



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و چهارم، شماره‌ی ۸۷

پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۴۹-۲۳۳

محمد اکبری<sup>۱\*</sup>

محمد سلیقه<sup>۲</sup>

محمد حسین ناصرزاده<sup>۳</sup>

## پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات دمای ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه زمانی ۲۱۰۰-۲۰۲۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴

### چکیده

هدف این تحقیق شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک بیرجند با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) است. بدین منظور از پارامترهای اقلیمی شامل بیشینه، کمینه و میانگین دمای روزانه در بازه زمانی (۲۰۰۵-۱۹۸۶) شده است. جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری در دوره پیش‌بینی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) از داده‌های NCEP و خروجی CanESM2 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی تغییرات میانگین بیشینه دما در ایستگاه بیرجند نشان دهنده سیر صعودی این پارامتر در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۲۱۰۰-۲۰۲۰) است. به طوریکه بیشترین افزایش در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و در سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد. همچنین نتایج این شبیه‌سازی نشان دهنده افزایش میانگین کمینه دما در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۳۹)، (۲۰۲۰-۲۰۵۹) و (۲۰۶۰-۲۰۷۹) می‌باشد و بیشترین افزایش دمای کمینه در سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد. بررسی روند میانگین دما برای همه بازه‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در هر سه سناریو روند افزایشی میانگین دما بتدریج از ژانویه شروع شده و در ماه آگوست به حداکثر می‌رسد. نکته قابل تامل در مورد مقایسه فصلی پارامتر دما، افزایش میانگین دما در فصل زمستان می‌باشد. زیرا مقایسه میانگین دما در بازه ابتدائی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و بازه انتهائی (۲۰۹۹-۲۰۲۰)

Email: Akbarikakan1@yahoo.com

\*۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران (نویسنده مسئول)

۲- گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۳- گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲۰۸۰) نشان دهنده افزایش  $1/68$  درجه سانتیگرادی میانگین دما در فصل زمستان در دوره‌های آینده می‌باشد. نتایج کلی شبیه‌سازی پارامترهای ۳ گانه دمای ایستگاه بیرجند در طول دوره آماری (۲۰۲۰-۲۱۰۰) نشان‌دهنده سیر صعودی دما همراه با بی‌نظمی، نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) است.

**کلیدواژه‌ها:** بیرجند، شبیه‌سازی دما، CanESM2، SDSM

#### مقدمه

هر گونه تغییر درازمدت در متغیرهای اتمسفری ناشی از پدیده‌های طبیعی یا غیر طبیعی که بازه زمانی آن بین چندین دهه تا میلیون‌ها سال طول بکشد، تغییر اقلیم گفته می‌شود (Jana & Majumder, 2010). تغییرات اقلیمی و عواقب ناشی آن، به عنوان تهدیدی برای زمین، محیط طبیعی و انسان می‌باشد. در تعریف دیگر افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن، متان، اکسید ازت، بخار آب ناشی از فعالیت‌های انسانی و در نتیجه گرم شدن کره زمین را به عنوان تغییر اقلیم تعبیر می‌کنند (Sayari et al., 2013:117; Fung et al., 2011). دمای جو به عنوان شاخص مهم تغییر هم در مقیاس جهانی و هم در مقیاس منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود (Mo et al., 2013: 303). روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد. یکی از معتبرترین این روش‌ها، استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM<sup>۱</sup> است. این مدل‌ها قادر به شبیه‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو در سطوح بزرگ هستند (Liu et al., 2011). با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در حوزه مورد مطالعه تبدیل می‌شود. ریزمقیاس نمودن به عنوان یک عامل ایجاد کننده ارتباط میان چرخه‌های بزرگ مقیاس پیش‌بینی‌کننده‌ها و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) تعریف شده است (Wilby & Dawson, 2008:65). به طور کلی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری به سه طبقه: روش رگرسیونی؛ خوشه‌بندی الگوهای آب و هوایی و مولدهای سری‌های زمانی آب-وهوایی تقسیم می‌شوند. مدل SDSM ترکیبی از مولدهای سری‌های زمانی آب و هوایی و روش‌های رگرسیونی است. مبنای این مدل، رگرسیون چند متغیره می‌باشد و پارامترهای اقلیمی چون بارش و دما را با توجه به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (Ncep) در درازمدت شبیه‌سازی می‌کند (Wiebe & Watson (2008). در زمینه استفاده از داده‌های Ncep و مدل SDSM به منظور پیش‌بینی تغییر پارامترهای اقلیمی برای بازه‌های زمانی آتی تاکنون تحقیقات زیادی توسط محققان متعددی صورت گرفته است.

Khan et al (2006) سه مدل LARS-WG، SDSM و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) راجهت پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی مورد آزمون قرار داده‌اند، نتایج حاکی از آن است که مدل SDSM در سطح اطمینان ۹۵ درصد داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها توانسته است در مقادیر ریزمقیاس شده حفظ نماید. (Sarvar et al (2010 اثرات تغییر اقلیم را بر حوضه آبریز رود تایمز با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و KnnCAD مورد ارزیابی قرار دادند. با توجه به نتایج پژوهش مذکور، مدل SDSM برای پیش‌بینی دماهای کمینه و بیشینه

عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر دارد ولی برای بارش مدل LARS-WG کارایی بیشتر و بهتری دارد. (2011) Zhang et al در پژوهشی با استفاده از مدل SDSM تغییرات دمایی در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در آمریکا را شبیه سازی نمودند. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که دمای کمینه و بیشینه سالانه در بازه زمانی مورد مطالعه افزایش خواهد یافت. (Rajabai & shabanloo(2012) به ارزیابی مدل آماری SDSM برای پیش بینی تغییرات اقلیمی در کرمانشاه از مدل SDSM استفاده کرده‌اند که نتایج حاکی از دقت بالای این مدل در ریزمقیاس سازی متغیرهای اقلیمی دارد. (Tatsumi et al (2013) با استفاده از مدل SDSM پارامترهای کمینه و بیشینه دما را در منطقه شیکوکو<sup>۰</sup> ژاپن برای دوره‌های زمانی آتی (۲۰۹۹-۲۰۷۱) شبیه سازی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که براساس بیشتر سناریوها، میانگین کمینه و بیشینه دمای شبیه‌سازی شده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. (2013) Chima et al عملکرد روش ریزمقیاس نمایی (SDSM) بر روند تغییرپذیری داده‌های کمینه دمای کشور پاکستان را در دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۰ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که طبق آزمون من کندال روند افزایشی کمینه دمای سالانه معنی دار است. نتایج نشان داد که تغییر معنی دار اقلیمی در پارامتر دما بیشتر در نواحی شمالی کشور پاکستان رخ داده است. (Zehtabyan et al (2016) با استفاده از دو مدل SDSM و CLIMGEN متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) منطقه قزوین را شبیه سازی نمودند. نتایج نشان داده است که در منطقه مورد مطالعه مدل CLIMGEN جهت شبیه سازی بارش و مدل SDSM برای شبیه‌سازی دما، پتانسیل و توانایی بیشتری دارند. (Lee et al (2016) ویژگی‌های خشکسالی تحت تاثیر تغییرات شدید آب و هوایی در دهه‌های آینده کره جنوبی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شرایط خشکسالی در آینده در حدود ۶ درصد بویژه در فصل خشک (اکتبر تا می) افزایش خواهد یافت. (Salehpourjam et al (2017) اثرات تغییر اقلیم بر روی ویژگی‌های خشکسالی ایستگاه خوی در شمالغرب ایران را با استفاده از مدل SDSM و داده‌های NCEP بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین بارش سالانه در دوره‌های آینده کاهش خواهد یافت، به نحوی که دوره ۲۰۶۶-۲۰۳۷ و ۲۰۹۶-۲۰۶۷ بارش به ترتیب با کاهش ۴۸ میلی متر (۱۷ درصد) و ۳۴ میلی متر (۱۲ درصد) نسبت به دوره پایه روبرو خواهد شد. همچنین وقوع خشکسالی با شدت، مدت و فرکانس بیشتری می‌تواند در دوره‌های آینده رخ دهد.

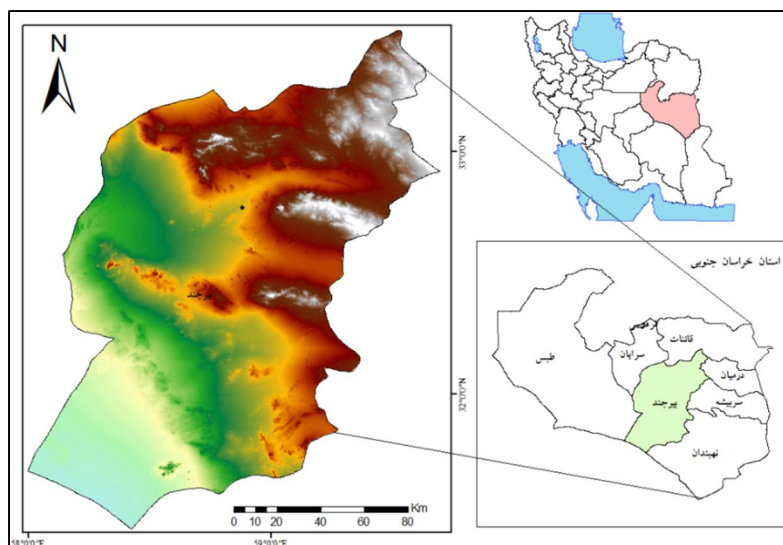
(Mohammadi et al(2016) اثرات گرمایش جهانی بر دمای کمینه ایران را با استفاده از مدل SDSM برای دوره‌های ۲۰۴۵-۲۰۱۵ تحت دو سناریوی A2 و B2 را ریزمقیاس نمایی نمودند. نتایج نشان داده است که با توجه به ارتباط بین متغیرهای پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی کننده، مدل ایجاد شده بین متغیرهای مورد بررسی به طور نسبی قادر به تولید داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آینده می‌باشد. خروجی نهایی مدل بیانگر افزایش حداقل دمای ایران طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۵ می‌باشد. (Ghazavi & Mousavian (2017) ناهنجاری‌های اقلیمی شهرستان طبس را با استفاده از ریزمقیاس نمایی (SDSM) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش حاکی از اثرات معنی دار تغییر اقلیم بر حادثر شدن شرایط حاکم بر منطقه و به تبع آن کاهش میزان بارش و افزایش درجه حرارت و کاهش میزان شاخص خشکی

است. همچنین با توجه به نتایج میتوان بیان داشت که اگرچه روند بیابانزایی متأثر از عوامل متعددی است، اما در سایه تغییرات اقلیمی محتمل در آینده احتمال افزایش روند بیابانزایی و گسترش عرصه‌های بیابانی در شهرستان طبس، به واسطه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما وجود دارد. (Asakereh & akbarzadeh(2017) با استفاده از مدل SDSM و خروجی مدل CanESM2 تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۱۰۰-۲۰۱۰) را شبیه‌سازی کرده‌اند. با توجه به نتایج این پژوهش تغییرات میانگین کمینه دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. کمینه دما در هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد بررسی افزایش می‌یابد. همچنین کمینه دما به طور کلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه سانتیگراد نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد. بعلاوه بارش به طور کلی در فصل زمستان افزایش و در سایر فصول با کاهش بارش مواجه خواهد بود. (kamiar et al (2017) با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، دماهای کمینه و بیشینه استان اصفهان را در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۷ را شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داده است که سناریوهای انتشار با سطح اطمینانی متفاوت افزایش دما را برای دهه‌های آینده پیش‌بینی نموده‌اند. به طوریکه در ایستگاه‌های شرق اصفهان و از جمله خورویابانک دمای بیشینه طی فصل زمستان با شدت بیشتری نسبت به ایستگاه داران تغییر می‌کند و این در حالی است که دمای کمینه در ایستگاه داران افزایش بیشتری را طی این فصل نسبت به دو ایستگاه دیگر نشان می‌دهد.

zare'i et al(2018) تغییر پارامترهای بارش و دما با استفاده از مدل گردش عمومی جو CanESM2 در استان چهارمحال و بختیاری را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تغییرات مجموع بارندگی روزانه تحت سه سناریوی مورد مطالعه نشان دهنده افزایش بارندگی در فصول بهار و تابستان و کاهش بارندگی در فصل زمستان است. همچنین همبستگی داده‌های مشاهداتی و کالیبره شده برای دما و بارندگی در دوره‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۱ به ترتیب ۰/۹۸۴ و ۰/۹۷ می‌باشد. کاربرد وسیع مدل SDSM در دنیا، توانایی مناسب در ارزیابی نتایج در مرحله کالیبره نمودن و ارزیابی، استفاده مستقیم از اطلاعات مدل‌های جهانی، تعیین وقایع حدی به صورت جداگانه، از مهمترین دلایل انتخاب این مدل جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی در این پژوهش می‌باشد. با توجه به توانایی‌های قابل قبول مدل SDSM در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، در پژوهش حاضر از خروجی داده‌های CanESM2 به منظور شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی کمینه، بیشینه و میانگین دمای ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه زمانی (۲۱۰۰-۲۰۲۰) استفاده شد.

#### منطقه مورد مطالعه

بیرجند به عنوان مرکز استان خراسان جنوبی با مساحت حدود ۳۵ کیلومتر مربع در موقعیت ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. متوسط ارتفاع این شهر ۱۴۹۱ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارش ایستگاه بیرجند به میزان ۱۷۰ میلی‌متر و متوسط دمای آن در حدود ۱۶/۵ درجه سانتیگراد است (اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی، ۱۳۹۸).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the study area

مواد و روش ها

مدل ریزمقیاس نمایی آماری برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم بکار می‌رود که داده‌های آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، کمینه و بیشینه دما و سایر پارامترهای جوی می‌باشد. در این تحقیق برای بررسی تغییر اقلیم، ایستگاه سینوپتیک بیرجند مورد مطالعه قرار گرفته است. دوره آماری مشاهداتی پایه ۲۰ ساله و در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ میلادی بوده است. داده‌های مشاهداتی مورد استفاده در این پژوهش شامل بیشینه، کمینه و میانگین دمای روزانه بوده است. در این تحقیق جهت ریزمقیاس نمایی آماری در دوره پیش‌بینی از داده‌های NCEP<sup>۱</sup> (جدول ۱) و مدل بزرگ مقیاس جوی- اقیانوسی CanESM2 تحت سناریوهای انتشار RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شده است. مدل CanESM2 یک مدل جامع و جفت شده و پنجمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده (CGCM4)<sup>۲</sup> است و جزو سری مدل‌های MIP<sup>۳</sup> و گزارش پنجم AR5 هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) می‌باشد. در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش یافته است. همچنین در سناریوی RCP محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از خط سیرهای تولید گازهای گلخانه‌ای نسبت به سناریوی SRES در AR4 ارزیابی شده است. به طور کلی عدم قطعیت در گزارش اخیر کاهش یافته است. سناریوی RCP شامل یک سناریوی کاهشی سختگیرانه RCP2.6 دو سناریوی حدواسط RCP 4.5 و RCP 6 و یک سناریوی بدبینانه RCP8.5 با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشد. سناریوهای RCP2.6، RCP 6، RCP 4.5 و RCP8.5 اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ را به ترتیب تا ۲/۶، ۶، ۴/۵ و ۸/۵ وات در متر مربع تخمین زده‌اند (IPCC, 2013).

## مدل SDSM

داده‌های حاصل از مدل های گردش عمومی جو به دلیل محدودیت در تفکیک مکانی (بزرگ بودن سلول‌ها) قابل استفاده در مقیاس محلی، منطقه ای و نقطه ای نیستند. بنابراین استفاده از آنها در مقیاس حوزه‌های آبخیز یا مطالعات منابع آب با خطای زیاد همراه می باشد. به همین دلیل باید اطلاعات آنها از سطوح بزرگ به مقیاس منطقه ای یا محلی تعمیم داده شود. تعمیم اطلاعات از یک سطح بزرگ به یک سطح کوچکتر تحت عنوان ریزمقیاس نمایی معروف است. روش های مختلفی بدین منظور ارایه شده است. یکی از پرکاربردترین این روش ها در حال حاضر استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی می باشد (Wilby and Dawson, 2008). این مدل نخستین بار در سال ۲۰۰۲ توسط ویلیبی با همکاری موسسه بررسی اثر سناریوهای تغییر اقلیم انگلستان به منظور ریزمقیاس نمایی ارایه شد. مدل ریزمقیاس نمایی داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر را به عنوان ورودی گرفته و در هفت مرحله به شرح زیر خروجی داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر را ریزمقیاس می نماید.

۱: کنترل کیفی و تبدیل داده ها: ایستگاه های هواشناسی کمی بوده و دارای داده های بدون نقص می باشند. لذا شناسایی داده‌های غلط یا گم شده ضروری است. این نرم افزار یک چک کنترل کیفی ساده در ابتدا روی داده‌های روزانه ایستگاه انجام می دهد.

۲: بررسی و انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده: از آنجا که اساس کار این روش تعیین رابطه بین متغیرهای پیش‌بینی کننده سینوپتیکی (از قبیل فشار سطح دریا) و متغیر پیش‌بینی شونده یا پارامتر اقلیمی منطقه (از قبیل بارش و دما) است، در این مرحله متغیر پیش‌بینی کننده‌ای که دارای همبستگی بیشتری با متغیر پیش‌بینی شونده دارد و یا سهم بیشتری در تغییرات مدل دارند، بررسی و انتخاب می شوند.

۳: برازش مدل: در این مرحله مدل رگرسیون چند متغیره براساس متغیرهای پیش‌بینی کننده انتخابی در مرحله قبل و متغیر پیش‌بینی شونده به روش کمینه مربعات ساخته می شود. کاربر ساختار مدل را براساس ماهانه، فصلی و یا سالانه تعیین می کند. علاوه بر آن شرطی یا غیرشرطی بودن مدل نیز می بایستی مشخص شود. در مدل غیرشرطی فرض می شود که متغیر پیش‌بینی شونده مستقیماً با متغیرهای پیش‌بینی کننده ارتباط دارد (از جمله دما) ولی در مدل شرطی یک فرآیند حدواسط بین عوامل منطقه‌ای و هوای محلی وجود دارد (برای مثال بارش).

۴: تولید داده‌های آب و هوایی: مولد‌های هواشناسی نمای کلی از سری داده‌های مدل شده روزانه براساس متغیرهای پیش‌بینی کننده مشاهده شده (یا داده‌های درون یابی شده NCEP) تولید می کند. این پروسه قادر به تأیید مدل برازش شده (با استفاده از داده های مستقل) و سری‌های زمانی مدل شده برای شرایط اقلیمی حاضر است.

۵: تحلیل داده‌ها: در این مرحله می توان میانگین ها، تحلیل فراوانی و شاخص‌های آماری داده های مشاهده شده و سناریوهای تولید شده را محاسبه و تحلیل نمود.

۶: تحلیل گرافیکی: در این مرحله تحلیل فراوانی داده‌ها به روش‌های نموداری انجام می شود که در آن توزیع آماری داده‌های تولید شده و مشاهده شده مورد تحلیل قرار می گیرد و داده‌های پرت و حدی مشخص می شوند. این تحلیل‌ها شامل

توزیع‌های آماری تجربی، گامبل، نمایی و حدی است. بعلاوه در این مرحله میانگین‌های ماهانه و فصلی داده‌های دوره-های مختلف با هم مقایسه می‌شوند.

۷: تولید سناریو: در نهایت عملیات تولید سناریو بر اساس داده‌های روزانه تولید شده مدل انجام می‌شود. در این مرحله خروجی مدل جهانی اقلیمی را در نظر گرفته و بر اساس داده تولید شده مدل در دوره‌های آینده خروجی مدل جهانی را اصلاح می‌کنند. در این مرحله نیز می‌توان برای زمان حال و گذشته سناریو تولید کرد.

یکی از مهمترین مراحل مدل ریز مقیاس نمایی، انتخاب آن دسته از متغیرهایی است که به طور قابل قبولی بتواند تغییرات و ویژگی‌های پارامترهای ایستگاهی مورد نظر را توصیف کند؛ که این متغیرها باید از متغیرهای NCEP انتخاب شوند. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است و از میان آنها متغیر یا متغیرهایی انتخاب می‌شوند که دارای بالاترین میزان همبستگی و کمترین مقدار شاخص PR می‌باشد و به عنوان متغیرهای توضیحی جهت پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش وارد معادله رگرسیونی SDSM می‌شوند. جهت محاسبه ضریب همبستگی از مدل و جهت محاسبه شاخص PR از رابطه زیر استفاده شده است (رابطه ۱) (Wilby and Dawson, 2008).

$$PR = \frac{R_p - R_a}{R_a} \quad \text{رابطه ۱}$$

از خروجی داده‌های CanESM2 که توسط مرکز مدلسازی و تحلیل آب و هوایی کانادا توسعه یافته، استفاده شده است (Chaumont, 2014). داده‌های مورد استفاده پس از ارزیابی کیفی و آماری توسط نرم افزار جهت تولید سریهای تصادفی روزانه آماده شدند. همچنین از سناریوهای RCP2.6، RCP 4.5 و RCP8.5 به عنوان سناریوهای مورد استفاده در پژوهش حاضر استفاده شده است.

جدول ۱- انتخاب متغیرهای مناسب جهت شبیه‌سازی دما

Table 1- Choosing suitable variables for temperature simulation

متغیر	پیش‌بینی کننده‌های منتخب	همبستگی مطلق	PR	Pvalue
پیشینه دما	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۶۶۵	۰/۳۰۷	۰/۰۰۰
	فشار متوسط سطح دریا	۰/۵۰۵	-۰/۱۹۲	۰/۰۰۰
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	-۰/۴۵۱	-۰/۲۲۹	۰/۰۰۰
	متوسط دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۶۱۸	۰/۰۹۷	۰/۰۰۰
گرمایه دما	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۶۲۰	۰/۲۳۱	۰/۰۰۰
	فشار متوسط سطح دریا	-/۵۳۱	۰/۰۸۶	۰/۰۰۰
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	-/۴۸۲	-۰/۰۸۶	۰/۰۰۰
	متوسط دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۶۱۹	۰/۰۶۱	۰/۰۰۰
میانگین دما	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۶۷۰	۰/۲۷۴	۰/۰۰۰
	فشار متوسط سطح دریا	۰/۵۳۵	-۰/۱۹۲	۰/۰۰۰
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	-۰/۴۴۴	-۰/۱۰۷	۰/۰۰۰
	متوسط دما در ارتفاع ۲ متری	-۰/۴۶۰	-۰/۱۶۳	۰/۰۰۰

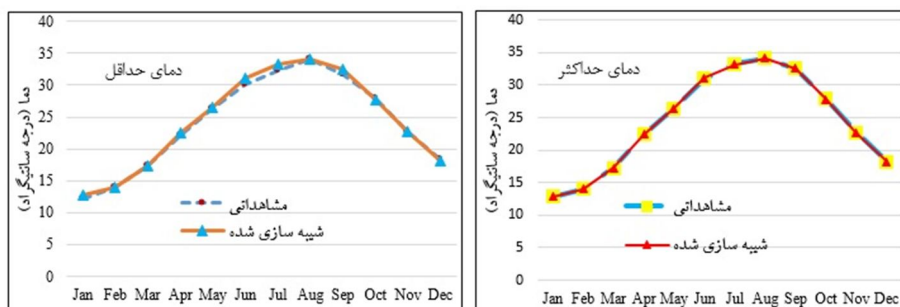
## بحث و نتایج

### انتخاب متغیرهای مناسب جهت شبیه‌سازی دما

به منظور کالیبره کردن مدل لازم است متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با پارامتر مورد بررسی دارند، انتخاب شوند. بنابراین ابتدا پیش بینی کننده های منتخب پارامترهای اقلیمی با استفاده از پارامترهای بزرگ مقیاس مشاهداتی انتخاب گردیدند (جدول ۱). نتایج جدول نشان می دهد که از بین ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده (NCEP)، در مجموع ۷ متغیر (به شرح جدول ۱) بیشترین همبستگی جهت پیش بینی پارامترهای سه گانه دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند را دارند. به طوریکه Pvalue همه متغیرها کمتر از ۰/۰۵ بوده و معنی دار می باشد.

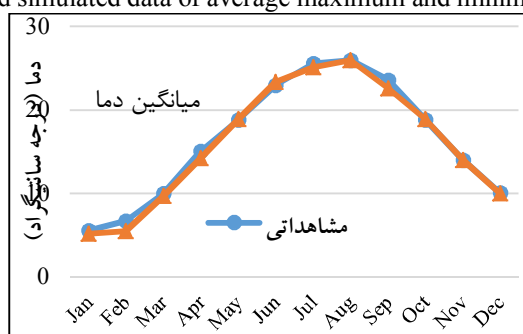
### نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی

به منظور مقایسه بهتر و صحت مدل، داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به بیشینه، کمینه و میانگین دمای ایستگاه بیرجند طی دوره (۱۹۸۶-۲۰۰۵) براساس متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP با هم مقایسه شده است. نتایج شکل‌های (۲ و ۳) نشان می‌دهد که داده‌های مشاهداتی و تولید شده متغیرهای سه‌گانه دما توسط مدل تا حد زیادی به یکدیگر نزدیک بوده که نشان‌دهنده دقت و صحت مدل جهت پیش‌بینی می‌باشد. به عبارت دیگر داده‌های شبیه‌سازی شده بواسطه متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب با داده‌های مشاهداتی مربوط به میانگین دمای بیشینه بیشترین تطابق و کمترین اختلاف را داشته است. بنابراین می‌توان گفت متغیرهایی که جهت پیش‌بینی انتخاب شده بودند از کارایی قابل قبولی جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی برای دوره‌های آینده برخوردار هستند.



شکل ۲: داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده میانگین بیشینه و کمینه دما (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

Figure 2: Observational and simulated data of average maximum and minimum temperature (1986-2005)



شکل ۳: داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده میانگین دما (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

Figure 3: Observed and simulated data of average temperature (1986-2005)



## شبیه‌سازی سری‌های دمایی در ایستگاه بیرجند برای دوره‌های آتی

پس از اطمینان از عملکرد مدل، مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین دمای ایستگاه بیرجند در دوره‌های زمانی آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹)، ۲۰۴۰-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۷۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) براساس مدل جهانی CanESM2 با استفاده از سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 شبیه‌سازی شده و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲- تغییرات بیشینه دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۹۹)

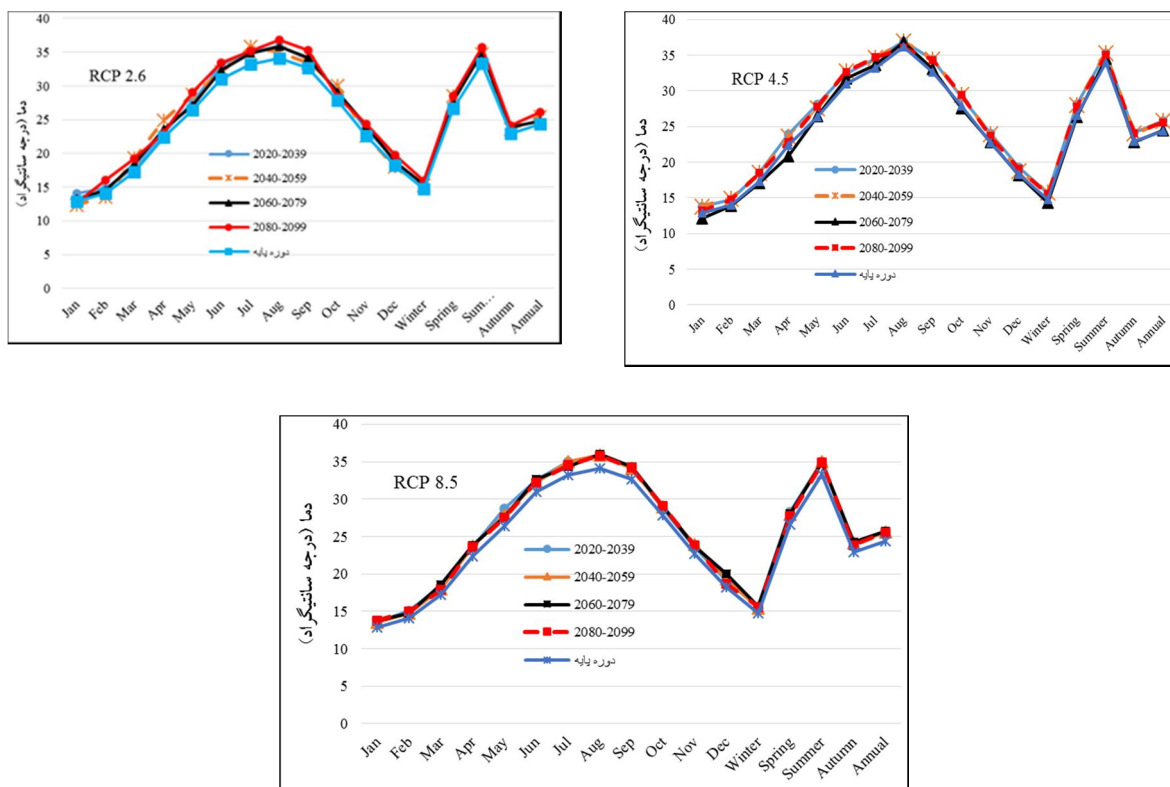
Table 2- Maximum temperature changes in Birjand synoptic station in time periods (2020-2099)

Rcp8.5				Rcp4.5				Rcp2.6				سناریو
۲۰۸۰-۲۰۹۹	۲۰۶۰-۲۰۷۹	۲۰۴۰-۲۰۵۹	۲۰۲۰-۲۰۳۹	۲۰۸۰-۲۰۹۹	۲۰۶۰-۲۰۷۹	۲۰۴۰-۲۰۵۹	۲۰۲۰-۲۰۳۹	۲۰۸۰-۲۰۹۹	۲۰۶۰-۲۰۷۹	۲۰۴۰-۲۰۵۹	۲۰۲۰-۲۰۳۹	دوره
۱۲/۸۵	۱۳/۷۴۶	۱۳/۵۲۱	۱۳/۵۱۹	۱۲/۸۵	۱۲/۱۴۲	۱۳/۷۹۵	۱۳/۷۱۷	۱۳/۶۳۱	۱۳/۳۲۹	۱۳/۳۵۶	۱۴/۰۹	ژانویه
۱۴/۰۳۴	۱۴/۸۱۱	۱۴/۷۷	۱۵/۰۷۸	۱۴/۰۳۴	۱۳/۸۵۲	۱۴/۹۲۱	۱۴/۷۴	۱۵/۰۸۲	۱۴/۵۱۲	۱۴/۵۵۲	۱۴/۸۹۴	فوریه
۱۷/۲۷	۱۸/۵۴	۱۸/۰۲۸	۱۸/۳۹۳	۱۷/۲۷۲	۱۷/۱۲۳	۱۸/۵	۱۸/۴۶۸	۱۸/۲۲۳	۱۸/۴۶۲	۱۸/۲۷۲	۱۷/۸۹۳	مارس
۲۲/۴	۲۳/۸۳	۲۳/۷	۲۳/۲۶۷	۲۲/۴	۲۰/۸۲۸	۲۳/۵۵۹	۲۳/۸۷۴	۲۴/۰۲	۲۳/۶۳۱	۲۳/۸۵۳	۲۰/۰۸۶	آوریل
۲۶/۳۸	۲۷/۶۲	۲۷/۸	۲۸/۶۸۹	۲۶/۳۸۸	۲۶/۴۲۶	۲۷/۵۶۴	۲۸/۰۹۵	۲۸/۰۳	۲۷/۱۳	۲۷/۷۲۷	۲۷/۵۸۶	می
۳۱/۰۲	۳۲/۶	۳۲/۲۴	۳۲/۵۲۲	۳۱/۰۲۴	۳۱/۷۱۴	۳۲/۷۶۸	۳۲/۳۷۴	۳۲/۳۹۵	۳۲/۳۷۵	۳۳/۰۸۹	۳۳/۰۶۹	ژوئن
۳۳/۲	۳۴/۳۱	۳۴/۹۹	۳۴/۹۹	۳۳/۲	۳۳/۶۳	۳۲/۵۷۴	۳۴/۵۷۲	۳۵/۲۰۶	۳۴/۸۴	۳۴/۷۸۸	۳۵/۹۷	جولای
۳۴/۱۲۵	۳۵/۹۵	۳۵/۸۶	۳۵/۷۹	۳۶/۱۲۵	۳۶/۸۲۹	۳۶/۹	۳۶/۹۲۶	۳۵/۷۸۴	۳۵/۸۲۱	۳۵/۹۶۷	۳۵/۹۱۹	آگوست
۳۲/۶۱۵	۳۴/۳۷	۳۴/۰۵	۳۴/۳۳	۳۲/۶۱۵	۳۳/۱۲۳	۲۹/۴۳۴	۳۴/۳۸۷	۳۴/۲۵۲	۳۴/۱۹۱	۳۴/۳۸۲	۳۴/۰۱۹	سپتامبر
۲۷/۸۷	۲۹/۰۶	۲۹/۰۲	۲۸/۷۹	۲۷/۸۷	۲۷/۵۴۲	۲۹/۳۸۴	۲۹/۱۱۸	۲۹/۳۸	۲۹/۰۰۷	۲۹/۰۸۲	۲۹/۳۰۳	اکتبر
۲۲/۶۶	۲۳/۶۸	۲۳/۹۵	۲۳/۵۴	۲۲/۶۶	۲۲/۷۷۳	۲۳/۸۷	۲۴/۰۱۳	۲۳/۳۵	۲۴/۱۲	۲۳/۶۱۴	۲۳/۴۶۳	نوامبر
۱۸/۲۴	۲۳/۰۱۳	۱۹/۳۹۹	۱۹/۱۳	۱۸/۲۴۵	۱۸/۲۱۵	۱۸/۷۷۸	۱۸/۶۱۴	۱۸/۷۳	۱۸/۸۰۳	۱۸/۹۹۱	۱۹/۰۸۴	دسامبر
۱۵/۵۶۲	۱۵/۷۰۲	۱۵/۴۴۱	۱۵/۶۶۳	۱۴/۷۱۸	۱۴/۳۷۳	۱۵/۷۳۹	۱۵/۶۴۲	۱۵/۹۷۴	۱۵/۴۳۳	۱۵/۳۲۵	۱۵/۸	زمستان
۲۷/۷۷۴	۲۸/۰۲۱	۲۷/۹۲۳	۲۸/۲۶۳	۲۶/۶۰۷	۲۶/۳۲۱	۲۷/۹۶۴	۲۸/۱۱۴	۲۸/۴۷۲	۲۷/۷۱۲	۲۸/۵۵۶	۲۸/۲۱۴	بهار
۳۴/۸۴۳	۳۴/۸۹۱	۳۴/۹۷۶	۳۵/۰۴۲	۳۵/۰۰۹	۳۴/۵۱۸	۳۵/۳۰۳	۳۵/۲۸۲	۳۵/۷۴۷	۳۴/۹۵	۳۴/۷۱۲	۳۲/۲۵۸	تابستان
۲۳/۵۰۴	۲۵/۷۱۷	۲۵/۶۱۴	۲۵/۶۹۳	۲۲/۹۲۶	۲۲/۸۴۱	۲۴/۰۱۱	۲۴/۱۴۷	۲۴/۱۵۳	۲۳/۹۷۴	۲۳/۵۶۳	۲۳/۹۵۱	پاییز
۲۵/۵۰۴	۲۵/۰۷۷	۲۵/۶۱۴	۲۵/۶۹۳	۲۵/۵۸۶	۲۴/۵۱۴	۲۵/۷۵۴	۲۵/۷۹۶	۲۶/۰۸	۲۴/۷۴۱	۲۵/۴۷۳	۲۶/۶۱۲	سالانه

## بررسی تغییرات بیشینه دما

جدول (۲) و شکل (۴) تغییرات میانگین دمای بیشینه ایستگاه بیرجند در دوره پایه و دوره‌های زمانی ۴ گانه آتی را نشان داده است. تغییرات میانگین بیشینه دمای ایستگاه بیرجند در همه ماه‌ها در سال‌های پیش‌بینی شده به استثناء ماه‌های ژانویه و فوریه افزایش داشته است. این افزایش بیشینه دما در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به سایر بازه‌های زمانی (۲۰۴۰-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۷۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) برای RCP های ۳ گانه افزایش بیشتری خواهد داشت. به عبارت دیگر بیشینه دما در همه سناریوهای مورد بررسی برای همه بازه‌های زمانی آتی به طور کلی روندی افزایشی خواهد داشت. بطوری که بیشترین افزایش دمای بیشینه در سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد.

مقایسه فصلی بیشینه دما در ایستگاه بیرجند نشان می‌دهد که در تمام فصول سال دمای بیشینه دارای روندی افزایشی خواهد بود. به طوریکه این افزایش در فصل تابستان تا حدود ۳۵ درجه سانتیگراد نیز خواهد رسید.



شکل ۴: تغییرات بیشینه دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) در مقایسه با دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) برای سناریوهای ۲.۶، ۴.۵، ۸.۵ RCP

Figure 4: Maximum temperature changes in Birjand synoptic station in the time periods (2020-2099) compared to the base period (1986-2005) for RCP 2.6, 4.5, 8.5 scenarios

### بررسی تغییرات کمینه دما

جدول (۳) و شکل (۵) تغییرات میانگین دمای کمینه ایستگاه بیرجند در دوره پایه و دوره‌های زمانی ۴ گانه آتی را نشان داده است. تغییرات میانگین کمینه دمای ایستگاه بیرجند در همه ماهها در سالهای پیش‌بینی شده به استثناء ماههای ژانویه و فوریه افزایش داشته است. این افزایش دما در بازه زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ محسوس نبوده اما در سایر بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۵۹ و ۲۰۶۰-۲۰۷۹) برای RCP های ۳ گانه کمینه دما افزایش بیشتری خواهد داشت. به عبارت دیگر کمینه دما در سه سناریوی مورد بررسی برای چهار دوره مورد مطالعه به طور کلی روندی افزایشی خواهد داشت که بیشترین افزایش دمای کمینه در سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد. مقایسه فصلی

کمینه دما نشان می‌دهد که دمای کمینه در ایستگاه بیرجند در تمام فصول روندی افزایشی خواهد بود. به طوریکه این افزایش در فصل تابستان تا حدود ۱۶ درجه سانتیگراد خواهد رسید.

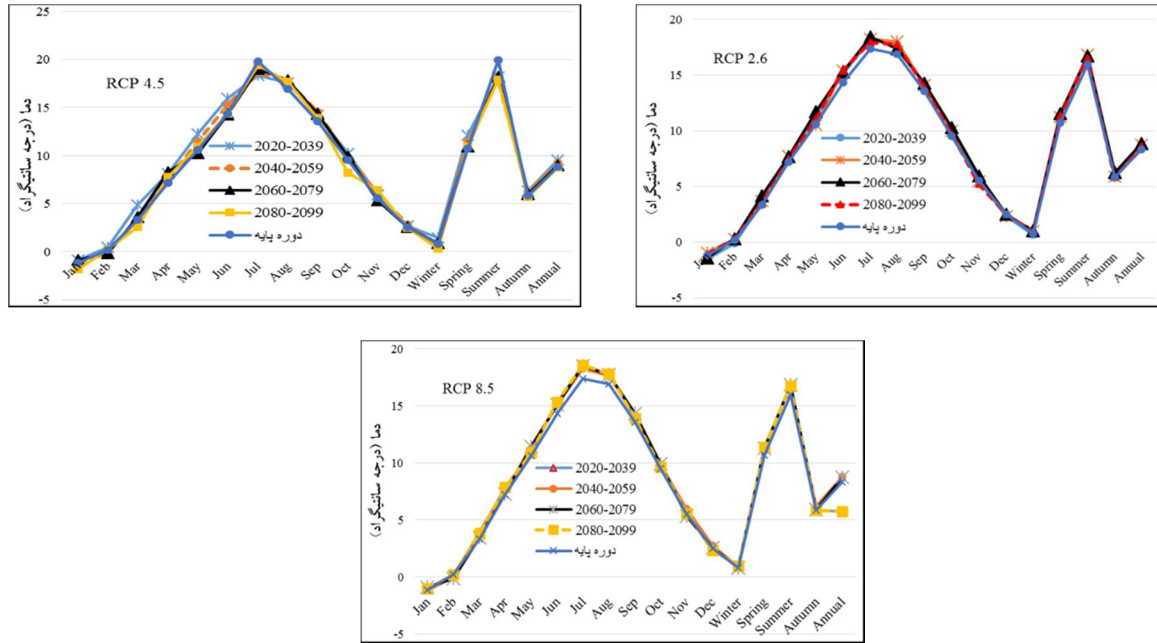
جدول ۳- تغییرات کمینه دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۹۹)

Table 3-Minimum temperature changes in Birjand synoptic station in time intervals (2020-2099)

Rcp8.5				Rcp4.5				Rcp2.6				سناریو
۲۰۲۰-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۴۰	۲۰۴۰-۲۰۵۰	۲۰۵۰-۲۰۶۰	۲۰۲۰-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۴۰	۲۰۴۰-۲۰۵۰	۲۰۵۰-۲۰۶۰	۲۰۲۰-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۴۰	۲۰۴۰-۲۰۵۰	۲۰۵۰-۲۰۶۰	دوره
-۱/۰۴۳	-۰/۰۹	-۱/۲۱	-۱/۱۸۷	-۱/۸۲۱	-۰/۰۹	-۱/۲۸۶	-۰/۰۹۰۶	-۱/۰۵۶	-۱/۴۴۷	-۰/۰۹۴۱	-۱/۰۵۳	ژانویه
۰/۲۴۴	-۰/۱۱۹	۰	۰/۲۲	۰/۲۴۲	-۰/۱۸۶	-۰/۱۱۷	۰/۴۳۲	۰/۲۹۳	۰/۲۸۲	۰/۳۰۴	-۰/۱۰۲	فوریه
۳/۷۹۲	۳/۴۵۵	۳/۹۶۴	۳/۸۶۵	۲/۵۲۸	-۳/۵۸۵	۳/۴۲۴	۴/۸۸	۳/۴۷	۴/۱۶۱	۳/۷۲۳	۳/۵۴۵	مارس
۷/۸۴۸	۷/۲۶۴	۷/۷	۸/۳	۷/۸۱۹	۸/۲۶۵	۷/۵۰۹	۸/۱۱	۷/۵۰۵	۷/۶۶	۷/۷۴۵	۷/۴۹۹	آوریل
۱۰/۹۶	۱۱/۴۵۲	۱۱/۲۳۷	۱۲/۶۲۳	۱۰/۹۱	۱۰/۲۳۶	۱۱/۵۲۹	۱۲/۲۳۵	۱۱/۱۰۴	۱۱/۸۳	۱۰/۵۱۱	۱۱/۳۱۶	می
۱۵/۳۷۶	۱۵/۱	۱۵/۲	۱۵/۴۰۹	۱۴/۳۷۶	۱۴/۳۲۵	۱۵/۳	۱۵/۹۶۵	۱۵/۴۲	۱۵/۳۱	۱۵/۴۳۳	۱۵/۱۳۵	ژوئن
۱۸/۶	۱۸/۵۳۱	۱۸/۳۱۷	۱۵/۸۳۹	۱۷/۶۰۴	۱۷/۸۴۲	۱۸/۰۷۸	۱۸/۸۳۸	۲۲/۰۶۳	۲۲/۴۶۳	۲۳/۵۴۲	۲۲/۸۴۲	جولای
۱۷/۸	۱۷/۷۸	۱۷/۶۴۲	۱۷/۹۱۸	۱۷/۷۳۵	۱۴/۳۴	۱۷/۷۰۷	۱۷/۵۶۵	۱۷/۷۸	۱۷/۳۸۸	۱۸/۰۵۱	۱۷/۷۷۵	اگوست
۱۳/۹۴	۱۴/۳۴	۱۴/۱۷۲	۱۳/۹۶۶	۱۳/۹۴۵	۹/۹۲۱	۱۴/۵۵۹	۱۴/۱۹۲	۱۳/۹	۱۴/۳	۱۴/۰۹	۱۴/۱۰۳	سپتامبر
۹/۶۲۳	۹/۹۲۱	۹/۸۶۵	۱۰/۰۶	۸/۲۳۸	۵/۳۶۱	۹/۸۵	۱۰/۲۴۹	۹/۶۸۵	۱۰/۳	۹/۹۸۱	۹/۹۷	اکتبر
۵/۵۹۶	۵/۳۶۱	۶	۶/۳	۶/۳۶۲	۲/۵۸۳	۶/۰۱۲	۵/۹۱۶	۵/۲۳۶	۵/۹۳	۵/۴۷۶	۵/۵۴۸	نوامبر
۲/۳۲۷	۲/۵۸	۲/۷۴۹	۲/۵۹۹	۲/۴۴۷	۴/۱۲۴	۲/۷۹۸	۲/۷۰۶	۲/۵۱۵	۲/۴۹	۲/۳۱۷	۲/۳۲	دسامبر
۰/۹۹۸	۰/۸۱۰	۰/۹۱۷	۰/۹۶۵	۰/۳۱۶	۰/۸۴۱	۰/۶۷۳	۱/۴۶۲	۰/۹۰۲	۰/۹۹۹	۱/۰۲۵	۰/۳۳۹	زمستان
۱۱/۳۹۴	۱۱/۲۷۲	۱۱/۳۷۸	۱۲/۱۱۱	۱۱/۰۳۲	۱۰/۹۴	۱۱/۴۴۶	۱۲/۱۰۲	۱۱/۳۴۴	۱۱/۵۷۱	۱۱/۲۳	۱۱/۳۱۷	بهار
۱۶/۷۴۵	۱۶/۸۸۴	۱۶/۷۱	۱۵/۸۴۷	۱۶/۴۱۲	۱۶/۲۱	۱۶/۷۸۴	۱۶/۶۸۴	۱۶/۲۱۴	۱۶/۳۱۵	۱۵/۰۹	۱۵/۰۳	تابستان
۵/۸۴۹	۵/۹۵۵	۶/۲۱۴	۶/۳۳۱	۵/۶۸۷	۵/۹۴۱	۶/۲۲۳	۶/۲۹	۵/۸۱۲	۶/۲۶۶	۵/۹۲۱	۵/۹۴۷	پاییز
۵/۷۵۴	۸/۷۳۱	۸/۸۱	۸/۰۳۲	۸/۳۶۲	۸/۸۱۹	۸/۷۱۴	۹/۱۸۲	۸/۷۳۷	۸/۹۸۶	۹/۲۳۵	۹/۵۱۲	سالانه

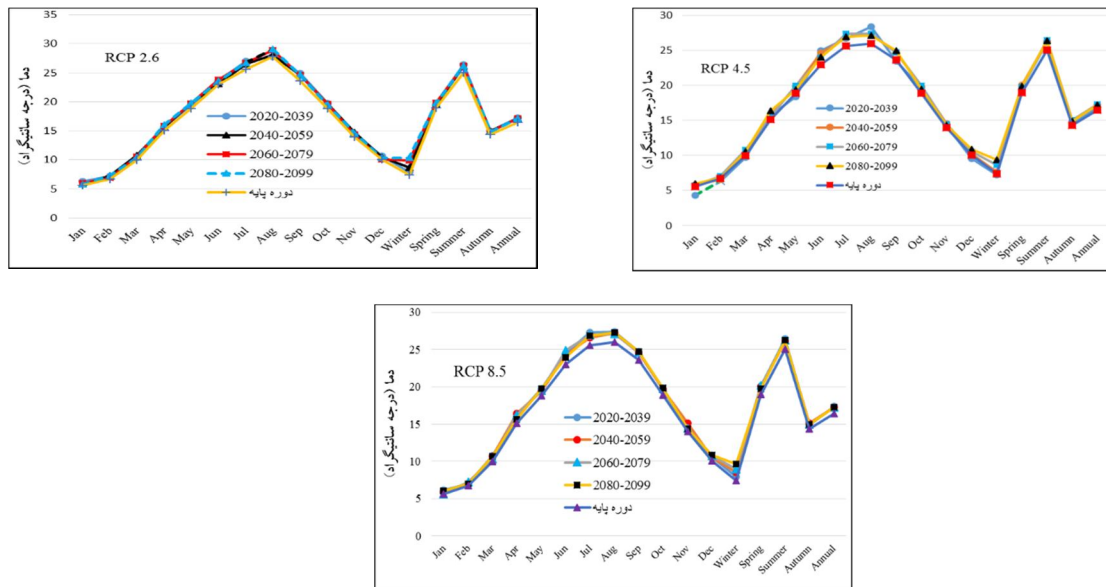
### بررسی تغییرات میانگین دما

همچنین تغییرات میانگین دما در ایستگاه بیرجند نشان داده است که میانگین دما در همه ماه‌ها در بازه زمانی ۸۰ سال آینده (۲۰۲۰-۲۰۹۹) و در همه RCP های ۳ گانه روندی افزایشی خواهد داشت. بررسی روند میانگین دما برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در هر سه سناریو روند افزایش دما بتدریج از ژانویه شروع شده و در ماه آگوست به بیشینه خود می‌رسد. بطوریکه بیشترین افزایش دمای میانگین در سناریوی RCP2.6 و در ماه آگوست و در دوره (۲۰۸۰-۲۰۹۹) و به میزان ۲۹ درجه سانتیگراد رخ خواهد داد. مقایسه فصلی تغییرات میانگین دما نشان می‌دهد که بیشترین افزایش در فصل تابستان و تا حدود ۲۶ درجه سانتیگراد خواهد رسید (جدول ۴ و شکل ۶).



شکل ۵: تغییرات کمینه دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) برای سناریوهای ۲.۶، ۴.۵، ۸.۵ RCP

**Figure 5:** Minimum temperature changes at the Birjand synoptic station in the time periods (2020-2099) compared to the base period (1986-2005) for RCP 2.6, 4.5, 8.5 scenarios



شکل ۶: تغییرات میانگین دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) برای سناریوهای ۲.۶، ۴.۵، ۸.۵ RCP

**Figure 6.** Average temperature changes in Birjand synoptic station in the time periods (2020-2099) compared to the base period (1986-2005) for RCP 2.6, 4.5, 8.5 scenarios

جدول ۴- تغییرات میانگین دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۹۹)

Table 4-Average temperature changes in Birjand synoptic station in the time periods (2020-2099)

Rcp8.5				Rcp4.5				Rcp2.6				سناریو
۲۰۲۰-۲۰۷۰	۲۰۷۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۰۹۰	۲۰۹۰-۲۰۹۹	۲۰۲۰-۲۰۷۰	۲۰۷۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۰۹۰	۲۰۹۰-۲۰۹۹	۲۰۲۰-۲۰۷۰	۲۰۷۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۰۹۰	۲۰۹۰-۲۰۹۹	دوره
۶/۰۴۵	۵/۶۴۳	۵/۹۱	۶/۱۰۳	۵/۹۵۷	۵/۷۵۶	۵/۸	۱۶/۵۳۲	۵/۷۸	۶/۰۳۴	۵/۸۴۲	۶/۲۷۳	ژانویه
۷	۷/۲۶۵	۶/۹۸۵	۶/۹۶۸	۶/۸۴	۷/۰۶۱	۶/۵۹۹	۱۶/۵۳۳	۷/۳۰۳	۶/۹۲۵	۷/۳۰۳	۷/۱۶۶	فوریه
۹/۹۹	۱۰/۶۲۸	۱۰/۲۹۴	۱۰/۷۴	۱۰/۵۳۵	۱۰/۸۲۵	۱۰/۴۲۷	۱۶/۲۸۳	۱۰/۴۵۳	۱۰/۵۴۳	۱۰/۷۴۱	۱۰/۴۰۳	مارس
۱۵/۶	۱۶/۲۲۶	۱۶/۳۹	۱۶/۰۶۵	۱۶/۳۴۵	۱۵/۵۱	۱۵/۶۷۲	۱۵/۴۰۱	۱۶/۰۲۱	۱۵/۸۸۹	۱۵/۷۰۱	۱۵/۶۸۵	آوریل
۱۹/۷۲۶	۱۹/۵۱۳	۱۹/۳۹۴	۱۹/۷۱۵	۱۹/۳۷۴	۱۹/۹۸۱	۱۹/۸۹۹	۱۵/۰۸۲	۱۹/۸۱۸	۱۹/۷۳۵	۱۹/۴۰۹	۱۹/۷۰۴	می
۲۳/۹۱۹	۲۴/۸۶۸	۲۴/۲۹۵	۲۴/۴۹۱	۲۳/۹۹	۲۳/۹۷	۲۴/۵۸۲	۱۵/۶۵۶	۲۳/۵۸۸	۲۳/۸۴۲	۲۳/۱۴۳	۲۳/۵۹	ژوئن
۲۶/۸۲	۲۶/۹۲۲	۲۶/۵۶۱	۲۶/۲۹۶	۲۶/۹۱	۲۶/۳۱۱	۲۶/۸۶۳	۱۵/۹۵۷	۲۶/۷۵	۲۶/۶۶۹	۲۶/۴۵۵	۲۶/۰۱۵	جولای
۲۷/۲۶۴	۲۷/۱۴۴	۲۷/۱۵۵	۲۷/۳۷۲	۲۷/۱۲۲	۲۷/۳۳۴	۲۷/۲۸۱	۲۶/۱۹۸	۲۹/۰۲۱۴	۲۸/۹۲۵	۲۸/۰۵۲	۲۷/۸۴۱	آگوست
۲۴/۶۸۷	۲۴/۵۹۲	۲۴/۵۳۶	۲۴/۶۷۲	۲۴/۹۳۳	۲۴/۷۰۱	۲۴/۶۵۸	۱۶/۳۶۷	۲۴/۶۹	۲۴/۶۱۸	۲۴/۶۲۴	۲۴/۹۵۶	سپتامبر
۱۹/۸	۱۹/۷۴	۱۹/۶۷	۱۹/۶۸۱	۱۹/۴۲۸	۱۹/۹۹	۹/۷۴۶	۱۵/۹۹۷	۱۹/۵۳	۱۹/۶۶۳	۱۹/۶۸۳	۱۹/۲۸	اکتبر
۱۴/۳۱	۱۴/۴	۱۵/۱۴	۱۴/۲۷۵	۱۴/۲۶۷	۱۴/۴۸۱	۱۴/۵۱۲	۱۶/۰۹	۱۴/۵۶۸	۱۴/۴۰۶	۱۴/۸۰۴	۱۴/۴۲۱	نوامبر
۱۰/۸۳۶	۱۰/۸۸۶	۱۰/۴۶	۱۰/۵۶۱	۱۰/۹۰۷	۱۰/۵۸۳	۱۰/۲۶۲	۱۶/۶۹۸	۱۰/۳۶۱	۱۰/۱۱۴	۱۰/۴۸۸	۱۰/۶۴۲	دسامبر
۹/۶۲۵	۸/۹۶۳	۸/۵۳۶	۷/۹۳۷	۹/۴۱۷	۸/۶۲۴	۷/۶۱	۷/۲۱۵	۱۰/۳۶۱	۹/۸۷۴	۸/۶۸۴	۷/۹۴۲	زمستان
۱۹/۷۴۳	۲۰/۲	۲۰/۰۲۴	۲۰/۰۹۱	۱۹/۹	۱۹/۸۲	۲۰/۰۵۱	۱۹/۶۶۷	۱۹/۸۰۲	۱۹/۸۲۲	۱۹/۵۱۶	۱۹/۵۶۲	بهار
۲۶/۲۵۷	۲۶/۲۱۹	۲۶/۰۸۴	۲۶/۴۴۷	۲۶/۳۳۴	۲۶/۴۴۸	۲۶/۲۶	۲۶/۱۴۷	۲۶/۱۹	۲۶/۱۷۶	۲۶/۱۴۲	۲۶/۴۲	تابستان
۱۴/۹۸۱	۱۴/۹۷۱	۱۵/۰۹۴	۱۴/۸۳۹	۱۴/۸۶۷	۱۵/۰۴	۱۴/۸۴۱	۱۴/۴۸۷	۱۴/۸۳۴	۱۴/۸۲۱	۱۴/۹۹۱	۱۴/۹۳۵	پاییز
۱۷/۲۲	۱۷/۲۸۶	۱۷/۳۶۷	۱۷/۳۲۸	۱۷/۲۲۴	۱۷/۲۹۱	۱۷/۱۹۴	۱۴/۷۷	۱۷/۱۶۸	۱۷/۱۴۲	۱۷/۱۵۳	۱۷/۲۱۴	سالانه

## نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش مطالعه و بررسی تغییرات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه زمانی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) بوده است. بنابراین بعد از واسنجی و ارزیابی مدل، پارامترهای دمایی ایستگاه سینوپتیک بیرجند شامل بیشینه، کمینه و میانگین دما توسط مدل ریزمقیاس نمائی (SDSM) بواسطه داده‌های مشاهداتی در دوره (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و خروجی مدل CanESM2 تحت سه سناریو (RCP 2.6, 4.5, 8.5) برای بازه‌های زمانی (۲۰۲۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۵۹)، (۲۰۶۰-۲۰۷۹) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور بعد از کنترل داده‌ها، متغیرهای غالب انتخاب شدند، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده شامل رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، فشار متوسط سطح دریا، رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری، هم‌بستگی قابل قبولی با دمای روزانه دارند. این متغیرها که دارای P-value قابل قبولی نیز می‌باشند به عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده دمای روزانه انتخاب شده‌اند. هدف از این مرحله غربالگری متغیرها و کمک به ریزمقیاس نمائی متغیرهای بزرگ مقیاس است و اینکه معلوم شود کدام یک از متغیرهای بزرگ مقیاس از نظر سطح معناداری با متغیرهای کوچک مقیاس ارتباط قوی دارند، سپس بعد از کالیبره کردن و صحت سنجی مدل، داده‌های آب و هوایی برای دوره آبی تولید شد.

نتایج شبیه‌سازی تغییرات میانگین بیشینه دما ایستگاه بیرجند نشان دهنده سیر صعودی این پارامتر در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۱۰۰) است. به طوریکه بیشترین افزایش در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و در سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد. همچنین نتایج این شبیه‌سازی نشان دهنده افزایش میانگین کمینه دما در بازه‌های زمانی (۲۰۳۹-۲۰۲۰، ۲۰۵۹-۲۰۴۰ و ۲۰۷۹-۲۰۶۰) می‌باشد و بیشترین افزایش دمای کمینه در سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد. بررسی روند میانگین دما برای همه بازه‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در هر سه سناریو (RCP 2.6, 4.5, 8.5)، روند افزایش دما بتدریج از ژانویه شروع شده و در ماه آگوست به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بطوریکه بیشترین افزایش میانگین دما در سناریوی RCP2.6 و در ماه آگوست در اواخر بازه مورد مطالعه (۲۰۸۰-۲۰۹۹) خواهد بود. مقایسه فصلی پارامترهای دما نشان دهنده روند افزایشی دما در تمام فصول بویژه فصل تابستان خواهد بود. به طوریکه دمای بیشینه، دمای کمینه و میانگین دما در انتهای دوره مورد مطالعه به ترتیب به ۳۵، ۱۶ و ۲۶ درجه سانتیگراد خواهد رسید. نکته قابل تامل در مورد مقایسه فصلی پارامتر دما، افزایش میانگین دما در فصل زمستان می‌باشد. زیرا مقایسه میانگین دما در بازه ابتدائی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و بازه انتهائی (۲۰۸۰-۲۰۹۹) نشان دهنده افزایش ۱/۶۸ درجه سانتیگرادی میانگین دما در فصل زمستان در دوره‌های آینده می‌باشد.

نتایج کلی بررسی شبیه‌سازی پارامترهای ۳ گانه دما در ایستگاه بیرجند در طول دوره آماری (۲۰۲۰-۲۱۰۰) نشان دهنده سیر صعودی دما همراه با بی‌نظمی، نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) است. به عبارت دیگر مقادیر دما در ایستگاه مطالعاتی در چشم انداز آینده افزایش خواهد یافت. به علاوه روند افزایشی دما به عنوان یکی از عناصر اقلیمی موثر در خشکی و تشدید شرایط نامناسب در منطقه می‌باشد. همچنین مدل SDSM توانایی مناسبی در کوچک مقیاس نمودن و ارزیابی تغییرات دما در منطقه مورد مطالعه را دارد. به طوری که این نتایج با پژوهش‌های (Dehghanpour et al (2011) ، Rezaei et al (2014) ، Sajdkhan et al (2006) ، Karamooz et al (2009) ، Asakerh & Akbarzadeh (2017) ، Sarvar et al (2010) ، Chima et al (2013) ، Minoo et al (2012) ، Yaghoobzadeh et al (2017) همخوانی دارد. به طور کلی می‌توان گفت که در شبیه‌سازی پارامتر دما، نتایج سناریوهای مختلف اختلاف معنی‌داری با هم ندارند و هر سه سناریو افزایش بیشینه، کمینه و میانگین دما در ایستگاه بیرجند را در دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰) نشان داده‌اند.

## References

- Asakereh, H., & 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**, 6(1), 153-174. doi: 10.22067/geo.v6i1.54791. [In Persian].
- Chaumont, D. (2014). A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions. **Ouranos**, 86.
- Dehghanpor, A.R., & Dehghnizadeh, R. (2011). Evaluation of the Potential of Ardakan Villages for the Application of Solar Radiation by Using GIS. **Urban ecology research**, 3(6), 9-18. [In Persian].
- Cheema, S. B., Rasul, G., Ali, G., & Kazmi, D. H. (2013). A comparison of minimum temperature trends with model projections, **Journal of Meteorology**, 15(8): 39-52.
- Fung, F., Lopez, A., & New, M. (2011). Water availability in+ 2 C and+ 4 C worlds. **Philosophical transactions of the Royal Society A: mathematical, physical and engineering sciences**, 369(1934), 99-116. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0293>.
- Ghazavi, R. & Mousavian, M.M. (2017). Investigating climate anomalies using SDSM microscale model in tabas city. **Journal of Renewable Natural Resources Research**, 8(1), 41-54. [In Persian].
- Jana, B. Kr., Majumder, M., (2010), Impact of Climate Change on Natural Resource Management, springer pub, pp.110.
- kamyar, A., Movahedi, S., & Yazdanpanah, H. (2017). Projection of Minimum and Maximum Air Temperatures in Isfahan Province during 2050-2017. **Journal of Climate Research**, 1396(29), 37-54. [In Persian].
- Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. **Journal of Hydrology**, 319(1), 357-382.
- Lee, J.H., Kwon. H.H., Jang, H.W., Kim, T.W. (2016). Future Changes in Drought Characteristics under Extreme Climate Change over South Korea. **Advances in Meteorology**, 1(19): 123-135.
- Liu, Z., Xu, Z., Charles, S. P., Fu, G., & Liu, L. (2011). Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. **International Journal of Climatology**, 31(13): 2006-2020.
- Mo, X., Guo, R., Liu, S., Lin, Z., Hu, S., (2013), Impacts of climate change on crop evapotranspiration with ensemble GCM projections in the North China Plain, **Clim Change**, 120: 299–312.
- Mohammadi H, Ranjbar F, Moghbel M. (2016). The effects of global warming on Iran's minimum temperature. **Journal of Geography**, 14(51), 351-366.
- Rajabi, A. and Shabanlou, S. (2012). Climate Index Changes In Future By Using SDSM In Kermanshah, Iran, **Journal of Environmental Research and Development**, 7(1).
- Sarwar, G., Corsi, R., Kimura, Y., Allen, D., & Weschler, C. J. (2002). Hydroxyl radicals in indoor environments. **Atmospheric Environment**, 36(24), 3973-3988.
- Salehpour Jam. A., Karimpour Reihan. M., Mohseni Saravic. M., Bazrafshan. J., Khalighi Sigaroudi. Sh., (2017), Investigation of climate change effect on drought characteristics in the future period using the HadCM3 model (Case study: Khoy station, northwest of Iran), **Desert**, 22(1): 43-50.
- South Khorasan Province Meteorological Department. (2019). [In Persian].
- Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., Farid, A. (2013), Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin), **Meteorol. Appl.** 20: 115–127.

- Tatsumi, K., Oizumi, T., Yamashiki, Y., (2013), Introduction of daily minimum and maximum temperature change signals in the Shikoku region using the statistical downscaling method by GCMs, **Hydrological Research Letters**, 7(3): 48–53.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W.(2008). **climate change impacts**. User manual, 94 pp.
- Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., khozeymehnezhad, H., & zeraatkar, Z. (2018). The evaluation of the three downscaling methods in Meteorological droughts forecasting under the effects of climate change. **Iranian Journal of Irrigation & Drainage**, 12(2), 323-334. [In Persian].
- Zehtabiana, Gh.R., Salajegheh, A., Malekiana, A., Boroomand, N., Azareh, A. (2016). Evaluation and comparison of performance of SDSM and CLIMGEN models in simulation of climatic variables in Qazvin plain, **Desert** 21(2), 147-156. [In Persian].
- Zhang, X.C., Liu, W.Z. and Chen, J.(2011). Trend and uncertainty analysis of simulated climate change impacts with multiple GCMs and emission scenarios. **Agricultural and Forest Meteorology**, 151(25): 1297-1304.



## Prediction and Simulation of Temperature Changes in Birjand Synoptic Station by Using SDSM Model in the 2020–2100 Period

Mohammad Akbari<sup>1</sup>, Mohammad Saligheh<sup>2</sup>, Mohammad Hossein Nasser Zadeh<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Department of Physical Geography, Kharazmi university of Tehran, Tehran, Iran.

Email: Akbarikakan1@yahoo.com (Corresponding Author)

### Introduction

Any long-term change in atmospheric variables caused by natural or unnatural phenomena, with a time span ranging from several decades to millions of years, is called climate change. There are various methods for simulating and predicting climate variables in future periods under the influence of climate change. One of the most reliable of these methods is the use of data from general circulation models (GCMs). These models are capable of simulating atmospheric general circulation model data at large scales. Using exponential downscaling methods, GCM outputs are converted into surface variables in the study area. The Micro scaling is defined as a factor that creates a connection between the large-scale cycles of predictors and local scale climate variables (predictors). In general, statistical downscaling methods are divided into three categories: regression methods, weather pattern clustering, and weather time series generators. The SDSM model is a combination of weather time series generators and regression methods.

### Methodology

materials and methods

Tools used

The purpose of this research is to temperature simulate in the Birjand synoptic station using SDSM Model. Observation data includes the maximum, minimum and daily average of the temperature in time (1981-2005). It is used from NCEP data and CanESM2 output under RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios for statistical downscaling in the projected (2020-2100) periods.

### Results

The simulation results of the average temperature change at the Birjand station indicate an incremental trend of this parameter in the range of 2020-2100. The highest increase will occur in the period 2020-2039 and in the RCP4.5 scenario. Also, the results of this simulation indicate an increase in the mean minimum temperature in time intervals (2020-2020, 2059-2040 and 2079-2060), and the highest increase in minimum temperature in RCP4.5 scenario will occur. The study of the average temperature for all studied periods shows that in all three scenarios (RCP 2.6, 4.5, 8.5), the average temperature increase gradually began in January, reaching its highest level in August. The most important thing is to increase the average temperature in winter. Because the average temperature in the initial period (2020-2039) and the end period (2080-2099) indicates an increase of 1.68 degrees Celsius, the average winter temperature will be in the coming periods. The average changes in the minimum temperature of Birjand station have increased in all months in the predicted years, except for January and February. The seasonal comparison of average temperature changes shows that the highest increase will be in the summer season and will reach about 26 degrees Celsius.

### Conclusion

The general results of the simulation of the three parameters of the temperature of the station in Birjand during the statistical period (2020-2100) indicate an increase in temperature along with an incidence from the base period (1981-86). In other words, the temperature values in the study area will increase in the future. Other temperature values at the study station will increase in the future. In addition, the increasing trend of temperature is one of the climatic elements that is effective in drought and intensification of unfavorable conditions in the region.

**Keywords:** Climate Change, temperature simulation, Birjand, SDSM, CanESM2