

Evaluation of the climate change effect on meteorological parameters using LARS-WG, Case study: Abadeh station

Homa Razmkhah^{*1}, Abdollah Masoudi², Amin Rostami Ravari¹, Alireza Fararoei¹

- 1- Assistant professor, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.
- 2- M.S. student, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

***Corresponding Author:** Homarazmkhah@gmail.com

(Received: 19 January 2023

Revised: 07 March 2023

Accepted: 10 April 2023)

Extended Abstract

Introduction: Climate change has a significant impact on water resources and environment, which are reflected in agriculture, society and economy. Using general circulation model (GCM) with statistical downscaling models is a method of climate change assessment. Due to the location of Abadeh in semi-arid region of Fars province and Iran, population growth, industrial and mining development, and getting to the sustainable agriculture, evaluation of climate change impacts on meteorological parameters seemed necessary. The aim of this study is to assess meteorological parameter variations of precipitation, minimum and maximum temperature under climate change condition in order to use them in water resources management of water consumptions, and to decrease the negative impacts of climate change on different parts of the environment in Abadeh region.

Materials and methods: In this study, the effect of climate change on meteorological parameters of minimum temperature, maximum temperature, precipitation was assessed, using HADCM3 as general circulation model and LARS-WG5.5 statistical model for downscaling, in Abadeh station for the base time period of (1993-2017). After assessment of model for parameters simulation, using model fitness criteria, daily value of minimum temperature, maximum temperature and precipitation were simulated for A1B, B1 and A2 scenarios. Then, the results were analysed.

Results and Discussion: Evaluation of the model showed that rainfall forecasting had the maximum error, and minimum and maximum temperature were simulated with more precision. Comparison of the mean and standard deviation of observed and simulated monthly precipitation of Abadeh station in the (1993-2017) base time period showed that the mean of simulated precipitation is more than the observed precipitation in March, April, August and September. The standard deviation of monthly simulated precipitation is more than the observed one in February, March, April, August and September. Comparison of the observed and simulated monthly minimum temperature of Abadeh station in the (1993-2017) base time period showed that the mean of simulated monthly minimum temperature is the same as the observed one in most of the months. The standard deviation of simulated monthly minimum temperature is less than the observed one in all of the months. The future trend of maximum temperature is the same as minimum temperature. After model assessment, the parameters were forecasted for the next three periods of 2011-2030, 2046-2065 and 2099-2080, under three gas emission scenarios of B1, A1B and A2. Comparison of forecasted parameters over three periods, with the based period values, showed that in the 2011-2030 time period, the precipitation value increases in three scenarios of A2, A1B and B1, respectively. In the 2046-2065 time period, the precipitation increases in all scenarios too, with the same order of 2011-2030 time period, but the variation of scenarios is different. In the 2080-2099 time period, precipitation value increases in B1 scenario, but decreases in the other two scenarios. Comparison of forecasted minimum temperature over three future periods, with the base time period values, showed that in all of the time periods, minimum temperature value increases in the three scenarios of A2, A1B and B1, respectively. The percent of increase will be more from 2011-2030 period to 2046-2065 time period and, to 2080-2099 time period. The future trend of maximum temperature is the same as minimum temperature.

Conclusion: The precipitation, minimum and maximum temperature for the next 70 years were forecasted, using HADCM3 as a GCM model and LARS-WG for statistical downscaling. Results showed an increase in minimum and maximum temperature in all months and seasons of the three time periods. Precipitation increases in 2011-2030 time period and 2046-2065 time period in all of three scenarios of A2, A1B and B1. Precipitation decreases in most of the scenarios of 2080-2099 time period. These all verify climate change in Abadeh region. The increase in evapotranspiration, water requirement of crops, and the decrease of water storage are some of the climate change effects, which need management to reduce damage on water resources, agriculture and environment, using the obtained results. Climate change assessment of the other stations of Fars province and other regions of Iran is suggested for comprehensive planning readiness.

Keywords: Climate change, HADCM3, LARS-WG model, Abadeh.

Citation: Razmkhah, H., Masoudi, A., Rostami Ravari, A., & Fararoei, A. (2023). Evaluation of the climate change effect on meteorological parameters using LARS-WG, Case study: Abadeh station. *Integrated Watershed Management*, 3(2), 16-29. doi: 10.22034/iwm.2023.1987752.1058

Copyrights:

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



ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل LARS-WG، مطالعه موردی: ایستگاه آباده

هما رزمخواه^{۱*}، عبدا... مسعودی^۲، امین رستمی راوری^۱، علیرضا فرارویی^۱

۱- استادیار گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

*نویسنده مسئول: Homarazmkhah@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

چکیده

تغییر اقلیم تأثیر قابل توجهی بر منابع آب و محیط زیست دارد که به نوبه خود در کشاورزی، جامعه و اقتصاد منعکس می‌شود. در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی و بارش با شبیه‌سازی اقلیم توسط مدل HADCM3 و ریزمقیاس سازی توسط LARS-WG در دوره پایه (۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷) ایستگاه آباده بررسی گردید. معیارهای ارزیابی بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مورد بررسی است. بیشترین خطا مربوط به مدل سازی بارش بوده و دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی با دقت بالاتری مدل سازی شده‌اند. پس از ارزیابی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از سه سناریوی A1B، B1 و A2، در سه بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۱۱، ۲۰۶۵ تا ۲۰۴۶ و ۲۰۹۹ تا ۲۰۸۰ پیش‌بینی شدند. بررسی درصد تغییرات میانگین ماهیانه پارامترها در سه سناریو، در بازه‌های زمانی مورد بررسی، نسبت به دوره پایه نشان داد که در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ مقادیر بارش تحت هر ۳ سناریو افزایش نشان می‌دهد. در بازه ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ نیز مقادیر بارش تحت هر سه سناریو افزایش نشان می‌دهد، ولی اختلاف بیشتری در میزان افزایش، در سناریوهای مختلف دیده می‌شود. در بازه ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ مقدار بارش تحت سناریوی B1 افزایش و در دو سناریوی دیگر کاهش نشان می‌دهد. درصد کاهش بارش در سناریوی A2 بسیار بیشتر از A1B است. در هر ۳ بازه زمانی دمای حداقل با افزایش مواجه خواهد بود و درصد افزایش با گذشت زمان بیشتر می‌شود. روند تغییرات آبی دمای حداکثر نیز مشابه با دمای حداقل است. افزایش دما در تمام ماه‌ها و فصل‌های سال، وقوع تغییر اقلیم را در منطقه تأیید می‌کند؛ بنابراین کاهش پیامدهای تغییر اقلیم بر منابع آب، محیط زیست و سایر مصارف، نیازمند برنامه‌ریزی درازمدت با استفاده از نتایج حاصله است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، HADCM3، مدل LARS-WG، پارامترهای هواشناسی، آباده.

استناد: رزمخواه، ه.، مسعودی، ع.، رستمی راوری، ا.؛ و فرارویی، ع. (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل LARS-WG، مطالعه موردی: ایستگاه آباده. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳(۲)، ۱۶-۲۹.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

مشکلات زیست‌محیطی در جهان، نمودی از توسعه ناپایدار و ناهماهنگ با ظرفیت‌های کره زمین است. تغییر اقلیم در میان کلیه معضلات، به دلیل تأثیر جهانی در مقیاس کره زمین و آثاری نظیر سیل، طوفان، بارش رگبارهای نامتعارف، افزایش شدت، تداوم و حجم خشک‌سالی‌ها، امواج گرما، ذوب شدن یخ‌های قطبی، افزایش سطح آب دریاها و به زیر آب رفتن زمین‌های ساحلی، افزایش حداقل و حداکثر دما در غالب مناطق، افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی محصولات زراعی و باغی، تبخیر بیشتر آب‌های سطحی و کاهش منابع آب شیرین در دسترس، کاهش بارش، افزایش فرسایش و طوفان‌های گردوخاک، توجه کشورها را بیش‌ازپیش، به خود جلب کرده است. ایران نیز به‌عنوان یکی از کشورهای مؤثر بر افزایش گازهای گلخانه‌ای در تلاش برای افزایش سازگاری و کاهش ریسک مخاطرات تغییر اقلیم به‌منظور مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی، کشاورزی و ارتقای سطح امنیت غذایی، منابع طبیعی و تنوع زیستی (منابع زیستی) و بهداشت کشور است. در این رابطه لازم است که حکمرانی تغییر اقلیم در سیاست‌ها و اقدامات اجرایی کشور در سطوح مختلف ملی، منطقه‌ای، استانی و محلی به نحوی استقرار یابد که سازگاری با آن به‌عنوان بخشی از زندگی روزمره و فضای توسعه کشور اجرا شده و در اثر افزایش سطح تاب‌آوری محیطی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی، کلیه اقشار از نتایج آن بهره‌مند گردند (National strategic plan on climate change, 2017). بدین منظور پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات میان‌مدت و بلندمدت برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه قرار گرفته است. تئوری‌های مورد استفاده در مدل‌های آب و هوایی به پنج گروه تقسیم می‌شوند: مدل‌های آماری-احتمالی، توازن انرژی، یک‌بعدی تابش همرفتی، دوبعدی دینامیکی- آماری گردش عمومی جو

(GCMs) و سه‌بعدی گردش عمومی جو که خود به سه مدل گردش عمومی جو، گردش عمومی اقیانوسی و مدل مزدوج تقسیم می‌شوند (Fraraj Zadeh & Ghasemifar, 2019). مدل‌های گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی، پوشش سطح و شرایط اقلیمی یکسانی برای یک شبکه با ابعاد چندین کیلومتر در نظر می‌گیرند، در شرایطی که شرایط واقعی در زمین می‌تواند کاملاً متفاوت باشد (Babaeian et al., 2010). روش‌های مختلف دینامیکی و آماری برای ریزمقیاس سازی متغیرهای اقلیمی وجود دارد. LARS-WG یکی از مدل‌های آماری ریزمقیاس کننده خروجی مدل‌های GCM است که با استفاده از توزیع نیمه تجربی دوره‌های خشک و مرطوب را شبیه‌سازی می‌کند (Goudarzi et al., 2015).

تاکنون تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است. Qian و همکاران (2004) دو مدل آب و هوایی LARS-WG و AAFC-WG را مقایسه کردند. در شبیه‌سازی دما عملکرد بهتری داشت، ولی پیش‌بینی آن برای بارش روزانه، مشابه با LARS-WG بود. Babaeian و همکاران (2010) به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G توسط مدل LARS-WG پرداختند. نتایج حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به میزان ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد، با بیشترین افزایش دما در ماه‌های سرد سال بود. بررسی نتایج شمال شرق کشور حاکی از جابه‌جایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد سال بود. Hashmi و همکاران (2011) مدل رگرسیون چندگانه SDSM و مولد مصنوعی LARS-WG را در ریزمقیاس سازی بارش‌های حدی مقایسه نمودند. نتایج مؤید توانایی شبیه‌سازی مناسب هر دو مدل بود. Chisanga و همکاران (2017) برای شبیه‌سازی اقلیم از مدل‌های HadCM3 و BCCR-BCM2 و ریزمقیاس

حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی حوضه قره‌سو در استان گلستان پرداختند و نتایج نشانگر کارایی خوب مدل بود.

Ildoromi و همکاران (2016) با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو HADCM3 و ECHAM4 و ریزمقیاس‌سازی آن‌ها توسط مدل آماری LARS-WG، به تولید داده‌های بارش حوضه آبخیز گرگان رود قره‌سو برای ۲۰ سال (۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰) و دوره آتی پرداختند. سپس با استفاده از این داده‌ها وضعیت خشک‌سالی را با شاخص‌های SPI، PN، ZSI، طی این دوره بررسی نمودند. نتایج نشان داد که طی سال‌های آینده شرایط خشک‌سالی دارای افزایش نسبی نسبت به دوره پایه است که وقوع تغییر اقلیم در منطقه را تائید می‌کند. الگوی زمانی بارندگی نیز تغییر یافته و با کاهش بارندگی‌ها، مشکلات کم‌آبی، کاهش ذخیره و تشدید خشک‌سالی به وجود می‌آید. Farhadi و Bansouleh و همکاران (2017) تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی و عملکرد جو (پاییزه) و ذرت (بهاره) را، در سه ایستگاه هواشناسی واقع در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه، در شرایط تغییر اقلیم بررسی نمودند. پارامترهای هواشناسی برای سناریوهای A1B، A2 و B1 مدل تغییر اقلیم HADCM3 برآورد و با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG در ایستگاه‌ها ریزمقیاس شدند. نتایج نشان‌دهنده افزایش دمای حداقل و حداکثر، نوسان بارش و ساعات آفتابی در هر سه ایستگاه بود. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره‌های پایه و آتی از فرمول فائو پنمن مانیتث نشان داد که در دوره آتی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در ایستگاه‌ها افزایش خواهد داشت. نتایج بیانگر افزایش تبخیر و تعرق فصلی، حداکثر تبخیر و تعرق روزانه و کاهش دوره رشد محصولات در ایستگاه‌های مورد بررسی بود.

Ahmed و همکاران (2019) به بررسی و انتخاب ۳۶ مدل تجمیعی گردش عمومی جو برای شبیه‌سازی

ساز LARS-WG استفاده کردند. مدل با استفاده از داده‌های دوره پایه (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) واسنجی گردید و داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر دمای کوه ماکولو زامبیا، برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۵۵، در سناریوهای B1 و A1B شبیه‌سازی شدند. نتایج نشانگر دقت خوب مدل‌سازی و امکان استفاده از LARS-WG با اطمینان بالا، برای تولید داده‌ها تحت سناریوهای اقلیمی بود. Mirgol و همکاران (2021) به بررسی روند تغییرات خشک‌سالی حوزه ارومیه در شرایط تغییر اقلیم، با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو و ریزمقیاس ساز LARS-WG پرداختند. شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI محاسبه شده نشان داد که SPEI تعداد وقایع خشک‌سالی بیشتری نسبت به SPI پیش‌بینی کرده، عملکرد بهتری در ارزیابی خشک‌سالی حوضه دارد.

Fraraj Zadeh و همکاران (2014) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر اطمینان‌پذیری تأمین آب پایین‌دست سد کرخه و راهکارهای سازگاری، با استفاده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو و چندین سناریوی انتشار پرداختند. بدین منظور تغییرات بارش و دما پیش‌بینی و با استفاده از یک مدل بارش-رواناب سری زمانی آورد رودخانه برای افق زمانی ۲۰۵۰ مدل‌سازی گردید. نتایج نشان داد آبدهی پیش‌بینی‌شده در اواسط قرن جاری از ۵۶٪ کاهش تا ۳۴٪ افزایش می‌یابد. سپس ۳ استراتژی مدیریت افزایش راندمان آبیاری، استفاده مجدد آب و تغییر الگوی کشت برای سازگاری با تغییر اقلیم ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ساخت سدهای جدید، به دلیل افزایش تخصیص آب در بالادست، می‌تواند اطمینان‌پذیری تأمین آب کشاورزی پایین‌دست سد کرخه را تا کمتر از ۷۰٪ کاهش دهد. همچنین استفاده مجدد از آب، با اطمینان‌پذیری ۹۱٪، به‌عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با تغییرات اقلیمی شناخته شد. Goudarzi و همکاران (2015) به بررسی عملکرد مدل LARS-WG در تولید داده‌های روزانه بارش، دمای

کردند. بدین منظور پارامترهای اقلیمی دوره پایه ارزیابی و پارامترهای اقلیمی آینده شبیه‌سازی شدند. نتایج هر دو مدل بیانگر کاهش بارش و افزایش دما بود، اما SDSM تغییرات بیشتری را نسبت به مدل LARS-WG نشان داد. Heshmati و همکاران (2021) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی کرمانشاه با استفاده از مدل LARS-WG در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آتی پرداختند. نتایج نشان داد مدل LARS-WG از عملکرد خوبی در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی آینده برخوردار است. سناریوها بیانگر افزایش متوسط دمای حداقل و حداکثر و تغییر الگوی بارش منطقه، در بازه زمانی آینده بودند. Darvand و همکاران (2021) اثرات تغییر اقلیم بر بیابان‌زایی منطقه بافت استان کرمان را با مدل HADCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2، B1 مورد بررسی قرار دادند. جهت حصول به دقت مکانی و زمانی موردنیاز، از مدل ریزمقیاس‌ساز LARS-WG استفاده نمودند. نتایج بیانگر افزایش دما در تمام فصل‌ها، در منطقه بود. افزایش دما و کاهش بارندگی سبب افزایش خشک‌سالی شده، زمینه را برای بیابان‌زایی فراهم می‌کند.

با توجه به واقع‌شدن آلوده در منطقه نیمه‌خشک، همچنین رشد جمعیت، گسترش صنایع و معادن و جهت حصول به کشاورزی پایدار، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی در این منطقه، ضروری دیده شد. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی، به‌منظور استفاده در برنامه‌ریزی منابع آب جهت کلیه مصارف و کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم در منطقه آلوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان آلوده در حدفاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه قرار دارد. این شهر در شمال استان فارس واقع گردیده

بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر، با استفاده از معیارهای ارزیابی مکانی، به‌منظور کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی پرداختند. Panahi و Khorramabadi (2019) به ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تحت سناریوهای مختلف اقلیمی پرداختند. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG با دقت بالا قادر به پیش‌بینی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر است، اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به سایر متغیرها دقت کمتری نشان می‌دهد. Jahangir و همکاران (2020) به شبیه‌سازی اقلیم آینده شیراز با استفاده از مدل HADCM3 و ریزمقیاس‌ساز LARS-WG پرداختند. بدین منظور داده‌های مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی ایستگاه شیراز در دوره ۴۶ ساله (۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵) استفاده گردید. شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی حوضه تحت دو سناریوی A2 و A1B انجام شد. نتایج نشان داد برخی مناطق با خشک‌سالی و در مقابل برخی مناطق با افزایش بارندگی همراه با تغییر الگوی زمانی مواجه خواهند شد. Zohrevandi و همکاران (2020) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش در شش ایستگاه سینوپتیک منتخب غرب ایران در استان‌های کردستان، کرمانشاه و همدان، با استفاده از مدل HADCM3 و ریزمقیاس‌ساز LARS-WG تحت سناریوهای مختلف پرداختند. معیارهای ارزیابی مدل LARS-WG را برای شبیه‌سازی منطقه مناسب تشخیص داد. نتایج بیانگر کاهش بارش، افزایش دمای حداقل و حداکثر و افزایش تابش بلندمدت نسبت به دوره پایه بود.

Kounani و همکاران (2021) در تحقیقی با هدف ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز رحیم‌آباد لاهور لرستان، از مدل گردش عمومی جو HADCM3 و دو مدل ریزمقیاس‌ساز آماری LARS-WG و SDSM طبق سه سناریو A2، B2 و B1، استفاده

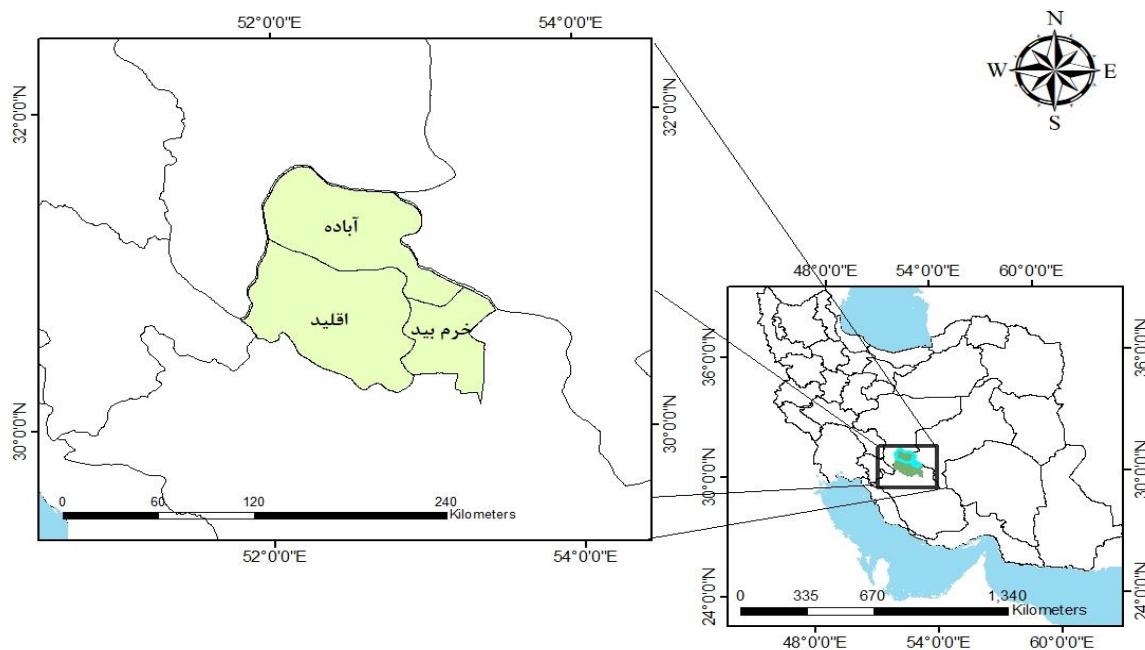
مناطق نیمه‌خشک استان فارس به شمار رفته و زمستانی سرد و تابستانی خنک و خشک دارد. جدول ۱ خصوصیات ایستگاه آباده و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه را نشان می‌دهد.

است. وسعت جغرافیایی آباده ۶۰۵۲ کیلومترمربع است که حدود ۱۱٪ کل مساحت استان را به خود اختصاص داده است. میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۱۲۰ میلی‌متر است که در ردیف نواحی خشک کشور جای می‌گیرد. این شهرستان جزء مناطق سردسیر است و از

جدول ۱- خصوصیات ایستگاه مورد مطالعه

Table 1- Abadeh stations characteristics

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
Station	Station type	Lat.	Long.	Elevation (m)
آباده	سینوپتیک	53.38	31.09	2020



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آباده در استان و ایران

Figure 1- Location of Abadeh in Fars province and Iran

و در چهار خانواده (سناریو) اصلی (A1,A2,B1,B2)، برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ارائه شد (2007 IPCC). خصوصیات سناریوهای گزارش‌های سوم در جدول ۲ ارائه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود A1B سناریوی بیانگر تغییرات متوسط اقلیمی، سناریوی A2 بیانگر شرایط بدبینانه و B1 سناریوی خوش‌بینانه است.

سناریوهای تغییر اقلیم

مدل‌های گردش عمومی جو، برای مطالعه سناریوهای آب و هوایی در شرایط متفاوت رشد اقتصادی و اجتماعی، توسط هیات بین‌الدول تغییرات آب‌وهوا (IPCC^۱) ارائه شد. این هیات گزارش‌های مختلفی ارائه نمودند که گزارش سوم یکی از پرکاربردترین آن‌ها بود

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

جدول ۲- ویژگی‌های سناریوهای گزارش سوم هیئت بین‌الدول تغییرات آب‌وهوا (IPCC, 2007)

Table 2- Characteristics of the 3rd IPCC climate change report (IPCC, 2007)

سناریوی A1B	تغییر اقلیم متوسطی برای آینده متصور است. رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس‌از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر
سناریوی بدبینانه A2	ناهمگونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به‌صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فناوری به‌صورت منطقه‌ای و نه جهانی
سناریوی خوش‌بینانه B1	همگرایی جمعیت در سطح جهان در دهه‌های آتی، تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده، معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر

مدل LARS-WG

$$[ai - 1, ai] \quad ai - 1 < ai \quad (۲)$$

این توزیع به ۲۱ پارامتر نیاز دارد که بر نسخه‌های پیشین، با تعداد پارامتر کمتر برای نشان دادن سری‌های تر و خشک، برتری دارد (Fraraj Zadeh & Ghasemifar, 2019). توضیحات بیشتر مدل در Babaeian و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده است.

ارزیابی مدل

برای مقایسه مقادیر مشاهداتی با شبیه‌سازی شده، از شاخص‌های نیکوئی برآزش (سنجش خطا) مختلف استفاده می‌شود. به‌طور نمونه می‌توان به ضریب همبستگی R^2 ، مجذور مربعات خطا RMSE^۲ و راندمان مدل^۳ یا ناش ساتکلیف^۴ NS اشاره نمود. روابط مختلف توابع هدف مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ۳ ارائه شده است.

پارامترهای شبیه‌سازی شده اقلیمی نیاز به مقیاس مکانی بالاتر از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو دارد. ریزمقیاس سازی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مولدهای مصنوعی جو (WG) انجام می‌شود، که به‌عنوان مثال می‌توان مدل‌های MET & ROLL، LARS-WG، WEGEN، CLIMGEN، USCLIMAT و GEM را نام برد. مولدهای مذکور غالباً از روش‌های زنجیره مارکوف و توزیع‌های نیمه تجربی استفاده می‌کنند. LARS-WG مولدی است که از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کند و نتایج قابل قبول‌تری نسبت به WEGEN ارائه می‌دهد. این مدل برای چهار متغیر دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه، بارش روزانه و تابش روزانه از توزیع نیمه تجربی با رابطه (۱) استفاده می‌کند (Babaeian et al., 2010):

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i, \dots, i = 0, 1, 2, \dots, 10\} \quad (1)$$

که در آن EMP هیستوگرامی با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش به‌صورت رابطه (۲) است.

2. Root Mean Square Error
3. Model Efficiency
4. Nash-Sutcliffe

1. Weather Generator

جدول ۳- معیارهای ارزیابی نیکویی برازش (Ghafouri, 2009)

Table 3- Goodness of fit indices (Ghafouri, 2009)

شاخص ارزیابی نیکویی برازش	معادله
Nash-Sutcliffe (NS)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$
Bias	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)$
R ²	$(\text{Cov}(O_i, S_i) / \sqrt{\text{Cov}(O_i, O_i) \cdot \text{Cov}(S_i, S_i)})^2$
Mean Absolute Error (MAE)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i - S_i $
Root Mean Square Error (RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}$

* n برابر تعداد داده‌ها، O_i و S_i داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گام زمانی i ام، \bar{O} مقدار میانگین مشاهداتی و Cov کوواریانس داده‌ها است.

روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق شامل انجام آزمون‌های آماری اولیه بر داده‌ها، آماده‌سازی داده‌های بارش، دمای حداقل، حداکثر و ساعات آفتابی، واسنجی داده‌های تولیدشده توسط نرم‌افزار LARS-WG5.5 و بررسی مناسب بودن مدل جهت تولید داده‌های آتی، با تحلیل توسط معیارهای ارزیابی، شبیه‌سازی مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر تحت سناریوهای A2, B1, A1B برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل و تحلیل نتایج بود.

نتایج

داده‌های مورد استفاده

برای بررسی عملکرد مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی، از داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در دوره (۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷) ایستگاه

آباد، به‌عنوان دوره پایه، استفاده شد. سپس پارامترهای فوق به‌صورت روزانه برای دوره پایه شبیه‌سازی شد و مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی عملکرد مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی

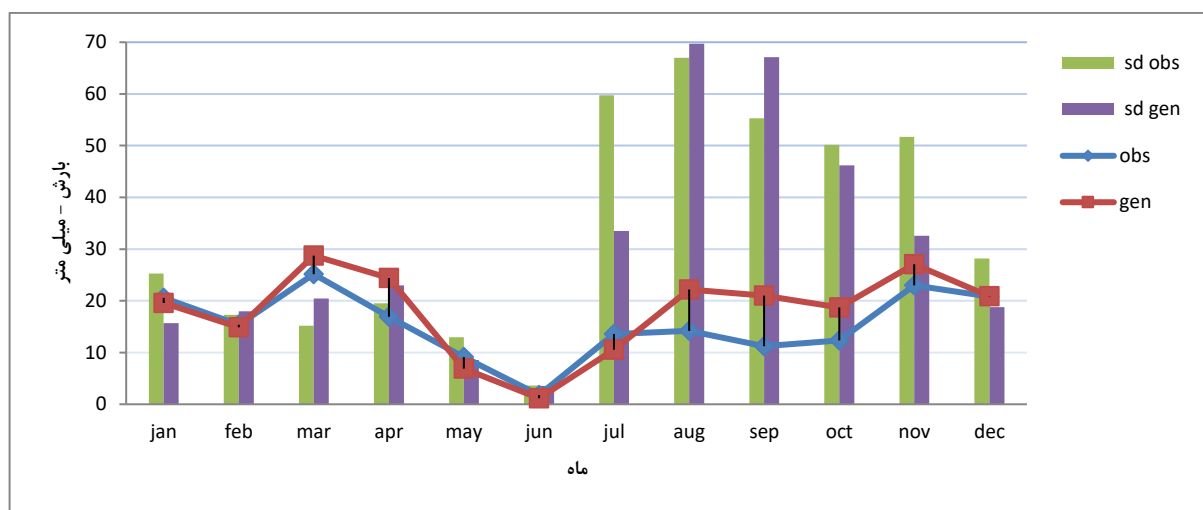
تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی. کلیه معیارهای ارزیابی محاسبه‌شده برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی در دوره پایه ایستگاه آباد، نشان می‌دهد که بیشترین خطا مربوط به مدل‌سازی بارش است و پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی با دقت بالاتری مدل‌سازی شده‌اند (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی فرآیند بارش، دمای حداقل و حداکثر
Table 4- LARS-WG model assessment in simulation of precipitation, minimum and maximum temperature

شاخص	RMSE	NS	MAE	BIAS	R2
	ریشه میانگین مربع خطا	ضریب ناش ساتکلیف	میانگین خطای مطلق	میانگین انحراف خطا	ضریب تعیین
بارش	5.010	0.356	3.889	-2.676	0.715
دمای حداقل	0.257	0.999	0.236	0.061	0.999
دمای حداکثر	3.689	0.816	1.267	1.092	0.999
ساعات آفتابی	0.231	0.998	0.191	-0.109	0.999

شبهه‌سازی شده از بارش مشاهداتی بیشتر است. مقدار میانگین انحراف معیار بارش شبهه‌سازی شده نیز در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، آگوست و سپتامبر از مقدار مشاهداتی بیشتر است.

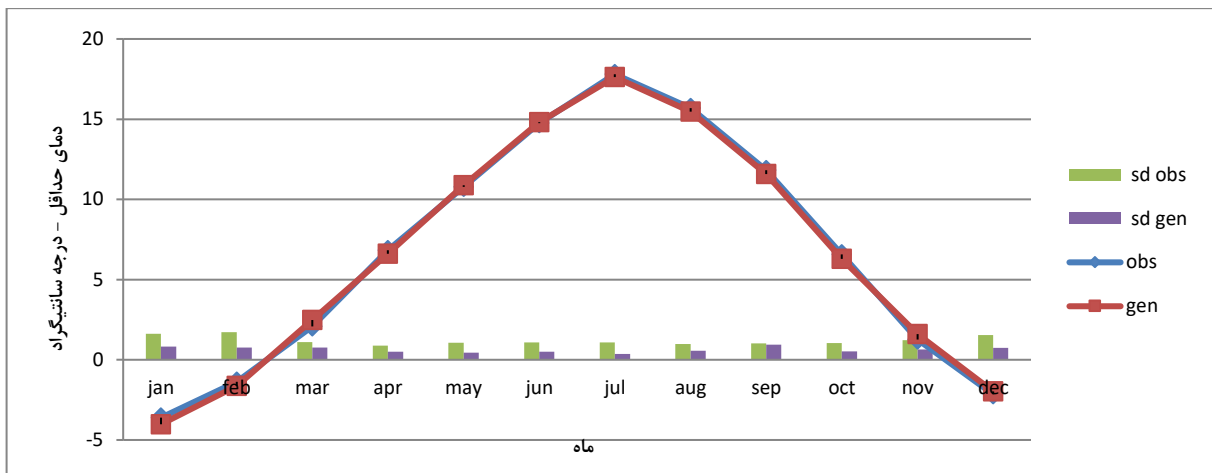
شکل ۲ میانگین و انحراف معیار ماهانه بارش مشاهداتی و شبهه‌سازی شده ایستگاه آباده را در دوره پایه ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ماه‌های مارس، آوریل، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر مقدار میانگین ماهانه بارش



شکل ۲- مقایسه میانگین و انحراف معیار ماهانه بارش مشاهداتی و شبهه‌سازی شده ایستگاه آباده در دوره پایه
Figure 2- Comparison of simulated and observed monthly precipitation mean and variance of Abadeh in base period

دمای حداقل شبهه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی تقریباً برابر است. مقدار میانگین انحراف دمای حداقل شبهه‌سازی شده نیز در کلیه ماه‌ها از مقدار مشاهداتی کمتر است.

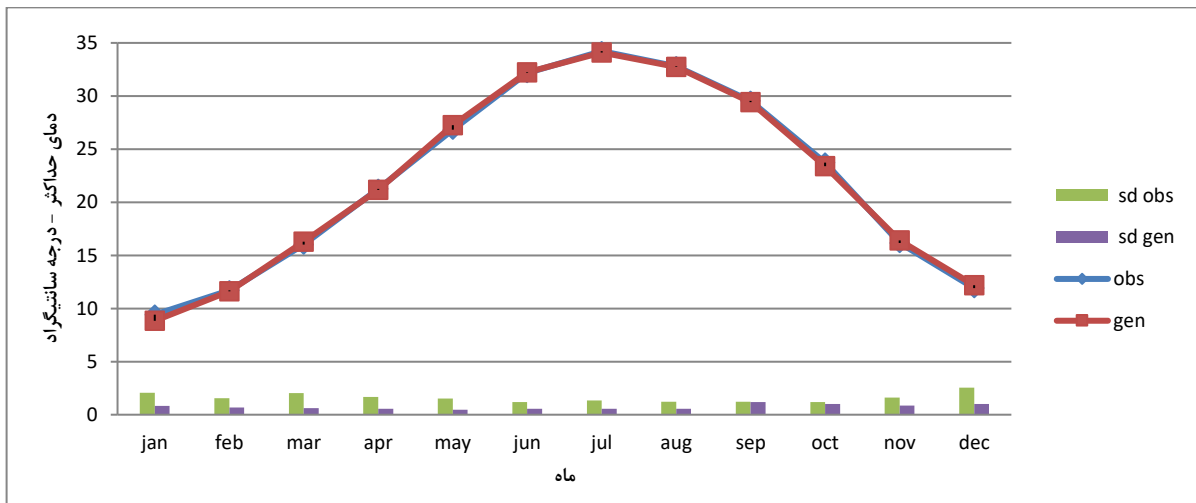
شکل ۳ میانگین و انحراف معیار ماهانه دمای حداقل مشاهداتی و شبهه‌سازی شده ایستگاه آباده را در دوره پایه ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در غالب ماه‌ها مقدار میانگین ماهانه



شکل ۳- مقایسه میانگین و انحراف معیار ماهانه دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه آباده در دوره پایه
 Figure 3- Comparison of simulated and observed minimum temperature mean and variance of Abadeh in base period

دمای حداکثر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر مشاهداتی تقریباً برابر است. مقدار میانگین انحراف معیار دمای حداقل شبیه‌سازی‌شده نیز تقریباً در کلیه ماه‌ها از مقدار مشاهداتی کمتر است.

شکل ۴ میانگین و انحراف معیار ماهانه دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه آباده را در دوره پایه ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در غالب ماه‌ها مقدار میانگین ماهانه



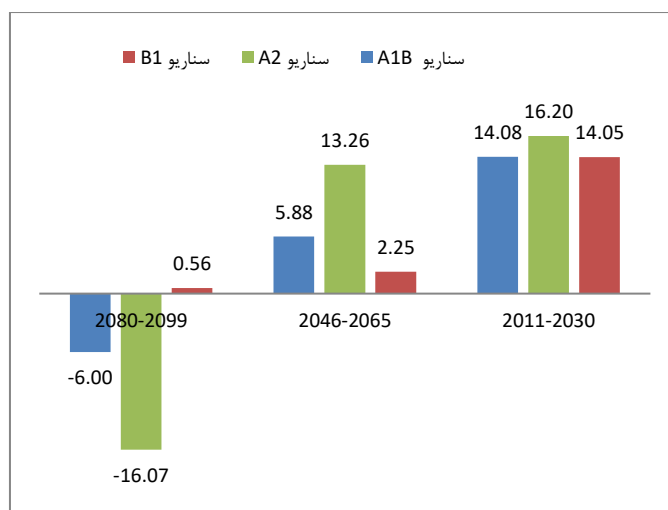
شکل ۴- مقایسه میانگین و انحراف معیار ماهانه دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه آباده در دوره پایه
 Figure 4- Comparison of simulated and observed maximum temperature mean and variance of Abadeh in base period

میانگین ماهیانه بارش ایستگاه آباده را در سه سناریوی آتی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ مقادیر بارش تحت هر ۳ سناریو افزایش

پس از ارزیابی مدل LARS-WG پارامترهای اقلیمی مورد بررسی با استفاده از سه سناریوی B1، A1B و A2 برای سه دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ تولید شدند. شکل ۵ درصد تغییرات

در دیده می‌شود. در بازه زمانی ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ مقدار بارش تحت سناریوی B1 افزایش و در دو سناریوی دیگر کاهش نشان می‌دهد. درصد کاهش بارش در سناریوی A2 بسیار بیشتر از A1B است.

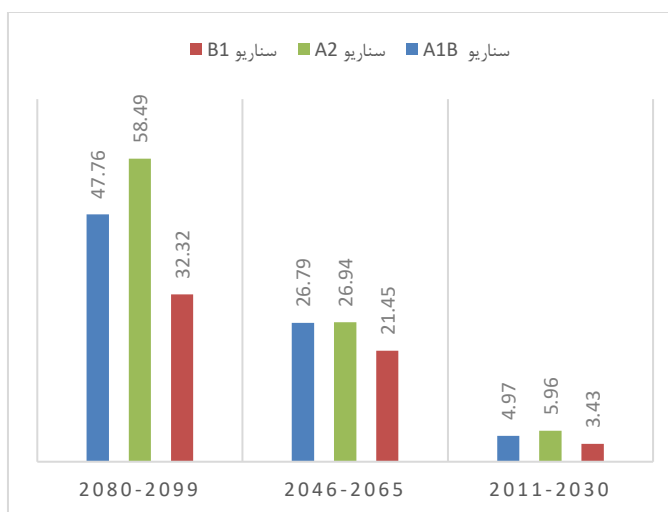
نشان می‌دهد که میزان افزایش به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 مشاهده می‌شود. در بازه زمانی ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ نیز مقادیر بارش تحت هر سه سناریو به همان ترتیب قبل افزایش نشان می‌دهد، ولی اختلاف بیشتری در میزان افزایش بارش در سناریوها



شکل ۵- تغییرات میانگین ماهیانه بارش ایستگاه آباده در سه سناریوی آتی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه (%).
Figure 5-Variation of Abadeh monthly precipitation, in three future scenarios, in comparison with base period (%)

خواهد بود که میزان افزایش به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 مشاهده می‌شود و درصد افزایش با گذشت زمان بیشتر می‌شود.

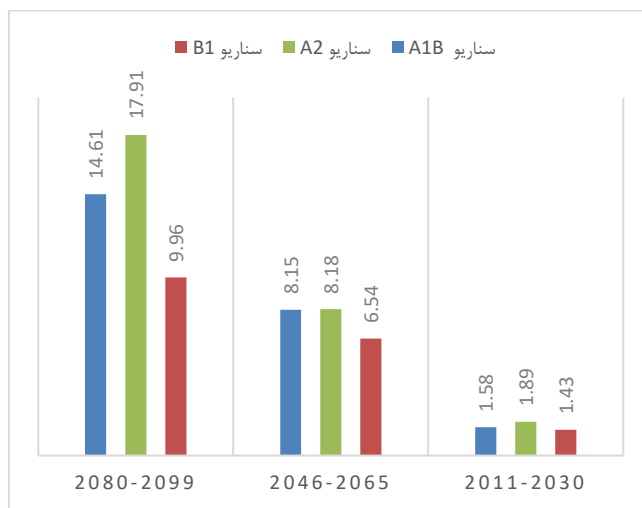
شکل ۶ درصد تغییرات میانگین دمای حداقل ایستگاه آباده را در سه سناریوی آتی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر ۳ بازه زمانی حداقل دمای افزایش مواجه



شکل ۶- درصد تغییرات میانگین دمای حداقل ایستگاه آباده در سه سناریوی آتی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه (%).
Figure 6- Variation of Abadeh minimum temperature, in three future scenarios, in comparison with base period (%)

مواجه خواهد بود. میزان افزایش به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 مشاهده می‌شود و درصد افزایش از بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ به ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ افزایش می‌یابد.

شکل ۷ درصد تغییرات میانگین دمای حداکثر ایستگاه آباده را در سه سناریوی آتی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات آتی دمای حداکثر مشابه با دمای حداقل است، به طوری که در هر ۳ بازه زمانی با افزایش



شکل ۷- تغییرات میانگین دمای حداکثر ایستگاه آباده در سه سناریو آتی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه (%).

Figure 7- Variation of Abadeh maximum temperature, in three future scenarios, in comparison with base period (%)

بارش (۰/۷۱۵)، گویای دقت پایین‌تر مقادیر پیش‌بینی‌شده است. مقایسه میانگین و انحراف معیار ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه آباده نشان داد که در ماه‌های مارس، آوریل، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر مقدار میانگین ماهانه بارش شبیه‌سازی‌شده از بارش مشاهداتی بیشتر است. مقدار میانگین انحراف معیار بارش شبیه‌سازی‌شده نیز در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، آگوست و سپتامبر از مشاهداتی بیشتر است. مقایسه میانگین و انحراف معیار ماهانه دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده نشان داد که در غالب ماه‌ها مقدار میانگین ماهانه دمای حداقل شبیه‌سازی‌شده با مقادیر مشاهداتی تقریباً برابر است. مقدار میانگین انحراف معیار دمای حداقل شبیه‌سازی‌شده نیز در کلیه ماه‌ها از مقدار مشاهداتی کمتر است. روند فوق برای دمای حداکثر نیز مشاهده

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش با شبیه‌سازی اقلیم توسط مدل HADCM3 و ریزمقیاس سازی توسط LARS-WG در دوره پایه (۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷) ایستگاه آباده بررسی گردید. معیارهای ارزیابی مدل‌سازی بیانگر دقت قابل‌قبول مدل در ریزمقیاس سازی پارامترهای مذکور بود، که با نتایج Hashmi و همکاران (2011)، Chisanga و همکاران (2017)، Farhadi Bansouleh و همکاران (2017)، Chisanga و همکاران (2017) و Goudarzi و همکاران (2015) همخوانی دارد. بیشترین خطا مربوط به مدل‌سازی بارش است که با نتایج Panahi و Khorramabadi (2019) همخوانی دارد و پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ضریب تعیین با دقت بالاتری مدل‌سازی شده‌اند. مقدار ضریب تعیین

در سناریوهای A2، A1B و B1 مشاهده می‌شود. درصد افزایش با گذشت زمان افزایش می‌یابد. روند تغییرات آبی دمای حداکثر نیز مشابه با دمای حداقل است. نتایج تحقیقات Babaeian و همکاران (2010)، Kounani و همکاران (2021)، Darvand و همکاران (2021) و Heshmati و همکاران (2021) نیز مؤید افزایش دما در مناطق مختلف کشور است.

با استفاده از مدل بارش، حداقل و حداکثر دمای منطقه برای هفتادسال آینده پیش‌بینی گردید. نتایج حاصل از سناریوهای مختلف حاکی از افزایش دما در تمام ماه‌ها و فصل‌های سال در کلیه بازه‌های زمانی، افزایش بارش در بازه‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ در کلیه سناریوها و کاهش بارش در غالب سناریوها در بازه ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ است که وقوع تغییر اقلیم را در منطقه آباده تأیید می‌کند. افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان و کاهش ذخایر منابع آب از پیامدهای تغییر اقلیم است که نیازمند دورنگری و برنامه‌ریزی جهت جلوگیری از افزایش مشکلات درزمینه آب، کشاورزی و محیط‌زیست است. بر همین اساس بررسی تغییر اقلیم در سایر ایستگاه‌های استان به‌منظور آمادگی برای برنامه‌ریزی جامع پیشنهاد می‌گردد.

شد. پس از ارزیابی مدل LARS-WG پارامترهای اقلیمی روزانه با استفاده از سه سناریوی A1B، B1 و A2 برای سه دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ تولید شدند. بررسی درصد تغییرات میانگین ماهیانه بارش ایستگاه در سه سناریوی آبی، در سه بازه زمانی، نسبت به دوره پایه نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ مقادیر بارش تحت هر ۳ سناریو افزایش نشان می‌دهد. این میزان به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 مشاهده می‌شود. در بازه زمانی ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ نیز مقادیر بارش تحت هر سه سناریو به همان ترتیب قبل افزایش نشان می‌دهد، ولی اختلاف بیشتری در میزان افزایش بارش در سناریوهای مختلف دیده می‌شود. در بازه زمانی ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ مقدار بارش تحت سناریوی B1 افزایش و در دو سناریوی دیگر کاهش نشان می‌دهد. درصد کاهش بارش در سناریوی A2 بسیار بیشتر از A1B است. تحقیقات Ildoromi و همکاران (2016) و Heshmati و همکاران (2021) نیز مؤید تغییر الگوی بارش در آینده و پژوهش Jahangir و همکاران (2020) نشان از کاهش بارش در برخی از نقاط و افزایش بارش در مناطق دیگر شیراز بود.

بررسی درصد تغییرات میانگین دمای حداقل در سه سناریوی آبی نشان داد که در هر ۳ بازه زمانی دمای حداقل با افزایش مواجه خواهد بود. این میزان به ترتیب

References

- Ahmed, K., Sachindra, D.A., Shahid, Sh., Demiral, M.C. & Chung, E.S. (2019). Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics, *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 4803-4824.
- Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibe, M., Adab, H. & Malbisei, Sh. (2010). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Model, *Geography and Development*, 7(16), 135-152. (In Persian).
- Chisanga, Ch.B., Phiri, E. & Chinene, V.R.N. (2017). Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature Using Long Ashton Research Station Weather Generator in Zambia: A Case of Mount Makulu Agriculture Research Station. *American J of Climate Change*, 2017, 6, 487-512.
- Darvand, S., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H. & Khosravi, H. (2021). Prediction of the change trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(1), 53-66.
- Farhadi Bansouleh, B., Asadi, A. & Hafezparast Mavadat, M. (2017). Changes in potential

- evapotranspiration of maize and barley under climate change situation in Kermanshah Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(3), 185-202. (In Persian).
- Fraraj Zadeh, M. & Ghasemifar, A. (2019). *Climate Change and its Impacts*. Entekhab Pub. (In Persian).
- Fraraj Zadeh, M., Madani Larijani, K., Massah Bavani, A. & Davtalab, R. (2014). Climate change effects on reliability of water delivery in downstream of Karkheh river basin and its adaptation strategies. *Water and Soil Resources Conservation*, 3(3), 49-63. (In Persian).
- Ghafouri, M.R. (2009). *Assessment of fuzzy and conceptual methods in river runoff modeling*. M.S. Thesis. Faculty of Earth Science, Shahroud University. (In Persian).
- Goudarzi, M., Khosravanian, M. & Hejazi, S.A. (2015). Prediction of Climatic Parameters Using LARS-WG Model in Qare-su. *Geographic Space*, 51, 263-279. (In Persian).
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. & Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25: 475-484.
- Heshmati, S. & Ramezani Etedali, H. (2021). Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model: The Case Study of Kermanshah City. *Town and Country Planning*, 13(2), 647-669. (In Persian).
- Ildoromi A, Nouri H. & Karami M. (2016). The Study of Drought and Climate Change in Period Future by Using General Circulation Atmosphere Model Case study: Gorgan roud - Ghrasou - IRAN. *Arid Regions Geographic Studies 2016*; 7(26), 124-111. (In Persian).
- IPCC, (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Geneva: IPCC. ISBN 2-9169-122-4.
- IPCC, (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- National strategic plan on climate change*, (2017). Human Environmental Assistance, Environmental Protection Organization, Hack Pub. (In Persian).
- Jahangir, M. H., Jahanpanah, M & Abolghasemi, M. (2020). Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model (Case Study: Shiraz Station). *Environment and Water Engineering*, 6(1), 69-82. (In Persian).
- Kounani, Z., Ildoromi, A., zenivand, H. & Nouri, H. (2021). Impact of climate change on runoff of Silakhor-Rahimabad Basin in Lorestan, *Hydrogeomorphology*, 7(25), 1-17. (In Persian).
- Mirgol, B., Nazari, M., Ramezani Etedali, H. & Zamanian, K. (2021). Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. *Meteorological Applications*, 28(4), 1-19.
- Panahi, A. & Khorramabadi, F. (2019). Evaluation of CSIRO and LARS WG data accuracy in simulation of climatic variables of East Azerbaijan province. *Climate Changes and Climate Disasters*, 15(2), 139-163. (In Persian).
- Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., Jong, R.D. & Bootsma., A. (2004). Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. *Climate Research*, 26: 175-191.
- Zohrevandi, H, Khorshid Dost, A. M. & Sari Saraf, B. (2020). Prediction of Climate Change in Western of Iran using Downscaling of HadCM3 Model under Different Scenarios. *J. Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7 (1). 49-64. (In Persian).