

Investigation of the effects of climate change scenarios on temperature and precipitation forecasting using LARS-WG model (Case study: Bandar Abbas)

Vahid Salamati Hormozi^{*1}, Ahmad Mazidi², Ali Akbar Balali komizi³

1- Ph.D in Climatology, Yazd University, Iran

2- Associate Professor of Geography Department of Yazd University, Iran

3- M.Sc. in Meteorology, Hormozgan University, Iran

Amphibious Science and Technology, 2021, 2(2), 1-16

ARTICLE INFO

Article type:

Research article

Article history:

Received 18 April 2021

Accepted 23 June 2021

Available online 28 June 2021

Keywords:

Atmospheric public circulation, Climate Change, Temperature and Precipitation, LARS-WG

Citation:

Salamati Hormozi, V., Mazidi, A., Balali Komizi, A.A. (2021). Investigation of the effects of climate change scenarios on temperature and precipitation forecasting using LARS-WG model (Case study: Bandar Abbas). *Amphibious Science and Technology*, 2(2), 1-16.

Doi:

ABSTRACT

In this study, statistical downscaling methods have been used to predict climatic variables of temperature and precipitation. In this research the recorded temperature and precipitation data of Bandar Abbas synoptic station during the years 1992-1997 was used. Also, the five general atmospheric circulation models including HadGEM2-ES model with RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenario and EC-EARTH4 models, MPI-ESM-MR, GFDL-CM3 and MIRO C5 with RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were used in three time periods: 2021-2040, 2041-2060 and 2061-2080 available in LARS-WG6 software. The capability of the fifth report models was evaluated using coefficients of determination coefficient, mean square error (MSE), square squared error (RMSE) and mean absolute deviation (MAD). The evaluation of the simulated data by the LARS-WG model against the climatic data showed that the highest coefficient of determination is related to the minimum and maximum temperatures (99%) and precipitation (94%), respectively. Assessment of changes in climatic parameters indicate an increase in minimum and maximum temperatures in all these models in different climatic scenarios on a seasonal and annual time scales. The rate of increase in annual minimum temperature in all models is higher than the annual maximum temperature during the next 20 to 80 years. This findings indicates that the increase in temperature in Bandar Abbas will be more affected by the increase in minimum temperature. The forecasting of precipitation shows that annual precipitation changes in all models were incremental. Meanwhile, according to the seasonal precipitation changes, the precipitation decrease in winter season in almost all models. Although an increase in other seasons, especially autumn, indicates the transfer of precipitation to other seasons, especially autumn and spring.

Publisher:

Imam Khomeini Maritime University



* Corresponding author e-mail:

salamativahid@yahoo.com

بررسی اثرات سناریوهای تغییرات اقلیمی در پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: بندرعباس)

وحید سلامتی‌هرمزی^{۱*}، احمد مزیدی^۲، علی‌اکبر بلالی کمیزی^۳

۱- دکتری آب و هواشناسی دانشگاه یزد، ایران

۲- دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه یزد، ایران

۳- کارشناسی ارشد هواشناسی دانشگاه هرمزگان، ایران

علوم و فنون آبخاکی، ۱۴۰۰، ۲(۲)، ۱-۱۶

چکیده	مشخصات مقاله
در این پژوهش از روش‌های ریز مقیاس‌نمایی آماری به‌منظور مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش استفاده شده است. برای شبیه‌سازی دما و بارش شهرستان بندرعباس از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک طی سال‌های ۱۹۹۲-۲۰۱۷ و همچنین از ۵ مدل گردش عمومی جو شامل مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل‌های MIROC5 و GFDL-CM3، MPI-ESM-MR، EC-EARTH4 و RCP4.5 و RCP8.5 طی سه دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ قابل دسترس در نرم‌افزار LARS-WG6 استفاده شده است. قابلیت مدل‌های گزارش پنجم با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین، میانگین مربعات خطا، مجذور مربعات خطا و انحراف مطلق متوسط ارزیابی گردید. نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های تولید شده در مدل LARS-WG در مقایسه با داده‌های اقلیمی نشان داد که بیش‌ترین ضریب تعیین به‌ترتیب مربوط به پارامترهای دماهای کمینه و بیشینه (۹۹ درصد) و بارش (۹۴ درصد) است. نتایج بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه در تمام این مدل‌ها در سناریوهای مختلف اقلیمی به‌صورت فصلی و سالانه می‌باشد. میزان افزایش در دمای کمینه سالانه در کلیه مدل‌ها نسبت به دمای بیشینه سالانه در طی ۲۰ تا ۸۰ سال آینده بیش‌تر بوده و بیانگر آن است که افزایش دمای شهر بندرعباس بیش‌تر متأثر از افزایش در دمای کمینه آن خواهد بود. پیش‌بینی بارش نشان داد که تغییرات بارش سالانه در همه مدل‌ها مورد بررسی افزایشی بوده است. تغییرات فصلی بارش، کاهش بارش در فصل زمستان در اکثر مدل‌ها را نشان داده است. در حالی که افزایش بارش در دیگر فصول به ویژه فصل پاییز را پیش‌بینی کرده‌اند که حاکی از انتقال بارش به دیگر فصل‌ها خصوصاً فصل پاییز و بهار می‌باشد.	نوع مقاله: پژوهشی تاریخچه مقاله: دریافت ۲۹ فروردین ۱۴۰۰ پذیرش ۲ تیر ۱۴۰۰ دسترسی آنلاین ۷ تیر ۱۴۰۰ کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، دما و بارش، گردش عمومی جو، LARS-WG استناد: سلامتی‌هرمزی، وحید، مزیدی، احمد، بلالی کمیزی، علی‌اکبر (۱۴۰۰). بررسی اثرات سناریوهای تغییرات اقلیمی در پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: بندرعباس). علوم و فنون آبخاکی، ۲(۲)، ۱-۱۶.
	Doi:

ناشر:

دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)



۱- مقدمه

آب و هوای زمین طی سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای تغییر (ویجیا یا ونکاتا رامن و همکاران، ۲۰۱۲) و این تغییرات آب و هوایی و پیامدهای آن، به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های انسانی تبدیل شده است (جین و کومار، ۲۰۱۲؛ صالحی و زبردست، ۲۰۱۶). تغییرات آب و هوایی مرتبط با گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو در دهه‌های اخیر توجه بیشتری را به خود جلب کرده است و تأثیر زیادی بر عناصر چرخه هیدرولوژیکی از جمله بارندگی، تبخیر و رواناب دارد (زو و همکاران، ۲۰۰۵؛ السنر و همکاران، ۲۰۱۰؛ خو و همکاران، ۲۰۱۲؛ کوندزیوچ و همکاران، ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین دولتی در مورد تغییر آب و هوا (IPCC، ۵AR) اشاره می‌کند که دمای هوای زمین طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۸۸۱ و برای هر یک از سه دهه اخیر افزایش یافته و برای هر دهه متوالی دمای بیش‌تری ثبت شده است. به‌طور خاص، پیش‌بینی شده است که میانگین دما در سناریوی انتشار پایین (RCP2.6) بیش از یک درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی انتشار بالا (RCP8.5) بیش از ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC، ۲۰۱۳). در بسیاری از مطالعات، روند افزایشی دما در حوضه‌های هیمالیا مشاهده شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۱۵ و داهال و همکاران، ۲۰۱۸). به‌عنوان مثال، نتایج مطالعه انجام شده توسط ایمرزل و همکاران در حوضه هیمالیا، حاکی از آن است که به‌دلیل افزایش در ذوب یخچال‌های طبیعی و افزایش بارندگی، احتمال دسترسی به آب در قرن بیست و یکم کاهش نمی‌یابد (ون بیگ و همکاران، ۲۰۱۲).

پیش‌بینی‌های مبتنی بر مدل‌های گردش عمومی (GCM) حاکی از افزایش میزان و کمیت حوادث بزرگ آب و هوایی و همچنین تغییر در الگوهای بارش در سراسر جهان است (مولانژاد، ۲۰۱۷). بر این اساس، تغییرات آب و هوایی می‌تواند الگوهای بارش و تبخیر را تغییر داده و منابع آب موجود را هم به‌صورت موقت و مکانی تأثیر بگذارد. قابل توجه است که بیش‌تر تحقیقات انجام شده در ارزیابی محیط، سیاست‌های تغییر آب و هوا را در نظر نگرفته‌اند (ناکیچنووچ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ماس و همکاران، ۲۰۱۰). تغییرات در چرخه بزرگ هیدرولوژیکی در مقیاس بزرگ ناشی از افزایش درجه حرارت مشاهده شده طی چند دهه

بوده است. علی‌رغم تأثیرات مفید در برخی مناطق، تأثیر کلی تغییرات آب و هوا بر منابع آب بیش‌تر منفی است (پری و همکاران ۲۰۰۷). مدل‌های جهانی آب و هوایی همراه با اتمسفر اقیانوس (GCM) ابزار اصلی منبع مورد استفاده برای شبیه‌سازی آب و هوای حال و آینده زمین تحت سناریوهای مختلف تغییر آب و هوا هستند (به‌عنوان مثال SRES، ۲۰۰۰). شبکه محاسباتی GCM‌ها بسیار بزرگ مقیاس بوده (یک شبکه بیش از ۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد) و بنابراین آن‌ها قادر به شبیه‌سازی قابل قبول ویژگی‌های اقلیمی زیر شبکه مانند کوهساری یا ابرناکی منطقه مورد نظر نیستند (ویلی و داوسون، ۲۰۰۲). بنابراین، نیاز به ریزمقیاس‌نمایی، از وضوح بزرگ GCM تا وضوح بسیار خوب یا حتی در مقیاس ایستگاه وجود دارد. مدل‌های جهانی آب و هوا (GCM) از پانل بین دولتی در مورد تغییر آب و هوا (IPCC) ابزاری هستند که برای شبیه‌سازی تغییرات فعلی و آینده آب و هوای زمین (حداکثر و حداقل دما، بارش، تابش خورشیدی، فشار سطح زمین، باد، رطوبت نسبی و ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل و غیره) تحت سناریوهای مختلف تغییر آب و هوا به‌دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای (GHG) به‌کار می‌رود (عثمان و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویاس و همکاران، ۲۰۰۳).

سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای GHG نشان‌دهنده عدم اطمینان از وضعیت آب و هوا در آینده و تلاش GCM‌ها برای نشان دادن سیستم‌های پیچیده طبیعی است (کوموزی، ۲۰۱۳). بیش‌تر مطالعات گزارش داده‌اند که عملکرد مدل LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی نتایج خروجی GCM به‌دلیل بیان کردن ویژگی‌های آب و هوای آینده با به روز کردن پارامترهای مدل بر اساس خروجی‌های GCM مؤثر است (حسن و همکاران، ۲۰۱۴). تغییرات آب و هوایی می‌تواند بر اکوسیستم جهانی تأثیر بگذارد و به یک دغدغه جهانی تبدیل شود. مطالعات بسیاری برای تعیین روند آینده متغیرهای هواشناسی در مقیاس‌های مختلف انجام شده است. با وجود این مطالعات، در پیش‌بینی اقلیم آینده عدم اطمینان قابل‌توجهی وجود دارد. برای بررسی عدم قطعیت ناشی از استفاده از طرح‌های مختلف برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای هواشناسی برای افق آینده، پیش‌بینی‌های مربوط به طرح‌های مختلف آماری مورد بررسی قرار گرفته است، از این‌رو در ذیل به مطالعات متعددی که در بررسی

باقیمانده پیش‌بینی می‌شود، ۵۸-۵ درصد افزایش یابد. ژیان‌چا و همکاران (۲۰۱۹) برآورد تغییرات آب و هوایی آینده در مناطق سردسیر با مدل LARS-WG تحت سناریوهای CMIP5 را بررسی کردند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی سال‌های گرم و مرطوب آتی ادامه یافته، اما ناسازگاری زیادی بین GCM‌های مختلف وجود دارد. اگرچه میزان بارش سالانه در آینده نیز ادامه خواهد یافت، اما بارش برف سالانه نسبتاً کم‌تری رخ می‌دهد، که در درجه اول در زمستان‌های طولانی متمرکز خواهد شد. همچنین نتایج نشان داد که چنین تغییراتی در شرایط پوششی از برف به‌طور بالقوه می‌تواند قوانین اصلی کشاورزی محلی را مختل کند. علاوه بر این، تخلیه سنگین‌تر و زودبازده‌تر بارش برف و بارندگی بیش‌تر در تابستان بر روند هیدرولوژیکی حوزه آبخیز تأثیر خواهد گذاشت.

محمدزاده و همکاران (۲۰۱۹) با هدف ارزیابی تأثیر تغییرات آب و هوا بر منابع آب سطحی، از یک مدل رواناب باران مفهومی (مدل مخزن) جفت شده با مدل LARS-WG درحوزه آبریز (۴۶۴۸ هکتار) واقع در حوضه جنوبی دریای خزر استفاده کردند. نتایج نشان داد که این مدل از قابلیت پیش‌بینی معقول در شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما در سطح ۹۹ درصد، بارندگی در سطح ۹۳ درصد و تابش در سطح ۹۷ درصد در سناریوهای مختلف برخوردار است. علاوه بر این، نتایج حاصل از مدل بارش رواناب میزان بارندگی را حدود ۱۰۸ درصد تحت سناریوی A1B، ۱۰۱ درصد تحت سناریوی A۲ و ۹۳ درصد تحت سناریوی B1 در طول دوره ۳۰ ساله پیش‌بینی تخلیه نشان داد. پیش‌بینی دما و امواج گرما و سرما برای آراگون (اسپانیا) با استفاده از یک ریزمقیاس‌نمایی آماری دو مرحله‌ای از خروجی‌های مدل CMIP۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که سناریوهای موج گرمای محلی افزایش شدت متوسط آن در نزدیکی ۲ درجه سانتی‌گراد (رسیدن به دمای حداکثر ۳۸/۸ درجه سانتی‌گراد) و متوسط افزایش حداکثر شدت ۳/۶ درجه سانتی‌گراد (درجه حرارت تا ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد) برای سناریوی RCP8.5 در پایان قرن و سناریوهای تغییر وضعیت آب و هوا برای حداکثر دمای روزانه، افزایش تدریجی در طول قرن ۲۱ را نشان می‌دهد. بیش‌ترین افزایش در طول تابستان در پایان قرن رخ خواهد داد و برای سناریوی RCP8.5 به مقادیر حداکثر ۷ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. حداقل افزایش دما رفتارهای مشابهی را با حداکثر دما نشان می‌دهد، اما با افزایش کم‌تر (۳ درجه سانتی‌گراد و ۵/۶

تغییرات اقلیمی با استفاده از پارامترهای دما و بارش در داخل و خارج از کشور صورت پذیرفته است، اشاره می‌شود. هواچن و همکاران (۲۰۱۳) پیش‌بینی دما و بارش در سودان و سودان جنوبی با استفاده از LARS-WG را در سناریوهای مختلف اقلیمی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش، پیش‌بینی بارش در فصل بارانی (ژوئن، ژوئیه و اوت) بر اساس میانگین GCM، روند کاهشی در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ را در سودان نشان داد. با این حال، روند افزایشی را می‌توان در آینده در (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) یافت و همچنین بارش در سودان جنوبی در بیش‌تر فصول آینده به جز در فصل (مارس، آوریل و مه) در سال ۲۰۳۰-۲۰۱۱ روند رو به رشدی را دارد. پیش‌بینی‌های GCM یک روند افزایشی مشابه و مداوم را برای دمای حداقل و دمای حداکثر در هر سه دوره آینده نشان داد. والام و کیوین (۲۰۱۸) پیش‌بینی بارش و درجه حرارت آینده در مکان‌های دارای آب و هوای متنوع از طریق چندین طرح ریزمقیاس‌نمایی آماری بررسی کرده‌اند. این طرح‌ها شامل روش ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)، فاکتور تغییر ترکیب شده با LARS-WG و روش متمایل به تفکیک (BCD^۱) بود. نتایج مطالعه نشان داد که مناطقی که بارندگی شدید دارند به احتمال زیاد اختلاف بین پیش‌بینی‌ها در روش‌های مختلف مقیاس‌نمایی آماری را نشان می‌دهند. همچنین، واریانس محاسبه شده در پیش‌بینی هواشناسی عدم اطمینان حاصل از انتخاب ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی و مدل‌های اقلیمی را نشان داد. این مطالعه می‌تواند به درک بهتر در مورد ویژگی‌های رویکردهای مختلف ریزمقیاس‌نمایی و عدم اطمینان کلی ریزمقیاس‌نمایی کمک کند.

شاگدا و همکاران (۲۰۱۹) مدل LARS-WG با استفاده از داده‌های بارش روزانه مشاهده شده برای دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۷۱ (۳۰ سال) در حوضه‌ای در تانزانیا بررسی کردند. نتایج حاکی از افزایش حداقل و حداکثر درجه حرارت بین ۰/۲ تا ۲/۶ درجه سانتی‌گراد در دهه ۲۰۵۰ و بین ۲/۷ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد در دهه ۲۰۸۰ بود. کم‌ترین افزایش در دمای آینده در ماه‌های اکتبر و نوامبر و بیش‌ترین افزایش در ماه‌های مه، ژوئن و جولای رخ داده است. پیش‌بینی می‌شود میزان بارندگی‌های آتی در ماه‌های آوریل، مه، ژوئن و ژوئیه، ۱۲ تا ۳۷ درصد کاهش یابد، در حالی که میزان بارش باران در ماه‌های

یک شهر مرزی ساحلی، سرمایه‌گذاری‌های کلان اقتصادی نظیر وجود صنایع، پالایشگاه‌ها، اسکله‌های مهم تجاری، فعالیت‌های مهم و عظیم نفت و گاز و صنایع انرژی بر و همچنین ویژگی‌ها و موقعیت ویژه جغرافیایی، نظامی مانند نزدیکی به آبراهه بین‌المللی تنگه هرمز، برنامه‌ریزی آمایش استان و حتی کشور را به شدت تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. مطالعه روند و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی شهر بندرعباس به دلیل قرارگیری در منطقه کم‌آب و خشک کشور، می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های آمایش سرزمین آن داشته باشد. هدف از این پژوهش مطالعه اثرات تغییر اقلیم دوره‌های آتی در پیش‌بینی تغییرات روند دما و بارش شهر بندرعباس با استفاده از مدل LARS-WG می‌باشد.

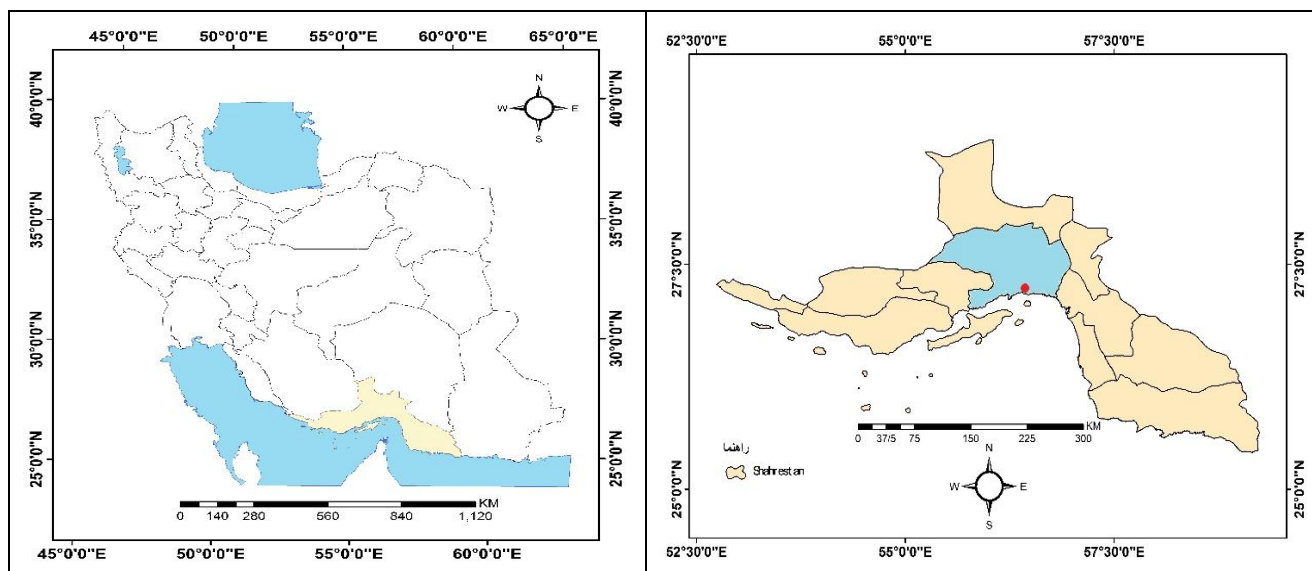
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ایستگاه بندرعباس با مختصات ۲۷/۲۱ درجه عرض شمالی و ۵۶/۳۷ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینوچ واقع شده است. شهرستان بندرعباس از جهت شمال با ارتفاعات کوه گنو و از جهت جنوب با آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان محصور شده است.

درجه سانتی‌گراد برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب در تابستان در پایان قرن) بیش‌ترین دما و شدت موج‌های گرما به‌ویژه در دره ابرو، پرجمعیت‌ترین منطقه بسیار شدید خواهد بود (جیاتان، ۲۰۱۹).

بیات ورکشی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی بررسی تأثیر تغییرات آب و هوا بر تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از HadCM3 و LARS-WG مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تأثیر تغییرات آب و هوایی بر تبخیر و تعرق مرجع (ET0)، که یکی از مهم‌ترین متغیرها در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد، بررسی شده است، برای این منظور از داده‌های روزانه هواشناسی ۳۰ ایستگاه هواشناسی ایران از سال ۱۹۸۱ و ۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که ET0 از سال ۲۰۱۱ به ۲۱۱۳ تقریباً در کلیه ایستگاه‌های تحت سه سناریو افزایش می‌یابد. درصد تغییرات ET0 در سناریوی A1B در سه دوره از سال ۲۰۱۱ تا ۲۱۱۳ به ترتیب ۰/۹۸ درصد، ۵/۱۸ درصد و ۱۲/۱۷ درصد نسبت به دوره پایه پیدا شده است، در حالی که برای سناریوی B1، آن‌ها ۰/۶۷ درصد، ۴/۰۷ درصد محاسبه شده‌اند و ۶/۶۱ درصد و برای سناریوی A2، به ترتیب ۰/۵۹، ۵/۳۵ و ۹/۳۸ درصد مشاهده شدند. بنابراین، بیش‌ترین افزایش ET0 از سال ۲۰۸۰ تا ۲۱۱۳ تحت سناریوی A1B اتفاق می‌افتد. با توجه به جایگاه ویژه شهر بندرعباس به‌عنوان



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)
بندرعباس	۹/۸	۲۷/۲۱	۵۶/۳۷

جدول ۲: مشخصات پارامترهای اقلیمی ایستگاه بندرعباس (منبع: سازمان هواشناسی کشور)

میانگین دمای خشک (سلسیوس)	میانگین دمای حداکثر (سلسیوس)	میانگین دمای حداقل (سلسیوس)	میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر)	میانگین رطوبت نسبی (درصد)
۲۶/۹	۳۲/۳	۲۱/۹	۱۶۶/۴	۶۵

۲-۲-۲ روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک بندرعباس برای بررسی تغییر اقلیم طی دوره زمانی ۱۹۹۲-۲۰۱۷ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس شرط همگنی داده‌ها با روش کولموگروف-اسمیرنوف در این ایستگاه بررسی گردید. در نهایت به منظور بررسی تغییرات اقلیمی از نرم‌افزار LARS-WG6 استفاده شد که مراحل انجام ریزمقیاس نمایی دما و بارش ایستگاه بندرعباس در این پژوهش به شرح زیر است:

۲-۲-۱ ریزمقیاس نمایی آماری

نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد، تحت عنوان "پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های (CMIP5)" شناخته شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود^۲ AR5 از سناریوهای جدید^۳ RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند.

سناریوی RCP8.5 بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش

خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

سناریوی RCP6: در سناریوی RCP6 با کاهش واداشت‌های تابشی، میزان افزایش دی‌اکسیدکربن نیز کاهش می‌یابد. سناریوی انتشار RCP6 توسط گروه مدل‌سازی AIM در مؤسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریوی واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

سناریوی RCP4.5: سناریوی مذکور توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

سناریوی انتشار RCP2.6: این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کم‌ترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند. RCP دارای چهار خط سیر کلیدی به نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 است که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند.

با توجه به بزرگ مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی جو، یکی از راهکارهای فائق آمدن بر نقیصه فضایی کم این مدل‌ها، استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری است. از جمله این

1- Coupled Model Intercomparison Phase 5

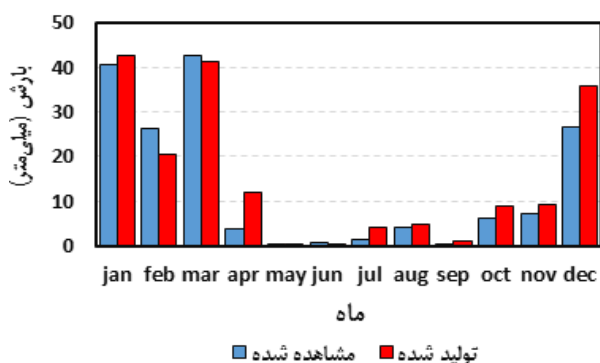
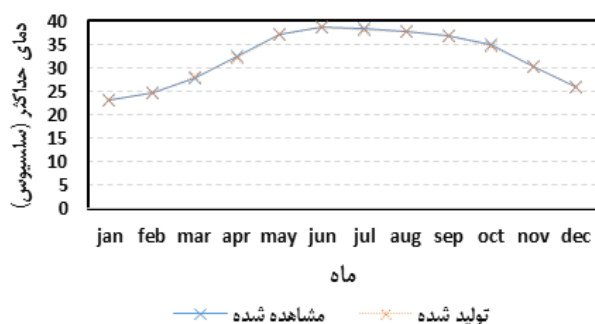
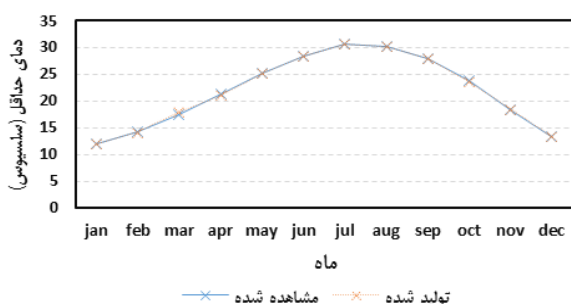
2- Assessment Report AR5 (Fifth)

3- Representative Concentration Pathways

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (5)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n (|A_t - F_t|)}{n} \quad (6)$$

در شکل (۲) ارزیابی پارامترهای اقلیمی ماهانه مشاهده شده و مدل LARS-WG6 دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ ارائه شده است. همچنین، جدول (۳) ویژگی سناریوهای RCP را نشان می‌دهد (چومونت، ۲۰۱۴). در این پژوهش پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بر اساس ۳ سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از ۴ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام گرفته است.



شکل ۲: نمودار ارزیابی پارامترهای اقلیمی ماهانه مشاهده شده و مدل LARS-WG6 دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲

مدل‌ها LARS-WG است که برای ریزمقیاس‌نمایی از روش آماری استفاده می‌کند (بابایی و همکاران، ۲۰۱۴). این مدل قادر است داده‌های بارش (میلی‌متر)، دمای کمینه و بیشینه (درجه سلسیوس) و تابش خورشیدی (مگاژول بر مترمربع در روز) را برای شرایط حاضر و آینده پیش‌بینی کند. مبنای آن برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی است. سری‌های فوریه، دما را تخمین می‌زنند. دماهای حداقل و حداکثر روزانه به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند.

سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار دمای فصلی به کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفريق مقادیر میانگین از مقدار دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم استفاده می‌شوند.

مکانیسم عمل به این صورت است که ابتدا با استفاده از تولید داده ماهانه که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه است، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌کند:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{fut(GCM)} + F_{base(GCM)}) \quad (1)$$

که در آن، F_{fut} آینده و F_{obs} گذشته است. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را مطابق رابطه (۲) تغییر می‌دهد (کریمی و نبی‌زاده، ۲۰۱۸).

$$F_{fut} = \frac{STD_{obs}}{STD_{base(GCM)}} * STD_{fut(GCM)} \quad (2)$$

همچنین، به منظور ارزیابی قابلیت این مدل از معیارهای آماری ضریب تعیین R^2 ، میانگین مربعات خطا، مجذور مربعات خطا^۱ (RMSE) و انحراف مطلق متوسط^۲ (MAD) استفاده می‌شود (روابط ۳ تا ۶).

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (A_{obs,t} - \bar{A}_{obs}) * (F_{model,t} - \bar{F}_{tmodel})}{[\sum_{t=1}^T (A_{obs,t} - \bar{A}_{obs})^2]^{0.5} * [\sum_{t=1}^T (F_{model,t} - \bar{F}_{tmodel})^2]^{0.5}} \quad (3)$$

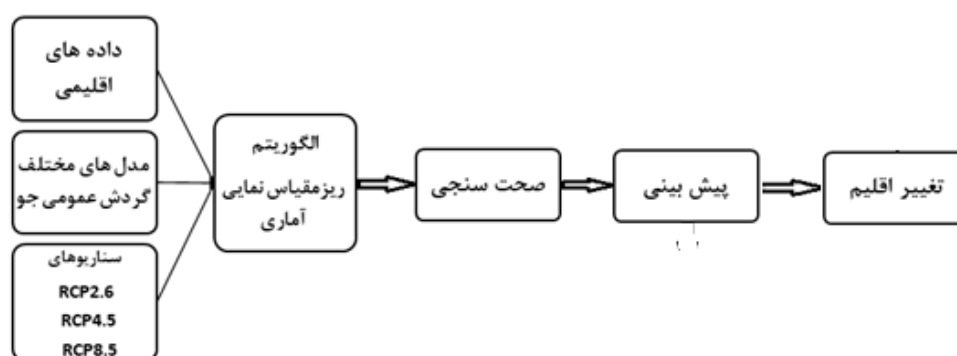
$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (4)$$

1- Root Mean Square Error

2- Median Absolute Deviation

جدول ۳: نمای کلی نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون

سناریوی	واداشت تابشی (وات بر مترمربع)	غلظت دی اکسیدکربن (قسمت در میلیون)	حالت
RCP2.6	حداکثر مقدار آن ۳ وات بر مترمربع و سپس کاهش می‌یابد	۴۹۰ ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد	خوشبینانه
RCP4.5	۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۶۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	متوسط تا خوشبینانه
RCP6	۵/۶ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۸۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	متوسط تا بدبینانه
RCP8.5	بیش‌تر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰ ppm سال تا ۲۱۰۰	بدبینانه



شکل ۳: مراحل ریزمقیاس‌سازی پارامتر بارش و دما در نرم‌افزار LARS-WG6

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی مدل‌های گزارش پنجم

در جدول (۴) نتایج ارزیابی مقادیر واقعی و تولید شده توسط مدل LARS WG6 ارائه شده است. بدین منظور با استفاده از آزمون‌های آماری انحراف مطلق متوسط (MAD)، میانگین مربعات خطا (MSE)، مجذور مربعات (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) مقادیر اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه سینوپتیک بندرعباس طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ بررسی گردید. با توجه به مقادیر جدول (۴) بیش‌ترین ضریب تعیین و کم‌ترین خطا به‌ترتیب مربوط به پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که در دوره مذکور مقادیر شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده مطابقت قابل قبولی دارد.

نتایج نمودار ارزیابی پارامترهای اقلیمی مشاهده شده و مدل LARS WG در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۷ نشان می‌دهد که در مورد پارامترهای اقلیمی خصوصاً دماهای کمینه و بیشینه دو نمودار دقیقاً بر روی هم قرار گرفته و پارامترهای تولید شده توسط مدل به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک می‌باشد، همچنین داده‌های تولید شده بارش توسط مدل در بسیاری از

ماه‌ها به داده‌های مشاهداتی نزدیک بوده و در برخی دیگر اختلاف ناچیز دارد.

۳-۲- تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش تحت

سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

نتایج بررسی‌های تغییرات پارامترهای اقلیمی فصلی با مدل‌های گزارش پنجم طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ در جدول (۵) حاکی از آن است که دماهای کمینه و بیشینه در تمام این مدل‌ها در سناریوهای مختلف اقلیمی به‌صورت فصلی و سالانه در طی ۲۰ سال آینده افزایشی بوده، به‌طوری‌که بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه با مدل HadGEM2-ES به میزان ۱/۸۱ درجه سلسیوس با سناریوی RCP8.5 و کم‌ترین تغییرات دمای کمینه مربوط به مدل EC-EARTH4 با سناریوی RCP4.5 به میزان ۰/۸۲ سلسیوس رخ می‌دهد. به همین ترتیب بیش‌ترین تغییرات دمای بیشینه با مدل HadGEM2-ES به میزان ۱/۴۰ درجه سلسیوس با سناریوی RCP8.5 و کم‌ترین تغییرات دمای بیشینه با مدل MPI-ESM-MR به میزان ۰/۶۴ درجه سلسیوس در سناریو RCP4.5 است. بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات بارش

آینده افزایش می‌باشد، بر این اساس بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه با مدل HadGEM2-ES به میزان ۳ درجه سلسیوس با سناریوی RCP8.5 و کم‌ترین تغییرات دمای کمینه مربوط به مدل EC-EARTH4 با سناریوی RCP8.5 به میزان ۱/۴۵ سلسیوس است. به همین ترتیب بیش‌ترین تغییرات دمای بیشینه با مدل GFDL-CM3 با سناریوی RCP8.5 به میزان ۲/۶۵ درجه سلسیوس و کم‌ترین تغییرات دمای بیشینه با مدل MPI-ESM-MR در سناریوی RCP4.5 به میزان ۱/۴۰ درجه سلسیوس است. بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات بارش به‌ترتیب در مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP4.5 به میزان ۱۱۵/۷۹ میلی‌متر و مدل EC-EARTH4 با سناریوی RCP4.5 به میزان ۰/۸۷- میلی‌متر (کاهش بارندگی در دوره مذکور) می‌باشد.

به‌ترتیب با HadGEM2-ES با سناریوی RCP2.6 و مدل EC-EARTH4 به میزان ۹۳/۸۹ و ۱/۷۵ میلی‌متر با سناریوی RCP4.5 در دوره مذکور می‌باشد. با توجه به مقادیر جدول (۵)، میزان افزایش در دمای کمینه سالانه در کلیه مدل‌ها نسبت به دمای بیشینه سالانه در طی ۲۰ سال آینده بیش‌تر بوده و بیانگر آن است که افزایش در دمای شهر بندرعباس بیش‌تر متأثر از افزایش در دمای کمینه آن خواهد بود. تغییرات فصلی بارش در جدول (۵) نشان می‌دهد که بارش فصل زمستان به غیر از مدل HadGEM2-ES در اکثر مدل‌ها منفی بوده و حاکی از کاهش بارش دوره مذکور نسبت به دوره پایه و انتقال آن به دیگر فصل‌ها خصوصاً فصل پاییز است. طبق جدول (۶) دماهای کمینه و بیشینه در تمام این مدل‌ها با سناریوهای مختلف اقلیمی به‌صورت فصلی و سالانه در طی ۲۰ تا ۴۰ سال

جدول ۴: قابلیت ارزیابی مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS WG طی دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۷

پارامتر	آماره آزمون		
	R^2	RMSE	MSE
دمای کمینه	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۰۳
دمای بیشینه	۰/۹۹	۰/۱۶	۰/۰۲
بارش	۰/۹۴	۴/۲۱	۱۷/۶۸

جدول ۵: تغییرات پارامترهای اقلیمی فصلی مدل‌های گزارش پنجم دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۲-۲۰۱۷)

مدل	آماره آزمون	HadGEM2-ES			EC-EARTH4		MPI-ESM-MR		GFDL-CM3		MIROC5	
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6
دمای کمینه	بهار	۱/۳۹	۱/۲۴	۱/۶۹	۱/۲۳	۱/۳۰	۰/۹۹	۱/۱۹	۱/۶۳	۱/۵۹	۰/۸۶	۰/۸۳
	تابستان	۱/۳۷	۱/۴۹	۱/۸۳	۰/۵۶	۰/۷۹	۱/۲۰	۱/۳۵	۱/۸۸	۱/۹۸	۱/۰۳	۱/۰۲
	پاییز	۱/۷۵	۱/۵۹	۲/۰۸	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۸۸	۱/۰۱	۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۰۶	۱/۱۳
	زمستان	۱/۵۶	۱/۱۶	۱/۶۴	۰/۹۲	۱/۰۱	۰/۲۸	۰/۷۴	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۳۴	۰/۶۶
	سالانه	۱/۵۲	۱/۳۷	۱/۸۱	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۹۷	۱/۲۲	۱/۴۵	۱/۴۶	۱/۰۶	۱/۲۲
دمای بیشینه	بهار	۱/۱۸	۱/۰۶	۱/۲۲	۱/۰۵	۱/۱۱	۰/۹۴	۱/۰۸	۱/۵۳	۱/۴۰	۰/۹۹	۰/۷۸
	تابستان	۱/۲۲	۱/۱۰	۱/۳۸	۰/۵۳	۰/۷۶	۱/۳۲	۱/۴۴	۱/۵۹	۱/۷۸	۰/۹۳	۰/۷۲
	پاییز	۱/۴۶	۱/۲۴	۱/۶۳	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۹۸	۱/۱۷	۱/۲۹	۱/۲۶	۰/۹۸	۱/۱۰
	زمستان	۱/۱۰	۱/۰۹	۱/۳۲	۰/۹۲	۱/۰۰	۰/۳۱	۰/۵۲	۱/۰۶	۱/۰۵	۰/۵۰	۰/۷۲
	سالانه	۱/۲۴	۱/۱۳	۱/۴۰	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۶۴	۰/۶۷	۱/۳۷	۱/۳۷	۰/۸۸	۱/۰۶
بارش	بهار	۳/۱۳	۱/۵۵	۳/۰۷	۵/۶۲	۶/۴۶	۴/۲۶	۶/۴۸	۶/۸۳	۵/۵۹	۲۰/۴۴	۲۶/۷۱
	تابستان	۷/۹۵	۷/۱۵	۱۰/۱۴	۴/۷۷	۶/۱۳	۶/۱۷	۳/۵۷	۸/۲۴	۴/۸۴	۱۰/۳۹	۱۲/۴۷
	پاییز	۱۸/۸۷	۲۱/۵۵	۲۸/۴۴	۱۰/۲۷	۱۰/۷۶	۱۲/۹۳	۴۰/۴۸	۵۲/۹۶	۴۸/۳۴	۳/۲۱	۵/۸۶
	زمستان	۶۳/۹۶	۱۸/۸۳	۲۳/۵۴	-۱۸/۹	-۱۹/۰۲	-۱۷/۷۴	۲۴/۰۸	-۱۰/۵۵	-۱۲/۸۶	-۱۰/۷۰	-۱/۹۵
	سالانه	۹۳/۸۹	۴۹/۰۷	۶۵/۱۸	۱/۷۵	۴/۳۳	۵/۶۲	۷۴/۶۰	۵۷/۴۶	۴۵/۹۱	۲۳/۲۴	۴۳/۰۹

بیش‌ترین تغییرات دمای بیشینه با مدل HadGEM2-ES به میزان ۴/۴۸ درجه سلسیوس با سناریوی RCP8.5 و کم‌ترین تغییرات دمای بیشینه با مدل MPI-ESM-MR به میزان ۱/۴۱ درجه سلسیوس در سناریوی RCP4.5 است. تغییرات بارش مانند سایر دوره‌های مورد مطالعه حاکی از افزایش بارش سالانه و کاهش بارش در فصل زمستان در برخی از مدل‌ها و افزایش بارش به ویژه در فصل پاییز است.

همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، دماهای کمینه و بیشینه تغییرات مثبتی داشته و به‌طوری‌که پارامترهای مذکور طی ۴۰ تا ۶۰ سال آتی در تمام این مدل‌ها با سناریوهای مختلف اقلیمی به‌صورت فصلی و سالانه افزایشی بوده و بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه با مدل HadGEM2-ES به میزان ۴/۹۴ درجه سلسیوس با سناریوی RCP8.5 و کم‌ترین تغییرات دمای کمینه مربوط به مدل EC-EARTH4 با سناریوی RCP4.5 به میزان ۱/۷۸ درجه سلسیوس رخ می‌دهد. به همین ترتیب

جدول ۶: تغییرات پارامترهای اقلیمی فصلی مدل‌های گزارش پنجم دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۲-۲۰۱۷)

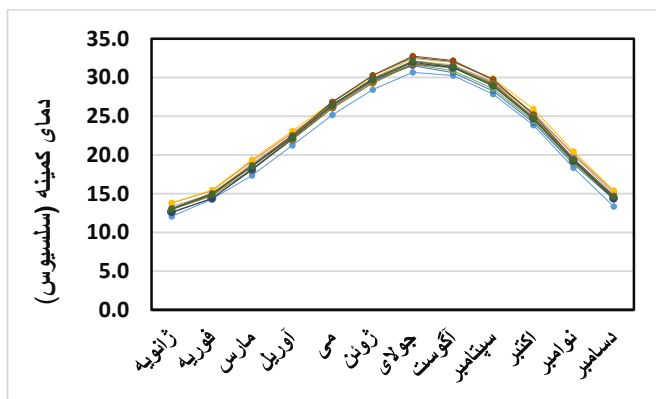
مدل	آماره آزمون	HadGEM2-ES									EC-EARTH4	MPI-ESM-MR		GFDL-CM3		MIRO C5	
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5		RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5	
دمای کمینه	بهار	۱/۸۹	۲/۰۷	۲/۸۶	۱/۹۳	۲/۲۳	۱/۵۳	۲/۱۱	۲/۰۷	۲/۵۷	۱/۶۰	۱/۸۴	۲/۲۸				
	تابستان	۱/۹۷	۲/۴۰	۳/۰۸	۱/۱۱	۱/۶۵	۱/۹۵	۲/۳۴	۲/۷۶	۳/۳۶	۱/۷۹	۲/۲۸	۲/۲۸				
	پاییز	۲/۱۹	۲/۵۸	۳/۲۴	۱/۲۵	۱/۴۸	۱/۷۱	۲/۴۰	۲/۱۰	۲/۶۳	۱/۶۵	۲/۴۶	۲/۴۶				
	زمستان	۱/۹۳	۲/۱۹	۲/۸۳	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۱۴	۱/۶۶	۱/۵۷	۱/۹۹	۱/۱۹	۱/۷۰	۲/۴۶				
	سالانه	۱/۹۹	۲/۳۱	۳/۰	۱/۴۵	۱/۷۲	۱/۸۵	۲/۳۳	۲/۱۳	۲/۶۵	۱/۸۹	۲/۴۱	۲/۴۱				
دمای بیشینه	بهار	۱/۷۰	۱/۸۲	۲/۵۰	۱/۷۶	۲/۰۵	۱/۵۲	۲/۱۶	۱/۸۷	۲/۴۸	۱/۵۹	۱/۶۳	۲/۱۶				
	تابستان	۱/۷۹	۲/۰۱	۲/۵۳	۱/۰۹	۱/۶۲	۲/۰۴	۲/۳۴	۲/۶۱	۳/۲۸	۱/۶۳	۲/۰۹	۲/۱۶				
	پاییز	۲/۱۲	۲/۱۰	۲/۸۴	۱/۴۰	۱/۶۲	۱/۷۶	۲/۱۷	۲/۲۸	۲/۸۳	۱/۷۳	۲/۱۱	۲/۱۱				
	زمستان	۱/۸۷	۱/۵۱	۲/۶۴	۱/۵۲	۱/۵۲	۱/۰۸	۱/۴۲	۱/۶۹	۲/۰۲	۱/۳۹	۱/۵۷	۱/۵۷				
	سالانه	۱/۸۷	۱/۸۶	۲/۶۳	۱/۴۴	۱/۷۱	۱/۴۰	۱/۶۷	۲/۱۱	۲/۶۵	۲/۰۲	۲/۰۹	۲/۰۹				
بارش	بهار	۲/۲۱	۲/۵۳	۱/۲۵	۵/۱۲	۵/۷۵	۵/۷۲	۴/۳۵	۸/۴۲	۹/۵۱	۲۶/۶۹	۳۵/۶۴	۲۶/۶۴				
	تابستان	۶/۳۲	۵/۶۸	۵/۰۰	۶/۸۰	۲/۹۶	۳/۳۷	-۰/۶۸	۳/۷۷	۶/۵۵	۱۲/۲۴	۱۰/۶۱	۱۰/۶۱				
	پاییز	۳/۰۵	۳۴/۴۹	۹/۴۴	۶/۰۶	۱۴/۸۷	۲۰/۰۶	۲۴/۰۲	۴۰/۰۷	۳۸/۱۷	۲/۹۶	۵/۹۸	۵/۹۸				
	زمستان	۲۶/۹۸	۷۳/۱۰	-۰/۴۶	-۱۸/۸۴	۲/۷۴	-۱۲/۴۱	-۱۸/۰۸	-۳/۲۹	-۱۵/۱	-۸/۲۲	-۷/۰۷	-۷/۰۷				
	سالانه	۳۸/۵۵	۱۱۵/۷۹	۱۵/۲۲	-۰/۸۷	۲۶/۳	۱۶/۷۳	۹/۶۱	۴۸/۹۶	۳۹/۱۸	۳۳/۶۷	۴۵/۱۵	۴۵/۱۵				

جدول ۷: تغییرات پارامترهای اقلیمی فصلی مدل‌های گزارش پنجم دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۲-۲۰۱۷)

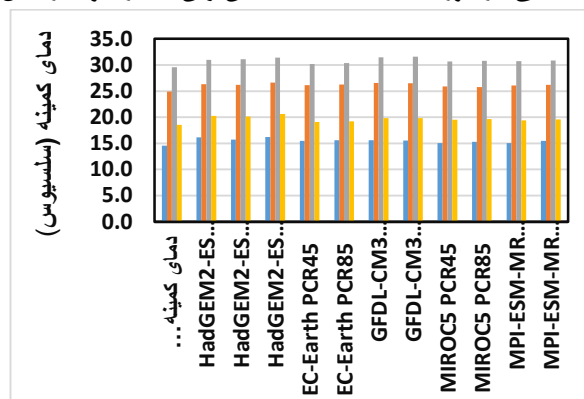
مدل	آماره آزمون	HadGEM2-ES										EC-EARTH4	MPI-ESM-MR		GFDL-CM3		MIRO C5	
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
دمای کمینه	بهار	۱/۹۰	۲/۹۶	۴/۶۴	۲/۳۰	۳/۲۷	۱/۹۸	۲/۵۴	۳/۰۷	۴/۵۹	۲/۷۰	۳/۲۵	۳/۲۵	۳/۲۵	۳/۲۵	۲/۷۰	۳/۲۵	
	تابستان	۲/۰۶	۳/۲۷	۵/۲۶	۱/۴۸	۲/۵۶	۲/۲۷	۳/۹۱	۳/۴۵	۵/۳۳	۳/۴۸	۳/۹۵	۳/۹۵	۳/۹۵	۳/۹۵	۳/۴۸	۳/۹۵	
	پاییز	۲/۱۱	۳/۴۷	۵/۳۳	۱/۴۷	۲/۶۴	۲/۱۹	۳/۹۹	۲/۵۰	۴/۴۸	۲/۷۵	۴/۱۲	۴/۱۲	۴/۱۲	۲/۷۵	۴/۱۲	۴/۱۲	
	زمستان	۱/۹۰	۲/۹۳	۴/۵۵	۱/۸۷	۱/۹۳	۱/۳۲	۲/۹۷	۱/۸۲	۳/۱۸	۱/۶۲	۲/۹۷	۲/۹۷	۲/۹۷	۱/۶۲	۲/۹۷	۲/۹۷	
	سالانه	۱/۹۹	۳/۱۶	۴/۹۴	۱/۷۸	۲/۸۷	۱/۹۳	۳/۹۹	۲/۷۱	۴/۳۹	۲/۵۱	۳/۸۲	۳/۸۲	۳/۸۲	۲/۵۱	۳/۸۲	۳/۸۲	
دمای بیشینه	بهار	۱/۶۹	۲/۶۹	۴/۰۹	۲/۱۳	۳/۱۹	۲/۰۶	۳/۷۵	۳/۲۰	۴/۴۰	۲/۹۰	۳/۳۷	۳/۳۷	۳/۳۷	۲/۹۰	۳/۳۷	۳/۳۷	
	تابستان	۱/۷۱	۲/۸۳	۴/۴۷	۱/۴۵	۲/۵۴	۲/۵۰	۴/۰۷	۳/۳۹	۴/۹۹	۳/۴۲	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۴۲	۳/۳۳	۳/۳۳	
	پاییز	۲/۱۰	۳/۲۵	۴/۸۷	۱/۶۱	۲/۸۰	۲/۱۱	۳/۶۴	۲/۷۸	۴/۵۲	۳/۰۱	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۱	۳/۰۰	۳/۰۱	۳/۰۰	
	زمستان	۱/۹۰	۳/۱۹	۴/۴۹	۱/۸۷	۲/۹۲	۱/۲۳	۲/۷۷	۱/۹۹	۳/۳۵	۱/۸۰	۳/۳۸	۳/۳۸	۳/۳۸	۱/۸۰	۳/۳۸	۳/۳۸	
	سالانه	۱/۸۵	۲/۹۹	۴/۴۸	۱/۷۶	۲/۸۶	۱/۴۱	۳/۲۲	۲/۸۴	۴/۳۲	۲/۵۲	۳/۴۴	۳/۴۴	۳/۴۴	۲/۵۲	۳/۴۴	۳/۴۴	
بارش	بهار	۲/۰۷	۱/۲۴	۳/۱۷	۵/۹۷	۳/۵۷	۵/۴۳	۵/۲۵	۸/۸۲	۶/۴۰	۲/۶۵	۲۳/۲۹	۲۳/۲۹	۲۳/۲۹	۲/۶۵	۲/۶۵	۲/۶۵	
	تابستان	۱۰/۴۵	۷/۵۲	۸/۰۲	۹/۲۵	۷/۸۶	-۰/۲۶	-۱/۱۲	۳/۵۳	۲۵/۲۹	-۲/۵۹	۱۳/۷۸	۱۳/۷۸	۱۳/۷۸	-۲/۵۹	۱۳/۷۸	۱۳/۷۸	
	پاییز	۵/۴۷	-۰/۳۴	۱۴/۵۸	۱۱/۸۲	۱۱/۹۲	۳۱/۵۸	۳۸/۰۶	۴۹/۵۶	۲۵/۲۹	-۲/۵۹	۶/۴۰	۶/۴۰	۶/۴۰	-۲/۵۹	۶/۴۰	۶/۴۰	
	زمستان	۳۳/۷۷	-۰/۵۳	۵۰/۱۷	-۱۳/۹۶	-۲۸/۰۹	-۰/۳۶	۱۶/۹۴	۴/۵۱	-۱۶/۹	-۲/۹۰	-۳۳/۹۳	-۳۳/۹۳	-۳۳/۹۳	-۲/۹۰	-۳۳/۹۳	-۳۳/۹۳	
	سالانه	۵۱/۷۶	۹/۰۴	۷۵/۹۴	۱۳/۰۷	-۴/۷۵	۳۶/۹۰	۵۹/۱۳	۶۶/۴۱	۱۸/۲۴	۲۷/۹۶	۹/۵۳	۹/۵۳	۹/۵۳	۲۷/۹۶	۹/۵۳	۹/۵۳	

RCP8.5 و HadGEM2-ES با سناریوهای GFDL-CM3 در فصل تابستان می‌رسد. حداقل تغییرات دمای کمینه مربوط به مدل MPI-ESM-MR با سناریوی RCP8.5 است (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

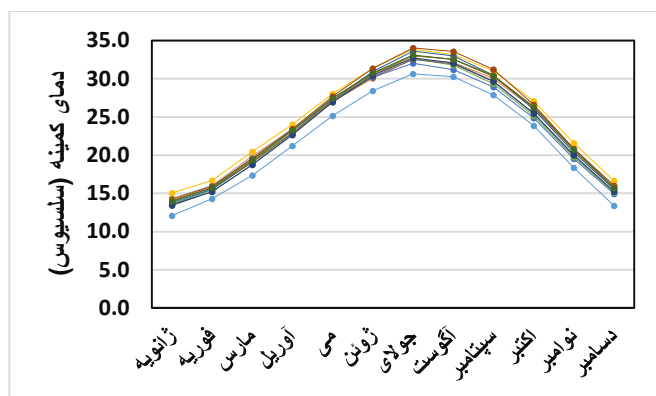
در شکل (۴) نشان داده شد، که اختلاف دوره پایه نسبت به دوره‌های مختلف متفاوت می‌باشد. لذا هرچه از دوره پایه ۱۹۹۲-۲۰۱۷ فاصله گرفته شود تغییرات پارامترهای اقلیمی نسبت به دوره مذکور افزایش یافته است. میانگین دمای حداقل فصلی در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ به بیش‌ترین مقدار خود در مدل



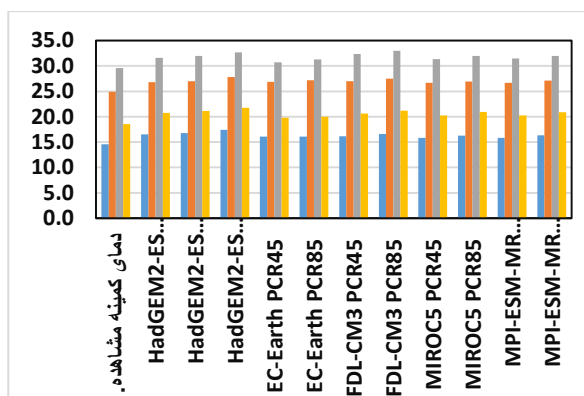
۲۰۴۰-۲۰۲۱



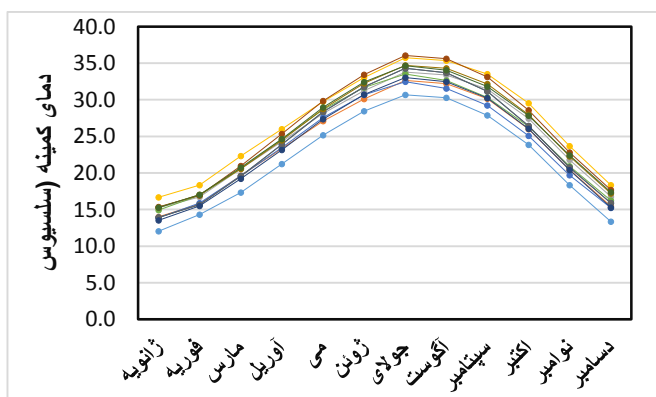
۲۰۴۰-۲۰۲۱



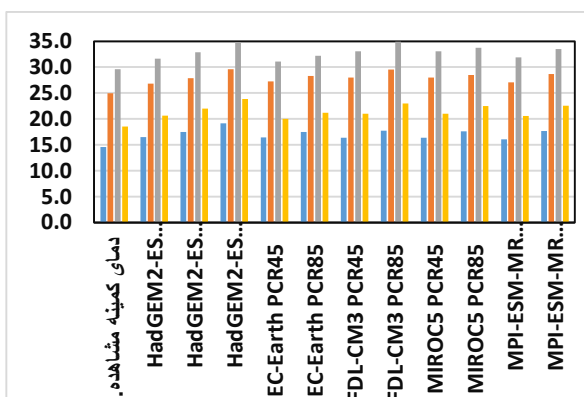
۲۰۶۰-۲۰۴۱



۲۰۶۰-۲۰۴۱



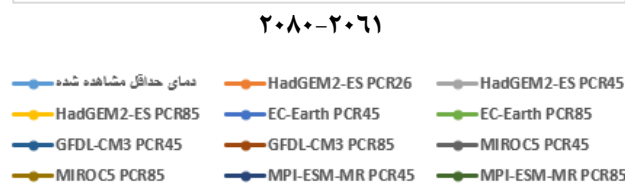
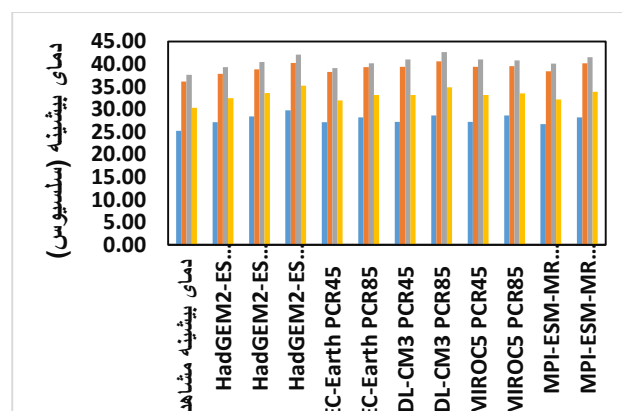
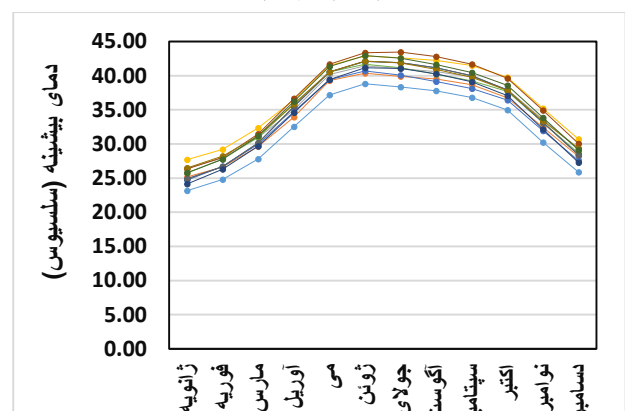
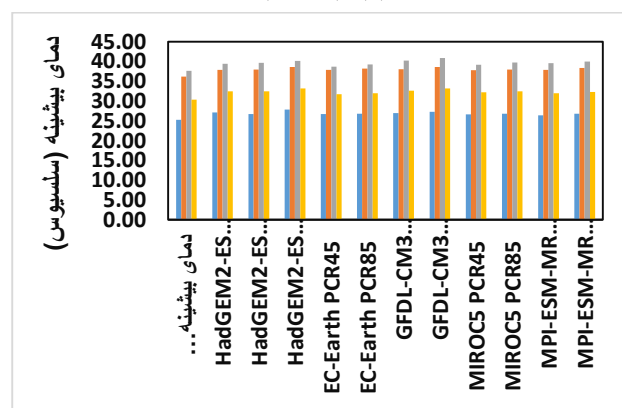
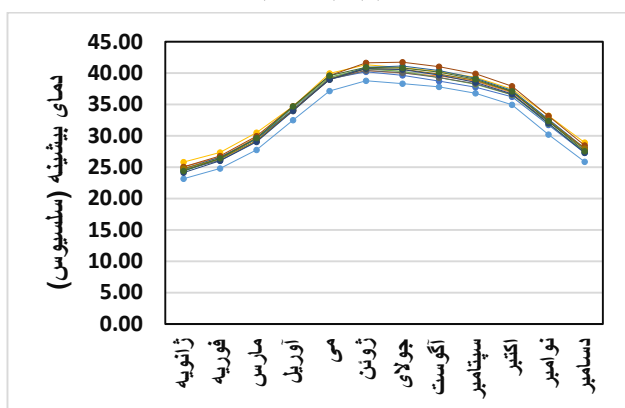
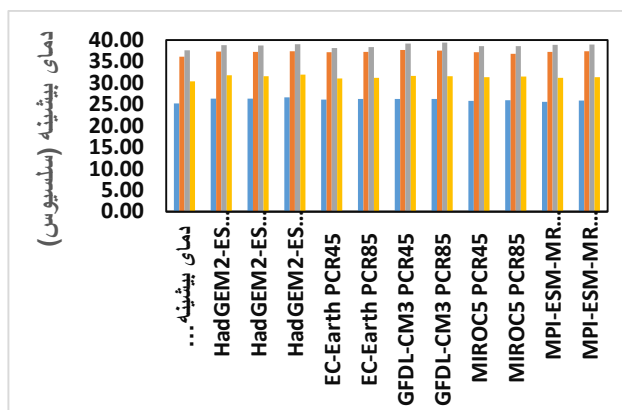
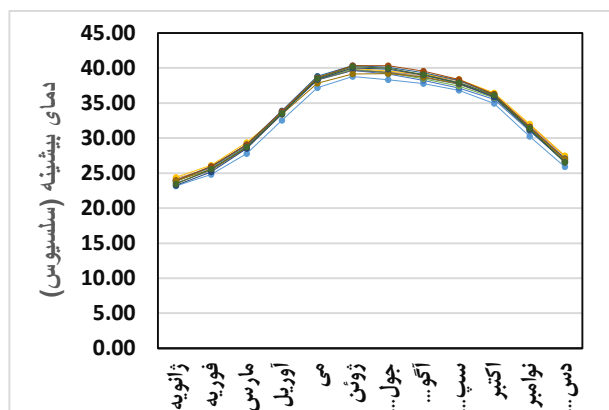
۲۰۸۰-۲۰۶۱



۲۰۸۰-۲۰۶۱

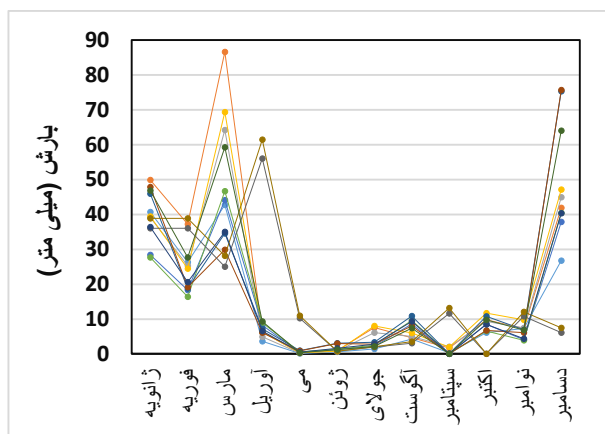


شکل ۴: نمودار تغییرات دمای کمینه ماهانه و فصلی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۲-۲۰۱۷)

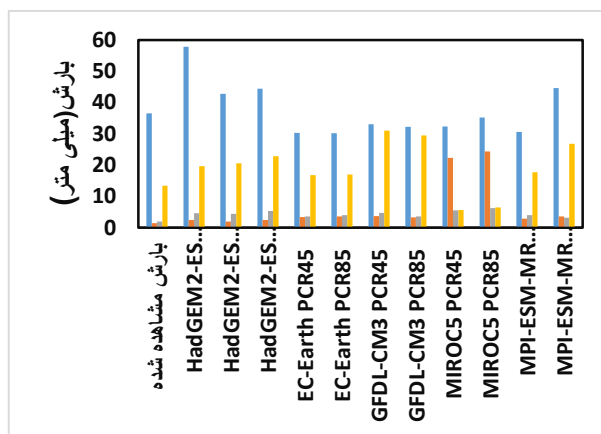


زمستان بهار تابستان یلپیز

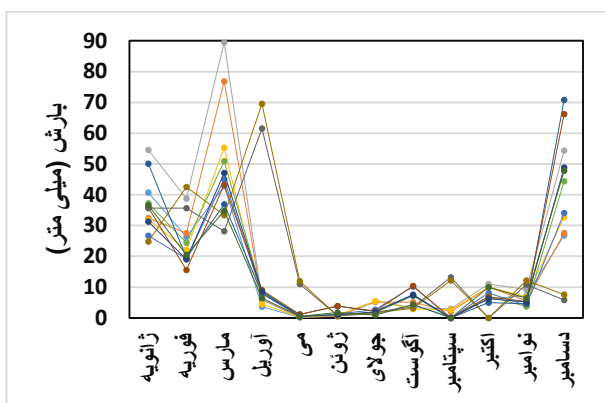
شکل ۵: نمودار تغییرات دمای بیشینه ماهانه و فصلی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۲)



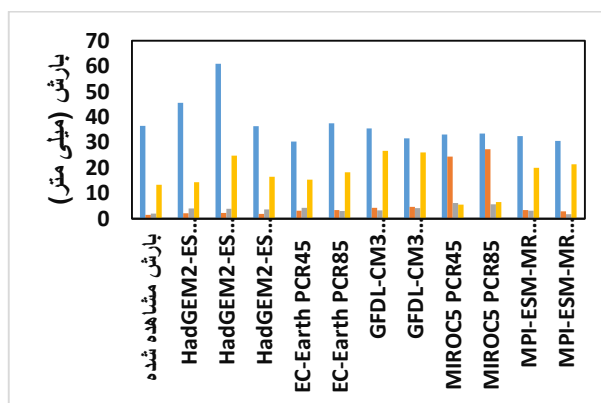
۲۰۴۰-۲۰۲۱



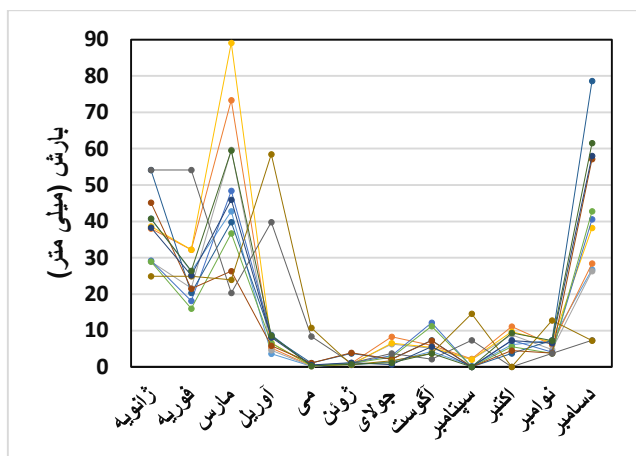
۲۰۴۰-۲۰۲۱



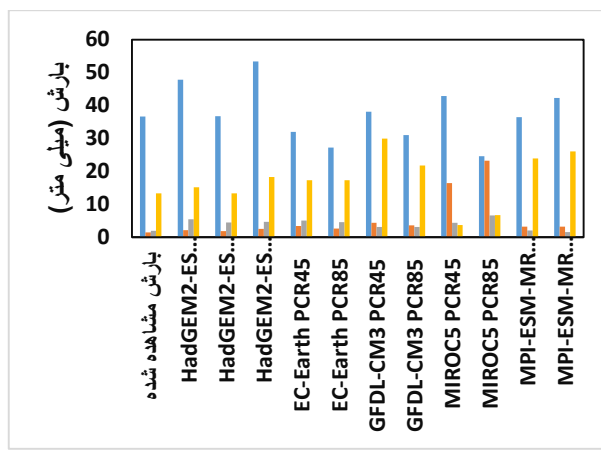
۲۰۶۰-۲۰۴۱



۲۰۶۰-۲۰۴۱



۲۰۸۰-۲۰۶۱



۲۰۸۰-۲۰۶۱



زمستان بهار تابستان پاییز

شکل ۶: نمودار تغییرات بارش ماهانه و فصلی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۲)

۴- نتیجه‌گیری

گرمایش جهانی و پیامدهای تغییر اقلیم از جمله مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در سال‌های اخیر بوده که مشکلات اجتماعی، اقتصادی بسیاری را در جوامع بشری به دنبال داشته است. در این پژوهش با توجه به اهمیت پارامترهای اقلیمی در برنامه‌ریزی محیطی و آمایش سرزمین، از روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش استفاده گردیده است. برای پیش‌بینی دما و بارش شهرستان بندرعباس طی سه دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ از ۵ مدل گردش عمومی جو شامل مدل‌های HadGEM2-ES با سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و GFDL-CM3، MPI-ESM-MR، EC-EARTH4 و MIROC5 با سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 قابل دسترسی در نرم‌افزار LARS-WG6 به‌کار گرفته شد. قابلیت مدل‌های گزارش پنجم با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین، میانگین مربعات خطا (MSE)، مجذور مربعات خطا (RMSE) و انحراف مطلق متوسط (MAD) ارزیابی گردید. ارزیابی داده‌های مشاهده و شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار LARS-WG6 در دوره مشابه ۲۰۱۷-۱۹۹۲ نشان داد که به‌دلیل این که پارامتر دمای کمینه و بیشینه توزیع یکسانی در طی روزهای سال دارند در کلاس ارزیابی بسیار مناسب تا مناسب و برای پارامتر بارش به‌دلیل عدم توزیع یکنواخت در طول سال در کلاس ارزیابی مناسب تا متوسط طبقه‌بندی شدند. ارزیابی حاصل از نتایج عددی نشان می‌دهد که بیش‌ترین ضریب تعیین به‌ترتیب مربوط به پارامترهای دماهای کمینه و بیشینه (۹۹ درصد) و بارش (۹۴ درصد) است. نتایج بررسی‌های تغییرات پارامترهای اقلیمی با مدل‌های گزارش پنجم در تمام دوره‌ها حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه در تمام این مدل‌ها در سناریوهای مختلف اقلیمی به‌صورت فصلی و سالانه است و هرچه از دوره پایه ۲۰۲۱-۲۰۴۰ فاصله گرفته شود میزان تغییرات دما افزایش می‌یابد. میزان افزایش در دمای کمینه سالانه در کلیه مدل‌ها نسبت به دمای بیشینه سالانه در طی ۲۰ تا ۸۰ سال آینده بیش‌تر بوده و بیانگر آن است که افزایش در دمای شهر بندرعباس بیش‌تر متأثر از افزایش در دمای کمینه آن خواهد بود که با نتایج عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دمای ایران در دهه‌های آینده و نتایج پژوهش جعفری گدنه و همکاران (۱۳۹۹) در مورد پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان بیان کردند، مطابقت

دارد. پیش‌بینی بارش در طی ۲۰ سال آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان می‌دهد که تغییرات بارش سالانه در همه مدل‌ها مورد بررسی افزایشی بوده و تغییرات فصلی بارش، کاهش بارش در فصل زمستان در اکثر مدل‌ها (به جز HadGEM2-ES) و افزایش بارش در دیگر فصول به ویژه پاییز را پیش‌بینی کرده‌اند و حاکی از کاهش بارش فصل زمستان در دوره مذکور نسبت به دوره پایه و انتقال آن به دیگر فصل‌ها خصوصاً فصل پاییز است. همچنین پیش‌بینی تغییرات بارش سالانه و فصلی در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ بر تداوم افزایش بارندگی سالانه و کاهش بارش فصل زمستان در اکثر مدل‌های اقلیمی طی سناریوهای مختلف دلالت دارد. نمودارهای پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی ماهانه و فصلی نشان می‌دهد تغییرات پارامترهای اقلیمی نسبت به دوره پایه افزایش یافته، به طوری که بیش‌ترین تغییرات مربوط به دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ بوده و میانگین دمای حداقل فصلی در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ به بیش‌ترین مقدار خود در مدل HadGEM2-ES و GFDL-CM3 با سناریوهای RCP8.5 در فصل تابستان می‌رسد. حداقل تغییرات دمای کمینه مربوط به مدل MPI-ESM-MR با سناریوی RCP4.5 پیش‌بینی شده است. از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان در مدیریت منابع آب، کشاورزی، انرژی و آمایش سرزمین بهره برد.

۵- مراجع

جعفری گدنه، م، سلاجقه، ع، حقیقی، پ. (۱۳۹۹). پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان با استفاده از مدل‌های LARS-WG6. هیدرواکولوژی، ۷(۲)، ۵۳۸-۵۲۹.

عباسی، ف، بابائیان، ا، گلی‌مختاری، ل، ملبوسی، ش. (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده، با کمک مدل SCENGEN-MAGICC. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۲(۷۲)، ۹۱-۱۰۹.

References

Abbasi, F., Babaian, A., Goli Mokhtari, L., Malbousi, Sh. (2010). Assessing the effect of climate change on temperature and precipitation in Iran in the coming decades, using the SCENGEN-MAGICC model.

- Intergovernmental Panel on Climate Change, 69 p.
- IPCC-TGCIA. (2007). General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1, 312, Intergovernmental Panel on Climate Change, 66 p.
- Jafari Gadneh, M., Selajgeh, A., Haghighi, P. (2020). Comparative prediction of precipitation and temperature of Kerman city using LARS-WG6 Models. *Journal of Hydroecology*, Volume 7(2), 529-538, (In Persian)
- Karimi, M., Nabizadeh, A. (2018). Evaluation of climate change impacts on climate parameters of Lake Urmia watershed during 2011-2040 using LARS-WG Model. *Journal of Geography and Planning*, 22(65), 285-267, (In Persian).
- Mohammadzadeh, N., Amiri, B.J., Endergoli, L.E., Karimi, S. (2019). Coupling Tank Model and lars-weather generator in assessments of the impacts of climate change on water resources. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27(1), 14-24.
- Molanezhad, M. (2017) Statistical modeling of the association between pervasive precipitation anomalies in Southern Alburz and global ocean-atmospheric patterns. *Pollution*, 3(1), 167-174.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Grubler, A., Riahi, K., Roehrl, R.A., Rogner, H.H., Victor, N. (2000). Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Nkomozezi, T. Chung, S.O. (2013). Uncertainty of simulated paddy rice yield using LARS-WG derived climate data in the Geumho Journal of Geographical Research, 42(72), 91-109, (In Persian).
- Babaei Fini, A., Qasemi, A., Fatahi, A. (2014). Investigating the impact of climate change on the trend of Iran earth's limit rainfall profiles. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 1(3), 85-103, (In Persian).
- Bayatvarkeshi, M., Zhang, B., Fasihi, R., Adnan, R. M., Kisi, O., Yuan, X. (2020). Investigation into the effects of climate change on reference evapotranspiration using the HadCM3 and LARS-WG. *Water*, 12(3), 666.
- Chaumont, D. (2014). A guidebook on climate scenarios: using climate information to guide adaptation research and decisions. Ouranos: Montréal, QC, Canada.
- Chen, H., Guo, J., Zhang, Z., Xu, C.Y. (2013). Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3-4), 363-375.
- Dahal, N., Shrestha, U., Tuitui, A., Ojha, H. (2018). Temporal changes in precipitation and temperature and their implications on the streamflow of Rosi River. *Cent. Nepal Clim*, 7, 3.
- Gaitán, E., Monjo, R., Pórtolés, J., Pino-Otín, M.R. (2019). Projection of temperatures and heat and cold waves for Aragón (Spain) using a two-step statistical downscaling of CMIP5 model outputs. *Science of The Total Environment*, 650, 2778-2795.
- IPCC. Climate Change (2013). The Physical Science Basis; Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5); Cambridge University Press: New York, NY, USA, p. 1535
- IPCC-TGCIA. (1999). Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, Version 1.

- minimum temperature over N-W Himalayan basin. *J. Mt. Sci.* 12, 417-433.
- Vallam, P., Qin, X.S. (2018). Projecting future precipitation and temperature at sites with diverse climate through multiple statistical downscaling schemes. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1-2), 669-688.
- Van Beek, L.P.H., Konz, M., Shrestha, A.B., Bierkens, M.F.P. (2012). Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas. *Clim. Chang.* 110, 721-736.
- Weiss, A., Hays, C.J. Won, J. (2003). Assessing winter wheat responses to climate change scenarios: A Simulation Study in the U.S. Great Plains. *Climatic Change*, 58, 119-147.
- Wilby, R.L. Dawson, C.W. (2002). SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.
- River Basin, Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 55, 55-63.
- Osman, Y., Al-Ansari, N., Abdellatif, M., Aljawad, S.B. Knutsson, S. (2014). Expected future precipitation in central Iraq Using LARS-WG Stochastic Weather Generator. *Engineering*, 3, 948-959.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Van Der Linden, P. Hanson, C. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. 1st edition, Cambridge University Press.
- Sha, J., Li, X., Wang, Z.L. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3-4), 3027-3039.
- Shagega, F.P., Munishi, S.E., Kongo, V.M. (2019). Prediction of future climate in Ngerengere river catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 112, 200-209.
- Singh, D., Jain, S.K., Gupta, R.D. (2015). Trend in observed and projected maximum and