

بررسی تغییرات دمای هوا در شهرستان طبس در افق آینده با استفاده از گزارش ششم تغییر اقلیم

نفیسه ایزدی^۱، مهدی امیرآبادی زاده^۲، مهدی دستورانی^{۳*}

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱

چکیده

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب تغییرات قابل توجه در چرخه هیدرولوژی شده است. تغییرات اقلیمی بر تمامی فرآیندهای زیست محیطی و جامعه تاثیرگذار است. برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم پارامتر دما، مدل‌های گردش عمومی جو و استفاده از ریزمقیاس نمائی یکی از بهترین روش‌ها برای برآورد این تأثیرات به شمار می‌روند. در مطالعه حاضر از به روزترین گزارش تغییر اقلیم (CMPI6) استفاده گردید. همچنین در این پژوهش با استفاده از داده‌های تاریخی NCEP و داده‌های مشاهداتی هواشناسی شهرستان طبس (۱۹۹۰-۲۰۱۴ میلادی)، پیش‌بینی تغییرات دمای طبس با استفاده از مدل CanESM5، تحت دو سناریو حد متوسط (ssp245) و سناریو بدبینانه (ssp585) برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ میلادی انجام شد. با توجه بزرگ مقیاس بودن مدل NCEP، از مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی استفاده شد. به منظور ارزیابی مدل از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص توافق (d) و شاخص Kling-Gupta (KGE) استفاده شد. نتایج صحت سنجی مدل SDSM در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ میلادی نشان داد، RMSE برابر ۲/۵۶۸، d برابر ۰/۹۸ و KGE برابر ۰/۹۶ می‌باشد. سپس شبیه‌سازی برای آینده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ تحت دو سناریو ssp245 و ssp585 انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد، در این بازه نیز شبیه‌سازی به خوبی صورت گرفته است. همچنین با استفاده از سناریو ssp245 دمای هوای طبس نسبت به دوره پایه، ۳/۲ درجه سلسیوس و با سناریو ssp585 دمای طبس نسبت به دوره پایه، ۴/۷ درجه سلسیوس افزایش دما خواهد داشت.

کلمات کلیدی: ریزمقیاس‌نمایی، SDSM، BCSD، سناریوی انتشار، گزارش ششم تغییر اقلیم

تحلیل‌ها و ثبت شواهد موجود توسط محققان مختلف در سراسر جهان تردیدها نسبت به نقش گرمای جهانی در تغییرات اقلیمی را به حداقل رسانده است. نتیجه این رخداد تغییر میانگین متغیرهای مختلف اقلیمی است که احتمالاً ادامه‌دار خواهد بود (بواکوا و همکاران، ۲۰۱۷) پدیده تغییر اقلیم تغییر حالتی از شرایط آب و هوایی است که در آن میانگین عناصر اقلیمی به مدت چند دهه یا طولانی‌تر خود دچار تغییر می‌شود (کوهی و همکاران، ۱۴۰۱). با افزایش تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم به یکی از مهم‌ترین چالش‌ها تبدیل شده است و نگرانی‌های بسیاری نیز در رابطه با اثرات این پدیده بر بخش‌های مختلف بوجود آمده است. (IPCC, 2013) از دهه ۱۹۰۰ میلادی، میانگین جهانی غلظت گازهای گلخانه‌ای به سرعت افزایش یافته است که منجر به تغییر در ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی و وقوع بیشتر در حوادث شدید می‌شود. (المزروعی و همکاران، ۲۰۲۰) باتوجه به ارزیابی گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC¹) میانگین سالانه دمای جهانی در دوره زمانی ۲۰۱۲ - ۱۸۸۰ به میزان ۰/۸۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. مهمترین پیامد تغییر اقلیم افزایش میانگین دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان‌های استوایی، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، امواج گرمایی و سرماهای نا بهنگام خواهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده می‌تواند بر سامانه‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد (خواجه امیری خالدی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین مدیریت صحیح منابع آب و به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک که بیشتر تحت تاثیر این پدیده هستند، الزامی است. (سو-یان و همکاران، ۲۰۲۰).

هیدرولوژی حوضه تحت تاثیر افزایش دما و تغییرات توزیع بارش قرار می‌گیرد و در نتیجه مقدار آب در دسترس تغییر خواهد کرد. به طور کلی، حوادث اقلیمی و تغییرات شدید آن‌ها می‌تواند تاثیر زیادی بر اکوسیستم و جامعه بگذارد و هر ساله خسارت‌های اقتصادی زیادی را به بار می‌آورد. در همین راستا موسسه بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC) در جدیدترین گزارش خود (AR6) به افزایش ریسک خطرات طبیعی مانند خشکسالی و سیلاب که ممکن است در نتیجه تغییرات اقلیمی باشد، پرداخته و هشدار داده است (ایران‌شاهی و همکاران، ۱۴۰۱). تاکنون مدل‌های اقلیمی ابزارهای موثر بسیاری برای شبیه‌سازی‌های اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسعه داده شده است. مدل‌های گردش عمومی جو (GCM²) مدل‌هایی هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند. پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، بخار آب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. از موارد خاص مورد توجه، افزایش سریع CO₂ در اتمسفر، به علت سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌باشد. این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک بیانگر وضعیتی از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل تولید این گازها می‌باشد. هر کدام از این سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فناوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آنها سناریو انتشار اطلاق می‌شود. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل GCM بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آنها به لحاظ مکانی نسبت به موقعیت مورد مطالعه است. از آنجایی که روش‌های

² General Circulation Model¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

سناریو امکان کاوش ساختاری تغییر اقلیم را در سطحی سازگار با محدود کردن افزایش میانگین دمای جهانی در سال ۲۱۰۰ تا ۱/۵ درجه سلسیوس با احتمال تقریبی ۶۶ درصد فراهم می‌کند. SSPها شرایط آتی را بر اساس پنج رویکرد بنیادین توسعه پایدار (SSP1)، توسعه مبتنی بر سیاست‌های بینابین (SSP2)، گسترش رقابت منطقه‌ای (SSP3)، نابرابری (SSP4) و توسعه کاربرد سوخت‌های فسیلی (SSP5) توصیف می‌کند. SSPها بروز شده RCP گزارش پنجم (CMPI5) هستند که عمل پیش‌بینی تا سال ۲۱۰۰ میلادی را به عنوان اهداف بلند مدت اقلیمی به انجام می‌رسانند (ایران‌شاهی و همکاران، ۱۴۰۱).

زیرین و داداشی رودباری (۱۴۰۲) به بررسی مدل‌های CMPI6 در برآورد دمای ایران با تأکید بر حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) پاسخ اقلیم گذرا (TCR) پرداختند. آنها ۳۰ مدل از مدل‌های فاز ششم پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMPI6) را گزینش و با تمرکز بر پراکنش فضایی داده‌ها و روند سالانه دما ارزیابی و درستی این مدل‌ها با داده‌های ۵۱ ایستگاه هواشناسی هم‌دیدگی برای دوره تاریخی (۱۹۸۰-۲۰۱۴) با استفاده از دوارش نمودار تیلور و نمودار جعبه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد بیشتر مدل‌های CMPI6 در بازتولید پراکنش فضایی دما کارایی مناسبی دارند. با این حال چهار مدل CanESM5، INM-CM5-0، TaiESM1 و UKESM1-0-LL بیشترین کارایی را در برآورد دمای ایران داشتند.

خواجه‌امیری خالدی و همکاران (۱۴۰۰) صحت سنجی عملکرد برون‌داد مدل اقلیمی CMPI6 با داده‌های مشاهداتی کرانه‌های مکران را بررسی کردند. آنها با توجه به شرایط اقلیمی در سواحل مکران از ۱۱ مدل گردش سیاره‌ای برون‌داد CMPI6 در دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ استفاده کردند. نتایج محاسبات آنها نشان داد، شش مدل MRI-ESM2، CanESM5، MPI-

پیچیده‌ای برای پیش‌بینی با استفاده از مقیاس بزرگ GCM وجود داشت، دانشمندان روش‌های مختلفی را برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل GCM ارائه دادند که به ریزمقیاس کردن، معروف هستند. (نادری و همکاران، ۱۳۹۶)

در سال‌های اخیر از میان چهار دسته کلی روش‌های دسته‌بندی ریزمقیاس‌سازی (ریزمقیاس‌سازی دینامیکی، دسته‌بندی سینوپتیکی، ایجاد آب و هوا به روش تصادفی و روش‌های آماری) روش‌های آماری بیشتر از سایر روش‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است. این گروه از روش‌های ریزمقیاس‌سازی که مدل SDSM¹ را نیز شامل می‌شود، کاهش مقیاس را مبتنی بر سابقه آماری پیش‌گوه‌های بزرگ مقیاس و پیش‌بینی‌شونده‌های موضعی پایه‌ریزی می‌نماید. (قضاوی و موسویان، ۱۳۹۶)

گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AR6)، که از سال ۲۰۲۱ میلادی در حال ارائه می‌باشد شامل سه گروه کاری و یک گزارش تلفیقی (SYR) است که ارزیابی گروه‌های کاری و گزارش‌های ویژه تولید شده را ادغام می‌کند. آخرین گزارش تلفیقی AR6 که در سال ۲۰۲۲ عرضه شد، شرایط و اقدامات نگاه داشتن افزایش دمای کره زمین در زیر دو درجه سلسیوس را بررسی می‌کند. بنابراین پیش‌بینی‌های دقیق از تغییرات آینده به ویژه تغییرات در رفتار هیدرولوژیکی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منابع آب ضروری به نظر می‌رسد تا اطلاعات دقیقی در راستای سازگاری ارائه گردد. (ایران‌شاهی و همکاران، ۱۴۰۱)

سناریوهای خط سیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSPs) گروه جدیدی از سناریوهای انتشار غیر اقلیمی ناشی مدل‌های جفت شده فاز ششم تغییر اقلیم (CMPI6) در راستای گزارش ششم تغییر اقلیم است. این سناریوها با هدف ارائه پیش‌آگاهی‌هایی در مسیر مشترک اجتماعی-اقتصادی عرضه شده‌اند. این مجموعه

¹ Statistical Downscaling Model

EC-ACCESS-ESM، IPSL-CM6A، ESM1 EARTH3 (بدون ترتیب) بین ۱۱ مدل معین شده، به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند.

انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی روند تغییرات دما و بارش حوضه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده براساس پرونداد مدل‌های CMPI6 پرداختند. نتایج پژوهش آنها در بررسی رتبه‌بندی مدل‌های اقلیمی براساس توانایی آنها در تصویرسازی‌های اقلیمی نشان داد مدل‌های برتر بسته به اقلیم نواحی مختلف، متفاوت هستند و تنوع آنها در شبیه‌سازی بارش نسبت به دما در ایران بیشتر است. به‌طوریکه از میان ۱۰ مدل CMPI6، شش مدل برتر برای شبیه‌سازی بارش و چهار مدل برتر برای شبیه‌سازی دما در نواحی مختلف کشور تعیین کردند. به‌علاوه نتایج حاصل از تصویرسازی اقلیمی حاکی از تغییر بارش از حدود +۱۹ تا -۱۲ درصد و افزایش دما به‌طور متوسط در دامنه ۰/۱ تا ۰/۶ درجه سلسیوس در حوضه‌های مختلف کشور طی ۲۰ سال آتی خواهد بود، به‌طوری‌که نواحی غربی کشور بیشترین کاهش بارندگی را در این دوره تجربه خواهند کرد.

ایرانشاهی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش و خشکسالی‌های آینده در الشتر و خرم‌آباد با استفاده از مدل MRI-ESM2 در CMPI6 تحت چهار سناریو ssp126، ssp245، ssp370 و ssp585 پرداختند. نتایج آنها نشان داد متغیرهای در هر دو دوره آتی در مقیاس ماهانه دارای نوسانات متعددی خواهد بود، به‌طوری‌که در دو ایستگاه الشتر و خرم‌آباد طی دوره‌های آینده نزدیک و دور دمای حداکثر و حداقل نسبت به دوره مشاهداتی در تمام سناریوهای SSP روندی افزایشی خواهند داشت و تغییرات دمای حداقل نسبت به دمای حداکثر بیشتر خواهد بود. در آینده نزدیک میزان بارش سالانه الشتر بین ۰/۳ تا ۱۶ درصد و خرم‌آباد بین ۷ تا ۱۲ درصد کاهش خواهد داشت. در آینده دور نیز

میانگین بارش سالانه الشتر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و خرم‌آباد بین ۱۲ تا ۲۴ درصد کاهش خواهد داشت.

عارف و علیجانی (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات دما و بارش حوضه آبخیز یزد - اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده پرداختند. آنها با در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ به بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و وضعیت بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمائی SDSM با سناریوهای RCP با واداشت‌های ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ و با مدل اقلیمی HadCM3 برای دوره آتی در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۴۵ پرداختند. نتایج آنها بیانگر افزایش دما به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس در ایستگاه‌های یزد- اردکان است. همچنین تغییرات بارندگی در طول دوره ۳۰ ساله ۸/۸ درصد نسبت به میانگین دوره مشاهداتی کاهش دارد.

قضاوی و موسویان (۱۳۹۶) به بررسی ناهنجاری‌های اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمائی SDSM در شهرستان طبس پرداختند. آنها با استفاده از داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک اقدام به پیش‌بینی پارامترهای بارش و دما با استفاده از داده‌های مدل HADCM3 برای دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) تحت دو سناریو A1 و B2 پرداختند. همچنین این روند در دو دوره ۱۵ ساله بررسی و برای تعیین درجه بیابانی شدن منطقه از روش دومارتن استفاده شد. نتایج پژوهش آنها حاکی از اثرات معنی‌دار 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. 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، زیرا در اثر افزایش دما و کاهش بارش بسیاری از زمین‌های کشاورزی دیم رها خواهد شد

و شرایط برای تخریب خاک و در نتیجه افزایش عرصه‌های بیابانی افزایش می‌یابد.

سبحانی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی کارایی الگوی ریزمقیاس نمائی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان داد که مدل SDSM در دو ایستگاه بررسی شده برای کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد، در حالی که برای بارش روزانه، نتایج عملکرد دو الگو تاحدی در دو ایستگاه مشابه بوده است.

گولانچا و مولونگو (۲۰۱۶) اثر پدیده تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارندگی به عنوان دو پارامتر اصلی تاثیرگذار بر سیستم منابع آبی حوضه رودخانه وادی-روو تانزانیا را بررسی کردند. در این مطالعه از مدل‌های گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 استفاده شد و خروجی‌های این مدل برای دو دوره ۳۰ ساله آماری ۲۰۲۰-۲۰۸۰ با مدل آماری SDSM ریزمقیاس شدند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که میانگین بارندگی ماهانه در هر دو سناریو افزایش می‌یابد. همچنین حداکثر دما بین ۰/۲ تا ۷/۵ درجه سلسیوس و حداقل دما بین ۰/۴ تا ۱/۵ درجه سلسیوس دارای روند افزایشی خواهد بود. هاشمی و همکاران (۲۰۱۱) و کوچ و چیره (۲۰۱۳) به مقایسه دو مدل آماری SDSM و LARS-WG پرداختند. نتایج آنان نشان داد که هر دو مدل با دقت زیادی، متغیرهای اقلیمی را شبیه‌سازی می‌کنند. تاتسومی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل SDSM به ریزمقیاس‌سازی دما در منطقه شیکو کو پرداختند. پژوهش آنها نشان داد که در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ دما تحت بیشتر سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. هدف از این مطالعه، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر دما در شهرستان طبس با استفاده از دو سناریو حد متوسط (ssp245) و بدبینانه (ssp585) با استفاده از مدل NCEP در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) می‌باشد.

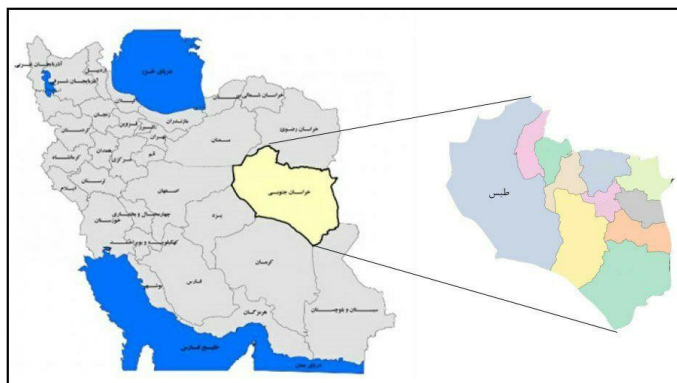
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان طبس واقع در استان خراسان جنوبی با ۵۵۴۶۴ کیلومتر مربع وسعت در محدوده عرض جغرافیایی ۵۰' تا ۳۲' و ۵' و ۳۳' و طول جغرافیایی ۴۵' و ۵۶' تا ۱۵' و ۵۷' قرار گرفته است. در شمال آن ناحیه، دشت کاملاً هموار و باتلاق‌های نمک قرار گرفته و در سمت جنوب، رسوبات تریاس و ژوراسیک، ارتفاعات نه چندان مرتفع را به وجود آورده‌اند. شرق این ناحیه به ارتفاعات شتری در حاشیه کویر نمک و غرب آن به ارتفاعات کمر مهدی محدود می‌شود. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق کویری با آب‌وهوای خشک و قاره‌ای محسوب می‌شود که نوسانات درجه حرارت شبانه‌روزی و ماهانه آن زیاد می‌باشد. دمای بیشینه شهر طبس در تابستان ۴۹+ درجه سلسیوس و دمای کمینه آن در فصل زمستان تا ۵- درجه سلسیوس می‌رسد. اغلب ماه‌های سال خشک یا کم باران بوده و معمولاً در فصل زمستان و اوایل فصل بهار باران نسبتاً کمی می‌بارد. همچنین منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۷۱۱ متر از سطح دریا قرار گرفته است. میانگین بارش در شهرستان طبس به ۹۳/۸ میلی‌متر می‌رسد که دو برابر کمتر از میانگین سالانه بارش ناحیه داخلی ایران است (قضاوی و موسویان، ۱۳۹۶). موقعیت استان خراسان جنوبی و شهرستان طبس در شکل ۱ آمده است. در این پژوهش دمای حداقل شهرستان طبس مورد مطالعه قرار گرفته است. دوره آماری مورد بررسی در این تحقیق بر اساس آمار موجود در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ انتخاب شد که این دوره به عنوان دوره مبنا نیز می‌باشد. به منظور آموزش و ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس نمائی از ۲۶ پارامتر پیش‌بینی کننده مرکز ملی پیش‌بینی

محیطی (NCEP1) استفاده گردید و پیش بینی شونده نیز پارامتر مشاهداتی (دمای کمینه) ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. داده‌ی هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه همدید این شهرستان از اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ گردید. مشخصات ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. همچنین داده‌های مورد نیاز گزارش ششم از سایت CMIP6 به آدرس <https://climate-scenarios.canada.ca/> با توجه به مختصات ایستگاه مینا در مقیاس روزانه، دانلود شد. مختصات مورد مطالعه شهرستان طبس با مختصات x و y به ترتیب ۲۱ و ۴۵ می‌باشد. از آنجا که همه ۲۶ پارامتر مرتبط با جو بالا دارای تأثیر یکسانی در مدل ریز مقیاس نمایی نمی‌باشند، لذا لازم است تا پیش‌بینی‌کننده‌های اصلی برای هر پارامتر

در هر ایستگاه انتخاب گردند. بدین منظور در محیط R همبستگی بین پیش‌بینی شونده (دما) و پیش‌بینی‌کننده تعیین شد. ابعاد پیکسل‌های گزارش ششم IPCC ۵۰×۵۰ کیلومتر است. بنابراین به دلیل بزرگ مقیاس بودن این داده‌ها لازم است ریز مقیاس‌نمایی صورت بگیرد. بطور کلی روش‌های ریز مقیاس‌گردانی در دو بخش اصلی آماری و دینامیکی معرفی می‌گردند که هر یک دارای توانمندی و نقایصی می‌باشند و بر اساس روش و فرضیات مورد استفاده به زیربخش‌هایی تقسیم می‌شوند. در این مطالعه از ریز مقیاس‌نمایی آماری استفاده گردید. همچنین در این مطالعه داده‌های متغیر اتمسفری بزرگ مقیاس مربوط به مدل جهانی CanESM5 استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت استان خراسان جنوبی و شهرستان طبس

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

| ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) | مقیاس | نوع ایستگاه |
|---------|---------------|---------------|--------------------------|--------|-------------|
| طبس | ۵۵' و ۵۶° | ۳۶' و ۳۳° | ۷۱۱ | روزانه | همدید اصلی |

انگلستان توسعه یافت (نادری همکاران، ۱۳۹۶). این مدل ترکیبی (هیبریدی) از مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و پیش‌بینی‌کننده را در گام‌های واسنجی و صحت‌سنجی مورد استفاده قرار می‌دهد. این روش ابتدا

مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM) مدل کوچک مقیاس سازی SDSM از اولین ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد، که توسط ویلبای و داوسون در سال ۲۰۰۲ در

¹ National Center for Environmental Prediction

به مدل پایه خود (CanESM2) حساسیت اقلیمی بیشتری دارد. شبیه‌سازی‌های CanESM5 به فاز شش پروژه مقایسه مدل جفت شده (CMIP6) کمک می‌کند و برای کاربردهای علم آب و هوا و خدمات در کانادا استفاده می‌شود (نیل و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به پژوهش و مطالعات قبلی، مدل CanESM5 به‌منظور برآورد دمای هوا در ایران مناسب بوده و به همین دلیل در این پژوهش از این مدل استفاده شده است.

مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار هدف اصلی CMIP6 پاسخ به سه سوال مهم چگونگی واکنش ساختار زمین به نیروهای مختلف در مورد منشا و پیامد مدل‌های سازمان یافته، کمی‌سازی تغییرات آب و هوایی ارائه شده و عدم قطعیت سناریوها است. تعداد لایه‌های عمودی در تمام مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 بهبود یافته که باعث شبیه‌سازی دقیق‌تر در وردسپهر می‌شود. همچنین تعداد سناریوهای آینده بررسی شده در گزارش ششم گسترش قابل توجهی یافته است. سناریوهای جدید اضافه شده به CMIP6 شامل ssp119، ssp434، ssp370 است و چهار سناریو ssp126، ssp245، ssp460 و ssp585 به‌روزشده سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 در CMIP5 می‌باشد. (روشنی و حمیدی، ۱۴۰۰، گوپتا و همکاران، ۲۰۲۰، سو و همکاران ۲۰۲۰).

مدل NCEP در گزارش ششم دارای داده‌های تاریخی از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ میلادی است. در این پژوهش ۲۶ پارامتر مدل NCEP از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ (مطابق تعداد سال‌های مشاهداتی) و داده‌های مشاهداتی دما وارد نرم‌افزار R شد و همبستگی بین پارامترهای NCEP و داده‌های مشاهداتی تعیین گردید. پارامترهایی که دارای همبستگی مناسبی بودند برای مرحله بعد انتخاب شدند. سپس نرم‌افزار با ۷۰٪ داده‌ها واسنجی

متغیر پیش‌بینی شونده (مانند بارش و دما) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش برای تولید داده‌های تصادفی مربوط به وضعیت هوا (WG¹) کوچک مقیاس نموده و در مرحله بعد با استفاده از داده‌های تولید شده به صورت تصادفی، متغیر پیش‌بینی شونده، در ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد. در این روش، ریزمقیاس سازی آماری، متغیرهای اقلیمی روزانه طی مراحل زیر صورت می‌پذیرد:

- ۱- کنترل کیفیت و تغییر شکل داده‌ها
- ۲- انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده
- ۳- واسنجی نمودن مدل
- ۴- تولید داده‌های هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی کننده مشاهده‌ای)
- ۵- بررسی کیفی مدل سازی با استفاده از شاخص‌های آماری
- ۶- تولید سناریو اقلیمی (با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی مدل) (امیرآبادی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

مدل CanESM5²

مدل CanESM5 (مدل سیستم زمین کانادا) یک مدل جهانی است که برای شبیه‌سازی تغییرات و تنوع آب‌وهوای تاریخی، پیش‌بینی‌هایی در مقیاس صد ساله از آب‌وهوای آینده، و تولید پیش‌بینی‌های فصلی و دهه‌ای اولیه ایجاد شده است. CanESM5 از اتمسفر سه‌بعدی (وضوح طیفی T63 معادل تقریباً ۲/۸°) و مدل‌های گردش عمومی اقیانوس (به طور اسمی ۱°)، یک مدل دریا-یخ، یک طرح سطح زمین و مدل‌های چرخه کربن زمین و اقیانوس تشکیل شده است. این مدل دارای وضوح نسبتاً بزرگ و توان عملیاتی زیادی دارد؛ که تولید مجموعه‌های بزرگ را تسهیل می‌کند. CanESM5 نسبت

² The Canadian Earth System Model version 5

¹ Weather Generator

$$KGE = 1 \quad (3)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2}}$$

که در آن α و β طبق روابط ۴ و ۵ محاسبه می شوند.

$$\alpha = \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad (5)$$

در روابط بالا، O_i مقادیر مشاهداتی، p_i مقادیر شبیه سازی شده، \bar{O} میانگین داده های مشاهداتی، \bar{p} میانگین مقادیر شبیه سازی و n تعداد داده های ورودی، r ضریب همبستگی خطی بین داده مشاهداتی و شبیه سازی شده، α نسبت انحراف استاندارد بین داده مشاهداتی و شبیه سازی شده، β خطای وزن های بین داده مشاهداتی و شبیه سازی شده، σ_o و σ_s به ترتیب انحراف معیار داده های شبیه سازی و مشاهداتی و μ_o و μ_s به ترتیب میانگین داده های شبیه سازی شده و مشاهداتی می باشد. بدین منظور داده های دوره تاریخی مدل NCEP و داده های مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفتند.

بحث و نتایج

پس از آماده سازی ۱۴ فایل از پارامترهای مدل NCEP/NCER که همبستگی مناسبی با دمای کمینه داشتند و فایل داده مشاهداتی، برای ریزمقیاس نمائی، داده ها وارد نرم افزار SDSM شدند و واسنجی مدل با ۷۰٪ داده ها (از ابتدای سال ۱۹۹۰ تا پایان سال ۲۰۰۷ میلادی) انجام شد. فایل خروجی واسنجی سه معیار ارزیابی R^2 ، SE و Durbin-Watson را برای هر ماه ارائه می دهد. نتایج واسنجی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- نتایج واسنجی مدل SDSM

| ماه | R^2 | SE | Durbin-Watson |
|----------|-------|-------|---------------|
| January | ۰/۶۷۶ | ۱/۷۸ | ۱/۱۳۸ |
| February | ۰/۶۶۵ | ۲/۱۰۰ | ۱/۲۵۷ |
| March | ۰/۷۲۹ | ۲/۰۸۴ | ۱/۳۴۴ |
| April | ۰/۷۳۲ | ۲/۰۶۲ | ۱/۳۵۶ |
| May | ۰/۷۲۷ | ۱/۷۹۸ | ۱/۵۲۳ |

² Standard Error

¹ Kling-Gupta

شد (Train) و با ۳۰٪ باقی، (test) از ۲۰۰۸ تا پایان سال ۲۰۱۴) سری های زمانی تصادفی تولید شد که هر سری زمانی، یک پیش بینی از دمای شهرستان طبس می باشد. سری های زمانی تولید شده با دمای مشاهداتی مطابق بازه زمانی (۲۰۰۸-۲۰۱۴) با استفاده از معیارهای ارزیابی مقایسه می شوند. در صورتی که معیارهای ارزیابی مناسب باشند، SDSM برای پیش بینی آینده آماده است. در این مطالعه تحت دو سناریو ssp245 و ssp585 پیش بینی تغییرات دمای کمینه در شهرستان طبس برای سال های ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ در SDSM انجام می شود. برای اطمینان از اینکه پیش بینی قابل اعتماد است یا خیر، داده های مشاهداتی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ را با مقادیر پیش بینی توسط SDSM مطابق همین بازه زمانی مقایسه می شود، در صورتیکه آماره ها مقادیر خوبی ارائه دهند پیش بینی قابل اعتماد بوده در غیر این صورت باید مراحل پیش بینی و یا حتی آموزش و واسنجی مدل دوباره انجام شود.

در این پژوهش جهت صحت سنجی دمای کمینه مدل NCEP از روابط ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص توافق (d) و شاخص KGE^1 طبق روابط ۱ تا ۳ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - p_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum(O_i - p_i)^2}{\sum(|p_i - \bar{p}| - |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (2)$$

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| June | ۰/۶۳۵ | ۱/۵۰۱ | ۱/۴۲۹ |
| July | ۰/۵۵۴ | ۱/۳۹۳ | ۱/۳۶۰ |
| August | ۰/۶۲۸ | ۱/۴۶۳ | ۱/۲۱۵ |
| September | ۰/۷۲۶ | ۱/۵۰۳ | ۱/۱۸۱ |
| October | ۰/۷۱۴ | ۱/۷۴۳ | ۱/۱۹۶ |
| November | ۰/۷۷۱ | ۱/۸۲۴ | ۱/۲۰۷ |
| December | ۰/۶۷۳ | ۱/۹۴۹ | ۱/۱۰۱ |
| Mean | ۰/۶۸۶ | ۱/۷۶۷ | ۱/۲۷۶ |

ارزیابی خوب برآورد شده‌اند، بنابراین شبیه‌سازی به خوبی انجام شده است. در مرحله بعد شبیه‌سازی با مدل CanESM5 تحت دو سناریو حدمتوسط ssp245 و بدینانه ssp585 انجام می‌شود. بدین منظور پارامترهایی که با دما همبستگی مناسبی داشتند از سناریوهای ssp245 و ssp585 جدا شده و وارد قسمت Scenario Generator در SDSM می‌شوند. در این مرحله نیز سری زمانی‌های تولید شده، پیش‌بینی را برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ انجام می‌دهد.

همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار R^2 همه ماه‌ها از ۰/۵ بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد مدل به خوبی واسنجی شده است. سپس با استفاده از ۳۰٪ باقیمانده داده‌ها (از ابتدای سال ۲۰۰۸ تا پایان سال ۲۰۱۴) شبیه‌سازی دما انجام شد (صحت‌سنجی مدل) و سری زمانی‌های تولید شده با دمای مشاهداتی مقایسه می‌شوند. در این مرحله نیز مقدار RMSE، D و KGE با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه شدند. (جدول ۳). همانطور که در جدول ۳ دیده می‌شود، در قسمت صحت‌سنجی معیارهای

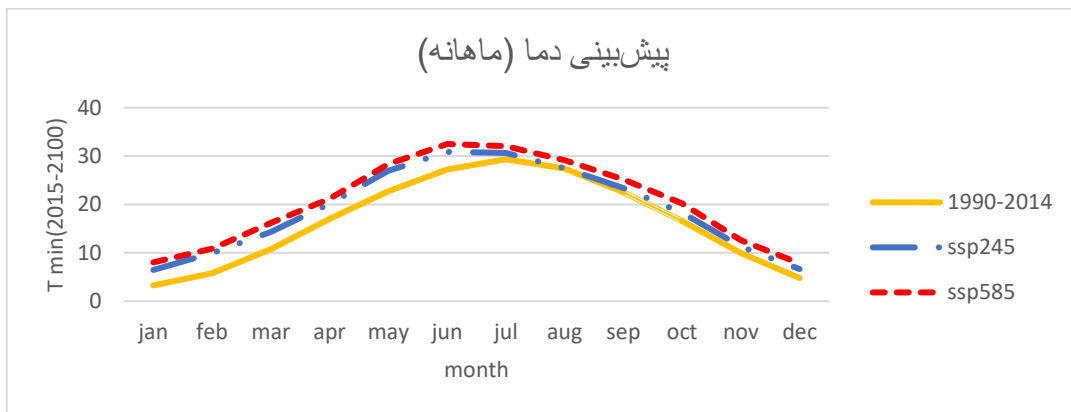
جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی

| | RMSE | D | KGE |
|----------------------|-------|------|------|
| صحت‌سنجی (۲۰۰۸-۲۰۱۴) | ۲/۵۶۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ |

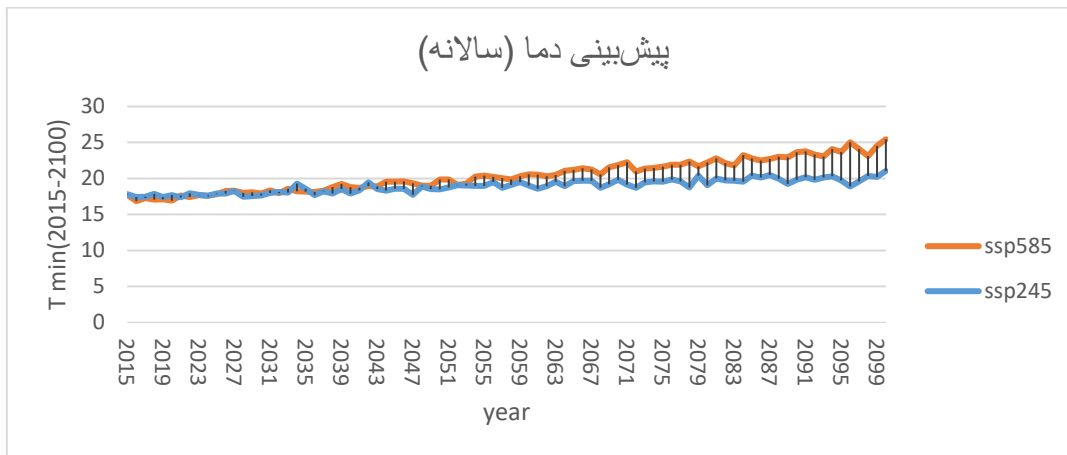
شده که نشان می‌دهد، نتیجه پیش‌بینی دما تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند قابل قبول می‌باشد.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتیجه صحت‌سنجی مدل (۲۰۰۸-۲۰۱۴) بسیار خوب برآورد

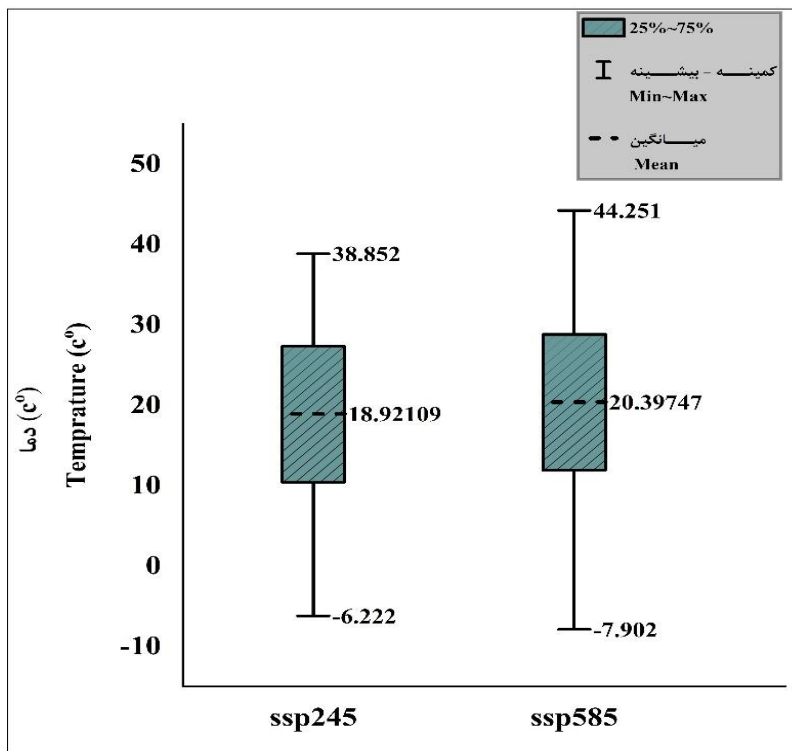
(الف)



(ب)



شکل ۳- نتایج پیش‌بینی دمای کمینه در افق ۲۰۱۵-۲۱۰۰ شهرستان طبس (الف: ماهانه- ب: سالانه)



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای دو سناریوی اقلیمی آینده در ایستگاه طبس

مبنا در این پژوهش، میانگین دمای کمینه دوره مبنا برابر ۱۵/۷ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده‌است. همچنین گرما از ماه جولای به می و ژانویه منتقل خواهد شد. به عبارتی دیگر، گرما به سمت فصل بهار منتقل شده که این گرما می‌تواند سبب کاهش باران‌های بهاری شود.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، دمای شهرستان طبس تحت سناریو حد متوسط (ssp245) به اندازه ۳/۲ درجه نسبت به دمای مبنا و تحت سناریو بدبینانه (ssp585) به اندازه ۴/۷ درجه سلسیوس نسبت به دمای مبنا گرم‌تر خواهد شد. لازم به ذکر است دمای

همچنین نتایج پژوهش نشان می‌دهد در حالت متوسط دمای هوای طبس نسبت به دمای پایه، $3/2$ درجه سلسیوس و در بدینانه ترین حالت نسبت به دمای پایه $4/7$ درجه سلسیوس افزایش دما خواهد داشت. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که سناریو بدینانه حداقل دمای کمینه را به خوبی پیش‌بینی کرده و سناریو حدمتوسط توانسته میانگین و حداکثر دمای کمینه را پیش‌بینی کند. افزایش دما می‌تواند سبب تبخیر آب‌های سطحی، کاهش بارش، کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در نهایت خشکسالی شود. بررسی عدم قطعیت نیز نشان داد که سناریو ssp585 دارای قطعیت کمتری می‌باشد. نتایج پژوهش قضاوی و موسویان (۱۳۹۶) نیز تایید می‌کند که تغییر اقلیم اثر معنی‌داری بر حادث شدن شرایط حاکم بر شهرستان طبس داشته و به تبع آن کاهش میزان بارش و افزایش دما و کاهش میزان شاخص خشکی اتفاق می‌افتد. نتایج امیرآبادی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) نشان دهنده افزایش دمای کمینه شهرستان طبس در افق ۲۰۲۱-۲۰۴۹ است. نتایج پژوهش انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱) و حصیرچیان و همکاران (۱۳۹۷) نیز تاییدکننده افزایش دما در ایران است. به‌طورکلی مطلوب بودن معیارهای ارزیابی مدل، نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل SDSM برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه سناریوهای گزارش ششم IPCC، سناریوهای اجتماعی-اقتصادی است (SSP) را اعمال می‌کند، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر کمک‌کننده باشد.

منابع

- ۱- امیرآبادی‌زاده، مهدی، یعقوب‌زاده، مصطفی، هاشمی، سیدرضا، و خزیمه‌نژاد، حسین (۱۳۹۸). ارزیابی مدل‌های خطی و داده مینا در ریزمقیاس نمائی بارش و دما در استان خراسان جنوبی. نشریه هواشناسی و علوم جو، (۱)۲، ۶۸-۸۲.
- ۲- انصاری مهابادی، ثمین، دهبان، حسین، زارعیان، محمدجواد، و

به‌منظور تعیین عدم قطعیت سناریوهای ssp245 و ssp585 از نمودار جعبه‌ای استفاده گردید. (شکل ۴). سناریو ssp245 دمای بیشینه پیش‌بینی شده را نزدیک‌تر به بیشینه دمای داده‌های مشاهداتی (۳۵ درجه سلسیوس) نشان داده است و سناریو ssp585 بیشینه‌ی دما را با فاصله بیشتری از داده‌های مشاهداتی پیش‌بینی کرده است. پیش‌بینی دمای کمینه سناریو بدینانه نزدیک‌تر به واقعیت ($6/2-$ درجه سلسیوس) برآورد کرده است و پیش‌بینی سناریو حد متوسط با داده‌های مشاهداتی فاصله بیشتری دارد. همچنین میانگین دمای پیش‌بینی شده توسط سناریو ssp245 به داده مشاهداتی ($16/4$ درجه سلسیوس) نزدیک‌تر است. بنابراین این افزایش دمای کمینه می‌تواند سبب کاهش عملکرد گیاهان، جابجایی مکانی گونه‌های گیاهی و از بین رفتن اکوسیستم منطقه شود. علاوه‌براین، افزایش دما نیز می‌تواند باعث شود زمستان‌های سردی وجود نداشته باشد و در نتیجه آن، آفات و بیماری‌های گیاهی مقاوم شده و از بین نروند که سبب از بین رفتن محصولات کشاورزی و گونه‌های زیستی خواهد شد. بنابراین لازم است در عملیات‌های مدیریتی به این افزایش دما دقت شود و برای کاهش زیان به محصولات کشاورزی و کاهش ضرر به سفره‌های آب زیرزمینی و رودخانه‌های سطحی برنامه ریزی شود.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در پژوهش حاضر به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر دما در شهرستان طبس با استفاده از دو سناریو حد متوسط (ssp245) و بدینانه (ssp585) با استفاده از مدل NCEP در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMPI6) پرداخته شد. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد، مقادیر RMSE برابر $2/568$ ، d برابر $0/98$ و KGE برابر $0/96$ می‌باشد. سپس شبیه‌سازی برای آینده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ تحت دو سناریو ssp245 و ssp585 انجام شد. نتایج نشان می‌دهد در این بازه نیز شبیه‌سازی به خوبی صورت گرفته است.

- ۱۱- کوهی، سکینه، عزیزبان، اصغر، و مازندرانی زاده، حامد (۱۴۰۱). اثر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی تحت سناریوهای SSP3 و SSP5 با استفاده از منطق فازی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۸(۳)، ۱-۱۷
Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.3.1.3. ۱-۱۷
- ۱۲- نادری، سهراب، گودرزی، مسعود، و قدمی دهنو، محمد (۱۳۹۶). اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوزه سیمره. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۹)، ۳۹-۷۶.
- 13- Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Islam, M.N., Ismail, M., Klutse, N.A.B., & Siddiqui, M.H. (2020). Projected change in temperature and precipitation over Africa from CMIP6. *Earth Systems and Environment*, 4(3), 455-475.
- 14- Bevacqua, E., Maraun, D., Hobæk Haff, I., Widmann, M., & Vrac, M. (2017). Multivariate statistical modeling of compound events via pair-copula constructions: analysis of floods in Ravenna (Italy). *Hydrology and Earth system sciences*, 21, 2701-2723. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-2701-2017>
- 15- Gulacha, M.M., Mulungu, M.M. (2016). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu river basin Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 100, 62-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.003>
- 16- Gupta, V., Singh, V., & Jain, M.K. (2020). Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, 590(1), 125422. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2020.125422](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125422)
- 17- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. & Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-G for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), 475-484. DOI: [10.1007/s00477-010-0416-x](https://doi.org/10.1007/s00477-010-0416-x)
- 18- IPCC (2013) Climate change 2013: The physical science basis IPCC working group I contribution to AR5. Retrieved October 18, 2018.
- 19- Koch, M. & Cherie, N. (2013). Mono and multi-modal statistical downscaling of GCM-climate predictors for the Upper Blue Nile River basin, Ethiopia. In *Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research*, ICWRER. 3-7.
- 20- Su-Yuan, L., Li-Juan, M., Zhi-Hong, J., GuoJie, W., Raj, G. K., Jing, ZH., Hui, ZH., Ke, F., Yu, H., & Chun, L. (2020). Projected drought conditions in Northwest China with CMIP6 models under combined SSPs and RCPs for 2015-2099. *Advances in Climate Change Research*, 11(3), 210-217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.09.003>
- 21- Su, B., Huang, J., Mondal, S. K., Zhai, J., Wang, Y., Wen, Sh., Gao, M., Yanran, Lv., Jiang, Sh., Jiang, T., & Aiwei, L. (2020). Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought
- فرخ‌نیا، اشکان (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوزه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده براساس برونداد مدل‌های CMPI6. *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۶(۱)، ۱۱-۲۴.
DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2022.11204>
- ۳- ایرانشاهی، معین، ابراهیمی، بهروز، یوسفی، حسین، و مریدی، علی (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت بارش و دما با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه‌های الستر و خرم آباد). *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲(۴)، ۸۲۱-۸۴۵.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jwim.2022.346796.1009>
- ۴- حصیرچیان، مهراوه، ذهبیون، باقر، خزائی، محمدرضا (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۹(۳۴)، ۱۲۰-۱۰۸.
- ۵- خواجه امیری خالدی، چکاوک، خسروی، محمود، طاوسی، تقی، حمیدیان پور، محسن، و کیانی مقدم، منصور (۱۴۰۱). صحت سنجی عملکرد برونداد مدل اقلیمی CMPI6 با داده‌های مشاهداتی کرانه‌های مکران. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۱۵(۱)، ۴۱-۲۲.
- ۶- روشنی، ادیب، حمیدی، مهدی (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMPI6 (مطالعه موردی: ایستگاه ساری). *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۱(۴)، ۷۹۵-۷۸۱.
DOI: [10.22059/jwim.2022.330603.920](https://doi.org/10.22059/jwim.2022.330603.920)
- ۷- زرین، آذر، داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۲). بررسی مدل‌های CMPI6 در برآورد دمای ایران با تأکید بر حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) و پاسخ اقلیم گذرا (TCR). *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۷(۱)، ۳۹-۵۶.
DOI: [10.30499/IJG.2022.344862.1430](https://doi.org/10.30499/IJG.2022.344862.1430)
- ۸- سیحانی، بهروز، اصلاحی، مهدی، بابائیان، ایمان (۱۳۹۴). کارایی الگوهای ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و WG-LARS در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۴)، ۴۹۹-۵۱۶.
- ۹- عارف، محمدرضا، علیجانی، بهلول (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دما و بارش حوزه آبخیز یزد- اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده. *دوفصلنامه علمی-پژوهشی خشک‌بوم*، ۸(۱)، ۸۹-۱۰۱.
DOI: [10.29252/ARIDBIOM.8.1.89](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.8.1.89)
- ۱۰- قضاوی، رضا، موسویان، سیدمحمد مهدی (۱۳۹۶). بررسی ناهنجاری‌های اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در شهرستان طبس. *مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده*، ۸(۱)، ۴۱-۵۴.

- 12(11), 4823–4873. DOI:
<https://doi.org/10.5194/gmd-12-4823-2019>
- 22- 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. DOI:10.3178/hrl.7.48

characteristics in china. *Atmospheric Research*, 250(1). DOI:10.1016/j.atmosres.2020.105375

Swart, N., Cole, J., Kharin, V., Lazare, M., Scinocca, J., Gillett, N., Anstey, J., Arora, V., Christian, J., Hanna, S., Jiao, Y., Lee, W., Majaess, F., Saenko, O., Seiler, Ch., Seinen, C., Shao, A., Sigmond, M., Solheim, L., Salzen, K. v., Yang, D., & Winter, B. (2019). Winter The Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5.0.3). European Geosciences Union,

Investigating air temperature changes in Tabas City in the future using the sixth climate change report

Nafise Izadi¹, Mehdi Amirabadizadeh², Mehdi Dastourani^{*3}

¹ Ph.D Student of Water Resources Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Birjand University, Birjand, Iran

³ Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Birjand University, Birjand, Iran

*Corresponding Author Email: mdastourani@birjand.ac.ir

Received: 09 September 2023, Accepted: 22 November 2023

ABSTRACT

Increasing in the concentration of greenhouse gases has caused significant changes in the hydrological cycle. Climate change affects all environmental processes and society. To investigate the effect of climate change on the temperature parameter, atmospheric General Circulation Models and the use of downscaling are some of the best methods to estimate these effects. In this study, the most up-to-date climate change report (CMPI6) was used. Also, in this research, using historical NCEP data and observational data of Tabas station (1990-2014), temperature changes in Tabas were predicted using the CanESM5 model, under two moderate scenarios (ssp245) and pessimistic scenario (ssp585) It was implemented for the years 2015 to 2100. Due to the large scale of the NCEP model, the SDSM model was used for downscaling. Mean square error (RMSE), agreement index (d) and Kling-Gupta index (KGE) were used to evaluate the model. The validation results of the SDSM model in the years 2008 to 2014 showed that RMSE is 2.568, d is 0.98 and KGE is 0.96. Then the simulation for the future from 2015 to 2100 was done under two scenarios ssp245 and ssp585. The results of the research showed that the simulation has been done well in this period as well. Also, using the ssp245 scenario, the air temperature of Tabas will increase by 3.2 degrees compared to the base period, and with the ssp585 scenario, the temperature of Tabas will increase by 4.7 degrees compared to the base period of the area.

Keywords: prediction, Downscaling, ssp245, ssp585.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Izadi, N.; Amirabadizadeh, M.; Dastourani, M. (2023). Investigating air temperature changes in Tabas City in the future using the sixth climate change report. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 6(1): 1-14

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

