



Analysis of near future climate extreme events in Fars Province

Parsa Haghighi^{1*}, Seyed Masoud Soleimanpour² and Sohrab Sadeghi³

¹ Master, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

² Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

³ Scientific Member (Training Instructor) of Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Received: 26 October 2024

Accepted: 03 March 2025

Extended abstract

Introduction

Studies conducted in the field of climate change in the world indicate that even a small change in temperature causes a change in the occurrence of extreme phenomena such as drought, heavy rainfall, and storms. Severe changes in the behavior of atmospheric indicators, especially during the 21st century, indicate signs of climate change occurrence. Therefore, climate change and climate warming can directly affect the extreme values of climate and the temporal and spatial changes of these events; thus, this study analyzes the trend of occurrence of extreme climate events shortly in Fars Province.

Materials and methods

In this study, in order to analyze the trend of extreme climate events shortly in Fars Province, the ACCESS-ESM1-5 model related to the IPCC Sixth Assessment Report and the latest series of climate scenario releases (SSP) was used after exponential downscaling using the LARS-WG statistical model at the station level. Daily precipitation, maximum and minimum temperature data from three synoptic stations of Abadeh, Shiraz, and Lar in Fars Province were used. After exponential downscaling of the ACCESS-ESM1-5 model, precipitation, and minimum and maximum temperatures were predicted for the near future period (2026-2055). Then, using the RCLimindex package in R software, fourteen extreme climate indices (7 temperature indices and 7 precipitation indices) were extracted for the base period and the near future. After calculating 14 climate extreme indices for the 30 years of the near future period (2026-2055) and the base period (1991-2020) on an annual basis, the trend for each index was determined using the Mann-Kendall test and the slope of the age line. Then, the climate extreme indices were placed in two groups of the near future period and the base period, and the type of data distribution was determined. In order to reveal the existence of a difference in the means of the two groups (the first group: values of the extreme indices of the base period, the second group: values of the extreme indices of the near future period), an independent t-test was used.

Results and discussion

The results of the exponential downscaling of the ACCESS-ESM1-5 model indicate an increase in the minimum and maximum temperatures of the near future period (2026-2055) compared to the base period (1991-2020) in all three stations and all three scenarios. The average precipitation values are also predicted to decrease at the Shiraz station and to increase at the Abadeh and Lar stations. The results of determining the trend in climate indices showed that the trend in temperature extreme indices is more noticeable than precipitation extreme indices. The number of frost days (FD) has a significant downward trend and the number of summer days (SU25), the monthly maximum daily maximum temperature (TXx) and the monthly maximum daily minimum temperature (TNx) have an upward trend in all three stations and three scenarios compared to the base period and a significant difference at the 95% confidence level. The maximum one-day precipitation index (RX1day) is also significant and has an upward trend in all three stations and three scenarios, with an average increase of 16.59 mm in the maximum one-day precipitation

* Corresponding author: p.haghighi@areeo.ac.ir

in the province compared to the base period. The daily precipitation intensity index (SDII) is also a significant upward trend in all three stations and three scenarios, with an average increase of 3.83 mm/day for the province in the near future compared to the base period.

Conclusions

Severe climate changes and global warming in recent years have led to changes in weather patterns and the emergence of climate anomalies in most parts of the world. The present study shows a significant increase in extreme climate events in Fars Province. The trend in extreme temperature indices is more noticeable than extreme precipitation indices. An increasing trend in extreme hot indices and a decreasing trend in extreme cold indices will occur in the near future (2026-2055) in Fars Province; therefore, it is necessary to adopt and implement preventive decisions and plans at different management levels to deal with the possible consequences of increasing temperatures and extreme hot events. Based on the results obtained from examining the frequency of extreme precipitation events, it also shows an increase in the daily precipitation intensity index, an increase in the maximum one-day precipitation in three stations of Abadeh, Shiraz, and Lar, and an increase in the number of days with heavy and very heavy precipitation in two stations of Abadeh and Lar. These conditions could indicate an increase in intense and short-term rainfall, as well as a shortening of the region's rainy season. Consequently, given the damaging consequences of extreme rainfall events such as drought and flood, more attention should be paid to monitoring and observing these weather disasters in order to minimize the damage caused by them, so that active and intelligent management can be applied to move more quickly towards risk management and risk reduction.

Keywords: Climate change, SSP scenarios, Climate extreme index, ACCESS-ESM1-5 model

Cite this article: Haghighi, P., Soleimanpour, S.M., Sadeghi, S., 2025. Analysis of near future climate extreme events in Fars Province. *Water. Eng. Manag.* 17(3), 322-339.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



تحلیل وقوع رخدادهای فرین اقلیمی آینده نزدیک در استان فارس

پارسا حقیقی^{۱*}، سید مسعود سلیمان پور^۲ و سهراب صادقی^۳

^۱ کارشناس، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

^۲ دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

^۳ عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز،

ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

چکیده مبسوط

مقدمه

مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم در جهان حاکی از این واقعیت است که تغییر هرچند کم در دما موجب تغییر در وقوع پدیده‌های حدی نظیر خشکسالی، بارش‌های سنگین و توفان می‌شود. تغییرات شدید رفتار سنجه‌های جوی به‌ویژه طی قرن ۲۱م بیانگر نشانه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم است. بنابراین تغییرات اقلیمی و گرم شدن آب و هوا می‌تواند به‌طور مستقیم بر مقادیر فرین اقلیمی و تغییرات زمانی و مکانی این رخدادهای تأثیر گذارد؛ بنابراین در این پژوهش به تحلیل وقوع رخدادهای فرین اقلیمی آینده نزدیک استان فارس پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور تحلیل روند وقوع رخدادهای فرین اقلیمی آینده نزدیک استان فارس از برون‌داد مدل ACCESS-ESM1-5 مربوط به گزارش ششم IPCC و آخرین سری انتشار سناریوهای اقلیمی (SSP) پس از ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل آماری LARS-WG در سطح ایستگاه استفاده شده است. از اطلاعات روزانه بارش، دمای بیشینه و کمینه سه ایستگاه هم‌دید آباد، شیراز و لار مربوط به استان فارس استفاده شده است. پس از ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل ACCESS-ESM1-5 پیش‌بینی بارش، دمای کمینه و بیشینه برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) انجام گرفت. سپس با استفاده از بسته RCLIMDEX در نرم‌افزار R، ۱۴ شاخص فرین اقلیمی (هفت شاخص دمایی و هفت شاخص بارشی) برای دوره پایه و آینده نزدیک استخراج شد. پس از محاسبه ۱۴ شاخص فرین اقلیمی برای بازه ۳۰ ساله دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) به‌صورت سالانه، تعیین روند برای هر شاخص با استفاده از آزمون من-کندال و شیب‌خط سن انجام گرفت. سپس شاخص‌های فرین اقلیمی در دو گروه دوره آینده نزدیک و دوره پایه قرار گرفتند و نوع توزیع داده‌ها مشخص شد. به‌منظور آشکارسازی وجود اختلاف در میانگین‌های دو گروه (گروه اول: مقادیر شاخص‌های فرین دوره پایه، گروه دوم: مقادیر شاخص‌های فرین دوره آینده نزدیک) از آزمون T مستقل استفاده شد.

* مسئول مکاتبات: p.haghighi@areeo.ac.ir

نتایج و بحث

نتایج مربوط به ریزمقیاس نمایی برون داد مدل ACCESS-ESM1-5 نشان از افزایش دمای کمینه و بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) در هر سه ایستگاه و هر سه سناریو می‌دهد. مقادیر متوسط بارش نیز در ایستگاه شیراز نزولی و در دو ایستگاه آباده و لار صعودی پیش‌بینی شده است. نتایج مربوط به تعیین روند در شاخص‌های اقلیمی نشان داد که وجود روند در شاخص‌های فرین دمایی به نسبت شاخص‌های فرین بارشی محسوس‌تر است. تعداد روزهای یخبندان (FD) دارای روند معنی‌دار نزولی و تعداد روزهای تابستانی (SU25)، بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (TXx) و بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (TNx) در هر سه ایستگاه و سه سناریو نسبت به دوره پایه روندی صعودی و اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشته است. شاخص بیشینه بارش یک‌روزه (RX1day) نیز در هر سه ایستگاه و سه سناریو معنی‌دار و دارای روند صعودی است که به‌طور متوسط ۱۶/۵۹ میلی‌متر بیشینه بارش یک‌روزه استان نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. شاخص شدت روزانه بارش (SDII) نیز در هر سه ایستگاه و سه سناریو روندی معنی‌دار صعودی است که به‌طور متوسط برای استان ۳/۸۳ میلی‌متر بر روز، آینده نزدیک نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

تغییرات شدید آب و هوایی و گرمایش جهانی در سال‌های اخیر به تغییر الگوهای جوی و پدید آمدن ناهنجاری‌های اقلیمی در اغلب نقاط جهان منجر شده است. پژوهش حاضر نشان از افزایش معنی‌داری در رخدادهایی فرین اقلیمی استان فارس دارد. وجود روند در شاخص‌های فرین دمایی به نسبت شاخص‌های فرین بارشی محسوس‌تر است. روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم و روند کاهش شاخص‌های حدی سرد در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) در استان فارس اتفاق خواهد افتاد؛ بنابراین ضروری است که در سطوح مختلف مدیریتی به‌منظور مقابله با پیامدهای احتمالی افزایش دما و رخدادهای حدی گرم تصمیمات و برنامه‌های پیشگیرانه اتخاذ و عملیاتی شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی فراوانی رخدادهای فرین بارش نیز نشان از افزایش شاخص شدت روزانه بارش، افزایش حداکثر بارش یک‌روزه در سه ایستگاه آباده، شیراز و لار و افزایش تعداد روزهای بارش سنگین و خیلی سنگین در دو ایستگاه آباده و لار می‌دهد. این شرایط می‌تواند بیانگر افزایش بارش‌های شدید و کوتاه مدت و در مقابل کوتاه‌تر شدن فصل بارش منطقه باشد. در نتیجه با توجه به پیامدهای خسارت‌بار ناشی از رخدادهایی فرین بارشی همچون خشکسالی و سیل می‌بایست به‌منظور کاهش حداکثری خسارات ناشی از این بلایای جوی رصد و پایش آنها بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد تا بتوان با اعمال مدیریت فعال و هوشمند با سرعت بیشتری به‌طرف مدیریت ریسک و کاهش خطر حرکت کرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، سناریوهای SSP، شاخص فرین اقلیمی، مدل ACCESS-ESM1-5

مقدمه

به آن رخداد فرین^۱ گفته می‌شود اما از دیدگاه آماری میزان کمی از این حوادث فرین در ناحیه بالایی و پایینی و آستانه‌های خاصی از توزیع آماری قرار گرفته است (Fathian et al., 2020). تغییرات اقلیمی و گرم شدن آب و هوا می‌تواند به‌طور مستقیم بر مقادیر فرین اقلیمی و تغییرات زمانی و مکانی این رخدادهای تأثیر گذارد. شناسایی رخدادهای فرین آب و هوایی در مقیاس مکانی و زمانی، به‌منظور برنامه‌ریزی برای کاهش آثار سوء و افزایش راهبردهای انطباق بسیار حائز اهمیت است (Esmaili et al., 2019).

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بر بوم‌سازگان‌های طبیعی و جنبه‌های مختلف زندگی انسان تأثیر دارد. تأثیرات گرمایش جهانی بر بخش هیدرولوژی و چرخه آب در طبیعت بسیار جدی است و شناخت این اثرات به‌صورت کمی، آمادگی بیشتری برای مقابله با تبعات آن ایجاد می‌کند (Sheykh et al., 2024).

از دیدگاه اقلیمی، گاه حوادثی رخ می‌دهد که دور از انتظار بوده و با شرایط اقلیمی منطقه کمتر تطابق دارد که

¹ Extreme events

نمایه‌های مربوط به سرما و روزهای یخبندان (سرد) و افزایش نمایه‌های حدی گرم براساس سناریو SSP585 بوده که در بیشتر مناطق استان مشاهده شد. Varshavian et al., (2011) با بررسی مقادیر حدی پارامترهای دمایی در چند نمونه اقلیمی ایران طی دوره ۴۴ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۴) نشان دادند که دمای کمینه در تمامی صدک‌ها به‌جز صدک ۹۵ روند افزایش معنی‌داری دارد دمای بیشینه روزانه به‌جز صدک یکم و تعداد روزهای بیشتر از صدک ۹۰، در سایر سری‌های زمانی روند افزایشی دارند. Darand, (2014) با استفاده از ۲۷ شاخص و آزمون‌های من کندال و ورسلی تغییرات مقادیر حدی بارش و دمای ایستگاه ارومیه را طی یک دوره ۴۵ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵) بررسی کرد.

نتایج آنها نشان داد، که نمایه‌های فرین گرم روند صعودی و نمایه‌های فرین سرد روند نزولی را تجربه کرده‌اند. Zhang et al., (2005) نیز به تحلیل مکانی بارش‌های فرین ساعتی در هند پرداخت. وی مشاهدات فرین بارش ساعتی طی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۲ را برای فصول زمستان، تابستان‌های خشک و تابستان‌های مرطوب هند بررسی کرد. نتایج پژوهش آنها گویای روند افزایشی بارش‌های سنگین در نواحی مرتفع هیمالیا، به‌ویژه در دامنه شمال غربی آن بوده است. در زمستان عموماً روند منفی، ولی برای فصول خشک و مرطوب تابستان روند مثبت بوده است.

در امتداد ساحل غربی روند کاهشی رخ داده است، درحالی‌که بخش شمالی ساحل روند افزایشی بارش فرین مشاهده شده است. بیشتر فلات دکن به سمت جنوب مرکزی منطقه ساحل روند مثبت رخ داده است. Fan and Chen, (2016) تغییرات فرین‌های اقلیمی روزانه را در جنوب شرق کشور چین طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات فرین‌های بارش نسبت به فرین‌های دما کوچک‌تر است و تنها در مقیاس منطقه‌ای روند روزهای متوالی مرطوب بارش روزهای بسیار مرطوب و بیشترین بارش یک‌روزه معنی‌دار است. به‌طورکلی توزیع مکانی تغییرات زمانی نمایه‌های فرین اقلیمی در جنوب شرق چین پیچیدگی اقلیم و نقش توپوگرافی را نشان می‌دهد.

در دهه‌های گذشته، تحلیل‌های بلندمدت تغییر اقلیم که با استفاده از داده‌های دما و بارش انجام می‌گرفت، بیشتر بر روی تغییرپذیری در ارزش میانگین متمرکز بوده‌اند و تحلیل داده‌های فرین کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت (Jones and

کشور ایران نیز به‌صورت تاریخی و با توجه به موقعیت جغرافیایی خود همواره در معرض پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی بوده است. قرارگیری ایران در کمربند بیابانی زمین و برخورداری از یک‌چهارم منابع آبی بارش و آب‌های سطحی، لزوم توجه به ابعاد مختلف تغییرات اقلیمی در ایران را آشکار کرده است. تغییرات اقلیمی به‌دلیل ابعاد و تأثیرات پیچیده و چندوجهی خود، سطوح متفاوتی از مدیریت سرزمین را متأثر می‌سازند و عدم شناخت جامع آن، یکی از موانع جدی در راستای مدیریت بهینه سرزمین محسوب می‌شود (Asadi, Oskouei and Mortezaipoor, 2019).

در عصر حاضر نیز وقوع مکرر پدیده‌های مخرب جوی و تغییرات آب و هوایی در مقیاس بزرگ، زندگی و حیات بشری را در مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی به‌شدت از خود متأثر ساخته است. بدین ترتیب در دهه‌های اخیر وقوع مکرر پدیده‌های مخرب جوی و تغییرات آب و هوایی در مقیاس جهانی منطقه‌ای و محلی افتد که تأثیرات نامطلوبی را بر زندگی بشر داشته، امنیت محیط و جوامع انسانی را با تهدیدات جدی مواجه ساخته است. در این میان ایران از عواقب تغییرات آب و هوایی به‌دور نمانده است. تحلیل روند سری‌های زمانی میانگین و شاخص‌های حدی سبب شناخت بهتر رفتار گذشته و حال تغییرات اقلیمی می‌شود. از طرفی دگرگونی در آهنگ تغییرپذیری و فراوانی رخدادهای فرین می‌تواند اثرات و آسیب‌های شدیدتری نسبت به تغییرات در متوسط مؤلفه‌های اقلیمی داشته باشد (Alijani et al., 2012).

مطالعاتی بسیاری در ارتباط با روند تغییرات دما و بارش و رخدادی‌های حدی به‌صورت کلی و همچنین منطقه‌ای انجام شده است. برای مثال Rahimzadeh, (2008) با استفاده از شاخص‌های حدی بارش و دما تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ایران را طی دوره ۱۳۸۱-۱۳۲۹ مطالعه و نشان داد که کاهش معنی‌دار در تعداد روزهای یخبندان و افزایش شب‌های گرم به‌طور واضح اتفاق افتاده است اما روند شاخص‌های بارش مانند دیگر نقاط دنیا از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کنند.

(Norooz-Valashedi et al., 2024) به پیش‌نگری تغییرات نمایه‌های حدی دما در پهنه استان مازندران تحت سناریوهای CMIP6 پرداختند. نتایج بیانگر کاهش رویدادهای حدی گرم بر اساس سناریو SSP126، کاهش

(۲۰۲۶) و دوره پایه محاسبه شدند و مورد مقایسه قرار گرفتند. روند شاخص‌های فرین اقلیمی و تفاوت بین شاخص‌های فرین نسبت به دوره پایه برای سه ایستگاه سینوپتیک، آباد، شیراز و لار در استان فارس محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: استان فارس با وسعتی بالغ بر ۱۲۲ هزار کیلومتر مربع در نیمه جنوبی ایران و در بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی واقع شده است. در این پژوهش از آمار و اطلاعات روزانه مربوط به سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار استفاده شد و مقادیر بارش و دمای بیشینه و کمینه طبق جدیدترین گزارش IPCC ریزمقیاس شده است.

به منظور ریزمقیاس‌نمایی^۱ پارامترهای اقلیمی در استان با در نظر گرفتن کفایت داده‌ها، سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار با دوره پایه مشترک (۲۰۲۰-۱۹۹۱) در نظر گرفته شد. از آنجا که ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل LARS-WG نیاز به اطلاعات روزانه با دوره بلندمدت (دست کم ۲۰ سال) است در این مطالعه نیز انتخاب سه ایستگاه با در نظر گرفتن کفایت داده‌ها انجام شده است. جدول ۱ مشخصات و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه مورد بررسی ارائه شده است.

(Moberg, 2003). از سوی دیگر این باور مطرح است که تغییرات اقلیمی بیشتر جنبه‌های هوا و اقلیم به‌ویژه رخدادهای فرین دما را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Revadekar and Kulkarni, 2009). تغییرات در تکرار و شدت رخدادهای فرین آثار شدیدتری بر فعالیت‌های انسانی و محیط‌زیست آن نسبت به تغییرات در متوسط اقلیمی در کوتاه مدت خواهد داشت. برای مثال ۲۰ درصد مرگ و میر در چهار شهر کانادا در روزهایی که مرگ و میرها بالاتر از حد معمول است در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۴ ناشی از دماهای فرین است (Shouquan et al., 2008).

دماهای تابستانی خیلی بالا می‌تواند خسارت‌های شدیدی به محصولات وارد کنند و دماهای خیلی پایین زمستانی نیز می‌تواند منجر به از بین رفتن درختان شوند (Brown and Katz, 1995)؛ بنابراین اثرات گسترده اجتماعی و اقتصادی فرین‌ها، ضرورت توجه به این‌چنین مطالعاتی را نشان می‌دهد. از آنجا که مطالعات شاخص‌های فرین بیشتر بر روی داده‌های پایه ایستگاه محلی انجام گرفته است، در این پژوهش ابتدا برون‌داد مدل ACCESS-ESM1-5 تحت سناریوهای SSP با استفاده از مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند.

پیش‌نمایی پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه (برای سه ایستگاه آباد، شیراز و لار) به‌صورت روزانه برای آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) انجام گرفت. سپس ۱۴ شاخص فرین اقلیمی برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶)

جدول ۱- مشخصات سه ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در پژوهش حاضر

Table 1. Characteristics of three synoptic stations studied in the present research

Station Name	Elevation (m)	Longitude (°)	Latitude (°)
Abadeh	2030	52.62 °	31.20 °
Shiraz	1488	52.60 °	29.56 °
Lar	792	54.37 °	27.67 °

آب و هوایی محلی ارزیابی کرد. همچنین امکان این‌که داده پرت، جز داده تاریخی قرار بگیرد، نیز وجود دارد.

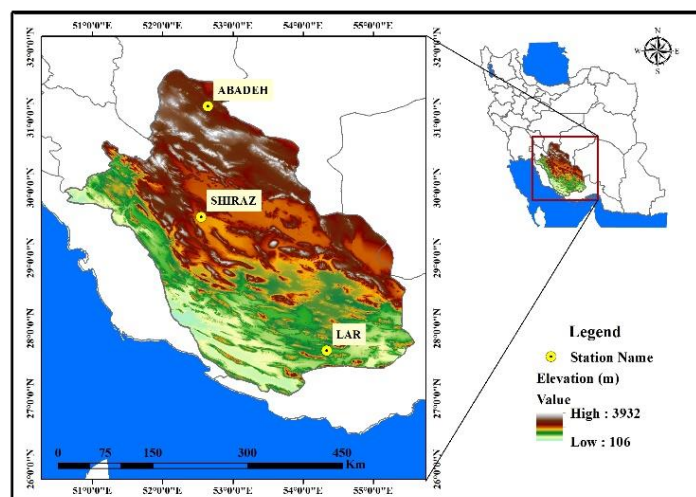
مدل و سناریو گردش عمومی جو: در این پژوهش به‌منظور برآورد شاخص‌های فرین اقلیمی برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) استان فارس از مدل ACCESS-ESM1-5 و آخرین سری انتشار سناریوهای اقلیمی پس از ریزمقیاس‌نمایی در سطح ایستگاه استفاده شده است. با توجه به تنوع و تعدد مدل‌های گردش عمومی جو بهره‌گیری

در این مطالعه ابتدا فرایند بررسی کیفیت داده‌ها انجام گرفت. ابتدا مقادیر غیرمنطقی از دما و بارش همچون مقادیر بارش منفی روزانه، کمتر بودن بیشینه درجه حرارت روزانه نسبت به کمینه درجه حرارت روزانه را مشخص شدند. همچنین داده‌های پرت شناسایی شدند. شایان‌ذکر است که هر داده پرت بالقوه را می‌توان با استفاده از اطلاعات روز قبل و بعد از این رویداد همراه با دانش تخصصی در مورد شرایط

¹ Downscaling

اطلاعات، دقت، میزان قطعیت مدلسازی و همچنین نتایج حاصل از اولویت‌بندی مدل‌های گزارش ششم گردش عمومی جو، مدل ACCESS-ESM1-5 انتخاب شد (Moghadas et al., 2024; Chamberlain et al., 2024).

از تمامی آنها در برآورد و به‌کارگیری مدل مناسب در شبیه‌سازی‌های اقلیمی میسر نیست. بی‌شک به‌کارگیری مدل مناسب در شبیه‌سازی اقلیمی می‌تواند دقت و میزان قطعیت مدلسازی را بهبود بخشد. بنابراین با توجه به دسترسی به



شکل ۱- موقعیت سه ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در پژوهش حاضر

Fig 1. Location of three synoptic stations studied in the present research

منجر به شکل‌گیری سری مدل‌های جفت شده درون مقایسه ای^۱ در گزارش ششم شد (O'Neill et al., 2015). نسخه نهایی طراحی مدل‌های CMIP6 به‌وسیله دو کارگروه^۲ و کارگروه مدل‌های جفت شده^۳ در اکتبر سال ۲۰۱۴ نهایی شد. سناریوهای گزارش ششم به‌صورت ترکیبی از خط سیرهای اقتصادی اجتماعی^۴ (توسعه پایدار SSP1، توسعه بر اساس سیاست‌های میانی SSP2، رقابت منطقه‌ای SSP3، نابرابری SSP4 و توسعه سوخت‌های فسیلی SSP5) و خط سیرهای غلظت گازهای گلخانه‌ای (سطوح واداشت مختلف) تولید می‌شوند؛

به‌طوری‌که امکان تحلیل بازخورد میان تغییرات اقلیمی و عوامل اجتماعی اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری را فراهم می‌آورند. سناریوهای جدید پایه SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب سناریوهای به‌روزرسانی شده سطوح واداشت RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم هستند. سناریوی SSP1-2.6 پایین‌ترین میزان واداشت تابشی را

مدل‌های گردش عمومی بهترین اطلاعات درباره پاسخ جو به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را می‌توانند فراهم کنند. این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبیه‌سازی‌های عددی سه بعدی شامل حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی است. به‌منظور تصویرسازی تغییرات اقلیم در دوره‌های آتی مدل‌های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو اقیانوس معتبرترین ابزار هستند.

با توجه به وابستگی اثرات تغییر اقلیم به نتایج مدل‌های اقلیمی (Chen et al., 2015) دستیابی به نتایج معتبرتر در دوره آتی با استفاده از مدل‌های اقلیمی ارائه‌شده در گزارش ششم به موجب دقت بیشتر امکان‌پذیر می‌شود (Eyring et al., 2016). محدودیت‌ها و نقص‌های مدل‌های گزارش پنجم (CMIP5) ازجمله درک ضعیف واداشت تابشی در مدل‌های اقلیمی همراه با خطاهای سامان‌مند مشکل تعیین منافع و هزینه‌های هر یک از عملیات کاهشی به‌طور جداگانه و عدم تمرکز روی علوم خاص در مدلسازی (Stouffer et al., 2017)

³ Working Group of Couple Modeling (WGCM)

⁴ The Shared Socioeconomic Pathways (SSP)

¹ Coupled Model Inter Comparison Phase 6 (CMIP6)

² Coupled Model Inter comparison Project Phase (CMIP)

متغیر پیش‌بینی شونده است (Semenov, 2002). از مهم‌ترین روش آماری موجود برای مطالعه اثرات تغییر اقلیم می‌توان به مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی^۲ اشاره کرد. این مدل‌ها ابزاری برای پیش‌بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند بلکه آنها برای بررسی اثرات و ارزیابی اقلیم دهه‌های آتی طراحی شده‌اند.

این مدل‌ها قادر به تولید داده‌های روزانه از خروجی ماهانه مدل‌های گردش عمومی جو هستند. با داشتن داده‌های روزانه می‌توان مطالعات مفیدی روی میزان و دوره‌های بازگشت بارش‌های سیل‌آسا و سایر مطالعات مرتبط با مباحث هیدرولوژی و همچنین کشاورزی را انجام داد. در این پژوهش از مدل آماری LARS-WG استفاده شده است. یک مؤسسه تحقیقات کشاورزی با عنوان LARS در انگلیس تدوین این مدل را به عهده داشته است. در این مدل فرایند تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی در سه بخش انجام می‌گیرد.

واسنجی مدل^۳: در این بخش داده‌های آب و هوایی دیدبانی‌شده برای تعیین ویژگی‌های آماری آنها تحلیل می‌شوند.

صحت سنجی مدل^۴: در این قسمت ویژگی‌های آماری داده‌های دیدبانی و مصنوعی تولید شده به‌وسیله مدل برای تعیین این‌که آیا تفاوت‌های آماری قابل‌توجهی بین این دو گروه از داده‌ها وجود دارد یا نه مورد تحلیل قرار می‌گیرد (Semenov, 2002).

تولید داده‌های آب و هوایی^۵: داده‌های آب و هوایی مصنوعی با استفاده از فایل‌های به‌دست‌آمده از داده‌های آب و هوایی دوره دیدبانی شده تولید می‌شوند که دارای ویژگی‌های آماری مشابه با دوره دیدبانی است. به‌منظور ارزیابی مدل از آماره‌های آزمون ضریب تبیین^۶، ریشه میانگین مربعات خطا^۷ استفاده شده است که روابط مربوط در ادامه ارائه شده است (Hassan et al., 2014).

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

نشان می‌دهد و پایداری کاربری اراضی در زمان آینده یکی از ویژگی‌های اصلی این سناریو است. سناریوی SSP2-4.5 دنیایی با توسعه اقتصادی اجتماعی در شرایط معمول را با آسیب‌پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می‌گیرد. سناریوی SSP5-8.5 نیز حد بالای واداشت تابشی را ارائه می‌دهد که در آن پیشرفت با استفاده از سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی همراه است. میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی سناریوهای SSP در سطوح ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع است.

میزان واداشت تابشی درواقع همان اختلاف بین انرژی ورودی و خروجی از جو کره زمین است. در حال حاضر SSPها شامل هفت سناریو SSP126، SSP245، SSP119، SSP460، SSP434 و SSP370 است (Iranshahi et al., 2023). در این مطالعه از سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 و مدل ACCESS-ESM1-5 استفاده شده است. شورای ملی آب و هوای استرالیا مدل ACCESS-ESM1-5 را توسعه داده است. دقت مکانی این مدل ۱/۸۷۵ × ۱/۲۵ درجه است.

ریز‌مقیاس‌نمایی: در حال حاضر خروجی مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) دقت مکانی و زمانی کمی دارند. عمل ریز‌مقیاس‌نمایی به‌منظور تبدیل شبکه‌بندی‌های بزرگ مدل‌های اقلیمی به سطوح کوچک‌تر در حد محلی و ناحیه‌ای توسعه و کاربرد یافته‌اند و به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف) روش‌های دینامیکی که شامل مدل گردش منطقه‌ای^۱ است. ب) روش‌های آماری (IPCC, 2013).

در روش‌های آماری، روابط تجربی بین متغیرهای مستقل (پیش‌گوها) و متغیرهای وابسته (پیش‌بینی شونده) مشخص می‌شوند و از این روابط برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده می‌شود. با وجود مزیت مدل‌های دینامیکی در بررسی ویژگی‌های جوی ریزمقیاس مانند بارش‌های کوهستانی، کاربرد این مدل‌ها به‌دلیل نیاز آنها به محاسبات و هزینه‌بری زیاد محدود شده است. در مقابل، روش‌های آماری همانند روش‌های پویا توانمند اما کم هزینه هستند؛ لذا به‌طور گسترده‌ای به‌کار می‌روند. نقطه ضعف این مدل‌ها نیاز آنها به سری‌های آماری درازمدت

⁵ Generator

⁶ Coefficient of Determination (R^2)

⁷ Root Mean of Square Error (RMSE)

¹ Regional Climate Model (RCM)

² Weather Generator (WG)

³ Site Analysis

⁴ Q test

(۱۹۹۱) برای ایستگاه‌های سینوپتیک آباده، شیراز و لار محاسبه و مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش هفت شاخص دمایی شامل ۱- تعداد روزهای یخبندان (FD)، ۲- تعداد روزهای تابستانی (SU25)، ۳- بیشینه دمای بیشینه روزانه (TXx)، ۴- بیشینه دمای کمینه روزانه (TNx)، ۵- کمینه دمای بیشینه روزانه (TXn)، ۶- طول فصل رویش (GSL)، ۷- دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR)، برای داده‌های مشاهداتی سه ایستگاه سینوپتیک و خروجی ریزمقیاس شده مدل ACCESS-ESM1-5 استخراج شد.

همچنین از هفت شاخص بارشی شامل ۱- بیشینه بارش یک‌روزه (RX1day)، ۲- بیشینه بارش پنج‌روزه (RX1day)، ۳- شدت روزانه بارش (SDII)، ۴- روزهای با بارش سنگین (R10)، ۵- روزهای با بارش خیلی سنگین (R20)، ۶- روزهای خشک متوالی (CDD)، ۷- روزهای تر متوالی (CWD)، به‌منظور تعیین روند در شاخص‌های فرین اقلیمی استان فارس برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) استفاده شد. در جدول ۲ شاخص‌های فرین اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش و تعاریف مربوط به هر شاخص آورده شده است.

که در آنها، X_i و Y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی هستند. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌ای، اقدام به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی با مدل ACCESS-ESM1-5 و تحت سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) شد.

شاخص‌های فرین اقلیمی: شدت و فراوانی خشکسالی همراه با رخداد تغییر اقلیم پیچیده‌تر می‌شود و یک مسأله مهم در بخش کشاورزی و منابع آب است (Vatanparast, Ghaleh Juq and Salahi, 2024). عناصر اقلیمی دما و بارش جز مهم‌ترین عناصر اقلیمی هستند که در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف دارای تغییرات فراوان هستند. شناسایی رخداد‌های فرین آب و هوایی در مقیاس مکانی و زمانی به‌منظور برنامه‌ریزی برای کاهش آثار سوء و افزایش راهبردهای انطباق بسیار حائز اهمیت است.

در این پژوهش تحلیل تغییرات ۱۴ نمایه فرین بارش و دما دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۲۰۲۶)

جدول ۲- تعریف شاخص‌های فرین دما و بارش

Table 2. Definition of temperature and precipitation extreme indices

ID	Index name	Definition	Unit
FD	Number of frost day	Annual count when TN (daily minimum) < 0 _C	days
SU25	Summer days	Annual count when TX (daily maximum) > 25 _C	days
TXx	Max. Tmax	Monthly maximum value of daily maximum temperature	°C
TNx	Max. Tmin	Monthly maximum value of daily minimum temperature	°C
TXn	Min. Tmax	Monthly minimum value of daily maximum temperature	°C
GSL	Growing season Length	Annual count between first span of at least 6 days with $TG > 5$ _C and the first occurrence after 1st July of at least 6 consecutive days with $TG < 5$ _C	days
DTR	Diurnal temperature range	Monthly mean difference between TX and TN	°C
RX1day	Max. 1-day precipitation amount	Monthly maximum 1-day precipitation	mm
RX5day	Max. 5-day precipitation amount	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	mm
SDII	Simple daily intensity index	Annual total precipitation divided by the number of wet days defined as $PRCP \geq 1.0$ mm) in the year)	mm/day
R10	Number of heavy precipitation days	Annual count of days when $PRCP \geq 10$ mm	days
R20	Number of very heavy precipitation days	Annual count of days when $PRCP \geq 20$ mm	days
CDD	Consecutive dry days	Maximum number of consecutive days with $RR < 1$ mm	days
CWD	Consecutive wet days	Maximum number of consecutive days with $RR \geq 1$ mm	days

ریاضی E_i' ، واریانس V_i' و شاخص U_i' از رابطه‌های زیر محاسبه می‌روند.

$$E_i' = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)}{4} \quad (6)$$

$$V_i' = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)[2(N-(n_i-1))] + 5}{72} \quad (7)$$

$$U_i' = \frac{-(\sum t_i' - E_i')}{\sqrt{V_i'}} \quad (8)$$

در رابطه‌های فوق N تعداد سال‌های آماری است. محل طلاق‌ی شاخص U و U' با محدوده ۹۵ درصد اطمینان نشان‌دهنده تغییرات سری زمانی بوده و رفتار U بعد از نشان طلاق‌ی وضعیت روند (کاهشی یا افزایشی) سری را نشان می‌دهد. عدم طلاق‌ی دو شاخص معرف عدم روند سری است. **شیب خط سن:** شیب خط روند با روش تخمین گر سن یکی دیگر از روش‌های تعیین روند در سری داده‌ها بوده است.

$$\beta = \text{median} \left[\frac{x_j - x_i}{j-i} \right] \quad \forall i > j \quad (9)$$

که در آن، β نشان‌دهنده شیب خط روند، X_i مقادیر مشاهده‌ای i مین است. مقادیر مثبت (منفی) β نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌ها است.

در نهایت پس از محاسبه ۱۴ شاخص فرین اقلیمی برای بازه ۳۰ ساله دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) به صورت سالانه، تعیین روند برای هر شاخص با استفاده از آزمون من کندال و شیب خط سن انجام گرفت. سپس شاخص‌های فرین اقلیمی در دو گروه دوره آینده نزدیک و دوره پایه قرار گرفتند و نوع توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۴ در محیط نرم‌افزار SPSS مشخص شد.

در آخر به منظور آشکارسازی وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌های دو گروه (گروه اول: مقادیر شاخص‌های فرین دوره پایه، گروه دوم: مقادیر شاخص‌های فرین دوره آینده نزدیک) با توجه به نرمال بودن نوع توزیع داده‌ها از آزمون T مستقل استفاده شد. برای مقایسه یک متغیر کمی در بین دو گروه از آزمون T مستقل^۵ استفاده می‌شود؛ بنابراین از آزمون T مستقل به منظور تعیین وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌های دو گروه شاخص‌های فرین اقلیمی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) استفاده شد.

به منظور تعیین روند در خروجی شاخص‌های فرین اقلیمی از آزمون من-کندال و شیب خط سن^۱ استفاده شد. شاخص‌های فرین اقلیمی یک دوره ۳۰ ساله برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) به صورت سالانه استخراج شد و وجود روند در هر یک از شاخص‌ها مشخص شد. آزمون من^۲-کندال^۳ ابتدا به وسیله من (۱۹۴۵) ارائه شد و سپس به وسیله کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند، نیز از دیگر مزایای این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) مبین وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل اجرای آزمون به روش من-کندال به قرار زیر است.

- داده‌ها به ترتیب وقوع ردیف می‌شوند و ترتیب زمانی داده‌ها n در نظر گرفته می‌شود.

- داده‌ها رتبه‌بندی می‌شوند که برای این منظور از آماره T (نسبت رتبه i به رتبه ماقبل) استفاده می‌شود.

- امید ریاضی E_i ، واریانس V_i و شاخص من-کندال U_i را می‌توان با استفاده از روابط عددی زیر محاسبه کرد.

$$E_i = \frac{n_i(n_i-1)}{4} \quad (3)$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5)}{72} \quad (4)$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad (5)$$

n_i ترتیب زمانی داده‌ها است. برای شناسایی روندهای جزئی و کوتاه مدت نقاط جهش و شروع روند سری‌های زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر U و U' استفاده شده است. نمودار سری زمانی مقادیر متوالی آماره‌های U و U' با استفاده از رابطه‌های (۵) و (۸) محاسبه می‌شود. مراحل محاسبه U' : ۱- داده‌های رتبه‌بندی شده که از آماره T' (نسبت رتبه i به رتبه مابعد) استفاده شده است. ۲- امید

^۴ Kolmogorov-Smirnov

^۵ Independent-Samples T Test

^۱ Sen's Slope

^۲ Mann

^۳ Kendall

نتایج و بحث

در این پژوهش پس از بررسی کیفیت داده‌های بارش، دمای کمینه و بیشینه سه ایستگاه سینوپتیک آباده، شیراز و لار، عملیات ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل ACCESS-ESM1-5 با استفاده از مدل آماری LARS-WG انجام گرفت. اعتبارسنجی مدل LARS-WG از طریق مقایسه بین داده‌های آماری مشاهداتی (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و داده‌های مدل‌سازی شده انجام شد. دوره مشترک (۱۹۹۱-۲۰۲۰) برای مقایسه بین مقادیر مشاهداتی دمای بیشینه، کمینه و بارش و مقادیر مدل‌سازی تعیین شد.

به‌منظور ارزیابی مدل از معیارهای آزمون خطا استفاده شده است. مقایسه مقادیر مدل‌سازی و مشاهده‌ای برای سه ایستگاه سینوپتیک آباده، شیراز و لار برای پارامترهای دمای بیشینه، کمینه و بارش در شکل ۲ ارائه شده است. ضریب تبیین (R^2) پارامتر دمای بیشینه برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ برآورد شده است که نشان از دقت مناسب مدل در ریزمقیاس‌نمایی دمای بیشینه دارد.

ضریب تبیین (R^2) پارامتر دمای کمینه نیز برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۶ برآورد شده است که نشان از دقت مناسب مدل در ریزمقیاس‌نمایی دمای کمینه دارد. ضریب تبیین (R^2) پارامتر بارش نیز برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۶۸ و ۰/۶۳ برآورد شده است که نشان می‌دهد، میزان دقت مدل‌سازی در پارامتر دمای بیشینه و کمینه به نسبت بارش مناسب‌تر بوده است.

نتایج مربوط به آماره‌های واسنجی برای ارزیابی مدل LARS-WG8 برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار در جدول ۳ آورده شده است. با نگاه اجمالی می‌توان برداشت کرد که مدل LARS-WG با دقت قابل قبول پارامترهای بارش، دمای بیشینه و کمینه را مدل کرده است. آماره‌های خطا نشان داد، مدل LARS-WG دقت بالاتری در بازتولید داده‌های دمای بیشینه و کمینه در سه ایستگاه مدنظر نسبت به بارش داشته است.

نتایج مربوط به آماره‌های واسنجی برای ارزیابی مدل LARS-WG8 برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار در جدول ۳ آورده شده است. با نگاه اجمالی می‌توان برداشت کرد که مدل LARS-WG با دقت قابل قبول پارامترهای بارش، دمای

بیشینه و کمینه را مدل کرده است. آماره‌های خطا نشان داد، مدل LARS-WG دقت بالاتری در بازتولید داده‌های دمای بیشینه و کمینه در سه ایستگاه مدنظر نسبت به بارش داشته است.

جدول ۳- مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل LARS-WG8
Table 3. The values of the LARS-WG6 model evaluation statistics

Station name	Abadeh		Shiraz		Lar	
Variable	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Rain	0.69	2.27	0.68	3.04	0.63	3.11
Tmin	0.98	0.31	0.96	0.38	0.96	0.41
Tmax	0.97	0.28	0.98	0.29	0.97	0.34

پس از اعتبارسنجی مدل LARS-WG برای سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 خروجی‌های مربوط به دمای بیشینه، کمینه و بارش به صورت روزانه استخراج شد و تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۵ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) محاسبه شد که در ادامه به تفکیک ایستگاه سینوپتیک ارائه شده است.

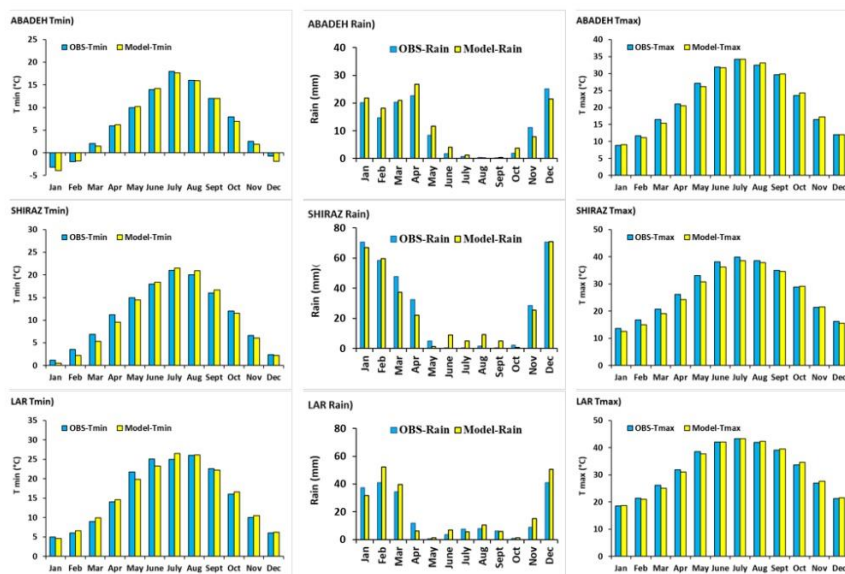
جدول ۴ میزان مقادیر بارش، دمای کمینه و بیشینه سه ایستگاه و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 آورده شده است. نتایج مربوط به ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل ACCESS-ESM1-5 نشان از افزایش دمای کمینه و بیشینه در هر سه ایستگاه و هر سه سناریو است. میزان افزایش دمای بیشینه استان فارس (متوسط سه ایستگاه سینوپتیک) از ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد دوره پایه به ترتیب طبق سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ۲۷/۸، ۲۸/۱ و ۲۸/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است.

میزان افزایش دمای کمینه استان فارس (متوسط سه ایستگاه سینوپتیک) از ۱۱ درجه سانتی‌گراد دوره پایه، به ترتیب طبق سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ۱۲/۲، ۱۲/۳ و ۱۲/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. بنابراین هرچه روند از سناریوی SSP126 به سمت سناریوی SSP585 باشد، میزان افزایش دما شدت خواهد گرفت.

پس از اعتبارسنجی مدل در فرایند ریزمقیاس‌نمایی، مقادیر مربوط به میزان دمای بیشینه، کمینه و بارش برای سه ایستگاه سینوپتیک آباده، شیراز و لار برای یک دوره سی ساله (۲۰۲۶-۲۰۵۵) به صورت روزانه استخراج شد. از بسته RCLimindex در نسخه ۴.۴.۲ نرم‌افزار R (<https://www.r->)

داری شیب برآورد شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد. نتایج نشان داد، شاخص تعداد روزهای یخبندان (FD) در هر سه ایستگاه و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 در سطح اطمینان ۹۵ درصد روندی معنی‌دار و نزولی (با توجه به منفی بودن شیب خط سن برآورد شده) داشته است. بنابراین در آینده نزدیک تعداد روزهای یخبندان در استان فارس روندی کاهشی خواهد داشت.

به منظور استخراج ۱۴ شاخص فرین اقلیمی (project.org) استفاده شد. شاخص فرین اقلیمی برای بازه ۳۰ ساله دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) به صورت سالانه به منظور تعیین روند با استفاده از آزمون من کندال و شیب خط سن استخراج شد. در جدول ۵، میزان شیب خط سن ۱۴ شاخص فرین دمایی و بارشی طبق هر سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 و دوره پایه ارائه شده است. اعداد ضمیمه شده در جدول ۴ نشان از معنی



شکل ۲- مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای بارش و دمای کمینه و بیشینه در سه ایستگاه آباد، شیراز و لار

Fig 2. Estimated and observational values of rainfall and minimum and maximum temperature in three stations of Abadeh, Shiraz and Lar

جدول ۴- تغییرات دمای بیشینه، کمینه و بارش دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) طبق سناریوهای SSP

Table 4. Changes in maximum temperature, minimum temperature and precipitation in the base period (1991-2020) and near future (2026-2055) according to SSP scenarios

Station	Scenario	Rain (mm)				Tmax (°C)				Tmin (°C)			
		Basic period	SSP126	SSP245	SSP585	Basic period	SSP126	SSP245	SSP585	Basic period	SSP126	SSP245	SSP585
Abadeh	Winter	58.6	76.1	73.6	71.3	10.7	11.7	12.0	12.4	-2.5	-1.5	-1	-1
	Spring	51.4	55.7	51.9	51.5	20.7	21.3	22.7	22.8	6.0	7.6	7.8	7.8
	Summer	2.8	2.4	2.6	2.3	33.0	34.2	33.8	34.5	15.9	17.3	17.0	17.4
	Autumn	13.3	15.9	12.2	17.8	23.8	24.4	24.7	24.8	6.9	7.8	7.9	8.5
	Annual	126.0	150.0	140.2	142.9	22.1	22.9	23.3	23.6	6.6	7.8	7.9	8.1
Shiraz	Winter	194.4	162.5	179.8	179.9	14.3	15.5	15.9	16.4	1.6	2.4	2.8	2.6
	Spring	85.3	111	101.4	99.8	24.7	26.7	27.1	27.3	9.8	11.6	11.9	11.9
	Summer	2.5	2.8	2.5	2.5	37.6	38.9	38.5	38.9	20.3	21.8	21.5	21.8
	Autumn	30.6	38	23.6	28.3	28.4	28.4	28.7	28.8	11.4	12.0	12.2	12.3
	Annual	312.8	314.3	307.2	310.5	26.3	27.4	27.6	27.8	10.8	11.9	12.1	12.2
Lar	Winter	116.3	134.8	161.3	153.6	20.4	21.4	21.8	22.0	5.7	7.0	7.4	7.8
	Spring	46.7	74.4	83.6	67.5	31.3	33.0	33.4	33.5	14.8	16.8	17.2	17.1
	Summer	18.8	19.8	24.0	25.3	42.6	43.8	43.7	43.9	25.3	26.7	26.6	27.9
	Autumn	16.1	18.5	17.4	17.9	33.9	34.1	34.4	34.7	16.4	16.8	16.9	17.3
	Annual	197.9	247.5	286.2	264.2	32.0	33.1	33.3	33.5	15.6	16.8	17.1	17.5
Average of three stations		212.2	237.3	244.5	239.2	26.8	27.8	28.1	28.3	11.0	12.2	12.3	12.6

برآورد شده) و معنی‌دار برآورد شده است. بیشترین شیب برآورد شده در شاخص تعداد روزهای تابستانی (SU25) مربوط به ایستگاه لار و سناریوی SSP585

شاخص تعداد روزهای تابستانی (SU25) نیز در هر سه ایستگاه و سه سناریو در سطح اطمینان ۹۵ درصد روندی صعودی (با توجه به مثبت بودن شیب خط سن

سینوپتیک شیراز فقط طبق سناریوی SSP585 روندی معنی‌دار و صعودی برآورد شده است.

دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) نیز در دو ایستگاه آباده و شیراز با شیب بسیار کندی روند کاهشی داشته است. در ایستگاه آباده نیز طبق SSP126 دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما با شیب ملایمی افزایشی برآورد شده است. شاخص بیشینه بارش یک‌روزه (RX1day) تنها در ایستگاه سینوپتیک شیراز و سناریوی SSP585 روندی صعودی و معنی‌دار داشته است. پنج‌روزه (RX1day) نیز تنها در ایستگاه سینوپتیک شیراز و سناریوی SSP585 روندی صعودی و معنی‌دار داشته است.

شاخص شدت روزانه بارش (SDII) نیز تنها در ایستگاه سینوپتیک شیراز و سناریوی SSP585 روندی صعودی و معنی‌دار داشته است. شاخص روزهای بارش سنگین (R10) و خیلی سنگین (R20) نیز در ایستگاه سینوپتیک شیراز و سناریوی SSP585 روندی صعودی و معنی‌دار داشته است. شاخص روزهای خشک متوالی در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها و سناریوهای اقلیمی روند معنی‌دار نداشته است. روزهای تر متوالی (CWD) نیز در ایستگاه سینوپتیک آباده و طبق دو سناریوی SSP126 و SSP245 روندی صعودی و معنی‌دار برآورد شده است.

است. شاخص بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (TXx) در ایستگاه‌های آباده و شیراز طبق دو سناریوی SSP245 و SSP585 در سطح اطمینان ۹۵ درصد روندی صعودی و معنی‌دار برآورد شده است.

این شاخص در ایستگاه سینوپتیک لار طبق هر سه سناریو روندی صعودی و معنی‌دار برآورد شده است. شاخص بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (TNx) نیز در دو ایستگاه آباده و شیراز طبق دو سناریوی SSP245 و SSP585 روندی صعودی و معنی‌دار داشته است. شاخص بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (TNx) در ایستگاه لار طبق هر سه سناریو و دوره پایه روندی صعودی و معنی‌دار داشته است. شاخص کمینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (TXn) در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها و سناریوهای اقلیمی روندی نداشته است.

شاخص طول فصل رویش (GSL) در ایستگاه آباده طبق هر سه سناریو و دوره پایه روندی صعودی و معنی‌دار داشته است. یکی از دلایل وجود روند صعودی در ایستگاه سینوپتیک آباده را می‌توان وجود عامل محدودکننده دما با توجه به پایین بودن میانگین متوسط دمایی در این شهرستان است. بنابراین با گرم شدن دما می‌توان انتظار افزایش طول فصل رویش را داشت. شاخص طول فصل رویش (GSL) در ایستگاه

جدول ۵- آزمون من-کندال و شیب خط سن ۱۴ شاخص فرین اقلیمی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱)

Table 5. Mann-Kendall test and Sen's Slope of 14 climate extreme indices for the near future period (2026-2055) and the base period (1991-2020)

Station	Scenario	FD	SU25	TXx	TNx	TXn	GSL	DTR	RX1d ay	RX5d ay	SDII	R10 mm	R20 mm	CDD	CWD
ABADEH	Basic period	-0.74	0.58	-0.001	0.03	0.021	1.274	-0.022	-0.061	-0.28	-0.051	0.079	-0.007	0.023	-0.01
	SSP126	-0.46	0.289	0.014	0.006	0.003	0.55	0.002	-0.434	-0.17	-0.95	0.019	-0.055	-0.14	0.033
	SSP245	-0.48	0.312	0.062	0.05	0.008	0.466	-0.007	0.079	0.46	0.023	0.077	0.048	-0.207	0.037
	SSP585	-0.78	0.539	0.038	0.042	0.022	0.878	-0.011	0.185	0.55	0.048	0.075	0.038	0.08	0.028
SHIRAZ	Basic period	1.021	0.6	0.02	-0.017	0.083	-0.256	0.092	-0.316	-1.33	-0.095	-0.225	-0.053	-0.722	-0.05
	SSP126	-0.33	0.498	0.013	0.039	0.039	0.417	0.007	0.063	-0.18	0.049	0.048	0.021	0.103	0.009
	SSP245	-0.21	0.273	0.061	0.073	0.023	0.041	0.001	0.424	0.63	0.12	0.088	0.049	0.141	0.007
	SSP585	-0.55	0.44	0.036	0.078	0.042	0.302	-0.018	0.956	1.28	0.223	0.146	0.112	0.066	0.007
LAR	Basic period	-0.03	0.902	-0.001	0.052	0.036	0.066	-0.001	-0.973	-1.54	-0.026	-0.14	-0.073	-0.593	-0.052
	SSP126	-0.04	0.728	0.042	0.049	0.048	-0.002	0.011	-0.301	-0.67	0.057	0.016	0.001	-0.157	-0.034
	SSP245	-0.02	0.495	0.072	0.067	0.033	-0.002	0.007	-1.604	-2.48	-0.11	-0.052	-0.038	-0.21	-0.04
	SSP585	-0.03	0.838	0.055	0.072	0.059	-0.002	-0.009	-0.928	-1.62	-0.003	0.015	-0.015	-0.22	-0.034

* مقادیر ضخیم شده نشان از معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌دهد.

شاخص در نهایت به‌منظور آشکارسازی وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌های دو گروه (گروه اول: مقادیر شاخص‌های فرین دوره پایه، گروه دوم: مقادیر

پس از محاسبه ۱۴ شاخص فرین اقلیمی برای بازه ۳۰ ساله دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) به‌صورت سالانه و تعیین روند برای هر

دوره پایه استان فارس ۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته است.

نتایج نشان داد، اختلاف میانگین‌های دو گروه آینده نزدیک و دوره پایه شاخص بیشینه بارش یک‌روزه (RX1day) در هر سه ایستگاه و سه سناریو معنی‌دار و دارای روند صعودی است که به‌طور متوسط ۱۶/۵۹ میلی‌متر بیشینه بارش یک‌روزه استان نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیشینه بارش پنج‌روزه (RX1day) نیز فقط در ایستگاه لار و دو سناریوی SSP245 و SSP585 اختلاف معنی‌دار و مثبت بین دوره آینده نزدیک و دوره پایه برآورد شده است که برای ایستگاه لار ۲۵/۵۵ میلی‌متر افزایش بیشینه بارش پنج‌روزه نسبت به دوره پایه خواهد بود. شاخص شدت روزانه بارش (SDII) نیز در هر سه ایستگاه و سه سناریو اختلاف دوره آینده نزدیک و پایه معنی‌دار و دارای روند صعودی است که به‌طور متوسط برای استان ۳/۸۳ میلی‌متر بر روز، آینده نزدیک نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.

تعداد روزهای با بارش سنگین (R20) و روزهای با بارش خیلی سنگین (R20) نیز در دو ایستگاه آباد و لار، آینده نزدیک نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های دو گروه دوره آینده نزدیک و پایه در روزهای خشک متوالی (CDD) سه ایستگاه مشاهده نشده است. اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های دو گروه دوره آینده نزدیک و پایه در شاخص روزهای تر متوالی (CWD) در دو ایستگاه آباد و شیراز مشاهده شده که در هر ایستگاه در سال یک روز کاهش داشته است. به‌منظور بررسی وجود اختلاف معنی‌دار در دو گروه مقادیر شاخص‌های فرین اقلیمی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) از آزمون T مستقل استفاده شد؛ بنابراین در جدول ۵، اختلاف میانگین‌های ۱۴ شاخص فرین اقلیمی دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) ارائه شده است. مقادیر ضخیم شده نشان از معنی‌داری آزمون T مستقل وجود اختلاف در میانگین‌های دو گروه دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) و دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. مقادیر منفی نیز نشان از کاهش میانگین آینده نزدیک شاخص، نسبت به دوره پایه است.

شاخص‌های فرین دوره آینده نزدیک) با توجه به نرمال بودن نوع توزیع داده‌ها در هر یک از شاخص‌ها از آزمون T مستقل استفاده شد. آزمون T مستقل به‌منظور تعیین وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌های دو گروه شاخص‌های فرین اقلیمی دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) در نظر گرفته شد. در جدول ۶ مقادیر اختلاف میانگین‌های دو گروه آورده شده است. اعداد ضخیم شده نشان از معنی‌داری اختلاف میانگین آینده نزدیک شاخص، نسبت به دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. مقادیر منفی جدول ۶ نیز نشان از کاهش میانگین آینده نزدیک شاخص، نسبت به دوره پایه است. نتایج آزمون T مستقل نشان داد میانگین شاخص‌های تعداد روزهای یخبندان (FD)، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (TXx) و بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (TNx) در هر سه ایستگاه و سه سناریو نسبت به دوره پایه اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشته است.

با این تفاوت که تعداد روزهای یخبندان (FD) به‌طور متوسط (میانگین سه ایستگاه) آینده نزدیک نسبت به دوره پایه ۱۴ روز در سال کاهش داشته است. تعداد روزهای تابستانی (SU25) میانگین سه ایستگاه آینده نزدیک نسبت به دوره پایه ۲۰ روز در سال افزایش داشته است و بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه میانگین سه ایستگاه آینده نزدیک نسبت به دوره پایه ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه نیز ۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد در استان فارس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. اختلاف میانگین‌های شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در آینده نزدیک و دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ معنی‌دار بوده و ۱/۹۴ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. شاخص‌های طول فصل رویش (GSL) طبق سناریوهای SSP245 و SSP585 در ایستگاه آباد و سناریوی SSP245 در ایستگاه شیراز اختلاف معنی‌داری بین دوره آینده نزدیک و دوره پایه برآورد شده است و به‌طور میانگین طول فصل رویش چهار روز در سال افزایش خواهد داشت. دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) دوره آینده نزدیک نسبت به

جدول ۶- نتایج آزمون تی مستقل برای بررسی اختلاف در میانگین‌های دو گروه آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) و دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) مربوط به ۱۴ شاخص فرین اقلیمی در سطح اطمینان ۹۵ درصد

Table 6. Results of independent t-test to study the difference in the means of the two groups of the near future (2026-2055) and the base period (1991-2020) related to 14 climate extreme indicators, at a confidence level of 95 percent

Station	Scenario	FD	SU25	TXx	TNx	TXn	GSL	DTR	RX1day	RX5day	SDII	R10mm	R20mm	CDD	CWD
ABADEH	SSP126	-22	19	2.27	1.99	1.81	7	-0.12	8.76	0.85	3.03	2	1	-12	-1
	SSP245	-25	22	2.34	2.16	1.91	10	-0.16	13.8	7.01	3.6	3	1	-13	-1
	SSP585	-28	24	2.46	2.44	2.11	11	-0.25	14.43	7.95	3.78	3	1	-12	-1
	Average	-25	22	2.36	2.20	1.94	10	-0.18	12.33	5.27	3.47	2	1	-12	-1
SHIRAZ	SSP126	-12	13	2.18	2.44	0.47	1	0.02	7.5	-4.27	2.46	0	1	14	-1
	SSP245	-15	15	2.22	2.61	0.65	5	0.05	10.03	-2.5	3.3	1	1	15	-1
	SSP585	-16	16	2.42	2.98	0.86	3	0.22	15.11	5.2	4.37	1	2	14	-1
	Average	-14	15	2.27	2.68	0.66	3	0.10	10.88	-0.52	3.38	1	1	15	-1
LAR	SSP126	-3	21	1.85	1.9	1.12	1	-0.14	22.67	18.98	4.26	2	2	-6	0
	SSP245	-3	24	1.89	2.09	1.34	1	-0.23	29.08	30.58	4.82	2	2	-7	0
	SSP585	-3	26	2.16	2.47	1.56	1	-0.38	27.95	27.08	4.83	2	2	-7	0
	Average	-3	24	1.97	2.15	1.34	1	-0.25	26.57	25.55	4.64	2	2	-7	0
Average of three stations		-14	20	2.20	2.34	1.31	4	-0.11	16.59	10.10	3.83	2	2	-2	-1

* مقادیر ضخیم شده نشان از معنی‌داری اختلاف میانگین دو گروه در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

* مقادیر منفی نشان از کاهش میانگین آینده نزدیک شاخص، نسبت به دوره پایه است.

* واحد شاخص‌های FD, SU25, GSL, R10, R20, CDD و CWD "روز" / شاخص‌های TXx, TNx, DTR "درجه سانتی‌گراد" / شاخص‌های RX1day و RX5day "میلی‌متر" / شاخص SDII "میلی‌متر بر روز"

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم به‌عنوان یک چالش جهانی است که اثرات آن در مقیاس محلی و بر اساس ویژگی مکانی هر منطقه متفاوت است. همچنین بررسی رخدادهای فرین اقلیمی به‌دلیل پیامدهای سنگین آن بر بخش‌های مختلف، اقتصادی اجتماعی و کشاورزی در هر کشوری مورد توجه است امروزه ثابت شده است که تغییر شدت و فراوانی این رخدادهای به مراتب اثر مخرب‌تری نسبت به تغییر در متوسط شرایط اقلیمی بر روی سلامت انسان‌ها، واحدهای اجتماعی و سامانه‌های طبیعی خواهد داشت. رخدادهای حدی اقلیمی همچون امواج گرمایی، سیل، خشکسالی‌های پیایی آتش‌سوزی جنگل‌ها و بارش‌های سنگین رو به افزایش است، دارند. طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی نمایه‌های حدی اقلیمی عبارت‌اند از رخداد متغیرهای اقلیمی و آب و هوایی فراتر (فروتر) از یک حد آستانه در منطقه‌ای مشخص است (IPCC, 2013). در این پژوهش به‌منظور تحلیل روند وقوع رخدادهای فرین اقلیمی آینده نزدیک استان فارس از مدل ACCESS-ESM1-5 مربوط به گزارش ششم IPCC و آخرین سری انتشار سناریوهای اقلیمی (SSP) پس از ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل آماری LARS-WG در سطح ایستگاه استفاده شده است. سپس شاخص فرین اقلیمی (هفت شاخص دمایی

و هفت شاخص بارشی) برای دوره پایه و آینده نزدیک استخراج شد. نتایج مربوط به ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل ACCESS-ESM1-5 نشان از افزایش دمای کمینه و بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) نسبت به دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) در هر سه ایستگاه و هر سه سناریو می‌دهد.

مقادیر متوسط بارش نیز در ایستگاه شیراز نزولی و در دو ایستگاه آباد و لار افزایشی پیش‌بینی شده است. نتایج مربوط به پیش‌بینی‌های اقلیمی این پژوهش هم سو با نتایج (Eyni Nargeseh et al., 2016) و (Haghighi et al., 2024) و (RezaeiChermahini et al., 2020) است. نتایج مربوط به تعیین روند در شاخص‌های اقلیمی نشان داد که وجود روند در شاخص‌های فرین دمایی به نسبت شاخص‌های فرین بارشی محسوس‌تر است. تعداد روزهای یخبندان (FD) دارای روند معنی‌دار نزولی و تعداد روزهای تابستانی (SU25)، بیشینه ماهانه دمای بیشینه روزانه (TXx) و بیشینه ماهانه دمای کمینه روزانه (TNx) در هر سه ایستگاه و سه سناریو نسبت به دوره پایه روندی صعودی و اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشته است. شاخص بیشینه بارش یک روزه (RX1day) نیز در هر سه ایستگاه و سه سناریو معنی‌دار و دارای روند صعودی است که به‌طور متوسط ۱۶/۵۹ میلی‌متر

بیشینه بارش یک‌روزه استان نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.

شاخص شدت روزانه بارش (SDII) نیز در هر سه ایستگاه و سه سناریو روندی معنی‌دار صعودی است که به‌طور متوسط برای استان ۳/۸۳ میلی‌متر بر روز، آینده نزدیک نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. در نهایت فراوانی وقوع شاخص‌های حدی گرم و بارش استان فارس بیشتر و فراوانی شاخص‌های حدی سرد کمتر شده است. بنابراین در دهه‌های آینده، تغییر اقلیم و تغییر در شاخص‌های فرین اقلیمی بر امنیت غذایی و آب اثر خواهد گذاشت و شواهد محکمی مبنی بر اینکه کشورهای در حال توسعه متحمل فشار ناشی از پیامدهای زیان‌بار تغییر اقلیم می‌شوند، وجود دارند (IPCC, 2013). تغییر در فراوانی و شدت رویدادهای حدی آثار شدیدتری بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست آن نسبت به تغییر در متوسط اقلیمی در کوتاه مدت خواهد داشت.

برای مدیریت پدیده تغییر اقلیم در مجموع دو رویکرد سازگاری با تغییر اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان مطرح شده است که سازگاری با تغییرات اقلیمی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. روندیابی مؤلفه‌های آب و هوایی استان فارس بیانگر تغییر الگوی بارش، افزایش دمای میانگین و گسترش خشکسالی‌ها طی پنج دهه اخیر است که مؤید وقوع تغییر اقلیم است. بررسی

پیامدهای گسترده تغییرات اقلیمی بر بخش‌های مختلف کشور نظیر انرژی، امنیت غذایی و مهاجرت طی سالیان اخیر و سالیان آتی بیانگر ضرورت اقدام ملی در این حوزه است.

بررسی تجربیات جهانی نشان می‌دهد که سازگاری با تغییرات اقلیمی در حال تبدیل شدن به بخش معمول و ضروری در همه سطوح برنامه ریزی است. درحالی که براساس گزارش برنامه محیط زیست ملل متحد در سال ۲۰۲۲ ایران ازجمله معدود کشورهایی است که در سطوح راهبردی، سیاستی و برنامه‌ریزی اقدام چندانی برای سازگاری اقلیمی انجام نداده است. بنابراین لزوم لحاظ کردن روند تغییر اقلیم در اسناد و برنامه‌های توسعه و تدوین برنامه ملی سازگاری با تغییر اقلیم ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس به موجب همکاری‌های علمی و پشتیبانی، سپاسگزاری می‌نمایند.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع مورد استفاده

- Alijani, B., Roshani, A., Parak, F., Heydari, R., 2012. Trends in extreme daily temperature using climate change indices in Iran. *J. Geograph. Environ. Hazards* 1(2), 17-28 (in Persian). doi: 10.22067/geo.v1i2.18617
- Asadi Oskouei, E., Mortezaipoor, S., 2020. Study of climate change and extreme climate indicators of temperature parameters in Guilan Province. *Nivar* 44(110-111), 98-114 (in Persian). doi: 10.30467/nivar.2020.214952.1146
- Brown, B.G., Katz, R.W., 1995. Regional analysis of temperature extreme: spatial analogue for climate change, national center for atmospheric research, Boulder, Colorado. *J. Climate* 8, 108 pages.
- Chamberlain, M.A., Ziehn, T., Law, R.M., 2024. The southern ocean as the climate's freight train—driving ongoing global warming under zero-emission scenarios with ACCESS-ESM1. *Biogeosci.* 21(12), 3053-3073.
- Chen, H., Zhao, Y., Feng, H., Li, H., Sun, B., 2015. Assessment of climate change impacts on soil organic carbon and crop yield based on long-term fertilization applications in Loess Plateau, China. *Plant Soil* 390, 401-417. doi:10.1007/s11104-014-2332-1
- Darand, M., 2014. Analysis of variations in extreme temperature and precipitation in Oromieh indices as the signs of climate change. *J. Water Soil Conserv.* 21(2), 12-19 (in Persian).
- Esmaili, H., Roshani, A., Shakiba, A., Parak, F., 2019. Trend analysis of climate compound extreme indices in Iran. *J. Geograph. Environ. Hazards* 7(4), 89-110 (in Persian). doi: 10.22067/geo.v0i0.67984

- Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghighat, M., Nouri, O., 2016. Predicting The impacts of climate change on irrigated wheat yield in fars province using apsim model. *Electronic J. Crop Produc.* 8(4), 203-224.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E., 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Develop.* 9(5), 1937-1958. doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016, 2016.
- Fan, L., Chen, D., 2016. Trends in extreme precipitation indices across China detected using quantile regression. *Atmos. Sci. Let.* 17, 400-406.
- Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S., Ghaedi, Z., 2020. Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoreti. Applied Climatol.* 141, 1119-1133.
- Haghighi, P., Soleimanpour, S.M., Moradi, A., 2025. The effects of climate change on precipitation and temperature using SSP scenarios (case study: Fars Province). *Water Soil Manage. Modell.* 5(2), 199-218. doi:10.22098/mmws.2024.14691.1425 (in Persian).
- Hassan, Z., Shamsudin, S., Harun, S., 2014 Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoreti. Applied Climatol.* 116, 243-257.
- IPCC. 2013. Climate change 2007. The Physical Science Basis, A Contribution of Working Groups. I, to the forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon and the Core Writing Team (eds)". Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Iranshahi, M., Ebrahimi, B., Yousefi, H., Moridi, A., 2023. Investigating the effects of climate change on temperature and precipitation using Neural Network and CMIP6 (case study: Aleshtar and Khorramabad Stations). *Water Irriga. Manage.* 12(4), 821-845 (in Persian). doi: 10.22059/jwim.2022.346796.1009.
- Jones, P.D., Moberg, A., 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Clim.* 16, 206-223.
- Moghadas, P., Mahjoobi, E., Gharechelou, S., 2024. Prioritization of the CMIP6 general circulation models using multi-criteria decision-making methods in the Nekarood watershed. *Iran. J. Irriga. Drainage* 18(1), 15-25 (in Persian).
- Norooz-Valashedi, R., Bararkhanpour Ahmadi, S., Bahrami Pichaghchi, H., Mazloom Babanari, S., 2024. Forecasting the changes of temperature extreme indices in the area of Mazandaran Province under CMIP6 scenarios. *Water. Engin. Manage.* 16(2), 279-301 (in Persian). doi: 10.22092/ijwmse.2024.363859.2036
- O'Neill, B.C., Kriegl, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, Levy, K.M., Solecki, W., 2015. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environ. Change* 42, 169-180. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004
- Rahimzadeh, F., 2008. Investigation of changes in extreme precipitation indices of Iran. *Nivar* 30(59), 7-20 (in Persian).
- Revadekar, J.V., Kulkarni, A., 2009. The El Nino-Southern Oscillation and winter precipitation extremes over India. *Int. J. Climatol.* 92, 1111-1119.
- RezaeiChermahini, M., Yousefi, H., Mansouri, Z., Haghighi, P., 2020. Investigation of climate change occurrence and its impact on wheat growth (case study: Fars Province). *Iran. J. Ecohydrol.* 7(1), 1-15 (in Persian).
- Semenov, M.A., Barrow, E.M., 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Manual, Version 3.0.
- Sheykh Rabiee, M.R., Peyrowan, H.R., Daneshkar Arasteh, P., Akbary, M., Motamedvaziri, B., 2024. Investigating the effects of climate change using the results of the sixth report of the inter-state delegation on the amount of runoff and sediment yield. *Water. Engin. Manage.* 16(4), 550-570 (in Persian). doi: 10.22092/ijwmse.2024.365664.2062
- Shouquan Cheng, C.H., Cambel, M., Li, Q., Li, G.H., Day, N., Pengelly, D., Gingrich, S., Kalaassen, J., MacIver, D., Comer, N., Mao, Y., Thompson, W., Lin, H., 2008. Differential and combined impacts of extreme temperatures and air pollution on human mortality in south-central Canada. Part II: future estimates. *Air Qual. Atmos. Health* 1, 223-235.
- Stouffer, R.J., Eyring, V., Meehl, G.A., Bony, S., Senior, C., Stevens, B., Taylor, K.E., 2017. CMIP5 scientific gaps and recommendations for CMIP6. *Bullet. Americ. Meteorol. Soci.* 98(1), 95-105. Doi: 10.1175/BAMS-D-15-00013.1
- Varshavian, V., Khalili, A., Ghahreman, N., Hajjam, S., 2011. Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *J. Earth Space Physic.* 37(1), 169-179 (in Persian).

- Vatanparast Ghaleh Juq, F., Salahi, B., 2024. Evaluating the effects of climate change on droughts in the coming decades in aras basin under the CMIP6 Model. Water. Engin. Manage. 17(1), 44-63 (in Persian). doi: 10.22092/ijwmse.2024.364619.2040
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., 2005. Trends in the middle east climate extreme indices from 1950 to 2003. J. Geophys. Res. 110, D22104.