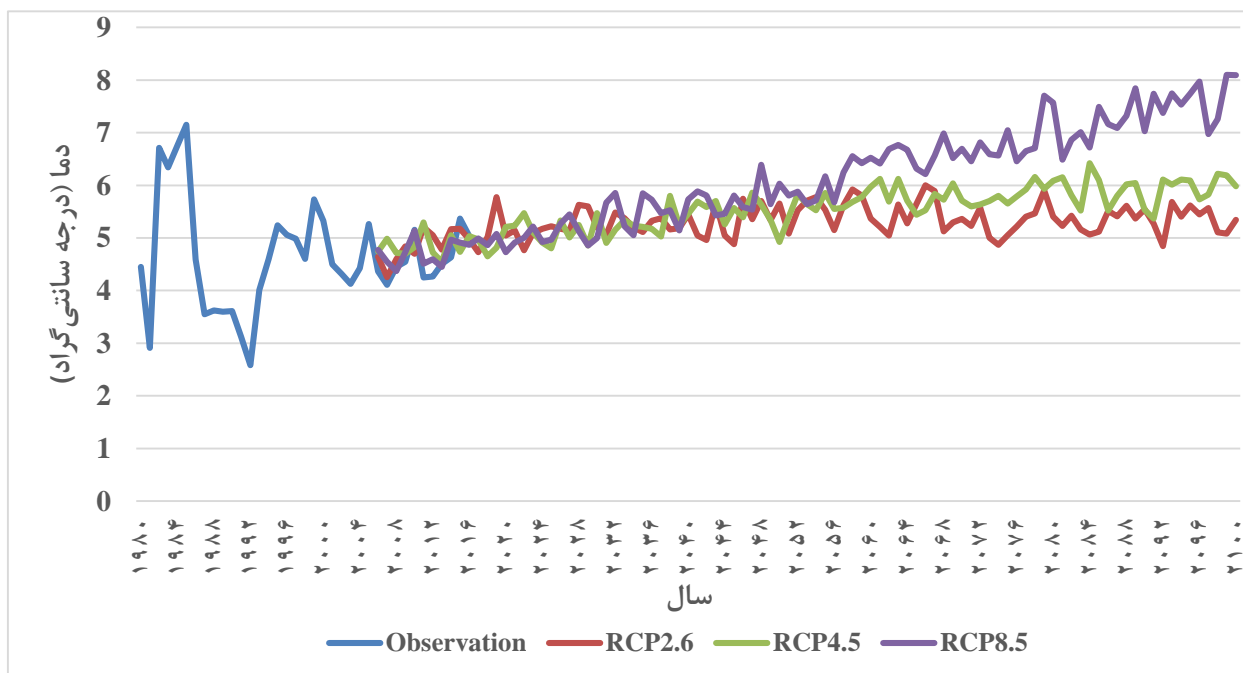
P-Value	Z		
۰/۶۲	۰/۳۱	مشاهداتی	دمای حداکثر
۰/۰۰۱	۳/۴۶	RCP2.6	
۰/۰۰۰	۹/۶۲	RCP4.5	
۰/۰۰۰	۱۱/۶۲	RCP8.5	
۰/۷۹۱	۰/۲۶	مشاهداتی	دمای حداقل
۰/۰۰۰	۳/۸۵	RCP2.6	
۰/۰۰۰	۹/۲۰	RCP4.5	
۰/۰۰۰	۱۱/۷۸	RCP8.5	

تحت سناریوهای RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 می‌باشند که هر دو شکل حاکی از روند افزایشی در دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره آتی هستند.

شکل شماره (۹) و (۱۰) به ترتیب ارائه دهنده روند تغییرات میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه در طول دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۰ و دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۰۶،



شکل ۹. روند تغییرات میانگین دمای حداکثر سالانه در طول دوره آماری پایه و آینده



شکل ۱۰. روند تغییرات میانگین دمای حداقل سالانه در طول دوره آماری پایه و آینده

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دمای حداکثر و حداقل با استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو در ایستگاه وزوان میمه استان اصفهان گردید. در این مطالعه از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای جدید انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 برای شبیه‌سازی در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۰۶)، میانی (۲۰۷۸-۲۰۳۷) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۹)، استفاده شد. مدل برای دوره پایه براساس داده‌های NCEP ارزیابی شد و با استفاده از شاخص‌های آماری، صحت و دقت آن مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان‌دهنده توانایی بالای مدل SDSM در مدل‌سازی دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره پایه می‌باشند که با نتایج تحقیقات [۶، ۱۲] همسو است.

نتایج پژوهش حاضر، حاکی از آن است که هر چه به قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم دمای حداقل و حداکثر در منطقه مطالعاتی افزایش می‌یابد. نتایج حاکی بر آن است که تغییرات میانگین دمای حداکثر بیشترین افزایش را تحت سناریوی RCP8.5 در دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۹)، در ماه ژولای خواهد داشت که این افزایش به ۷/۹ نیز خواهد رسید و تغییرات میانگین دمای حداقل نیز بیشترین افزایش را در ماه آگوست تحت سناریوی RCP8.5 نشان می‌دهد. در واقع هر چه به قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم این شرایط تشدید خواهد شد که با نتایج [۲، ۸، ۲۰]، مطابقت دارد. کمترین تغییرات دمای حداکثر تحت سناریوی RCP2.6 و در ماه نوامبر پیش‌بینی شده است. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که، آماره Z محاسبه

شده برای دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۲۶ می‌باشد، با توجه به اینکه مقدار مطلق آماره Z، کوچکتر از ۱/۹۶ است، دمای مشاهداتی حداکثر و حداقل، روند و افزایشی معنی‌داری در دوره آماری مورد بررسی نداشته است.

همچنین آماره Z برای دمای حداکثر به ترتیب برابر ۳/۴۶، ۹/۶۲، ۱۱/۶۲ و برای دمای حداقل برابر ۳/۸۵، ۹/۲۰، ۱۱/۷۸ به‌دست آمد. با توجه به اینکه، آماره Z به‌دست آمده از آزمون من-کندال بیشتر از ۱/۹۶ است، دمای حداکثر و حداقل تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5، دارای روند افزایشی معنی‌دار، در سطح ۵٪ در دوره آینده می‌باشند.

همچنین مقایسه روند تغییرات میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه در طول دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۰ و دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۰۶، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 حاکی از روند افزایشی در دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره آتی است که بیشترین روند افزایشی در دمای حداکثر و دمای حداقل، به ترتیب تحت سناریوی RCP8.5 و و کمترین روند افزایشی، تحت سناریوی RCP2.6 پیش‌بینی می‌شود.

لذا با توجه به اینکه این افزایش دما در دوره‌های آتی بر روی وضعیت منطقه مطالعاتی، منابع آبی و طبیعی اثرگذار خواهد بود پیشنهاد می‌گردد که برنامه‌ریزان و مسئولین بخش‌های مربوطه راهکارهای لازم از قبیل تدابیری جهت اصلاح نظام آبیاری، روش‌هایی به منظور کاهش تبخیر و اصلاح نظام کشت، برای تعدیل خسارات ناشی از گرمایش و یا سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید اتخاذ نمایند.

## References

- [1] Aghakhani Afshar, A.H. Hassanzadeh, Y. Besalatpour, A.A. and Pourreza-Bilondi, M. (2016). Annual assessment of Kashafrud watershed basin climate components in future periods by using fifth report of intergovernmental panel on climate change. Journal. of Water and Soil Conservation, 23, 217-233.

- [2] Ansari, M. Noori, G. Fotohi, S. (2016). Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*, Vol. 7, No. 14, 153-158.
- [3] Asakereh, H. and Akbarzadeh, Y. (2017). Simulation of Temperature and Precipitation Changes of Tabriz Synoptic Station Using Statistical Downscaling and CanESm2 Climate Change Model Output, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 21, 153-174.
- [4] Bahlake, M., Fathabadi, A. Rouhani, H. and Seyedian, S. M. (2016). The effect of climate change on wet and dry spells' characteristics (Case study: Arazkuse and Tamar stations in Golestan Province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 5, 11-23.
- [5] Carter, T. R., Parry, M. L., Harasawa, H. and Nishioka, S. (1994). IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations, IPCC Special Report to Working Group II of IPCC, London.
- [6] Chartzoulakis, K. and Psarras, G. (2005). Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete? Greece? *Agriculture Ecosystems & Environment*, 106: 147-157.
- [7] Cheema, S.B., Rasul, G., Ali, G. and Kazmi, D. H. (2011). A comparison of minimum temperature trends with model projections. *Pakistan Journal of Meteorology*, 8(15), 39-52.
- [8] Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H. and Mesbahzadeh, T. (2017) Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth* 7 (3), 905-915
- [9] Hoshyar, S, Sobhani, M. and Hosseini, S. A. (2018). Perspective of Maximum Uromieh Temperature Changes Using the Output of CanESM2 Model, *Journal of Geography and Planning*, 63, 305-325.
- [10] IPCC. (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment 1990*. Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK, 365p.
- [11] IPCC (2007). Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2007*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.
- [12] IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. b. Averyt, M. Tignor and H.D.Millereds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and York, NY, USA, pp 996.
- [13] Karamoz, M, Ramezani, F. and Razavi, S. (2006). Long-term prediction of precipitation using meteorological signals, application of artificial neural networks. 7th International Congress on Civil Engineering. Tehran, Iran 11 p.
- [14] Kaviani, M (1999). *The basics of weather and meteorology*, 2ed Edition, Study organization and Compilation of Human Sciences Books of Universities, Tehran.
- [15] Kendall, M. G. (1955). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, 196p.
- [16] Khosravi, H., Azareh, A., Hadi Eskandari Dameneh, Rafie Sardoii, E. and Eskandari Dameneh, H. (2017). Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods. *Arabian Journal of Geosciences* 10 (4), 1-12.
- [17] Kumar, C.P. (2012). Climate Change and its impact on groundwater resources. *Int J Eng Sci. groundwater recharge in the Ground River Watershed (Ontario)*. *Journal of Hydrology*, 338(3-4): 237-250.
- [18] Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Journal Econometrica*. 13(3), 245-249.
- [19] Maurer, E.P. (2007). Uncertainty in hydrologic impacts of climate change in the Sierra Nevada, California, under two emission scenario. *Climatic Change* (2007) 82:309-325. DOI 10.1007/s10584-006-9180-9.
- [20] Miao, C.Y., Duan, Q.Y., Sun, Q.H., and Li, J.D. (2013). Evaluation and application of Bayesian multi-model estimation in temperature simulations. *Reports on Progress in Physics* 37: 727-744
- [21] Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., and et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *J. Nature*. 463: 7282. 747-756.

- [22] Nury, A. H. and Alam, M. J. B. (2013). Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6(1), 87-96.
- [23] Nusoohian, S. (2012). Study of the effect of climate change on reference evapotranspiration in three synoptic stations of Chaharmahal and Bakhtiari province using GCM models. Master's thesis, Shahrekord University.
- [24] Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., DeJong, R. and Bootsma, A. (2004). Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates.
- [25] Samadi, S., Z. and Masah Bouani, A. (2008). Introduction of Artificial Neural Network and SDSM Methods for Small Scale Statistical Data of Temperature and Rainfall Data, Third Conference on Water Resources Management, Tabriz University, Iran, 9 p.
- [26] Sedaghat Kerdar, A. and Fattahi, E. (2008). Drought Precautionary Indicators in Iran, *Journal of Geography and Development*, 6, 76-59.
- [27] Shaemi, A. and Habibi Nokhandan, M. (2006). *Global Warming and Ecological Bio Consequences*, First edition, University of Mashhad Ferdowsi Press, 216 p.
- [28] Steele-Dunne. S., Lynch. P., McGrath. R., Semmler. T, Wang. S, and Hanafin.J. (2008). The impacts of climate change on hydrology in Ireland, *Journal of Hydrology*, 356, 28– 45.
- [29] Wilby, R. L., Dawson, C. W. and Barrow, E.M. (2002). SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modeling Software*, 17, 145-157.
- [30] Xu, C. H., and Xu, Y. (2012). The Projection of Temperature and Precipitation over China under RCP Scenarios using a CMIP5 Multi-Model Ensemble. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 6. 527-533.
- [31] Zahabiyoun, B., Goodarzi, M.R. and Massah Bavani, A.R. (2012). Simulation of Rainfall-Runoff on Gharesou Watershed Using SWAT Model. *Science Series Data Report* 4, 1 28-37.
- [32] Zareie, S., Rangzan, K., Khosravi, H. and Sherbakov, V.M. (2018). Comparison of split window algorithms to derive land surface temperature from satellite TIRS data. *Arabian Journal of Geosciences*, 11 (14), 1-13.