



Online ISSN: 2717-2325

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

journal homepage: <http://www.gsma.lu.ac.ir>



Research Paper

Spatiotemporal Analysis of Temperature Extremes in the Past and Future over Western and Southwestern Iran Using Observational Data and CMIP Models

Sara Gholamrezaei¹, Mehran Zand² ✉, Seyyed Jamaluddin Daryabari³

1. Department of Geography, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: sara.gholamrezaei@gmail.com
2. Corresponding author, Soil conservation and watershed management research institute, agricultural research, education and extension organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: m.zand@areeo.ac.ir
3. Department of Geography, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran. Email: jdaeyabari47@gmail.com

Article type:

Research Article

ABSTRACT

Article history:

Received: 25 July 2025;
Received in revised form:
12 September 2025;
Accepted: 13 October
2025
Available online: 10 June
2026

Keywords:

extreme climatic events,
CMIP6 models,
precipitation and
temperature, climate
adaptation

Objective: One of the most significant impacts of climate change is the alteration of the mean values of meteorological variables, which has led to substantial changes in their extreme characteristics. According to the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the frequency of temperature extremes increased in many regions of the world during the late twentieth century as a consequence of global warming, and the continuation of this trend throughout the twenty-first century is highly likely. Therefore, assessing future changes in cold and warm temperature extremes in Iran is of considerable importance.

Methods: In this study, cold and warm temperature extreme indices across Iran were analyzed to evaluate their future variations and trends in different regions of the country.

Results: The results indicated that future cold temperature extreme indices in Iran are expected to decrease, whereas warm temperature extreme indices are projected to increase. Furthermore, the increasing trend of warm extremes was found to be statistically significant for most indices across a substantial proportion of the country.

Conclusion: Global warming and the continuous rise in Earth's temperature are likely to reduce the occurrence of cold extremes while increasing the frequency and intensity of warm extremes in Iran. These changes may have far-reaching consequences for natural ecosystems, agriculture, urban infrastructure, public health, and other environmental and socio-economic sectors. Consequently, the development and implementation of effective climate change adaptation strategies are essential to mitigate potential adverse impacts.

1. Introduction

This study investigates changes in extreme temperature and precipitation events in western and southwestern Iran during the historical period (1988–2017) and the future period (2020–2060). The data used include daily observations from 30 synoptic stations provided by the Iranian

Meteorological Organization, as well as outputs from CMIP6 climate models. Using 26 extreme climate indices based on CCL/CLIVAR recommendations, temporal trends were analyzed through the Mann-Kendall test.

The results for the historical period indicate an increase in warm temperature indices—such as

Cite this article: Gholamrezaei, S., Zand, M., Daryabari, S.J. (2026). Spatiotemporal Analysis of Temperature Extremes in the Past and Future over Western and Southwestern Iran Using Observational Data and CMIP Models. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 7 (25), 233-249. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2069915.1117>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2069915.1117>

warm nights, warm days, and the number of summer days—and a decrease in cold temperature indices—such as cold days, cold nights, and frost days—suggesting a regional warming trend. In terms of precipitation, total annual rainfall and related indices have declined, although these downward trends were not statistically significant at many stations.

The evaluation of the CNRM-CM6-1 model shows that it performs well in simulating daily temperatures but has certain limitations in forecasting precipitation. Future projections under the ssp126 and ssp585 scenarios suggest that the upward trends in warm temperature indices and the downward trends in cold indices will continue, whereas precipitation extremes do not show a clear pattern of change.

These findings carry important implications for water resource management, agriculture, and climate adaptation policymaking, emphasizing the need for flexible and adaptive planning to cope with future warming and drought conditions.

2. Methodology

In this study, to investigate changes in extreme climatic events in western and southwestern Iran, observational data on precipitation and temperature, along with outputs from CMIP model ensembles, were used to simulate these changes for the future period under two scenarios: RCP4.5 and RCP8.5. After collecting the data and conducting preliminary statistical analyses, extreme climate indices were calculated for both the baseline and future periods.

The trends of the indices were then assessed using the Mann-Kendall test and the Sen's slope estimator. Finally, spatial maps of the intensity, duration, and frequency of the indices were generated.

3. Results

The analysis of temporal changes in warm event indices in the region showed that, for most stations, warm indices such as warm nights, warm days, the number of summer days, and the number of tropical nights generally exhibit an upward, increasing trend.

The temporal changes in cold event indices indicated that, at most stations, cold indices such as cold days, cold nights, and the number of frost days generally show a decreasing trend.

A key takeaway from the overall assessment of warm and cold extreme indices is the dominance of a warming trend and the expansion of a hot and dry climate type across a larger portion of Iran.

The results of analyzing extreme cold and warm temperature indices suggest that cold extremes in

Iran are projected to decrease in the future, while warm extremes are expected to increase. The upward trend in warm extreme indices is statistically significant for most indices and across a considerable portion of the country.

4. Discussion

The characteristics of extreme events are among the major challenges identified by the World Climate Research Programme. Various studies have shown that the frequency and intensity of climate extremes have significantly increased over recent decades. As a result, growing attention has been paid to climate change in recent years due to the economic, social, and financial impacts associated with extreme weather events. This concern is particularly relevant for regions like Iran, which are located in mid-latitude zones with dry and semi-arid climates, making them inherently more prone to extreme temperature and precipitation events compared to other regions.

In light of these considerations, the present study aimed to investigate extreme temperature and precipitation events in western and southwestern Iran during both historical and future periods, based on projections from general circulation models (GCMs). To this end, 16 temperature-related extreme indices were used, including: the number of summer days (SU25), the number of tropical nights (TR20), warm days (TX90P), warm nights (TN90P), warm spell duration index (WSDI), monthly maximum of daily maximum temperature (TXx), monthly maximum of daily minimum temperature (TNx), number of frost days (FD), number of ice days (ID), cold days (TX10P), cold nights (TN10P), cold spell duration index (CSDI), monthly minimum of daily maximum temperature (TXn), monthly minimum of daily minimum temperature (TNn), diurnal temperature range (DTR), and growing season length (GSL).

Additionally, 11 precipitation-related extreme indices were analyzed, including: maximum 1-day precipitation (Rx1day), maximum 5-day precipitation (Rx5day), precipitation amount during the wettest 5 consecutive days in a month, simple daily intensity index (SDII), number of heavy precipitation days with daily rainfall ≥ 10 mm (R10mm), number of very heavy precipitation days with rainfall ≥ 20 mm (R20mm), number of extremely heavy precipitation days with rainfall ≥ 25 mm (R25mm), consecutive dry days (CDD), consecutive wet days (CWD), very wet days (R95p), extremely wet days (R99p), and total annual precipitation on wet days (PRCPTOT).

For this analysis, data were obtained from 29 synoptic stations across western and southwestern Iran with appropriate spatial distribution over a

shared 30-year statistical period. Additionally, precipitation and temperature data from CMIP6 multi-model ensembles were used for the historical period (1988–2017) and for future projections (2020–2060). The non-parametric Mann-Kendall method was employed to identify trends in extreme event occurrences.

5. Conclusion

The analysis of temporal changes in warm indices in the study area showed that, for most stations, warm indices such as warm nights, warm days, the number of summer days, and the number of tropical nights exhibited an overall increasing trend. The behavior of these indices is influenced by the region's geographic location, topography, and environmental conditions.

The temporal variation of cold indices indicated a general decreasing trend in indices such as cold days, cold nights, and the number of frost days at most stations. Changes in these indices across the region are largely affected by terrain and elevation. A key conclusion drawn from the overall analysis of warm and cold extreme indices is the dominance of a warming trend and the expansion of hot and dry climate types in the southern and southwestern parts of Iran.

The analysis of the frequency of precipitation extreme indices revealed a decreasing trend in annual total precipitation and daily precipitation extremes across various stations in the region. The results of precipitation extreme indices for the period 2020–2060 under the ssp126 and ssp585 scenarios indicated that, overall, no consistent trend is expected for these indices under either scenario.

The findings for extreme temperature indices showed that future cold extremes in the study area are projected to decrease, while warm extremes are expected to increase. This upward trend in warm extreme indices is statistically significant for most indices across a substantial portion of the region.

Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all authors (first, second, and third) have contributed equally and jointly. All stages of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest



تحلیل زمانی - مکانی رخدادهای فرین دمایی تاریخی و آینده غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و مجموعه مدل‌های CMIP

سارا غلامرضایی^۱؛ مهران زند^۲؛ سید جمال‌الدین دریاباری^۳

۱. گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: sara.gholamrezaei@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: m.zand@areeo.ac.ir

۳. گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: jdaeyabari47@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۴/۰۵/۰۳

تاریخ تجدیدنظر:

۱۴۰۴/۰۶/۲۱

پذیرش نهایی:

۱۴۰۴/۰۷/۲۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۳/۲۰

واژگان کلیدی:

روزهای تابستانی، روزهای یخبندان، شاخص‌های فرین، CMIP6، روند.

چکیده

هدف: یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم، تغییر در مقادیر میانگین متغیرهای هواشناسی است که موجب تغییرات قابل توجه در ویژگی‌های حدی این متغیرها شده است. بر اساس گزارش هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) فراوانی وقوع دماهای حدی در بسیاری از مناطق جهان در اواخر قرن بیستم به دلیل گرمایش جهانی افزایش یافته و تداوم این روند در قرن بیست‌ویکم نیز بسیار محتمل است. از این رو، بررسی وضعیت آینده فرین‌های دمایی سرد و گرم در ایران و ارزیابی روند تغییرات آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

روش: در این پژوهش، شاخص‌های فرین دمایی سرد و گرم ایران مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند و روند تغییرات آینده این شاخص‌ها در نقاط مختلف کشور ارزیابی شد.

نتایج: نتایج بررسی شاخص‌های فرین دمایی سرد و گرم نشان داد که شاخص‌های فرین سرد در آینده ایران روندی کاهشی خواهند داشت، در حالی که شاخص‌های فرین گرم روندی افزایشی از خود نشان می‌دهند. همچنین روند افزایشی شاخص‌های فرین گرم برای بیشتر شاخص‌ها و در بخش قابل توجهی از نقاط کشور از نظر آماری معنادار است.

نتیجه‌گیری: گرمایش جهانی و افزایش دمای کره زمین سبب کاهش رخدادهای فرین سرد و افزایش رخدادهای فرین گرم در ایران خواهد شد. این تغییرات می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای بر محیط‌زیست طبیعی، کشاورزی، زیرساخت‌های شهری، سلامت جامعه و سایر بخش‌های انسانی و اکولوژیکی کشور داشته باشند؛ بنابراین برنامه‌ریزی و اتخاذ راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم ضروری است.

استناد: غلامرضایی، سارا؛ زند، مهران؛ و دریاباری، سید جمال‌الدین (۱۴۰۵). تحلیل زمانی - مکانی رخدادهای فرین دمایی تاریخی و آینده غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و مجموعه مدل‌های CMIP. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۷ (۲۵)، ۲۴۹-۲۳۳.

<http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2069915.1117>



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2069915.1117>



۱. مقدمه

جامعه علمی کشور و عموم مردم است که می‌تواند نقش مهمی در مدیریت و کنترل پیامدهای ناشی از این رخدادها در سطح ایران زمین داشته باشد. امروزه به دلیل مشکلات ایجاد شده به دلیل تغییرات آب و هوایی، در مراکز تحقیقاتی دنیا تحقیقات زیادی در رابطه با اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب، خشکسالی، سیل، محیط زیست و ... در حال انجام است. [Rahimzadeh et al \(2008\)](#) روند شاخص‌های فرین دمایی ایران را طی دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳ بر اساس داده‌های ایستگاهی بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شاخص‌های حدی همچون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنه‌ی تغییرات شبانه‌روزی دما دارای روند کاهشی و شاخص‌های همچون روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم روند افزایشی دارند. [Rahimzadeh et al \(2008\)](#) با استفاده ۴ شاخص روزهای گرم، روزهای سرد، شب‌های گرم و شب‌های سرد دماهای فرین روزانه ۷ ایستگاه اרוگونه را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شب‌های سرد و روزهای سرد طی دوره مورد مطالعه دارای روند کاهشی است. بیشترین روند منفی مربوط به شب‌های سرد می‌باشد. در حالی که روزهای گرم و شب‌های گرم دارای روند افزایشی هستند. [Lucio et al \(2010\)](#) در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های حدی روزانه و شبانه طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه‌های هی چین را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های فرین سرد شامل؛ روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، روزهای سرد، امواج سرد و دامنه دمای شبانه‌روزی از روند منفی معناداری برخوردارند در حالی که نمایه‌های فرین گرم روزهای تابستانی، طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، شب‌های گرم، روزهای گرم و امواج گرم روند مثبت و معناداری دارند. [Wang et al \(2012\)](#) طی یک دوره ۴۴ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۴) مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه را در چند نمونه اقلیمی ایران بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای حداقل در تمامی صدک‌ها به جز صدک ۹۵، روند افزایش معناداری دارد. دمای حداکثر روزانه، به جز صدک یکم و تعداد روزهای بیشتر از صدک ۹۰، در سایر سری‌های زمانی، روند افزایشی دارند. دمای میانگین روندی مشابه با دمای حداقل دارد. [Shamsoddin & Mousavi-Baygi \(2014\)](#) تغییرات حدی دمای شهر مشهد را طی یک دوره ۶۰ ساله

تغییر اقلیم جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل فعالیت‌های بشری اثر قابل توجهی بر محیط طبیعی و انسانی جهان داشته است. یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم، تغییر در مقادیر میانگین متغیرهای هواشناسی است که تغییرات قابل توجهی در خصوصیات حدی متغیرهای هواشناسی ایجاد کرده است. بر اساس گزارش هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) فراوانی وقوع دماهای حدی در بسیاری از مناطق کره زمین در اواخر قرن بیستم به دلیل گرمایش جهانی افزایش پیدا کرده است و تداوم این روند در قرن ۲۱ نیز بسیار محتمل می‌باشد ([Allen & Ingram, 2002](#)). گرم شدن و ادامه روند افزایشی درجه حرارت کره زمین، عمدتاً از طریق رخداد بیشتر فرین‌های اقلیمی تأثیرات عمیقی در سراسر جهان بر جوامع انسانی، اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست دارد ([Field et al, 2012](#)). بخش قابل توجهی از مطالعات در حوزه تغییر اقلیم صرفاً در پی آشکار سازی روندهای پتانسیلی یا نوسانات در میانگین طولانی مدت متغیرهای اقلیمی می‌باشد؛ اما مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی نیز از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. با توجه به پیامدهای زیاد فرین‌های اقلیمی، هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم یک گروه متخصص از مرکز هدلی را برای درک تغییرات شدید اقلیمی تحت عنوان تیم تحقیقاتی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها، به منظور بررسی مشکلات ناشی از رویدادهای حدی و محاسبه شاخص‌های حدی سازمان‌دهی کرد ([Houghton et al, 2001, Peterson et al, 2002](#)).

فرین‌های اقلیمی در تمامی مناطق مختلف جهان رخداد دارند. با وجود این مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان در برابر پیامدهای آن‌ها آسیب‌پذیرتر هستند. رویدادهای فرین اقلیمی از جمله امواج گرما، امواج سرما، یخبندان، بارش‌های سیل‌آسا، خشکسالی‌های شدید و متوالی، پدیده گرد و غبار و ... از مهم‌ترین فرین‌های اقلیمی هستند که در قسمت‌های مختلف ایران با شدت و ضعف متفاوت رخ می‌دهند. این رخدادها می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر محیط‌زیست طبیعی (گیاهان، جانوران) و انسانی (کشاورزی، زیرساخت‌های شهری، بهداشت و سلامت جامعه) ایران زمین داشته باشد؛ بنابراین شناسایی رخدادها و فرین اقلیمی با بیشترین تکرار از نظر زمانی و مکانی در مناطق مختلف ایران طی دوره گذشته و آینده یکی از موارد مهم و مورد توجه پژوهشگران

اقلیمی در سایر ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کل کشور و یا وزارت نیرو برداشت نمی‌شود و یا در حال حاضر غیر فعال و یا تبدیل وضعیت شده‌اند، از این رو در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک حداکثر و حداقل دما طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ و حداکثر و حداقل دما مدل های CMIP6 طی دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۵۰ و حداکثر و حداقل دما مدل های CMIP6 طی دوره آینده ۲۰۱۴-۱۹۵۰ و مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۵۰ متر استفاده شده است.

در این پژوهش تغییرات رخداد‌های فرین اقلیمی در دوره تاریخی و آینده با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و مجموعه مدل‌های CMIP در غرب و جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

برای رسیدن به هدف پژوهش ترکیبی از روش‌های آماری و مدلسازی استفاده شد. در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی کل کشور، داده‌های روزانه دما ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های هدف از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۷ دریافت شدند. در ادامه پس از دریافت داده‌های ایستگاهی با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب ویژگی‌های کمی و کیفی داده‌ها کنترل شد. در این تحقیق ابتدا طول دوره آماری و نقص داده مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور نشان داد که در این منطقه تعداد ۸۸ ایستگاه سینوپتیک تاسیس شده است. با توجه به ماهیت پژوهش و اهمیت طول دوره آماری در مطالعات اقلیمی، پس از انجام کنترل فعالیت و طول دوره آماری ایستگاه‌ها، یک دوره مشترک ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) انتخاب شد. قابل ذکر است با توجه به اینکه طی این دوره مشترک برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک از طول دوره آماری مناسبی برخوردار نبودند، از این رو با استفاده از روش نسبت نرمال و در نظر گرفتن ایستگاه‌های اطراف، بازسازی داده‌ها برای زمان‌های فاقد آمار انجام شد. پس از بازسازی داده‌های ناقص طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منطقه غرب و جنوب غرب کشور تعداد ۲۹ ایستگاه به عنوان ایستگاه‌های منتخب برای بررسی شاخص‌های فرین انتخاب شدند. پس از انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه، آزمون ران تست (Run Test) برای تمامی ایستگاه‌ها و پارامترهای حداقل و حداکثر دما انجام شد. پس از بررسی ویژگی‌های داده‌ها و اطمینان از صحت آنها، ماتریس داده‌های روزانه حداقل دما و حداکثر دما برای هر یک از ایستگاه‌ها طی

(۱۹۵۱-۲۰۱۰) در مقیاس‌های مختلف زمانی با استفاده از شاخص‌های حدی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند افزایشی دمای حداقل سالانه ۲ برابر دمای حداکثر می‌باشد. در مقیاس فصلی نیز افزایش دما در کلیه فصل‌ها رخ داده است. آن‌ها همچنین نشان دادند که روند افزایشی دمای حداقل از سال ۱۹۸۵ بیشتر شده است (Barna et al 2016) روند رویدادهای حدی اقلیمی استان خوزستان را با استفاده از روش من کندال طی یک دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد روزهای با دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی دارد. همچنین مشخص شد که در روزهای با دمای حداقل ۲۱ درجه سانتی‌گراد در مناطق جنوب استان روند افزایشی دارد، اما بخش شمالی بدون روند و بخش شرقی دارای روند منفی است. Erfanian et al (2017) در پژوهشی به برآورد روابط فراوانی-تداوم-دوره بازگشت نمایه‌های فرین (حدی) اقلیمی در نقاط مختلف استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های روزانه ۲۲ ایستگاه همدید طی دوره ۳۰ ساله پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در یک دوره بازگشت خاص، فراوانی وقوع این روزهای یخبندان فرین در تداوم‌های بیشتر کاهش یافته و در تداوم‌های کمتر مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. این روند به طور کلی در سایر نمایه‌ها نیز مشهور است.

۲. روش تحقیق

در این تحقیق جهت بررسی تغییرات رخداد‌های فرین اقلیمی در غرب و جنوب غرب ایران از داده‌های مشاهده‌ای دما و مجموعه مدل‌های CMIP برای شبیه‌سازی این تغییرات در دوره آینده تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. پس از تهیه داده‌ها و بررسی‌های اولیه آماری، شاخص‌های حدی نیز برای دوره پایه و آینده محاسبه شدند. روند شاخص‌ها نیز با استفاده از روش من کندال و تخمین گر شیب سن تعیین شد. در نهایت نقشه‌های هم‌ارزش شدت، تداوم و فراوانی شاخص‌ها تهیه شدند.

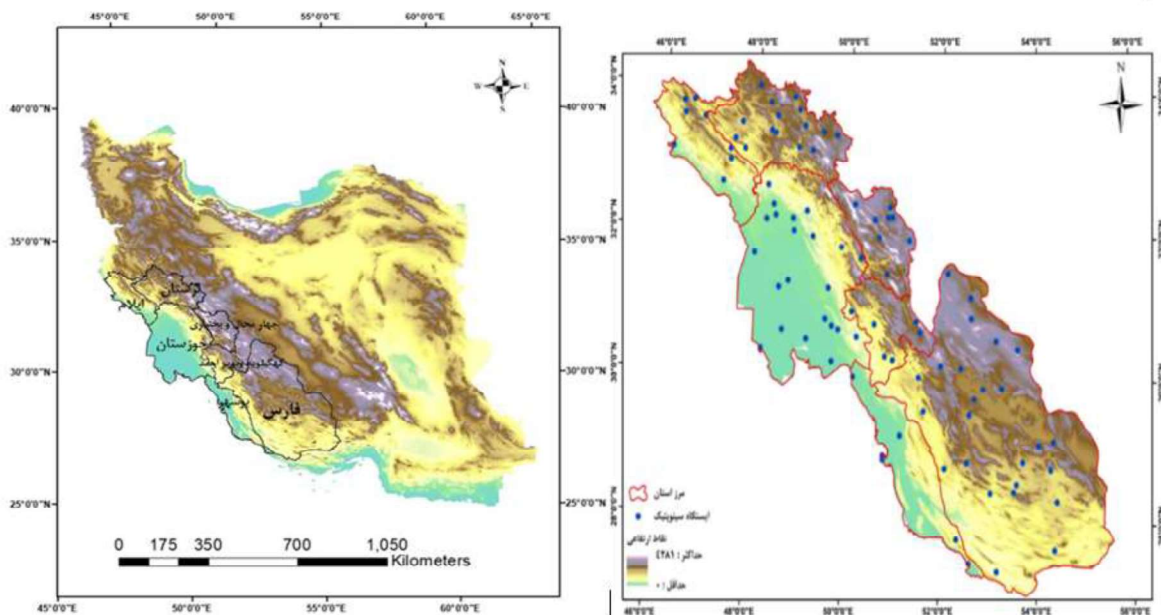
داده‌های مورد استفاده برای انجام این پژوهش دربرگیرنده داده‌های کل ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان‌های غرب و جنوب غرب کشور می‌باشد (شکل ۱). قابل ذکر است با توجه به اینکه تمامی پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌های فرین

دوره آماری مشترک تهیه شد. سپس با برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب شاخص‌های فرین دما برای ایستگاه‌های منتخب منطقه تحت مطالعه برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ محاسبه شدند. قابل ذکر است که در این تحقیق برای بررسی رخدادهای فرین از شاخص‌های حدی دمای توصیه شده از سوی گروه کارشناسی CCL/CLIVAR استفاده شده است (جدول ۱). هر چند استفاده از شاخص‌های حدی تعیین شده با محدودیت همراه است با وجود این مفید بودن این شاخص‌ها برای بررسی تغییرات اقلیمی و تعیین رویدادهای حدی اقلیمی در بسیاری از مطالعات انجام شده مورد تایید قرار گرفته است. پس از بررسی شرایط شاخص‌های حدی در سطح منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های ایستگاهی، به منظور بررسی شرایط شاخص‌های حدی آینده غرب و جنوب غرب ایران از داده‌های مجموعه مدل‌های CMIP6 استفاده شد. خانواده مدل‌های CMIP شامل ۴۹ مدل است که در این تحقیق از مدل‌های با قدرت تفکیک مکانی کمتر از ۰/۱ درجه جغرافیایی استفاده گردید. با این وجود به دلیل اطمینان از صحت داده‌های مدل‌های خانواده CMIP در برابر داده‌های مشاهداتی، دقت داده‌های مدل‌های منتخب در برابر داده‌های مشاهداتی قبل از محاسبه شاخص‌های حدی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ارزیابی داده‌های مدل‌های منتخب CMIP

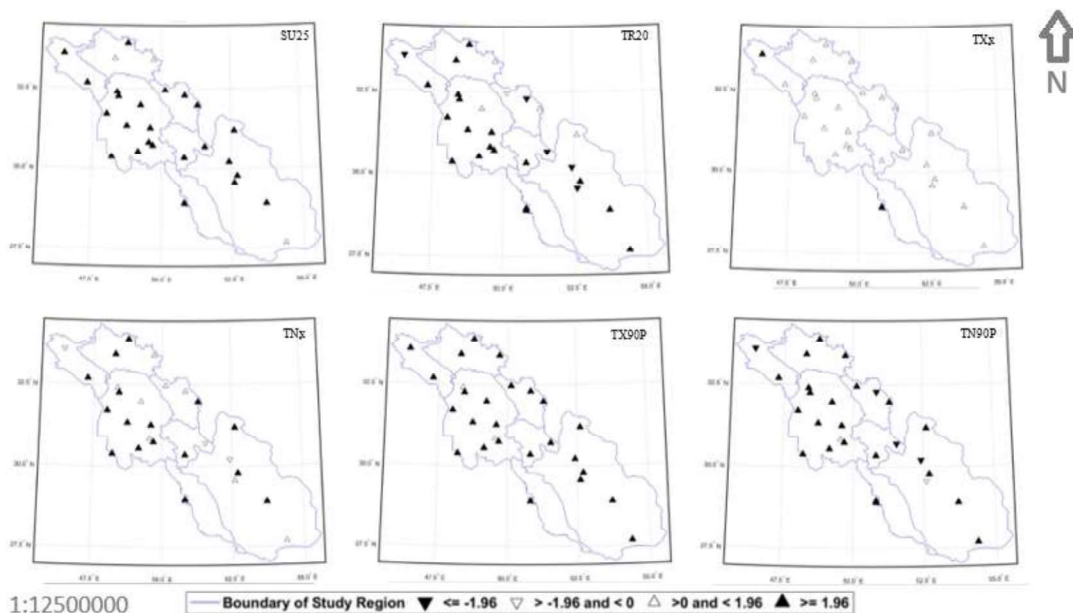
در برابر داده‌های مشاهداتی با استفاده از آزمون‌های آماری همبستگی (R)، ضریب تعیین (r^2)، مجذور میانگین مربع خطا (Rmse)، شاخص کارایی (EF)، شیب خط (SLOP) و شاخص توافق (IA) انجام گرفت. پس از ارزیابی داده‌های مدل‌های منتخب در دوره تاریخی، شاخص‌های حدی برای شرایط اقلیمی گذشته و آینده غرب و جنوب غرب ایران بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در محیط نرم‌افزار R محاسبه و روند و فراوانی آن‌ها طی دوره تاریخی و آینده بررسی خواهد شد. با توجه به اینکه یکی از فرضیات مهم این تحقیق بررسی افزایش یا کاهش روند این شاخص‌ها در آینده است، از این رو به منظور بررسی روند مقادیر این شاخص‌ها از آزمون‌های تخمین گر شیب سن و من کندال استفاده شد. در نهایت نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های CMIP6، نتایج محاسبه شاخص‌های حدی برای ایستگاه‌ها و نیز محاسبه شاخص‌های حدی بر اساس داده‌های مدل‌های منتخب CMIP6 به صورت نقشه، جدول و توزیع مکانی روند شاخص‌های حدی با استفاده از نرم‌افزاری GIS آفیس به صورت نقشه ارائه گردید.

جدول ۱- شاخص‌های حدی دمایی توصیه شده گروه کارشناسی CCL/CLIVAR و مورد استفاده در پژوهش

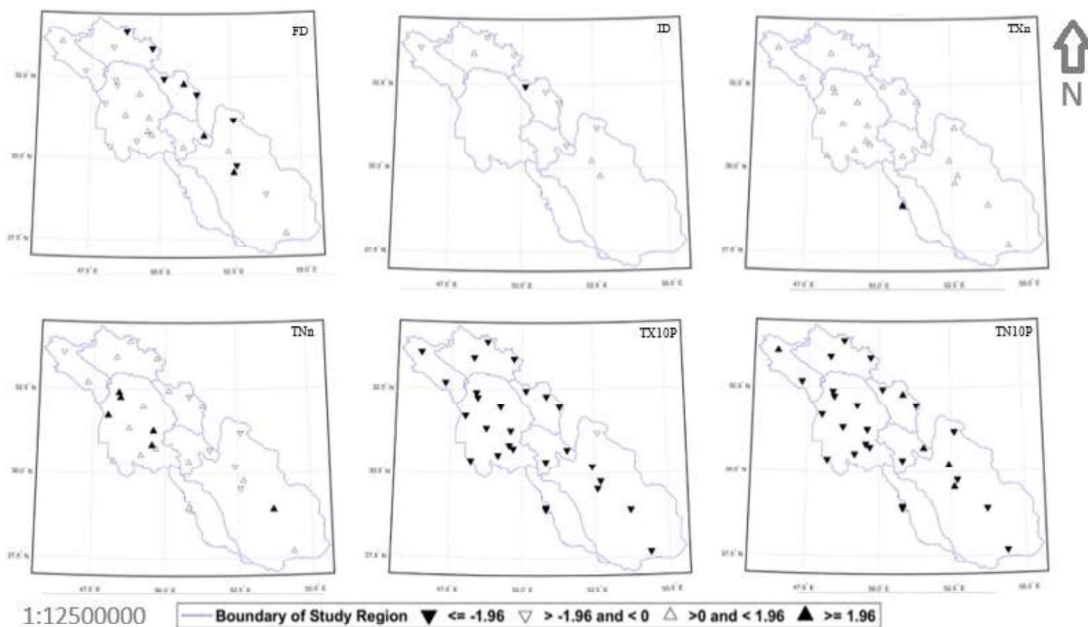
Index	Definition	Units
FD(Frost Days)	Number of days when $TN < 0^{\circ}C$ (Days when minimum temperature is below $0^{\circ}C$)	(days)
SU25(Summer days)	Number of days when $TX > 25^{\circ}C$ (Days when maximum temperature exceeds $25^{\circ}C$)	(days)
ID(Ice Days)	Number of days when $TX < 0^{\circ}C$ (Days when maximum temperature is below $0^{\circ}C$)	(days)
TR20(Tropical nights)	Number of days when $TN > 20^{\circ}C$ (Days when minimum temperature exceeds $20^{\circ}C$)	(days)
TXx(Max TX)	Warmest daily TX (Hottest day)	$^{\circ}C$
TNx(Max TN)	Warmest daily TN (Hottest night)	$^{\circ}C$
TXn(Min TX)	Coldest daily TX (Coldest day)	$^{\circ}C$
TNn(Min TN)	Coldest daily TN (Coldest night)	$^{\circ}C$
TX90 P(Amount of hot days)	Percentage of days when $TX > 90$ th percentile (Fraction of days with hot daytime temperatures)	(%)
TN90 P(Amount of warm nights)	Percentage of days when $TN > 90$ th percentile (Fraction of days with warm night time temperatures)	(%)
TX10 P(Amount of cool days)	Percentage of days when $TX < 10$ th percentile (Fraction of days with cool day time temperatures)	(%)
TN10 P(Amount of cold nights)	Percentage of days when $TN < 10$ th percentile (Fraction of days with cold night time temperatures)	(%)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. روند تغییرات شاخص‌های حدی گرم برای ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۷



شکل ۳. روند تغییرات شاخص‌های حدی سرد برای ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۷

منطقه مورد مطالعه در برگزیده هفت استان در غرب و جنوب غرب ایران است. کشور ایران در نیمه جنوبی طوقه معتدله نیمکره

۱.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

مساحت ۲۸۹۹۲۴ کیلومتر مربع، ۱۷/۶ درصد از کل مساحت کشور را در برمی گیرند. منطقه مورد نظر بین مدارهای ۲۷ درجه و ۰۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت منطقه پژوهش به تفکیک استان به همراه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در سطح منطقه را نشان می‌دهد.

است. در همه ایستگاه‌های منتخب منطقه روند مثبت معنادار به غیر از ایستگاه‌های دزفول و بندر ماهشهر برای شاخص TX90P مشاهده شد. ایستگاه بوشهر (فرودگاه) نیز تنها ایستگاهی است که روند مثبت فاقد معناداری برای آن ثبت شده است. محاسبه و بررسی شاخص طول مدت گرما (WSDI) در سطح منطقه برای تمامی ایستگاه‌های منتخب، مثبت بوده که تقریباً ۳۷ درصد آنها روند افزایشی معنادار نشان دادند. تنها ایستگاه دارای روند کاهشی، بوشهر (فرودگاه) است که روند آن معنادار نمی‌باشد.

شکل (۴) روند تغییرات حدی‌های حدی سرد ایستگاه‌های منتخب در غرب و جنوب طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. بر اساس شکل یاد شده، در یک نگاه کلی روند شاخص‌های حدی سرد کاهشی است به عبارتی دیگر فراوانی رخدادهای حدی سرد دمایی ایران کاهش یافته است. روند شاخص روزهای یخبندان (FD) همان‌طور که روی نقشه مشخص است در حالت کلی روند عمومی این شاخص عمدتاً کاهشی و در برخی ایستگاه‌ها نیز افزایشی است. این روند در ۳ ایستگاه شهر کرد، یا سوج و شیراز افزایشی معنادار و در ۶ ایستگاه بروجرد، الیگودرز، کوهرنگ، بروجن، آباد و زرقان کاهشی معنادار می‌باشد. میانگین نمرات شاخص Z من کندانال در منطقه ۰/۴۸- است، کمینه مقدار شاخص Z من کندانال برای ایستگاه کوهرنگ با ۳/۵۳- و بیشینه مقدار این شاخص برای ایستگاه شهر کرد ۳/۲۱ به دست آمد. مقادیر شاخص Z من کندانال نشان می‌دهد که فراوانی رخداد روزهای یخبندان و روند کاهشی یا افزایشی آن‌ها تحت تأثیر اختلاف ارتفاع است. بررسی شاخص روزهای یخی (ID) نیز نشان داد در حالت کلی روند این شاخص در برخی ایستگاه‌ها منفی و در برخی مثبت بوده ولی هیچکدام معنی‌دار نمی‌باشد.

شمالی قرار دارد و عبارتی دیگر بخش جنوبی آن در مجاورت مناطق جنوب استوایی واقع شده و متأثر از پدیده‌های این منطقه است که آنرا بطور بسیار محسوس از شمال کشور متمایز می‌سازد (Khalili, 1991).

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در برگیرنده استان‌های ایلام، لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، بوشهر و فارس در غرب و جنوب غرب ایران است. این استان‌ها با

۳. یافته‌های پژوهش

دوره مشاهداتی

شکل (۳) تغییرات شاخص‌های حدی گرم طی دوره مشاهداتی برای ۲۹ ایستگاه سینوپتیک غرب و جنوب غرب را طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ نشان می‌دهد. در حالت کلی، همان‌طور که روی شکل مشخص است براساس نتایج آماره Z آزمون من کندانال برای پهنه غرب و جنوب غرب شاخص‌های حدی با افزایش همراه هستند که این افزایش برای برخی از شاخص‌های حدی گرم در سطح قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه معنادار و جهت‌دار است و برای برخی از شاخص‌ها معناداری روند افزایش تنها در ایستگاه‌های محدودی از منطقه رخ داده است. بر اساس شکل (۳)، روند شاخص روزهای تابستانی (SU25) برای تمامی ایستگاه‌ها طی دوره مورد مطالعه از روند افزایشی و معنادار بوده ولی در برخی ایستگاه‌ها از جمله خرم‌آباد، الیگودرز و لار روند آن افزایشی معنادار نبوده است. طی دوره مورد مطالعه، روند شاخص شب‌های حاره‌ای (TR20) (دمای حداقل روزانه بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد) در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی معنادار و در ۱۶ ایستگاه کاهشی که ۵ مورد آن معنادار و یک مورد در ایستگاه کوهرنگ هم کاهشی بی‌معنا بود. یکی دیگر از شاخص‌های حدی گرم مورد بررسی شاخص بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx) است که بر اساس نتایج به‌دست آمده نشان داد که این شاخص همانند شاخص‌های دیگر حدی گرم با شیب قابل توجهی در حال افزایش است. بررسی روند شاخص TXx نشان داد که تمامی ایستگاه‌های منتخب دارای روند مثبت بدون معناداری می‌باشد و فقط در مورد ایستگاه‌های ایلام و بوشهر معنادار می‌باشد. روند شاخص‌های روزهای گرم (TX90P) با شیب معنی‌داری رو به افزایش

با روند افزایشی و معنادار مواجه خواهند شد. بررسی مقادیر شاخص‌های روزهای گرم و شب‌های گرم نشان داد که هرچند در حالت کلی روند این دو شاخص با افزایش همراه است با وجود این بیش از نیمی از نقاط مدل برای سطح غرب و جنوب غرب کشور در محدوده بین ۰ الی $1/96 \pm$ آزمون من کندال است که این مقدار بیان کننده عدم وجود روند در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است به طوری که از مجموع کل نقاط مدل برای روزهای گرم مقدار ۳۵ درصد دارای روند کاهشی ولی بدون معناداری در سطح خاصی و ۵۰ درصد دارای روند مثبت و بدون معناداری در سطح خاصی می‌باشند. برای شاخص شب‌های گرم نیز مقدار ۴۲ درصد در محدوده روند کاهشی بدون معنادار و ۵۰ درصد در محدوده روند افزایشی بدون معنادار قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که برای شاخص روزها و شب‌های گرم هر دو تنها به مقدار ۷ درصد دارای روند افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر هستند. همچنین شاخص روزهای گرم ۷ درصد نیز روند کاهشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر برخوردارند. بررسی مقادیر شاخص WSDI طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ تحت سناریو ssp126 نشان داد که ۷۱ درصد از نقاط مدل برای این شاخص از روند افزایشی بدون معناداری خاصی برخوردار خواهند شد و تنها ۲۸ درصد از نقاط مدل با روند افزایشی معنادار در سطح ۹۵ درصد همراه می‌شوند.

در جدول (۳) نتایج بررسی روند شاخص‌های حدی فرین دمایی گرم براساس سناریو بدینانه ssp585 طی دوره آینده مورد بحث (۲۰۶۰-۲۰۲۰) در سطح محدوده غرب و جنوب غرب کشور نشان داده شده است. به طور کلی می‌توان گفت که شاخص حدی دمایی گرم تحت سناریو ssp585 نیز همانند سناریو ssp126 در بیشتر سطح محدوده مورد مطالعه با روند افزایشی قابل توجهی برخوردارند زیرا روند تمام شاخص‌های حدی گرم براساس آزمون من کندال افزایشی و معنادار است. براساس مقادیر جدول (۳) تمام هفت شاخص دمایی گرم برای تمامی نقاط مدل CNRM-CM6-1 تحت سناریو ssp585 در پهنه غرب و جنوب غرب طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ با روند افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر همراه

متوسط شاخص Z من کندال این شاخص ۱/۱۳- است، بیشترین مقدار آماره Z من کندال ۰/۵۷ برای ایستگاه خرم آباد و کمینه آن برای ایستگاه کوه‌رننگ ۳/۱۲- می‌باشد. از نظر مکانی روند این شاخص در ۲۷ درصد ایستگاه‌های انتخابی مثبت است که در هیچ یک روند معنادار مشاهده نشد. سایر ایستگاه‌ها روند منفی داشتند و از میان آنها فقط در ایستگاه کوه‌رننگ روند معنادار وجود داشت. بررسی روند شاخص TXn نشان داد که روند این شاخص مثبت است که این روند مثبت از نرخ بالایی برخوردار نبوده و به جز ایستگاه بو شهر، معنادار نمی‌باشد. متوسط شاخص Z من کندال ۰/۸۳ است، بیشترین مقدار آماره Z من کندال ۲/۰۸ برای ایستگاه بو شهر و کمینه آن برای ایستگاه آباده ۰/۰۵- می‌باشد. در هیچ ایستگاهی روند منفی مشاهده نشد. بر اساس شکل (۴) روند شاخص (TNn) عمدتاً افزایشی و در برخی ایستگاه‌ها کاهشی است. روند مثبت به جز چند ایستگاه، در سایر قسمت‌ها معنی دار نمی‌باشد. میانگین نمرات شاخص Z من کندال این شاخص ۰/۹۲، بیشترین مقدار آماره Z من کندال ۲/۱۷ برای ایستگاه فسا و کمینه آن برای ایستگاه قائن ۱/۹۳- می‌باشد. از نظر مکانی روند این شاخص در ایستگاه‌های دزفول، بوستان، رامهرمز، امیدیه و فسا افزایشی معنادار است. روند کاهشی معنادار در هیچکدام از ایستگاه‌ها مشاهده نشده است. بررسی روند شاخص طول مدت سرما (CSDI) بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد که ۷۱ درصد ایستگاه‌ها روند این شاخص منفی و ۲۹ درصد دارای روند مثبت بودند که از این میان در ۳۸ درصد ایستگاه‌ها روند این شاخص منفی و معنادار و در ۲ ایستگاه شهرکرد و درودزن روند مثبت معنادار مشاهده گردید.

دوره آینده

براساس مقادیر جدول (۲) شاخص‌های SU25، TR20، TXx و TNx برای تمامی نقاط مدل CNRM-CM6-1 در پهنه غرب و جنوب غرب کشور طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ با روند افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر همراه خواهند شد. به عبارت دیگر طی دوره آینده تمامی این شاخص‌ها در قسمت‌های مختلف غرب و جنوب غرب کشور

مدل برای روزهای گرم مقدار ۵۰ درصد دارای روند کاهشی ولی بدون معناداری در سطح خاصی و ۳۵ درصد دارای روند مثبت و بدون معناداری در سطح خاصی می‌باشند. برای شاخص شب‌های گرم نیز مقدار ۴۲ درصد در محدوده روند کاهشی بدون معنادار و ۵۰ درصد در محدوده روند افزایشی بدون معنادار قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که برای شاخص روزهای گرم تنها ۱۴ درصد و برای شاخص شب‌های گرم تنها ۷ درصد دارای روند افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر هستند. بررسی مقادیر شاخص WSDI طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰ تحت سناریو ssp585 نشان داد که ۳۵ درصد از نقاط معناداری خاصی برخوردار خواهند شد و ۳۵ درصد از نقاط مدل نیز با روند افزایشی معنادار در سطح ۹۵ درصد همراه می‌شوند.

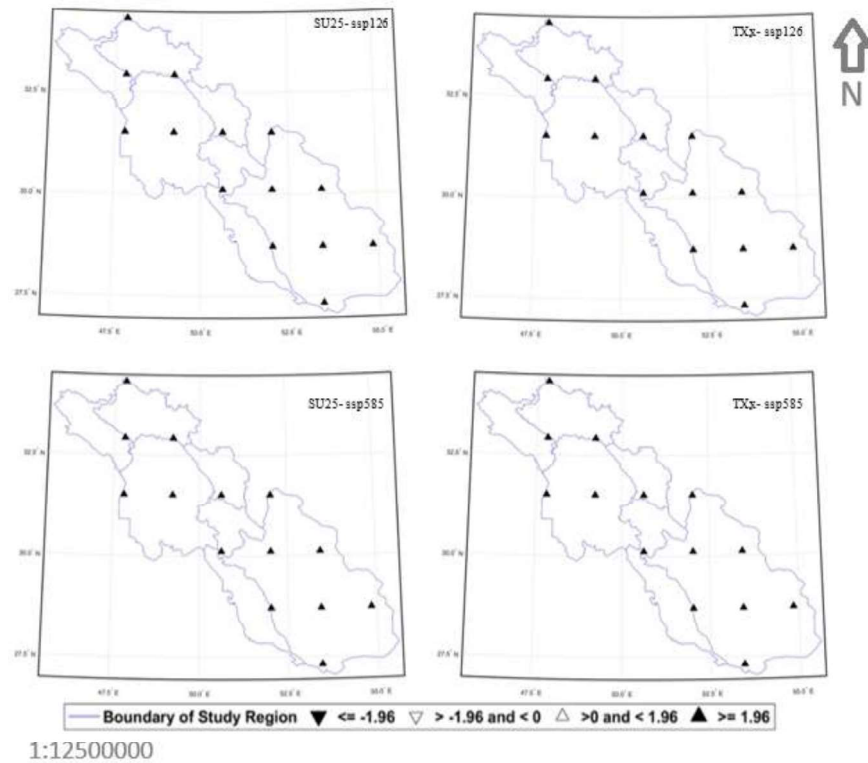
بالاتر همراه خواهند شد. به عبارت دیگر طی دوره آینده تمامی این شاخص‌ها در قسمت‌های مختلف غرب و جنوب غرب ایران با روند افزایشی و معنادار مواجه خواهند شد. بررسی مقادیر روند شاخص‌های SU25، TR20، TXx و TNx نشان داد که در حالت کلی این شاخص‌ها نیز طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰ در سطح غرب و جنوب غرب ایران با افزایش قابل توجهی همراه می‌شود چرا که ۱۰۰ درصد از سطح غرب و جنوب غرب کشور با روند افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر همراه می‌شوند. بررسی مقادیر شاخص‌های روزهای گرم و شب‌های گرم نشان داد که هرچند در حالت کلی روند این دو شاخص با افزایش همراه است با وجود این بیش از نیمی از نقاط مدل برای سطح غرب و جنوب غرب کشور در محدوده بین ۰ الی $\pm 1/96$ آزمون من کندیال است که این مقدار بیان‌کننده عدم وجود روند در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است به طوری که از مجموع کل نقاط

جدول ۲. درصد فراوانی شاخص‌های حدی دمایی گرم تحت سناریو ssp126 طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰

Index	≤ -1.96	> -1.96 and < 0	> 0 and < 1.96	≥ 1.96
SU25	0.00	0.00	0.00	1.00
TR20	0.00	0.00	0.00	1.00
TX90 P	0.07	0.35	0.5	0.07
TN90 P	0.00	0.42	0.50	0.07
TXx	0.00	0.00	0.00	1.00
TNx	0.00	0.00	0.00	1.00
WSDI	0.00	0.00	0.71	0.28

جدول ۳. درصد فراوانی شاخص‌های حدی دمایی گرم تحت سناریو ssp585 طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰

Index	≤ -1.96	> -1.96 and < 0	> 0 and < 1.96	≥ 1.96
SU25	0.00	0.00	0.00	1.00
TR20	0.00	0.00	0.00	1.00
TX90 P	0.00	5.0	0.35	0.14
TN90 P	0.00	0.42	0.50	0.07
TXx	0.00	0.00	0.00	1.00
TNx	0.00	0.00	0.00	1.00
WSDI	0.00	0.28	0.35	0.35



شکل ۴. روند تغییرات شاخص های حدی گرم آینده غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده های مدل CNRM-CM6-1 مبتنی بر سناریوهای ssp126 و ssp585 طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰

در جدول (۴) نتایج بررسی روند شاخص های حدی فرین سرد براساس سناریو خوشبینانه ssp126 طی دوره آینده مورد بحث در غرب و جنوب غرب کشور ایران نشان داده شده است. به طور کلی می توان گفت که شاخص حدی دمایی سرد تحت سناریو ssp126 در بیشتر سطح منطقه تحت مطالعه با روند کاهشی همراه هستند، چرا که روند بیشتر شاخص های حدی سرد براساس آزمون من کندال در محدوده منفی قرار گرفته است. براساس مقادیر جدول (۴) شاخص های FD و ID که به ترتیب بیان کننده روزهای یخبندان و روزهای یخی می باشد با کاهش فراوانی رخداد هر ماه شده اند. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می شود تعداد روزهای یخبندان برای ۹۲ درصد از سطح کشور با روند منفی است که البته ۲۸ درصد از نقاط دارای روند کاهشی معنادار و ۶۴ درصد دارای روند منفی ولی بدون معناداری در سطح خاصی می باشند. شاخص روزهای یخی (ID) نیز همانند شاخص FD است با این تفاوت که

شکل (۴) روند شاخص های روزهای تابستانی و بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه آینده غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده های مدل CNRM-CM6-1 مبتنی بر سناریو ssp126 و ssp585 طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ را نشان می دهد. همان طور که روی شکل یاد شده مشخص است روند بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه و روزهای تابستانی تحت هر دو سناریو طی در دوره آینده در غرب و جنوب غرب افزایشی

و معنادار در سطح پنج درصد است. با توجه به جدول (۴) از نظر مکانی سایر شاخص های فرین گرم نیز در سطح قابل توجهی از کشور افزایشی هستند که روند افزایشی این شاخص ها معنادار در سطح پنج درصد است. به عبارت دیگر می توان گفت که روند افزایشی شاخص های گرم برای آینده در سطح کشور فراگیر است.

برای این شاخص تنها یک درصد نقاط از روند منفی معنادار برخوردارند و ۶۴ درصد نقاط در محدوده بین ۰ الی $\pm 1/96$ آزمون من کندانال است که این مقدار بیان کننده عدم وجود روند در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است. بررسی مقادیر شاخص های کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) طی دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۶۰ تحت سناریو ssp126 نشان داد که مقادیر کمینه دمایی حداکثر و حداقل روزانه غرب و جنوب غرب کشور با افزایش همراه است که برای شاخص TXn در تمامی نقاط غرب و جنوب غرب کشور این افزایش رخ داده است و برای شاخص TNn در ۹۲ درصد از نقاط مدل برای غرب و جنوب غرب کشور روند افزایشی قابل مشاهده است. هر چند که کمینه های حداقل و حداکثر دمای روزانه در پهنه غرب و جنوب غرب کشور با افزایش همراه است، با وجود این افزایش رخ داده در سطح خاصی معنادار نمی باشد. نتایج بررسی شاخص های فرین سرد دمایی برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰ تحت سناریو ssp585 در جدول (۵) برای سطح غرب و جنوب غرب کشور نشان داده شده است. براساس مقادیر جدول (۵) شاخص روزهای یخبندان طی دوره آینده برای ۹۲ درصد از نقاط مدل در غرب و جنوب غرب کشور با روند کاهشی همراه خواهد شد که ۱۴ درصد نقاط دارای روند منفی بدون معناداری و ۷۸ درصد نقاط دارای روند منفی و معنادار در سطح ۹۵ درصد می باشند. طی دوره مورد بحث هیچ کدام از نقاط غرب و جنوب غرب کشور از روند مثبت برخوردار نخواهند شد. بررسی شاخص روزهای یخی (ID) در غرب و جنوب غرب کشور نشان داد که طی دوره آینده روند این شاخص نیز در عمدتاً منفی است چرا که ۵۶ درصد از نقاط مدل در غرب و جنوب غرب کشور از روند منفی برخوردارند. از مجموع نقاط دارای روند منفی، ۲۸ درصد در محدوده بین ۰ الی $-1/96$ آزمون من کندانال است که این دامنه بیانگر عدم معناداری

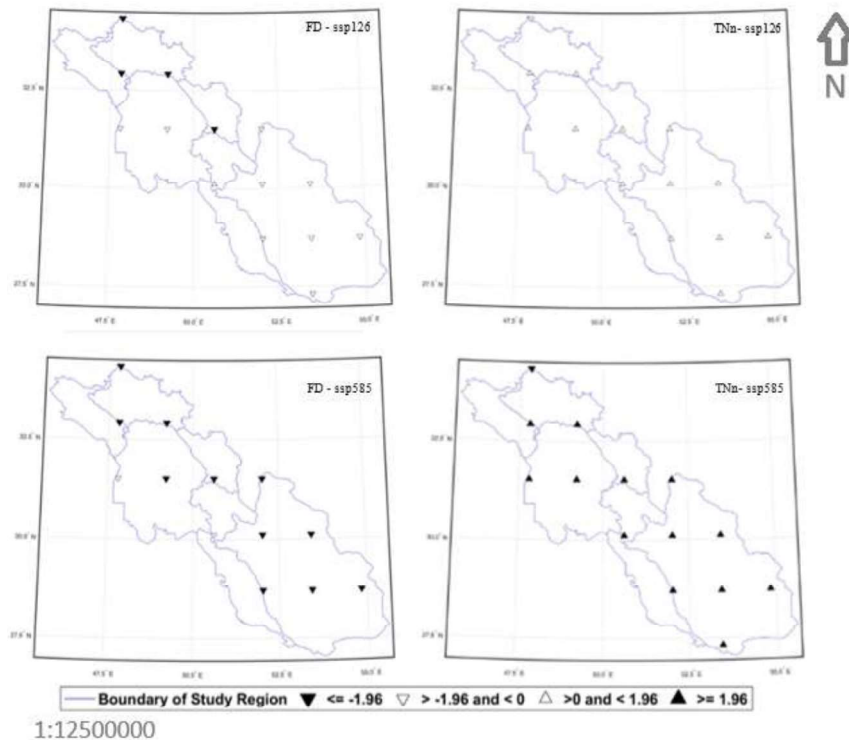
روند می باشد. روند منفی ۲۸ درصد دیگر نقاط مدل در سطح ۹۵ درصد معنادار است. برای این شاخص ۷ درصد نقاط مدل در کشور ایران دارای روند مثبت خواهند شد که این روند مثبت در سطح خاصی معنادار نمی باشد چرا که در محدوده بین ۰ الی $+1/96$ آزمون من کندانال هستند. برای شاخص روزهای یخی ۱۵ درصد نقاط مدل از هیچ گونه روند منفی یا مثبتی برخوردار نیستند. بررسی مقادیر درصد روزها و شب های سرد برای دوره آینده نشان داد که این دو شاخص از روند مشخصی برخوردار نمی باشند چرا که برای شاخص شب های سرد تمامی نقاط مدل و برای شاخص روزهای سرد ۹۷ درصد نقاط مدل تحت سناریو SSp585 در پهنه ایران در محدوده بین ۰ الی $\pm 1/96$ آزمون من کندانال است و که این محدوده بیانگر وجود روند افزایشی یا کاهشی بدون معناداری در سطح خاصی است. محاسبه و بررسی مقادیر شاخص های کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) طی دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۶۰ تحت سناریو ssp585 نشان داد که در حالت کلی مقادیر این دو شاخص که در واقع بیان کننده مقادیر حداقل دمایی غرب و جنوب غرب کشور هستند با افزایش همراه خواهد شد. براساس مقادیر جدول (۵) تمامی نقاط مدل برای شاخص در غرب و جنوب غرب کشور کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) طی دوره آینده با افزایش همراه خواهد شد که این روند افزایشی در سطح ۹۵ درصد معنادار است. برای شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) مقدار ۹۲ درصد نقاط از روند افزایشی معنادار در سطح ۹۵ درصد نیز از روند کاهشی معنادار در سطح ۹۵ درصد برخوردار خواهند شد. در حالت کلی می توان گفت که افزایش مقادیر کمینه دمایی بیانگر افزایش درجه حرارت و در مقابل کاهش فراوانی شاخص های فرین سرد است.

جدول ۴. درصد فراوانی شاخص‌های حدی دمایی سرد تحت سناریو ssp126 طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰

Index	≤ -1.96	> -1.96 and < 0	> 0 and < 1.96	≥ 1.96
FD	0.28	0.64	0.07	0.00
ID	0.00	0.64	0.00	0.00
TXn	0.00	0.00	1.00	0.00
TNn	0.00	0.07	0.92	0.00
TX10	0.00	0.07	0.85	0.07
TN10	0.00	0.07	0.71	0.21
CSDI	0.00	0.14	0.78	0.07

جدول ۵. درصد فراوانی شاخص‌های حدی دمایی سرد تحت سناریو ssp585 طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰

Index	≤ -1.96	> -1.96 and < 0	> 0 and < 1.96	≥ 1.96
FD	0.88	0.05	0.03	0.00
ID	0.35	0.42	0.08	0.00
TNn	0.05	0.01	0.05	0.88
TXn	0.00	0.00	0.72	0.28
TX10 P	0.00	0.21	0.77	0.03
TN10 P	0.00	0.14	0.86	0.00
CSDI	0.00	0.42	0.58	0.00



شکل ۶. روند تغییرات شاخص‌های حدی سرد آینده غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های مدل CNRM-CM6-1 مبتنی بر سناریوهای ssp126 و ssp585 طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت شاخص‌های فرین
دمای آینده غرب و جنوب غرب ایران از داده‌های مدل

۴. نتیجه‌گیری

تحت مطالعه در سطح خاصی معنادار نمی‌باشد. نتایج بررسی شاخص‌های فرین سرد دمایی طی دوره آینده (۲۰۶۰-۲۰۲۰) نشان داد که روند مقادیر شاخص‌های FD و ID که به ترتیب بیان‌کننده روزهای یخبندان و روزهای یخی می‌باشد با کاهش فراوانی رخداد همراه می‌شوند. براساس نتایج به دست آمده تعداد روزهای یخبندان از ۹۲ درصد با روند منفی همراه خواهد شد که البته ۲۸ درصد از نقاط دارای روند کاهشی معنادار و ۶۴ درصد دارای روند منفی ولی بدون معناداری در سطح خاصی می‌باشند. شاخص روزهای یخی (ID) نیز همانند شاخص FD است با این تفاوت که برای این شاخص تنها یک درصد نقاط از روند منفی معنادار برخوردارند و ۷۴ درصد نقاط در محدوده بین ۰ الی $\pm 1/96$ آزمون من‌کنندال است که این مقدار بیان‌کننده عدم وجود روند در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است. مقادیر شاخص‌های کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) و کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) تحت سناریو ssp126 نشان داد که روند مقادیر کمینه ماهانه دمایی حداکثر در تمامی نقاط منطقه تحت بررسی (۱۰۰ درصد) و روند مقادیر کمینه ماهانه حداقل دمای روزانه (TNn) در ۹۲ درصد از نقاط مدل برای پهنه غرب و جنوب غرب کشور ایران با افزایش همراه خواهند شد که البته افزایش رخ داده در سطح خاصی معنادار نمی‌باشد.

نتایج بررسی مقادیر شاخص‌های فرین گرم دمایی تحت سناریو ss585 نشان داد که در پهنه تحت مطالعه طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ همانند سناریو ssp126 شاخص‌های SU25، TR20، TXx و TNx برای تمامی نقاط پهنه تحت مطالعه تحت مطالعه با روند افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر همراه خواهند شد. نتایج محاسبه و بررسی روند مقادیر شاخص‌های روزهای گرم و شب‌های گرم نشان داد که بیش از نیمی از نقاط مدل برای منطقه در محدوده بین ۰ الی $\pm 1/96$ آزمون من‌کنندال است که این مقدار بیان‌کننده عدم وجود روند در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است. نتایج بررسی روند شاخص‌های فرین گرم از منظر مکانی نشان داد که روند این شاخص‌ها با شدت و ضعف متفاوتی در پهنه کشور با افزایش همراه می‌شود. به طوری که روند شاخص‌های SU25، TXx، TNx و TR20 برای تمامی نقاط کشور با روند

CNRM-CM6-1 برای دو سناریو ssp126 و ssp585 طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج بررسی شاخص‌های فرین دمایی سرد و گرم در حالت کلی نشان داد که شاخص‌های فرین سرد آینده با کاهش و شاخص‌های گرم فرین آینده غرب و جنوب غرب کشور با افزایش همراه خواهند شد که روند افزایشی مقادیر شاخص فرین گرم برای بیشتر شاخص‌ها و در سطح قابل توجهی از نقاط تحت مطالعه معنادار می‌باشد. یکی از نکات قابل توجه در بررسی مقادیر روند شاخص‌های فرین گرم و سرد از منظر مکانی عدم تابعیت رفتار شاخص‌های فرین دمایی سرد و گرم از موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی و محیطی مناطق مختلف غرب و جنوب غرب کشور است. چرا که براساس خروجی‌های مدل CNRM-CM6-1 برای دو سناریو ssp126 و ssp585 طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ روند شاخص‌های فرین گرم در مناطق با ارتفاعات زیاد و عرض جغرافیایی بالاتر در مقایسه با مناطق با ارتفاع و عرض جغرافیایی کمتر تفاوتی زیادی ندارد و رفتار روند در مناطق مختلف با ویژگی‌های جغرافیایی متفاوت با اختلاف کمی مشابه همدیگر می‌باشد. این شرایط برای شاخص‌های فرین سرد نیز قابل مشاهده است. قابل ذکر است که بخشی از این نتایج می‌تواند تحت تاثیر عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو باشد که نمی‌توانند شرایط محیطی و پیچیدگی‌های توپوگرافی مناطق مختلف را در مدلسازی‌های اقلیمی به خوبی در نظر بگیرند.

بررسی مقادیر شاخص‌های فرین گرم دمایی تحت سناریو ssp126 نشان داد که طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۰ در پهنه مورد مطالعه روند شاخص‌های SU25، TR2، TXx و TNx برای تمامی نقاط مدل CNRM-CM6-1 افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد و بالاتر همراه خواهند شد. برای شاخص طول مدت گرما (WSDI) مشخص شد که هر چند روند این شاخص نیز افزایشی است اما این روند افزایشی بدون معناداری می‌باشد و تنها روند افزایشی معنادار برای ۲۸ درصد از نقاط مدل رخ خواهد داد. شاخص درصد شب‌ها و روزهای گرم هر چند با روند افزایشی همراه هستند اما برای برخی از نقاط نیز روند کاهشی وجود دارد با این وجود روند افزایشی و کاهشی رخ داده برای این دو شاخص برای بیشتر قسمت‌های منطقه

در صد از نقاط مدل در پهنه ایران برای شاخص روزهای یخی نیز از روند منفی برخوردار می‌شوند. شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) برای تمامی نقاط با افزایش در سطح ۹۵ درصد و شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) برای ۹۲ درصد نقاط مدل در پهنه غرب و جنوب غرب کشور با روند افزایشی بدون معناداری در سطح ۹۵ درصد همراه خواهند شد.

افزایشی و معنادار در سطح ۹۵ درصد، شاخص WSDI و در منطقه غرب و جنوب غرب کشور با افزایش همراه خواهد شد که این افزایش در مناطق شمال غرب و غرب منطقه تحت بررسی در رشته کوه‌های زاگرس در سطوح ۹۵ درصد و بالاتر معنادار است. نتایج بررسی روند مقادیر شاخص‌های فرین سرد تحت سناریو ssp585 نشان داد که برای ۹۲ درصد از نقاط مدل در سطح کشور ایران روند شاخص روزهای یخبندان کاهش خواهد شد که ۱۴ درصد نقاط دارای روند منفی بدون معناداری و ۴۸ درصد نقاط دارای روند منفی و معنادار در سطح ۹۵ درصد می‌باشند. همچنین مشخص شد روند ۷۷

References

- Allen, M. R., & Ingram, W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature*, 419(6903), 224–232. <https://doi.org/10.1038/nature01092>
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., & Midgley, P. M. (Eds.). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (Eds.). (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press.
- Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). *Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001* (WCDMP-47, WMO-TD No. 1071). World Meteorological Organization.
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology*, 29(3), 329–343. <https://doi.org/10.1002/joc.1739>
- Lucio, P. S., Silva Dias, P. L., & Cardoso, A. O. (2010). Trends in extreme air temperature indices in Uruguay and southern South America.
- Wang, Y., Hu, Z., Yan, D., & Wang, G. (2012). Regional analysis of extreme temperature indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. *Advances in Climate Change Research*, 3(1), 33–38.
- Shamsoddini, M., & Mousavi-Baygi, M. (2014). Analysis of trends in extreme minimum, maximum and mean daily temperatures in climatic regions of Iran. [In Persian].
- Barna, G., Kaviani, M. R., et al. (2016). Investigation of extreme temperature changes in Mashhad during 1951–2010 at different temporal scales. [In Persian].
- Erfanian, A., et al. (2017). Trend analysis of climatic extreme events in Khuzestan Province using the Mann–Kendall test. [In Persian].
- Khalili, A. (1991). *Climatology of Iran*. Tehran: Payame Noor University Press. [In Persian].