



Evaluation of LARS-WG and SDSM models in investigating the effects of climate change on climatic variables in southern Kerman province

Omidvar, K.¹  | Bahaddin Beigi, H.² | Mohammadi Ravari, F.³ 

1. professor of climatology and faculty member of the Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran.
2. graduate of Master's degree in Climatology, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Ph.D student of Climatology, Yazd University, Yazd, Iran.

Corresponding Author E-mail: Komidvar@yazd.ac.ir

(Received: 09 Nov 2024, Revised: 26 Mar 2025, Accepted: 07 Apr 2025, Published online: 21 Mar 2026)

Abstract

This study aims to evaluate the performance of the LARS-WG and SDSM models in simulating the trends of extreme precipitation and temperature indices and their impact on climate change in the southern region of Kerman province from 1991 to 2021. In this research, extreme precipitation and temperature data were downscaled using the SDSM and LARS-WG models, considering the A1 and B2 scenarios, as well as four RCP scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5) to assess future climate change in the study area. The results of the study showed that the maximum temperature at the Kahnuj and Jiroft stations has shifted from summer (June and July) to autumn (September and October). Additionally, the predictive models indicated a reduction in future temperature compared to the observational period, which may be due to increased cloud cover in the southern regions of the country and the use of models with lower Equilibrium Climate Sensitivity (ECS). Moreover, the forecasting models revealed that the LARS-WG model outperformed the SDSM model in simulating precipitation trends and minimum temperature, as indicated by its lower statistical error parameters. However, the SDSM model produced more accurate results in analyzing maximum temperature trends than the LARS-WG model. The overall projected temperature changes in both models and under both A1 and B2 scenarios indicate a general increase in temperature at all studied stations compared to the baseline period. The general trend of precipitation changes in the SDSM model showed an increase of 12.8 mm under scenario A1 and 12.9 mm under scenario B2. However, the LARS-WG model projected a decrease in precipitation at all studied stations compared to the baseline period. Among the four RCP scenarios, all except RCP2.6 projected a decrease in precipitation. Overall, the results suggest that the LARS-WG model provides better projections for precipitation, while the SDSM model performs better for temperature. Additionally, the findings indicate a decline in precipitation and an increase in extreme temperature in the southern region of the province, particularly a decreasing trend in annual precipitation. Consequently, the recurrence of drought events in this region can be attributed to decreasing precipitation, rising temperatures, and, to some extent, climate change.

Keywords: Climate change, southern Kerman province, extreme precipitation and temperature profiles, SDSM model

Cite this article: Omidvar, K. , Bahaddin Beigi, H. and Mohammadi Ravari, F. (2026). Evaluation of LARS-WG and SDSM model in investigating the effects of climate change on climatic variables in the south of Kerman province. *Nivar*, 50(132-133), 36-54. doi: 10.30467/nivar.2025.487884.1312

E-mail: (2) hssn08@gmail.com (3) F.mohammadi.5016@gmail.com



ارزیابی مدل LARS-WG و SDSM در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در جنوب استان کرمان

کمال امیدوار^۱ | حسن بهاءالدین بیگی^۲ | فروغ محمدی راوری^۳

۱. استاد اقلیم شناسی و عضو هیئت علمی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

رایانامه نویسنده مسئول: Komidvar@yazd.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱)

چکیده

هدف این تحقیق ارزیابی مدل‌های LARS-WG و SDSM در روند نمایه‌های حدی بارش و دما و اثر آن بر روی تغییر اقلیم در جنوب استان کرمان در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ می‌باشد. در این پژوهش داده‌های حدی بارش و دما با استفاده از مدل SDSM و مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و با در نظر گرفتن سناریوهای A1 و B2 و چهار سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 تغییر اقلیم برای دوره‌های آینده منطقه مورد نظر، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داد که بیشینه دمای هوا در ایستگاه‌های کهنوج و جیرفت از تابستان (ژوئن و ژوئیه) به پاییز (سپتامبر و اکتبر) منتقل شده است. علاوه بر این، مدل‌های پیش‌نگری، کاهش دما در برخی ماه‌ها در آینده نسبت به دوره مشاهداتی را نشان می‌دهند که ممکن است ناشی از افزایش ابرناکی در مناطق جنوبی کشور و همچنین استفاده از مدل‌های شاخص حساسیت اقلیم ترازمند پایین (ECS) باشد. همچنین نتایج مدل‌های پیش‌نگری نشان داد که پایین‌بودن پارامترهای آماری خطا سنجی مدل LARS-WG در بررسی روند بارش و دمای کمینه عملکرد بسیار بهتری از مدل SDSM ارائه می‌دهد. در بررسی روند بیشینه دما مدل SDSM نتایج بهتری نسبت به مدل LARS-WG نشان داده است. برای نتایج پیش‌نگری روند کلی تغییرات دما در هر دو مدل و هر دو سناریو A1 و B2 حاکی از افزایش کلی دما در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه است. همچنین روند کلی تغییرات بارش در مدل SDSM در سناریو A1 با افزایش ۱۲.۸ میلی‌متر و در سناریو B2 با افزایش ۱۲.۹ میلی‌متر و در مدل LARS-WG کاهش بارش در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه بوده است. همچنین از چهار سناریو استفاده شده برای هر دو مدل، کاهش بارش برای تمام ایستگاه‌ها به‌جز در سناریو RCP2.6 افزایش را پیش‌نگری کرده است. در نتیجه کلی برای بررسی بارش مدل LARS-WG و برای دما مدل SDSM نتایج بهتری ارائه می‌دهند. همچنین نتایج کاهش بارندگی و افزایش دمای حدی در جنوب استان و روند کاهشی به‌ویژه در میزان بارندگی سالانه این منطقه را نشان دادند. در نتیجه رویداد خشکسالی‌های پیاپی در این منطقه را می‌توان به روند کاهشی بارش و افزایش دما و تا حدودی تغییر اقلیم نسبت داد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، جنوب استان کرمان، نمایه‌های حدی بارش و دما، مدل SDSM

۱. مقدمه

داشته‌باشد. دما و بارش جز مهم‌ترین عناصر اقلیمی هستند که در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. مطالعات زیادی در رابطه با تغییرات مقادیر میانگین این عناصر در کشور صورت گرفته است.

تغییر اقلیم اشاره به یک تغییر در حالت اقلیم دارد که می‌تواند با تغییر در میانگین و یا تغییرپذیری خصوصیات آن تعریف شود که برای مدت طولانی، معمولاً چندین دهه یا بیشتر ادامه

استناد: امیدوار، کمال؛ بهاءالدین بیگی، حسن و محمدی راوری، فروغ. (۱۴۰۵). ارزیابی مدل LARS-WG و SDSM در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در جنوب استان کرمان. مجله نیوار، ۵۰ (۱۳۲-۱۳۳)، ۳۶-۵۴. doi: 10.30467/nivar.2025.487884.1312

رایانامه: (۲) hssn08@gmail.com (۳) F.mohammadi.5016@gmail.com



بحث بسیاری از نشست‌های علمی و پژوهشی مطرح دنیا شده است. تغییر اقلیم در مواردی به صورت وقوع نمایه‌های حدی سنج‌های جوی به‌ویژه دما و بارش روی می‌دهد. به همین جهت اندیشمندان این حوزه پیشنهاد می‌کنند که برای شناسایی این پدیده رفتار نمایه‌های حدی این دو سنج‌های مهم باید مورد بحث و بررسی قرار گیرد. رخدادهای حدی اقلیمی، پدیده‌هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی نادر هستند و در زمان وقوع این پدیده‌ها می‌توان به‌ندرت در مقابل این شرایط آمادگی پیدا کرد، در نتیجه تغییر در زمان وقوع رخدادهای حدی غالباً می‌تواند آثار قابل ملاحظه‌ای بر اکوسیستم‌ها و جامعه نسبت به تغییر در شرایط میانگین جوی ایجاد کند. رویدادهای حدی اقلیمی در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهد، بنابراین ضرورت ایجاب می‌کند که تجزیه و تحلیل دما و بارش‌های حدی مورد توجه قرار گیرد.

وانگ و همکاران^۴ (۲۰۱۲) که با هدف بررسی میزان تغییر رویدادهای حدی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در حوضه رودخانه زرد انجام شد، نشان داد که برای قرن ۲۱ نمایه‌های دما و تبخیر طبق سناریوهای اقلیمی افزایش و بیشینه بارش و میانگین آن کاهش خواهند داشت. الفرج و همکاران^۵ (۲۰۱۴)، ارتباط بین رواناب سطحی و خشکسالی و تغییر اقلیم را در حوضه رودخانه دیاله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده ارتباط معنادار بین کاهش رواناب سطحی و افزایش خشکسالی و تغییر اقلیم منطقه بود. در پژوهشی دیگر مولینا و همکاران^۶ (۲۰۱۴)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب با استفاده از مدل SWAT در منطقه مدیترانه غربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمام مؤلفه‌های رژیم آبی کاهش یافته و افزایش تنش آبی و دما به علت تغییر اقلیم، باعث کاهش تولید محصول شده است. پینکسوار و

توجه به تغییر اقلیم در سال‌های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است. در اکثر مطالعات توجه به تغییر اقلیم فقط در صدد آشکارسازی روندهای پتانسیلی یا نوسانات در متوسط طولانی مدت علائم اقلیمی است؛ اما مطالعه تغییر پذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی نیز مهم می‌باشد. برای بررسی رویدادهای حدی، شاخص‌های اقلیمی حدی به‌وسیله گروه کاری آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان هواشناسی جهانی و کمیته اقلیم‌شناسی و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری اقلیم (ETCCDI) معرفی شده است. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که اقلیم قرن بیست و یکم به‌طور قابل توجهی با اقلیم قرن بیستم متفاوت خواهد بود و این تغییرات بر نقش فعالیت‌های انسانی در تغییر اقلیم تأکید دارند. بر اساس بررسی‌های جدید، میانگین دمای جهانی در طول قرن بیستم حدود ۰.۴ تا ۰.۸ درجه سلسیوس افزایش یافته است. (IPCC, 2000). در این راستا، جونز^۱ و همکاران (۱۹۹۹) و کارل^۲ و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کرده‌اند که نرخ افزایش دما در اروپا در ۲۵ سال گذشته بالاترین مقدار خود را تجربه کرده است. همچنین، کلین تانک^۳ و همکاران (۲۰۰۲) بیان کرده‌اند که روند گرمایش جهانی افزایشی بوده و این تغییرات با شدت یافتن وضعیت‌های حدی جوی و وقوع رویدادهای اقلیمی شدید همراه است."

همچنین تغییراتی که توسط انسان در محیط و در سطح جهانی انجام می‌شود، بر روی چرخه‌های جهانی هیدرولوژیکی تأثیر خواهد داشت و نیز نوسانات اقلیمی اثرات جبران ناپذیری بر منابع آب و خاک دما و بارش داشته است. دانشمندان پیش‌بینی نموده‌اند در صورت ادامه روند کنونی افزایش کربن دی‌اکسید در کره زمین میانگین دمای این کره خاکی در انتهای قرن بیست و یکم بیش از ۴ درجه سانتیگراد خواهد شد (نوری، ۲۰۱۳).

امروزه وقوع تغییر اقلیم ذهن همه‌ی دانشمندان را به خود معطوف کرده و دگرگونی‌های به وجود آمده از این موضوع

4. Wang

5. Al-Faraj et al

6. Molina et al

1 Junes

2 Karel

3 Kelin Tank

گلستان به این نتیجه رسیدند که افزایش دما برای اکثر ماه‌های سال انکار ناپذیر بوده و با مقایسه بین ماه‌های مختلف دمای استان در ماه‌های اردیبهشت، مرداد، شهریور و بهمن از سایر ماه‌ها بیشتر است. همچنین ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی خشکسالی و تغییر اقلیم در دوره آبی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگان رود-قره سوء - ایران) پرداختند. نتایج نشان داد که طی سال‌های آینده شرایط خشکسالی دارای افزایش نسبت به دوره پایه است که این مساله وقوع تغییر اقلیم در منطقه را تایید می‌کند و مشکلاتی را در دوره‌های آبی همچون کم‌آبی و کاهش ذخیره آب و تشدید خشکسالی را به وجود می‌آورد. محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش روزانه ایران در ۴۷ ایستگاه با استفاده از نرم‌افزار RCimDex و با بررسی اثر تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان داد همه شاخص‌های حدی بارش در ایران دارای تغییر و روند است. به طوری که در بیشتر ایستگاه‌ها بارش سالانه حدود ۹۲ درصد کاهش و تعداد روزهای خشک ۷۲ درصد افزایش یافته است. حلیان و کیانی (۱۳۹۹)، در بررسی ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران به بررسی این مسئله می‌پردازد که بارش از جمله متغیرهای بسیار مهم اقلیمی است که تغییرات آن پیامدهای مختلفی از نظر محیطی، اقتصادی و اجتماعی به دنبال دارد. از این رو، ارزیابی تغییرات شاخص‌های حدی بارش در ایران می‌تواند یکی از موضوعات مهم پژوهشی قلمداد شود. وی، با محاسبه تغییرات نمایه‌های به کمک شیب خط رگرسیون رو هر یک از یاخته‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از بخش‌های ایران، شدت بارش روزانه (SDII) روندی افزایشی دارد؛ همچنین در بسیاری از گستره‌های ایران به ویژه در بخش‌های غربی، نمایه روزهای متوالی مرطوب (CWD) در حال کاهش است؛ یعنی، تداوم روزهای بارانی در بسیاری از نواحی، رفتاری کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین محمدی و همکاران (۱۳۹۹)، بررسی روند و پیش‌بینی بارش و دما در ایستگاه‌های منتخب استان فارس با استفاده از دو مدل LARS-WG, SDSM

همکاران^۱ (۲۰۱۹)، تغییرات نمایه‌های فرین بارش را در لهستان با کمک داده‌های ایستگاهی ارزیابی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که نمایه مربوط به روزهای متوالی خشک در نیمه تابستانی سال در بسیاری از ایستگاه‌ها و نمایه روزهای همراه با بارش‌های سنگین در ایستگاه‌های واقع در شمال غرب کشور روندی افزایشی داشته است. همچنین گوپتا و همکاران^۲ (۲۰۲۰)، روند تغییرات نمایه‌های فرین بارش را در حوضه رودخانه سهرمتی در غرب هند به کمک داده‌های شبکه‌ای پایگاه ملی این کشور ارزیابی کردند. نمایه‌های فرین بارشی همچون شمار روزهای بارانی، نمایه ساده شدت بارش، روزهای متوالی همراه با بارش، روزهای متوالی خشک و بارش سالیانه بررسی شد. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد در سطح اطمینان ۹۵ درصد بسیاری از نمایه‌های مطالعه شده روند دارند. در ایران نیز ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴)، در بررسی تغییر اقلیم در دشت مشهد به مطالعه تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین و تغییرات دما در طول دوره آماری دراز مدت پرداختند. در پژوهش مذکور روند تغییرات دما با روش رگرسیون بین دمای هوا و زمان وقوع و روش من کندال و لنتمایر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که روند تغییرات در اغلب ماه‌ها مثبت و افزایشی بوده و می‌توان از این تغییرات به عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم نام برد. امیدوار و خسروی (۱۳۸۹)، تعدادی از عناصر اقلیمی را در سواحل شمالی خلیج فارس بررسی کرده و متوجه شدند که تغییرات دمای میانگین مشابه با روند تغییرات دمای حداقل آن‌ها است و آنچه موجب افزایش دمای میانگین ایستگاه‌های منطقه شده، بیشتر دمای حداقل است. در پژوهش دیگری امیدوار و سالاری (۱۳۹۲)، به مطالعه روند تغییرات گرما و بارش در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری پرداختند، نتایج نشان داد که سری‌های سالانه (روش‌های پارامتری و ناپارامتری) داده‌های بارندگی و دما در برخی ایستگاه‌های منطقه غرب و شمال غرب ایران کاهش و در برخی دیگر افزایش داشته است. روشن و قانقرمه (۱۳۹۵)، با به کارگیری مدل گردش عمومی HadCM3 در استان

2. Gupta

1. Pińskwar

اقليمی در جهان و ايران در می‌یابیم که در اکثر پژوهش‌ها یک الی دو روش برای بررسی روند یا پیش‌بینی استفاده شده است. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف روند نمایه‌های حدی در جنوب استان کرمان بررسی و پیش‌نگری شود.

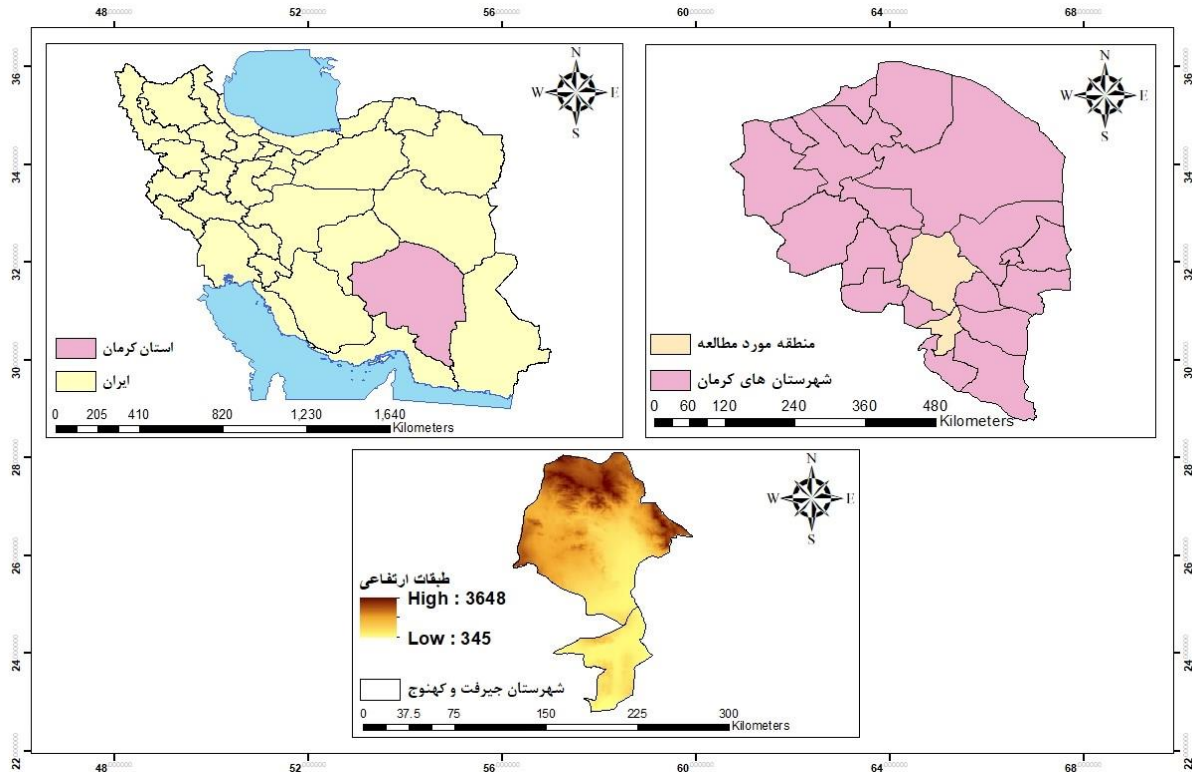
۲. روش انجام تحقیق

منطقه مورد مطالعه

استان کرمان پهناورترین استان کشور با مساحت ۱۸۱۷۳۸ کیلومتر مربع در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب استان کرمان واقع شده است. شهرستان کهنوج با مساحت ۲۱۹۰ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی از شمال به شهرستان‌های جیرفت و عنبر آباد، از شرق به شهرستان رودبار جنوب و از جنوب به شهرستان منوجان و از جنوب شرقی به شهرستان قلعه گنج و از غرب به شهرستان فاریاب و از جنوب غربی به شهرستان رودان در استان هرمزگان محدود است. دشت جیرفت میان ارتفاعات جبالبارز، بحر آسمان و اسفندقه در مختصات جغرافیایی ۵۷° و ۴۴' طول شرقی و ۲۸° و ۴۰' عرض شمالی که از شمال به شهرستان کرمان، از شمال غرب و غرب به شهرستان رابر، از جنوب به شهرستان کهنوج و از شرق و شمال شرقی به شهرستان بم محدود می‌شود (شکل ۱).

پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که در بحث دما مدل SDSM بهتر از مدل LARS-WG و در بررسی بارش مدل LARS-WG نتایج بهتری نسبت به مدل SDSM داراست.

در این پژوهش تحلیل تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی برای منطقه مورد مطالعه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. عناصر اقلیمی نظیر دما، بارش، رطوبت و تابش در یک محل از عواملی هستند که بر رفتار اقلیم آن منطقه تأثیرگذار هستند. با توجه به روند متوسط سالانه، ماهانه و فصلی، متغیرهای اقلیمی دما، بارش و تابش به‌عنوان شاخص‌های اصلی و مهم برای برآورد تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شهرستان‌های جیرفت و کهنوج به نمایندگی از شهرهای جنوبی استان کرمان با استمرار دوره گرمای زیاد، بارش کم با ویژگی‌های توپوگرافی متنوع از شرایط آب و هوایی موجود تحت تأثیر نوسانات اقلیمی حاصل از گرمایش جهانی علاوه بر افزایش دما شاهد دگرگونی و تغییرات شدید بارش می‌باشند. با توجه به اثرات تغییر اقلیم بررسی نمایه‌های حدی دما و بارش این دو شهرستان که نتیجه آن بارش کمتر از میانگین و بالا رفتن میانگین دمای منطقه را می‌توان اشاره کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند موجب آشکارسازی تغییر اقلیم و بروز خشکسالی و سیلاب‌ها شود و در زمینه مدیریت منابع آب و کشاورزی به‌ویژه در منطقه نیمه‌خشک گرم منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شود. با توجه به تحقیقات گذشته در زمینه بررسی روند و پیش‌نگری دما و بارش و سایر عوامل



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه شهرستان‌های جیرفت و کهنوج

اقليم برای دوره‌های آینده، تغییر اقليم منطقه مورد مطالعه داده‌ها و روش‌ها
 تحلیل و ارزیابی واقع شده است.

مدل LARS-WG و SDSM

LARS-WG یکی از معروفترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، بارش و حداقل و حداکثر درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقليم حاضر و آینده به کار میرود. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست مجارستان در سال ۲۰۰۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی ابداع شد. تحلیل مکانی از مهمترین امتیازات این مدل است. به طوری که در این مدل اولین گام تولید سری‌های زمانی روزانه داده‌های آب و هوایی درمقیاس ایستگاهی است. در این فرایند داده‌های دیدبانی شده برای هر ایستگاه واکاوی و دوفایل دربرگیرنده مشخصه‌های آماری تولید می‌شوند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM نیز برای شبیه‌سازی داده‌های اقليمي در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر

این پژوهش از نوع کاربردی می‌باشد که برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک جیرفت و کهنوج در جنوب استان کرمان انجام می‌شود. داده‌های مورد نیاز شامل متغیرهای کمینه دما، بیشینه دما و بارش طی دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۱ برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک جیرفت و کهنوج در جنوب استان کرمان از سازمان هواشناسی کشور دریافت و برای بررسی و تحلیل روند تغییرات نمایه‌های حدی از نرم‌افزار Rclimdex استفاده شد. تولید داده‌های تصادفی وضع هوا با استفاده از مدل LARS-WG که یکی از معروفترین مدل‌ها برای تولید مقادیر بارش، تابش، دما حداقل و حداقل روزانه در یک ایستگاه برای اقليم حاضر و آینده مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین در این پژوهش نمایه‌های حدی بارش طی دوره‌های گذشته با استفاده از مدل‌های SDSM و مدل LARS-WG ریزمقیاس نموده و با در نظر گرفتن سناریوهای A1 و B2 و چهار سناریو RCP8.5, RCP6, RCP4.5, 6.RCP2.5 تغییر

اقليم بكار مي‌رود كه داده‌هاي آن به صورت سري‌هاي زماني روزانه براي يك سري از متغيرهاي اقليمي مانند بارندگي، حداقل و حداكثر دما و ساير پارامترهاي جوي مي‌باشد (رضايي و همكاران، ۱۳۹۳).

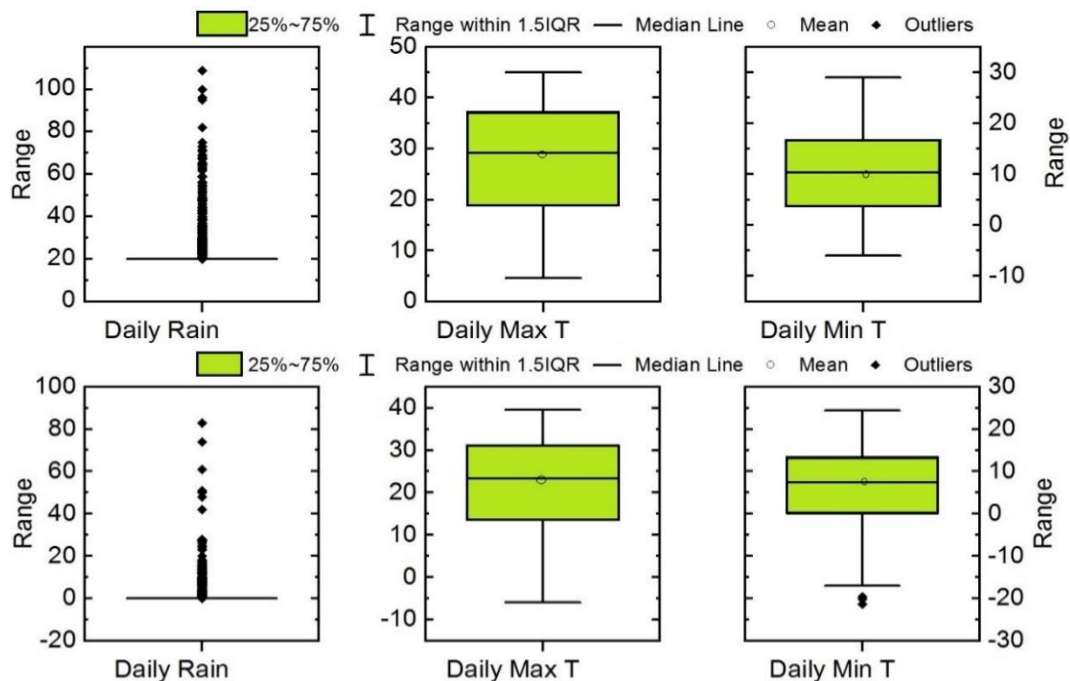
جدول ۱: مشخصات مدل‌های مورد استفاده در پژوهش

مدل	نوع مدل	نام مدل GCM مورد استفاده	داده‌ها	خروجی
SDSM	مدل رگرسیون آماری	HadCM3	داده‌های بزرگ‌مقیاس (GCM) و داده‌های مشاهداتی	داده‌های کوچک‌مقیاس دما و بارش
LARS-WG	مدل تصادفی وضع هوا	HadGEM2-ES	داده‌های مشاهداتی اقليمي در مقیاس روزانه	داده‌های شبیه‌سازی شده روزانه اقليمي

۳. نتایج و بحث

بسیار زیادی است که حجم بیشتر داده‌ها بر روی صفر تجمع دارند. بیشینه دما در هیچ کدام از ایستگاه‌ها دارای داده‌های پرت نیست اما کمینه دما در ایستگاه‌های جیرفت دارای تعدادی داده پرت بوده و در کهنوج فاقد داده‌های پرت است. شکل ۲ نمودار جعبه‌ای داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دما، را برای این داده‌ها در ایستگاه‌های شهرستان کهنوج و جیرفت را نشان می‌دهد.

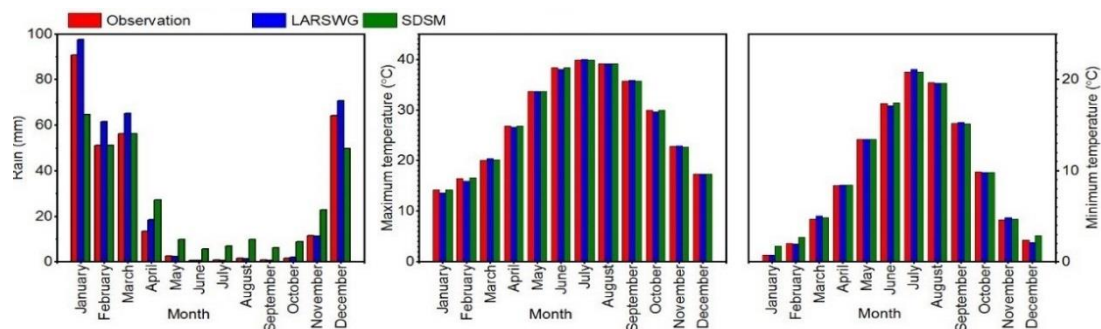
برای بررسی وجود داده‌های پرت در داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دما از نمودارهای جعبه‌ای استفاده شده است. نمودار جعبه‌ای در آمار توصیفی نموداری است که برای توصیف داده‌ها به کار می‌رود. بررسی نمودارهای جعبه‌ای داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دما، نشان می‌دهد که بارش در هر دو ایستگاه دارای داده‌های پرت



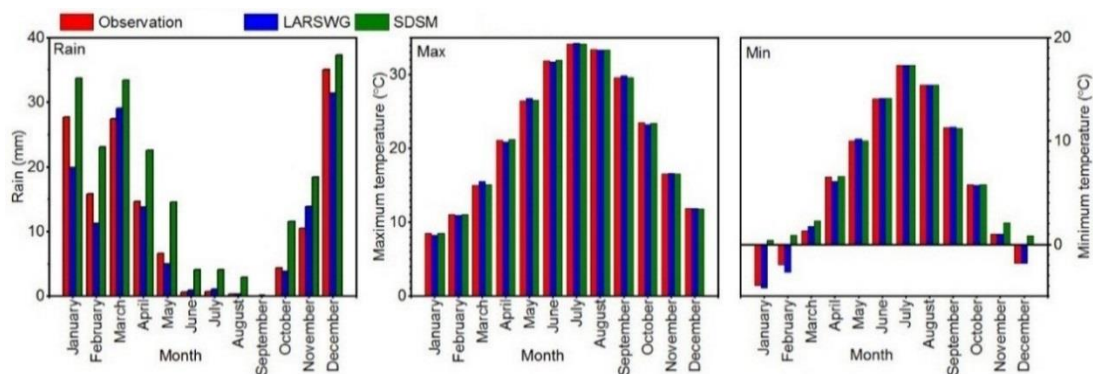
شکل ۲: نمودار جعبه‌ای روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما ایستگاه‌های کهنوج (بالا) و جیرفت (پایین) برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۶۹

داده‌های بارش، کمینه و بیشینه دما در روش‌های SDSM و LARS-WG به صورت سری زمانی به کار برده می‌شوند. برای این کار ابتدا داده‌های تولید شده توسط دو روش SDSM و LARS-WG با داده‌های مشاهده شده به وسیله نمودارهای میله‌ای با هم مقایسه می‌گردد و سپس قدر مطلق خطای هر الگو محاسبه می‌شود. نتایج این بررسی نشان داد که در ایستگاه کهنوج مقایسه بارش با روش LARS-WG در اوایل (ژانویه) و اواخر سال (دسامبر) از مقدار داده‌های مشاهداتی بیشتر پیش‌نگری کرده‌است. همچنین در اواسط سال نیز روش SDSM دارای پیش‌نگری بیشتری است. همچنین در بررسی بارش در ایستگاه کهنوج دقت نسبتاً بالای در روش LARS-WG وجود ندارد. همچنین در بررسی دمای حداقل و حداکثر نیز در ایستگاه کهنوج همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، روش SDSM و LARS-WG دارای دقت نسبتاً خوبی و پیش‌نگری بالای همسو با داده‌های مشاهداتی دارند. در ایستگاه جیرفت همانند ایستگاه کهنوج روش LARS-WG در اوایل و اواخر سال عدد بالاتری نسبت به داده‌های مشاهداتی پیش‌نگری کرده‌است. در روش

SDSM در بررسی بارش در ایستگاه جیرفت تاحدی همسو با داده‌های مشاهداتی است این همسو بودن در ایستگاه کهنوج هم تاحدی مشاهده می‌شود. همچنین در کمینه و بیشینه دما همانند ایستگاه کهنوج نیز در هر دو روش دارای دقت خوبی است (شکل ۶). دقت کم مدل LARS-WG در پیش‌نگری بارش ایستگاه کهنوج ناشی از ضعف آن در شبیه‌سازی چرخه فصلی بارش، به‌ویژه در ماه‌های ژانویه و دسامبر، و پیچیدگی فرآیندهای بارشی است که مدل توانایی کافی برای بازتولید آن‌ها ندارد. این مدل به روابط آماری ساده متکی است و نسبت به SDSM که از رویکردهای پیچیده‌تر آماری استفاده می‌کند، عملکرد ضعیف‌تری در بازتولید بارش نشان داده است. شاخص‌های آماری مانند MAE و RMSE برای LARS-WG بالاتر و ضریب همبستگی آن کمتر از SDSM است، که بیانگر انحراف بیشتر پیش‌نگری‌ها از داده‌های واقعی است. با این حال، هر دو مدل در شبیه‌سازی دماهای حداقل و حداکثر دقت بهتری داشته‌اند، که نشان می‌دهد چالش اصلی LARS-WG در شبیه‌سازی فرآیندهای بارشی است.



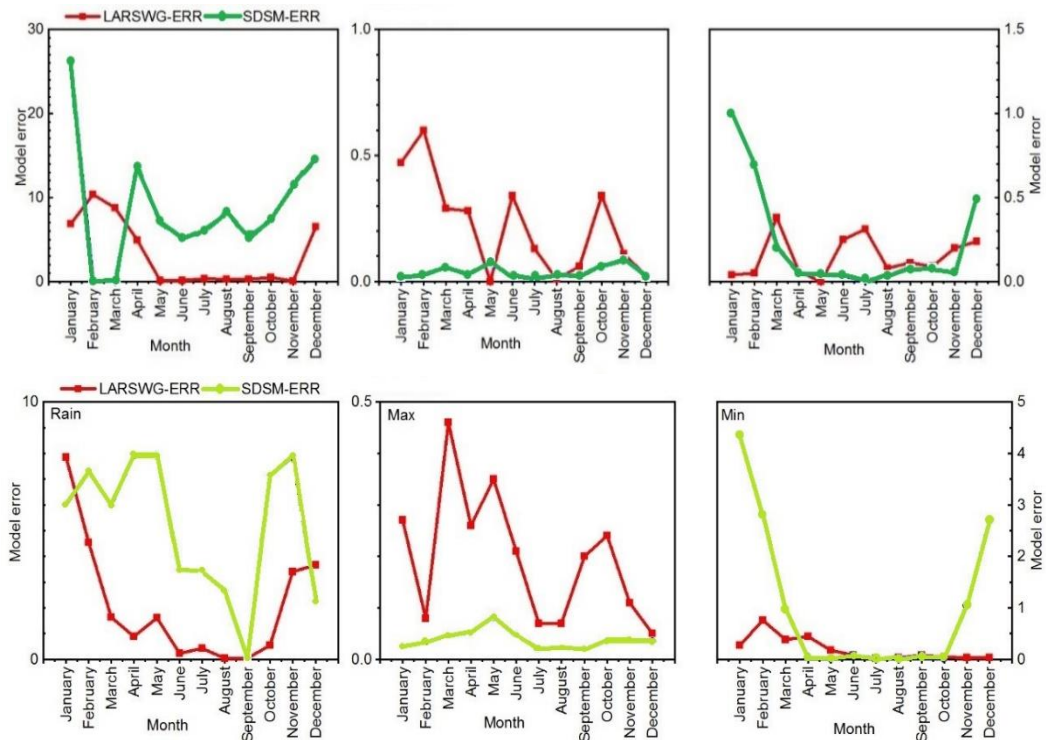
شکل ۵: مقایسه میانگین مشاهدات، SDSM و LARS-WG ماهانه بارش، بیشینه و کمینه دما در ایستگاه کهنوج



شکل ۶: مقایسه میانگین مشاهدات، SDSM و LARS-WG ماهانه بارش، بیشینه و کمینه دما در ایستگاه جیرفت

می‌باشد. در کمینه دما نیز در اوایل سال و اواخر سال روش SDSM دارای میانگین بالاتر نسبت به روش دیگر در هر دو ایستگاه می‌باشد.

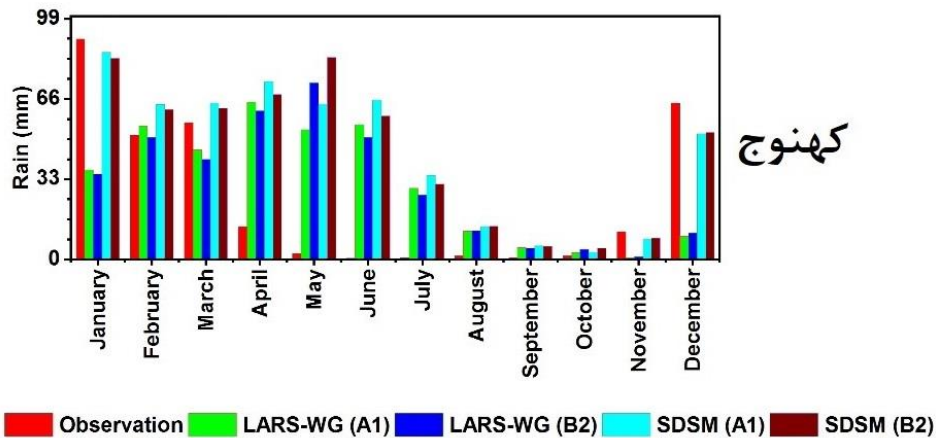
باتوجه به شکل ۷، در روش SDSM هر دو ایستگاه دارای پیش‌نگری بیشتری نسبت به روش LARS-WG است. اما در بیشینه دما روش LARS-WG دارای میانگین بالاتر



شکل ۷: خطای دو روش SDSM و LARS-WG در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده ماهانه بارش، بیشینه و کمینه دما ایستگاه کهنوج (بالا) و ایستگاه جیرفت (پایین)

به دوره پایه بوده است و در فوریه، آوریل، می، جون، جولای و آگوست بارش بیشتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است. اما در روش LARS-WG سناریو A1 و B2 نشان دادند که سناریو A1 در ماه‌های ژانویه، مارس، دسامبر و اکتبر بارش کمتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است. در ماه‌های فوریه تا حدی نزدیک به دوره پایه بوده است و در ماه‌های آوریل، می، جون، جولای و آگوست، سپتامبر، نوامبر بارش بیشتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است. در مقایسه با سناریو قبل، سناریو B2 در ماه‌های ژانویه، مارس، دسامبر و اکتبر بارش کمتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است. در ماه‌های فوریه تا حدی نزدیک به دوره پایه بوده است و در آوریل، می، جون، جولای و آگوست، سپتامبر، نوامبر بارش بیشتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است (شکل ۸).

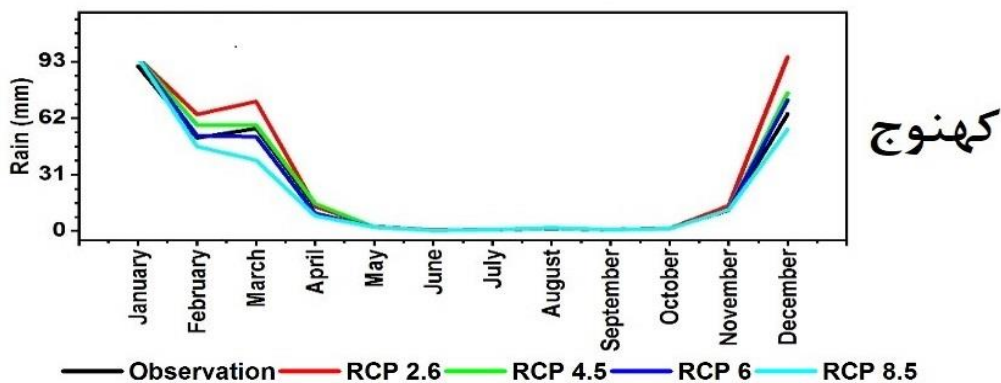
بررسی بارش در هر دو مدل و هر چهار سناریو حاکی از افزایش بارش می‌باشد، مقدار این افزایش برای سناریو A1 در مدل SDSM برابر با ۱۲۸ میلی‌متر است. برای سناریو B2 این افزایش در مدل SDSM برابر با ۱۲۰۹۹ میلی‌متر است. در مدل SDSM بارش سناریو B2 بارش بیشتری را نسبت به سناریو A1 پیش‌نگری می‌کند. نتایج بارش در روش SDSM سناریو A1 و B2 در ایستگاه کهنوج نشان می‌دهد که سناریو A1 در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر بارش کمتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است. در ماه‌های اکتبر و مارس تا حدی نزدیک به دوره پایه بوده و این سناریو در فوریه، آوریل، می، جون، جولای و آگوست بارش بیشتری نسبت به دوره پایه پیش‌نگری کرده‌است. سناریو B2 در ماه‌های ژانویه و دسامبر بارش کمتری نسبت به دوره پایه داشته است. در ماه‌های اکتبر، نوامبر و مارس تا حدی نزدیک



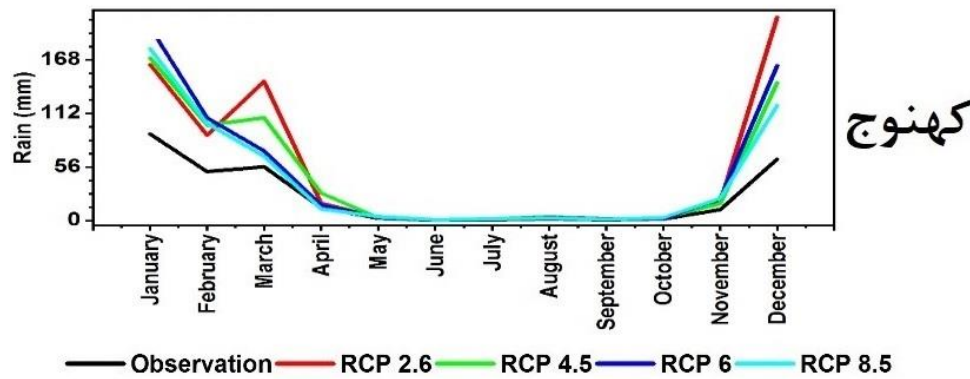
شکل ۸: پیش‌نگری آینده بارش SDSM و LARS-WG و دو سناریو A1 و B2 در ایستگاه کهنوج در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.

طبق سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 در ایستگاه کهنوج نشان داد که تمامی سناریوها بارش بیشتری در بعضی از ماه‌ها پیش‌نگری نموده‌اند. سناریوهای RCP2.6 در بعضی ماه‌ها نسبت به سناریوهای دیگر بارش بیشتری را پیش‌نگری نموده‌است. در همه‌ی سناریوها در ماه‌های اول و اواخر سال بارش پیش‌نگری شده نسبت به دوره پایه نسبتاً زیاد بوده‌است و بیشترین میزان پیش‌نگری در ماه ژانویه، مارس، نوامبر و دسامبر است (شکل ۱۰).

بررسی بارش در روش SDSM طی سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 در ایستگاه کهنوج نشان داد که تنها RCP 2.6 بارش بیشتری در بعضی از ماه‌ها پیش‌نگری نموده‌است. سناریوهای RCP6 در بعضی ماه‌ها کاهش بارش را پیش‌نگری نموده‌است. در همه‌ی سناریوها در ماه‌های اواسط سال تقریباً همسو با داده‌های دوره پایه است. بیشترین میزان پیش‌نگری در ماه ژانویه و دسامبر است و کمترین مقدار بارش توسط RCP 8.5 پیش‌نگری شده است (شکل ۹). همچنین تحلیل بارش در روش LARS-WG



شکل ۹: پیش‌نگری آینده بارش SDSM در ایستگاه کهنوج در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



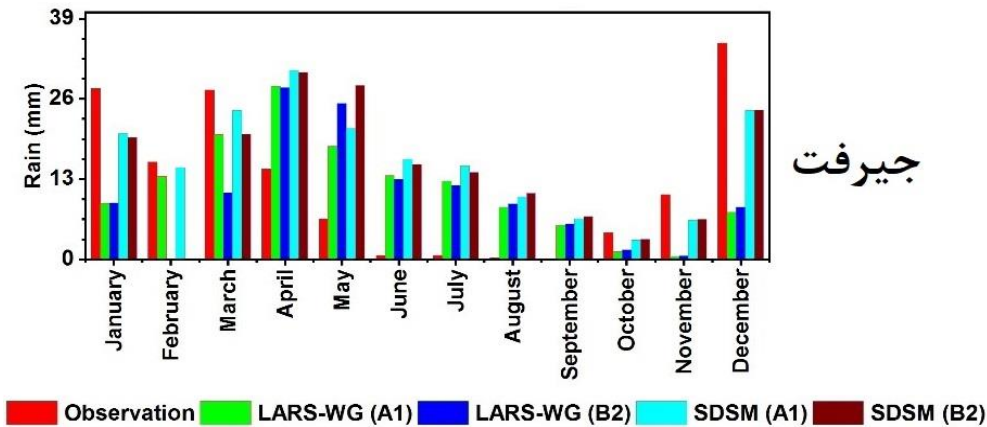
شکل ۱۰: پیش‌نگری آینده با روش LARS-WG در ایستگاه کهنوج در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.

(که بازتاب‌دهنده سناریوی با بالاترین سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای است) کمترین مقدار بارش را پیش‌نگری کرده است. همچنین، مقایسه بین سناریوهای A1 و B2 نشان می‌دهد که در ماه‌های فوریه، مارس، ژوئن و ژوئیه، سناریوی A1 بارش بیشتری نسبت به B2 در مدل LARS-WG دارد، اما در ماه‌های آوریل و مه بارش کمتری پیش‌نگری شده است. برای سایر ماه‌ها (آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر)، پیش‌نگری‌های این دو سناریو یکسان است. در مدل SDSM نیز سناریوی A1 در ماه‌های مه، ژوئیه و سپتامبر بارش بیشتری را پیش‌نگری کرده و در سایر ماه‌ها تفاوت چندانی بین دو سناریو دیده نمی‌شود.

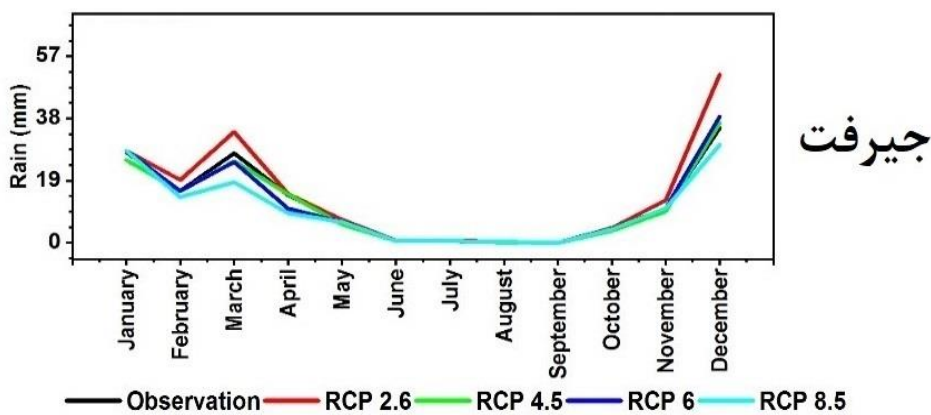
سناریوی RCP 2.6 بارش بیشتری را نسبت به سایر سناریوها در ایستگاه جیرفت پیش‌نگری می‌کند، زیرا این سناریو فرض می‌کند که انتشار گازهای گلخانه‌ای به شدت کاهش می‌یابد و گرمایش جهانی محدود خواهد شد. این امر به حفظ الگوهای رطوبت و تغییرات مطلوب در سامانه‌های جوی منجر می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش بارش در برخی مناطق می‌شود. برخلاف سناریوهای RCP با انتشار بالا مانند RCP 8.5 که معمولاً منجر به خشکسالی و کاهش بارش می‌شوند، سناریوی RCP 2.6 احتمال وقوع بارش‌های بیشتر و متعادل‌تر را در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند جیرفت، پیش‌نگری می‌کند.

نتایج بارش در روش SDSM سناریو A1 و B2 در ایستگاه جیرفت نشان می‌دهد که تنها سناریو RCP 2.6 بارش بیشتری پیش‌نگری نموده است و بقیه سناریوها کاهش بارش را پیش‌نگری نموده‌اند. کمترین مقدار بارش توسط RCP 8.5 پیش‌نگری شده است. برای بقیه ایستگاه‌ها نیز RCP 2.6 همواره بارش بیشتر و RCP 8.5 کمترین مقدار بارش را پیش‌نگری می‌کند. سناریو A1 در مدل LARS-WG در مقایسه با سناریو B2 در ایستگاه جیرفت در ماه‌های فوریه، مارس، جون و جولای بارش بیشتری را پیش‌نگری می‌نماید، در ماه‌های آوریل و می بارش کمتر و در ماه‌های آگوست، سپتامبر، نوامبر، اکتبر و دسامبر بارش پیش‌نگری شده توسط هر دو سناریو یکسان است. برای مدل SDSM بارش پیش‌نگری شده توسط سناریو A1 فقط در ماه‌های می، جولای و سپتامبر بیشتر از سناریو B2 می‌باشد و در بقیه ماه‌ها بارش پیش‌نگری شده توسط هر دو سناریو تقریباً یکسان است (اشکال ۱۱ تا ۱۳).

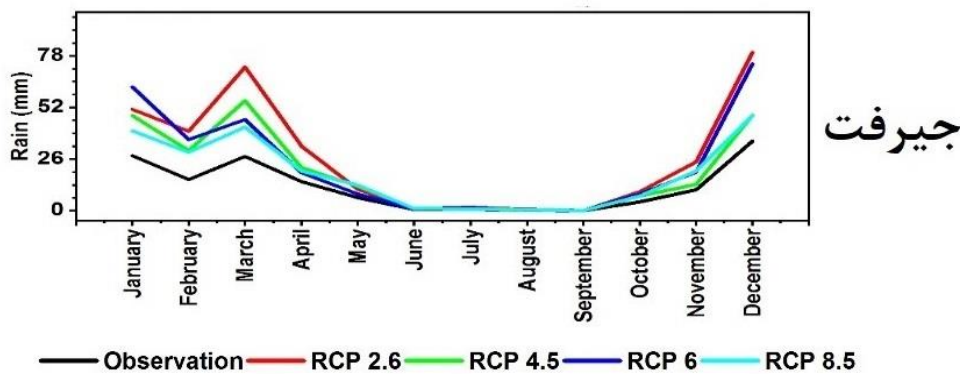
جمله مورد اشاره بیانگر نتایج پیش‌نگری بارش در ایستگاه جیرفت با استفاده از روش SDSM و تحت دو گروه سناریوهای قدیمی‌تر A1 و B2 و جدیدتر RCP ها است. در این بخش، پیش‌نگری‌های مربوط به سناریوی RCP 2.6 (که نشان‌دهنده کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مدیریت تغییر اقلیم است) مقدار بارش بیشتری را نسبت به سایر سناریوها در ایستگاه جیرفت نشان می‌دهد. در مقابل، سناریوی RCP 8.5



شکل ۱۱: پیش‌نگری آینده بارش SDSM و LARS-WG و دو سناریو A1 و B2 در ایستگاه جیرفت در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



شکل ۱۲: پیش‌نگری آینده بارش SDSM در ایستگاه جیرفت در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



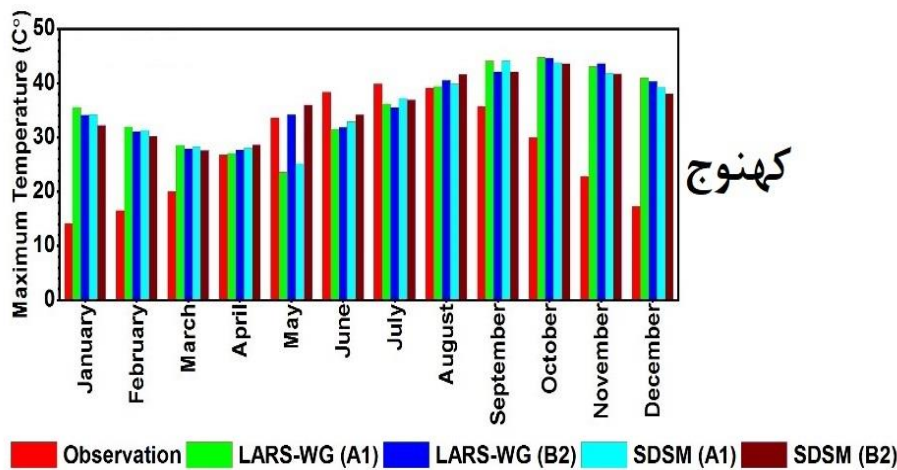
شکل ۱۳: پیش‌نگری آینده بارش LARS-WG در ایستگاه جیرفت در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.

سناریوهای A1 و B2 نیز در هر دو روش نیز حداکثر دما افزایش نسبت به دوره پایه داشته‌است. در حداقل دما نیز در ماه‌های آوریل تا آگوست کاهش نسبت به دوره پایه مشاهده می‌شود. در روش LARS-WG در بررسی تغییرات حداکثر دما نسبت به دوره پایه همانطور که مشاهده می‌شود، در ماه‌های اولیه و آخر دوره نسبت به دوره پایه بیشتر و در

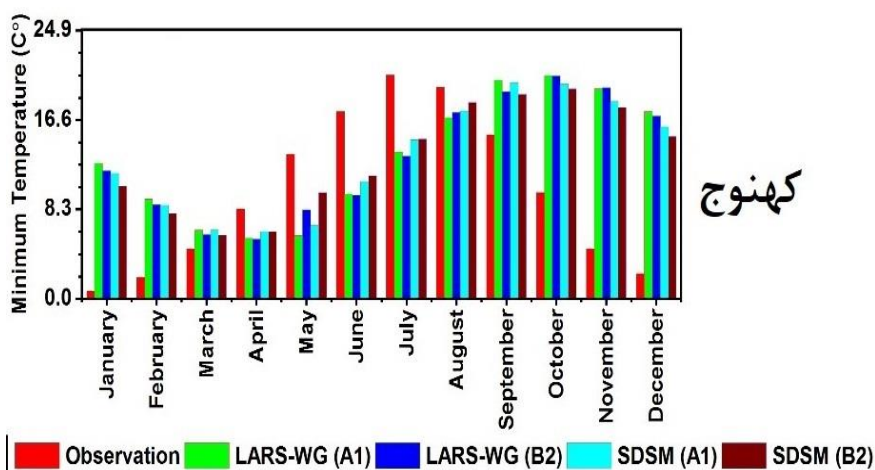
در شکل‌های ۱۴ تا ۱۷ به بررسی دما در دور روش LARS-WG و SDSM با سناریوهای مختلف در ایستگاه کهنوج پرداخته شده است. همانطور که نمایان است برخلاف خروجی‌های سناریوهای RCP با استفاده از ورودی‌های مدل LARS-WG در این بخش سناریوهای دمای بیشینه بالاتری را با دامنه تغییرات بزرگ‌تری پیش‌نگری کرده‌اند. در

ارائه دهند. شاخص حساسیت اقلیم ترازمند (Equilibrium Climate Sensitivity) میزان افزایش دمای پیش‌نگری شده توسط یک مدل اقلیمی در برابر دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد. به عنوان مثال مدل‌های اقلیمی ACCESS و HadGEM به ترتیب نمونه‌ای از مدل‌های با شاخص ECS کم و زیاد است، به طوریکه دو برابر شدن دی‌اکسید کربن در مدل اول موجب افزایش حدود ۲ درجه ای دما در حالیکه در مدل دوم موجب افزایش حدود ۵ درجه ای دما می‌شود.

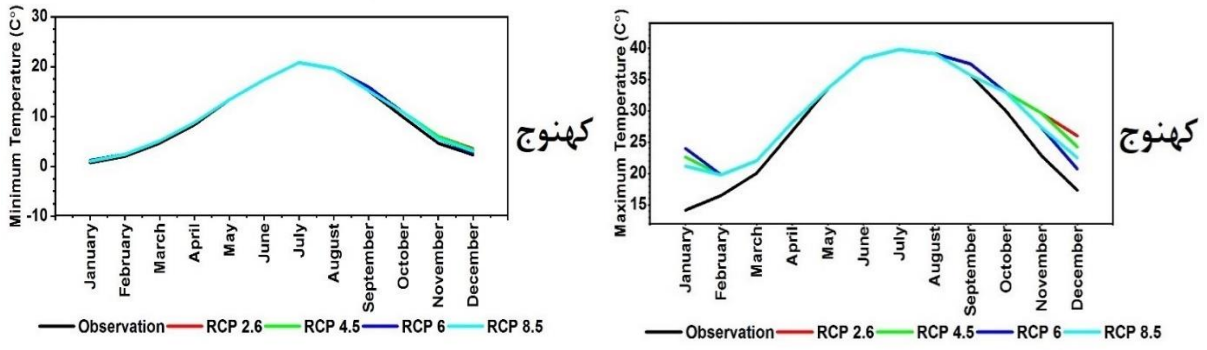
ماه‌های وسط کمتر پیش‌نگری کرده‌است. برای روش SDSM نیز پیش‌نگری شبیه روش LARS-WG است. در حداقل دما روش LARS-WG و دو سناریو سناریوهای A1, B2 در دو ماه اول نسبت به دوره پایه پیش‌نگری بیشتری وجود دارد. در ایستگاه جیرفت نیز با توجه به اشکال ۱۸ تا ۲۱ در هر دور روش و دو سناریو A1, B2 افزایش نسبت به دوره پایه در حداکثر دما و کاهش در حداقل دما مشاهده می‌شود. در مطالعات پیش‌نگری اقلیمی آینده بایستی از هر طیف‌های متفاوتی از مدل‌های با حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) کم، متوسط و بالا استفاده کرد تا پیش‌نگری به نسبت واقعی از دمای آینده را



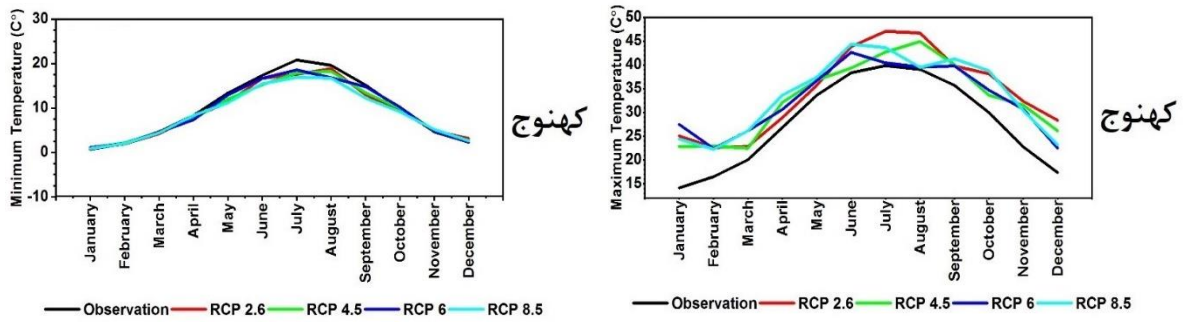
شکل ۱۴: پیش‌نگری دمای بیشینه آینده با دو روش LARS-WG و SDSM و دو سناریو A1 و B2 در ایستگاه کهنوج بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



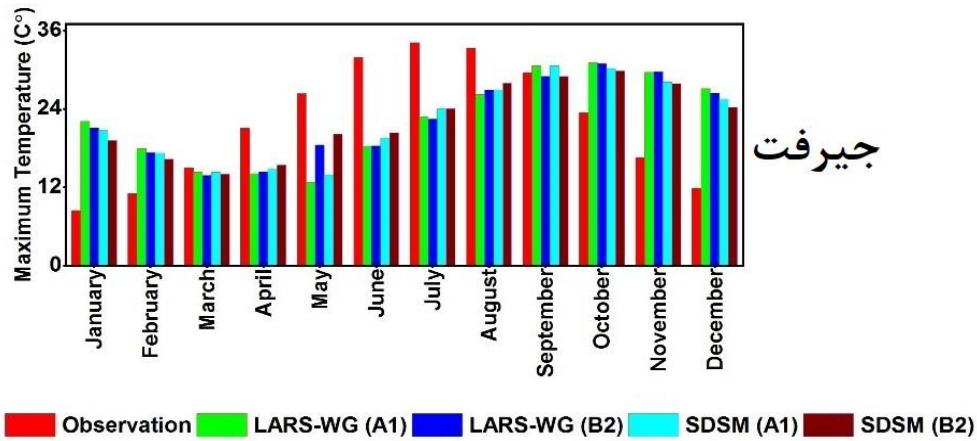
شکل ۱۵: پیش‌نگری دمای کمینه آینده با دو روش LARS-WG و SDSM و دو سناریو A1 و B2 در ایستگاه کهنوج بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



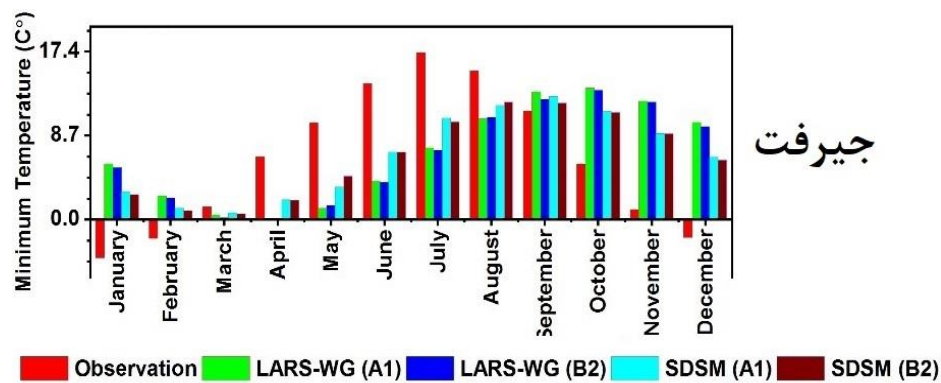
شکل ۱۶: پیش‌بینی آینده بارش SDSM برای بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



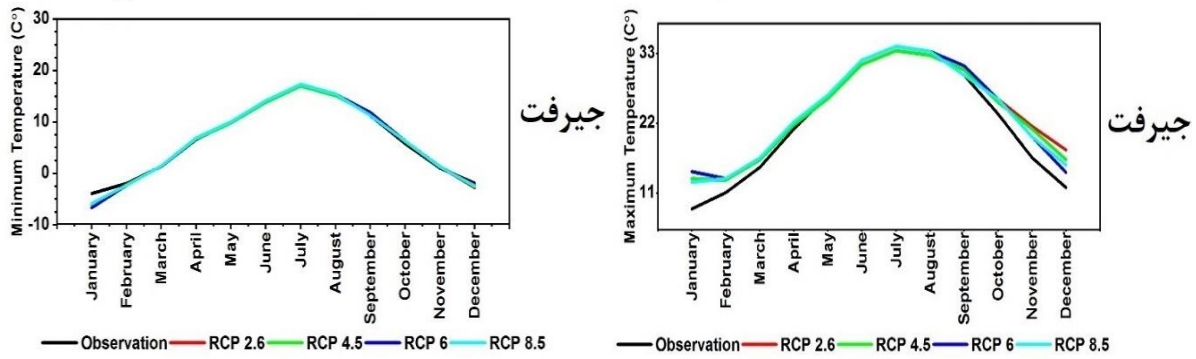
شکل ۱۷: پیش‌بینی آینده بارش LARS-WG برای بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



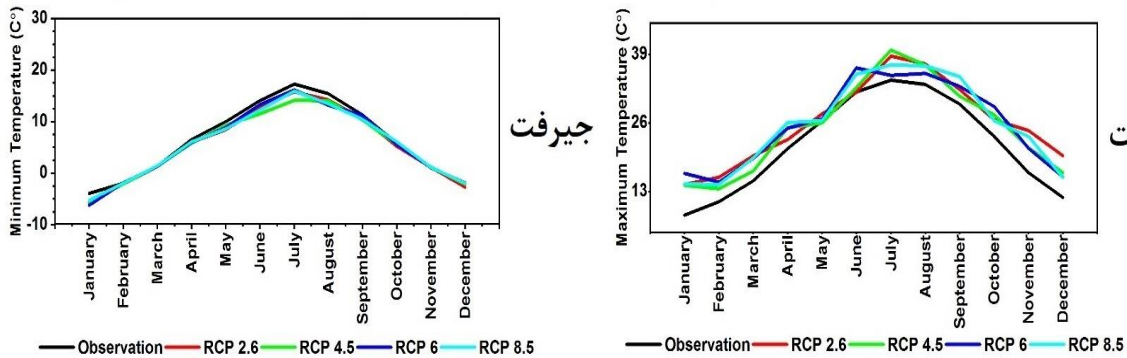
شکل ۱۸: پیش‌نگری آینده دمای بیشینه با دو روش SDSM و LARS-WG و دو سناریو A1 و B2 در ایستگاه جیرفت بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



شکل ۱۹: پیش‌نگری آینده دمای کمینه با دو روش SDSM و LARS-WG و دو سناریو A1 و B2 در ایستگاه جیرفت بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



شکل ۲۰: پیش‌بینی دمای آینده با روش SDSM برای بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.



شکل ۲۱: پیش‌بینی دمای آینده با روش LARS-WG برای بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰.

تجربه خواهند کرد. در سناریو RCP4.5، کاهش بارش در ایستگاه جیرفت ۱.۲- میلی‌متر و در ایستگاه کهنوج ۱- میلی‌متر پیش‌بینی شده است. سناریو RCP6 در ایستگاه کهنوج ۱.۳- میلی‌متر و در ایستگاه جیرفت ۱.۵- میلی‌متر کاهش بارش را پیش‌بینی می‌کند. در نهایت، در سناریو RCP8.5، کاهش بارش در ایستگاه کهنوج ۳.۷- میلی‌متر و در ایستگاه جیرفت ۴.۱- میلی‌متر پیش‌بینی شده است. همچنین، برای دو سناریو A1 و B2، مدل‌های LARS-WG و SDSM به ترتیب افزایش بارش ۴ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر را در ایستگاه جیرفت پیش‌بینی می‌کنند. در ایستگاه کهنوج نیز به ترتیب افزایش ۴ میلی‌متر و ۱۲.۵ میلی‌متر بارش پیش‌بینی شده است.

جدول ۲ تفاوت میزان بارش و دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در دو ایستگاه جنوب استان کرمان را نشان می‌دهد. براساس مدل LARS-WG و سناریو RCP2.6، در ایستگاه‌های جیرفت و کهنوج به ترتیب ۵ میلی‌متر افزایش بارش پیش‌بینی شده است. در سناریو RCP4.5، کاهش بارش در ایستگاه جیرفت ۱- میلی‌متر و در ایستگاه کهنوج ۰.۸- میلی‌متر پیش‌بینی شده است. سناریو RCP6 نیز در ایستگاه کهنوج ۱.۵- میلی‌متر و در ایستگاه جیرفت ۱.۸- میلی‌متر کاهش بارش را پیش‌بینی کرده است. در سناریو RCP8.5، این کاهش بارش به ۳.۸- میلی‌متر در ایستگاه کهنوج و ۵.۲- میلی‌متر در ایستگاه جیرفت می‌رسد. براساس مدل SDSM و سناریو RCP2.6، ایستگاه‌های جیرفت و کهنوج به ترتیب ۷.۶ و ۷ میلی‌متر افزایش بارش را

کهنوج												
LARS-WG							SDSM					
نام سناریو پارامتر	A1	B2	RCP ۲/۶	RCP ۴/۵	RCP ۶	RCP ۸/۵	A1	B2	RCP ۲/۶	RCP ۴/۵	RCP ۶	RCP ۸/۵
کمینه دما	۱/۴	۱/۵	۰/۶	۰/۳/۵	۰/۴	۰/۱	۱/۴/۵	۱/۶	۰/۷	۰/۵/۴	۰/۶	۰/۷
بیشینه دما	۳/۳	۳/۵	۳/۶	۵/۴	۳/۶	۳	۳/۴	۳/۷/۷	۳/۶/۷	۳/۴	۳/۷/۷	۳/۹
بارش	۴	۱۲/۵	۵	۷/۰-	۵/۱-	۷/۸-	۵/۴	۷/۲/۱	۷	-۱/۲	-۱/۳	-۳/۷
جیرفت												
کمینه دما	۱/۶	۱/۸	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۳/۴	۱/۲	۱	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۷
بیشینه دما	۳/۵	۳/۶	۳/۱	۳/۳	۳/۵	۳	۳	۷/۷/۸	۴	۴/۱	۳/۵	۳/۷/۸
بارش	۴	۱۳	۵	۱-	۷/۱-	۳-۵/۳	۵/۴	۱- ۱۲/۱	۷/۶	۱-	-۱/۵	-۴/۱

۴. نتیجه گیری

گردش جوی، یا ویژگی‌های خاص سناریوهای RCP باشد. علاوه بر این، کاهش دمای آینده در این ایستگاه‌ها نسبت به دوره مشاهداتی ممکن است به تغییر در شدت و توزیع بارش، افزایش پوشش ابری، و تغییرپذیری بین‌فصلی دما مرتبط باشد. دقت مدل LARS-WG در پیش‌نگری بارش در ایستگاه کهنوج نسبت به SDSM کمتر بود. در مقایسه پیش‌نگری دمای حداقل و حداکثر نیز، هر دو مدل دارای دقت نسبی خوبی در هم‌راستایی با داده‌های مشاهداتی بودند. بررسی سناریوهای مختلف پیش‌نگری بارش در ایستگاه‌های کهنوج و جیرفت نشان داد که سناریوی RCP 2.6 همواره بیشترین بارش را پیش‌نگری کرده و سناریوی RCP 8.5 کمترین مقدار بارش را پیش‌نگری می‌کند. تحلیل بارش حدی در سناریوهای مختلف در ایستگاه کهنوج و جیرفت نشان داد که در بیشتر ماه‌ها، تغییرات بارش تحت تأثیر سناریوهای RCP در حال کاهش است، به‌ویژه در سناریوهای RCP6 و RCP8.5 در بخش دما، خروجی‌های

در این پژوهش، مدل‌های LARS-WG و SDSM برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در جنوب استان کرمان ارزیابی شدند. تحلیل داده‌های ایستگاه کهنوج در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ نشان داد که نمایه تغییرات روزهای متوالی خشک در این ایستگاه روندی کاهشی داشته است. در ایستگاه جیرفت نیز، در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۴ روند افزایشی در تغییرات بارش مشاهده شد. مقایسه نتایج پیش‌نگری بارش در روش‌های LARS-WG و SDSM نشان داد که مدل LARS-WG در ایستگاه کهنوج در اوایل (ژانویه) و اواخر سال (دسامبر) بارش بیشتری را نسبت به داده‌های مشاهداتی پیش‌نگری کرده است، در حالی که مدل SDSM در اواسط سال پیش‌نگری دقیق‌تری ارائه داد. همچنین، بیشینه دمای آینده در ایستگاه‌های کهنوج و جیرفت از تابستان به پاییز منتقل شده است. این تغییر ممکن است ناشی از محدودیت‌های مدل‌های مورد استفاده، تغییرات الگوهای

منابع

1. Al-Faraj, F., Scholz, M., & Tigkas, D. (2014). Sensitivity of surface runoff to drought and climate change: Application for shared river basins. *Water*, 6(10), 3033–3048.
2. Babaeian, I., Najafi Nik, Z., Zabol Abbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., & Malbousi, S. (2009). Evaluation of climate change in Iran for the period 2010–2039 using downscaled data from the ECHO-G general circulation model. *Geography and Development*, 7(16), 135–152. (in Persian)
3. Canadian Climate Change Scenarios Network (CCCSN). (2012). Environment Canada climate scenarios. Retrieved from <http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=pred-hadcm3>
4. Ebrahimi, H. (2005). Investigation of the impact of climate change on agricultural water demand in Mashhad Plain (Doctoral dissertation, Islamic Azad University, Science and Research Branch). (in Persian)
5. Gavrilov, M. B., Tosić, I., Marković, S. B., Unkašević, M., & Petrović, P. (2016). Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Időjárás*, 120(2), 183–198.
6. Gupta, S., Gupta, A., Himanshu, S. K., & Singh, R. (2020). Analysis of extreme rainfall events over the upper catchment of Sabarmati River Basin in western India using extreme precipitation indices. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3–4), 1091–1105.
7. Halabian, A. H., & Keykhosravi Kiani, M. S. (2020). Evaluation of extreme precipitation indices in Iran. *Quarterly Journal of Spatial Planning (Geography)*, 10(4), 24–45. (in Persian)
8. Ilderami, G., Nouri, H., & Karami, M. (2016). Evaluation of drought and climate change in the coming period using atmospheric general circulation models: Case study of the Gorgan River–Qarasu watershed, Iran. *Quarterly Journal of*

سناریوهای RCP پیش‌نگری افزایش دمای بیشینه و کمینه را نشان می‌دهند. در ایستگاه کهنوج، تغییرات دمای بیشینه در سناریوهای RCP بزرگتر از دمای کمینه پیش‌نگری شده است. در ایستگاه جیرفت نیز، روند افزایش دمای حداکثر و کاهش دمای حداقل مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که جنوب استان کرمان در سال‌های اخیر با کاهش بارش و افزایش دما مواجه بوده است که این تغییرات، به‌ویژه کاهش بارش سالانه، به وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی در این منطقه منجر شده است. این نتایج با تحقیقات پیشین (کریم‌زاده مقدم و قهرمان، ۱۳۸۰؛ رضیئی و همکاران، ۱۳۸۴؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴) مطابقت دارد. همچنین، روند افزایش دمای هوا در این منطقه مشابه با افزایش دمای جهانی بوده و کاهش بارندگی‌های حادی در دهه گذشته منجر به کاهش شدید منابع آبی همچون چاه‌ها، قنات و چشمه‌ها شده است. بررسی نتایج مدل‌های LARS-WG و SDSM نشان می‌دهد که بیشینه دمای آینده در ایستگاه‌های کهنوج و جیرفت از تابستان (ژوئن و ژوئیه) به پاییز (سپتامبر و اکتبر) منتقل شده است و همچنین در برخی ماه‌ها دمای آینده کمتر از دوره مشاهداتی پیش‌نگری شده است. این پدیده می‌تواند به دلایل زیر رخ داده باشد:

۱. تأثیر مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی: مدل‌های LARS-WG و SDSM دارای محدودیت‌هایی در بازتولید دقیق روندهای فصلی دما هستند. به‌ویژه، مدل LARS-WG که یک مدل تصادفی وضع هوا است، ممکن است در بازسازی چرخه‌های فصلی دما دچار جابه‌جایی شود.
۲. کاهش دمای پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی: یکی از یافته‌های این پژوهش، کاهش دمای آینده در برخی ماه‌های ایستگاه‌های کهنوج و جیرفت نسبت به دوره پایه است. این کاهش ممکن است به دلیل افزایش پوشش ابری در برخی ماه‌ها، تغییر در میزان رطوبت و تبخیر، و یا استفاده از مدل‌های با شاخص حساسیت اقلیم ترازمند پایین (ECS) باشد. در مطالعات پیش‌نگری اقلیمی آینده بایستی از هر سه طیف از مدل‌های با حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) کم، متوسط و بالا استفاده کرد تا پیش‌نگری به نسبت واقعی از دمای آینده را ارائه دهند.

- using parametric and nonparametric methods. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 11(37), 271–288. (in Persian)
18. Pińskwar, I., Choryński, A., Graczyk, D., & Kundzewicz, Z. W. (2019). Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1–2), 773–787.
 19. Qanqermeh, A., & Roshan, G. (2012). Prospects of the effects of global warming on temperature changes in northwestern Iran. *Geography and Development*, 10(26), 183–198. (in Persian)
 20. Rezaei, M., Nahtani, M., Abkar, A., Rezaei, M., & Rigi, M. (2014). Evaluation of the efficiency of the statistical downscaling model SDSM in predicting temperature parameters in arid and hyper-arid climates. *Watershed Management Research*, 5(10), 117–131. (in Persian)
 21. Safari, M. (2021). Trend analysis of extreme precipitation indices in Fars Province (Master's thesis, University of Yazd). (in Persian)
 22. Sadeghat Zadeh, Z., Tashkaryan, V., Mobasheri, M. H., Homayouni, M. S., Forough-Bakhsh, A., Mansouri, A., & Sepehrimanesh, M. (2013). *Fars Province studies* (4th ed.). Iran Schoolbook Publishing Company. (in Persian)
 23. Tank, A. K., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., ... Heino, R. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22(12), 1441–1453.
 24. Wang, X., Yang, T., Shao, Q., Acharya, K., Wang, W., & Yu, Z. (2012). Statistical downscaling of extremes of precipitation and temperature and construction of their future scenarios in an elevated and cold zone. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26(3), 405–418.
 - Geographical Studies of Arid Regions, 7(26), 67–82. (in Persian)
 9. IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge University Press.
 10. Jones, P. D. (1999). Surface air temperature and its variations over the last 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37(2), 173–199.
 11. Jones, P. D., Horton, E. B., Folland, C. K., Hulme, M., Parker, D. E., & Basnett, T. A. (1999). The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42(1), 131–149.
 12. Karl, T. R., Knight, R. W., & Baker, B. (2000). The record-breaking global temperatures of 1997 and 1998: Evidence for an increase in the rate of global warming? *Geophysical Research Letters*, 27(5), 719–722.
 13. Mohammadi, Y. (2020). Trend analysis and prediction of precipitation and temperature at selected stations in Fars Province using general circulation models (Master's thesis, University of Yazd). (in Persian)
 14. Molina-Navarro, E., Trolle, D., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A., & Jeppesen, E. (2014). Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean reservoir under climate change and land use management scenarios. *Journal of Hydrology*, 509, 354–366.
 15. Nury, A. H., & Alam, M. J. B. (2013). Performance study of global circulation model HADCM3 using SDSM for temperature and rainfall in north-eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6(1), 87–96.
 16. Omidvar, K., & Khosravi, Y. (2010). Investigation of changes in selected climatic elements along the northern coasts of the Persian Gulf using the Mann-Kendall test. *Geography and Environmental Planning*, 21(2), 33–46. (in Persian)
 17. Omidvar, K., & Salari, H. (2013). Trend analysis of temperature and precipitation changes in western and northwestern Iran