



A Study of Climate Change in Iran Based on Shared Socioeconomic Pathways Scenarios

Vahid Safarian^{✉1}, Ahmad Fatahi Ardakani²

1. Corresponding Author, Assistant Professor of Climatology, Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: v.safarian@uok.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan, Ardakan, Iran. E-mail: fatahi@ardakan.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 10 september 2024

Revised: 22 November 2024

Accepted: 24 December 2024

Published: 21 November 2025

Keywords:

Climate Change,

Iran,

SSPs Scenarios,

CMIP6,

CanESM5.

ABSTRACT

The aim of the present study is to estimate climate change in Iran based on the CMIP6 report, using a satellite data approach and climatic variables (minimum temperature, maximum temperature, and precipitation) up to the year 2100. The tools employed in this study include innovative algorithmic methods, coding techniques, and NASA datasets. To assess and predict the aforementioned climatic variables, the intermediate scenario (SSP2-4.5) and the worst-case scenario (SSP5-8.5) of the Canadian CanESM5 model, which is based on greenhouse gas emissions (Shared Socioeconomic Pathways), were used. Additionally, for a better analysis, evaluation, and comparison of future climate changes in Iran, the 80-year study period was divided into two periods: the near future (2021–2060) and the far future (2061–2100). The results showed that for the first 40-year period (2021–2060), based on the SSP2-4.5 scenario, the changes in climatic variables, minimum temperature of 1.91 °C, maximum temperature of 1.41 °C, and maximum precipitation of 15.22 mm, were predicted. Moreover, for the second 40-year period (2061–2100), based on the SSP2-4.5 scenario, the changes in climatic variables, minimum temperature of 1.71 °C, maximum temperature of 1.17 °C, and maximum precipitation of 22.25 mm, were predicted. Based on the findings obtained from CMIP6 and using the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios in predicting climatic variables, the results indicated that the minimum and maximum temperatures exhibited an increasing trend, and this increase will be greater in the SSP5-8.5 scenario compared to the SSP2-4.5 scenario. Additionally, the results showed that the amount of precipitation based on the SSP2-4.5 scenario in the near future period will be lower than in the far future period, and the amount of precipitation in the SSP5-8.5 scenario will have a decreasing trend compared to the SSP2-4.5 scenario.

Cite this article: Safarian, V., Fatahi Ardakani, A., (2025). A Study of Iran's Climate Change with an Approach Based on Shared Socioeconomic Pathways Scenarios. *Journal of Geography and Planning*, 29 (93), 261-280. <http://doi.org/10.22034/gp.2024.63432.3304>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2024.63432.3304>

Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

The most important natural factors that can contribute to climate change are: changes in the earth's rotation components such as axial dance, precessional motion that occurs over long periods of time, changes in the amount of solar activity such as changes in solar panels that the amount of solar energy received in It adjusts the surface of the earth, which takes place over decades or years, changes and fluctuations such as Enso, Nao, etc., which result from the action and reactions between the atmosphere and the ocean, which are on a scale of several years or decades, volcanic explosions which can change the amount of energy received from the sun quickly and during a period of one or two years (Cicerone and Nurse, 2014: 11; Farajzadeh and Ghasemifar, 2018: 25-26). Human factors affecting climate change can be seen especially after the industrial revolution, as a result of which the amount of greenhouse gas emissions has increased greatly, and these factors have caused an increase in the temperature of the earth. In this context, the amount of carbon dioxide in the atmosphere was 280 ppm in the pre-industrial era, which reached 345 ppm in 1990 and 376 ppm in 1999 (IPCC-TGICA, 2007: 18; Farajzadeh and Ghasemifar, 2018: 26).

Materials and Methods

The present research is within the framework of the research and study of estimating and predicting the future climate change of Iran in the spatial scale of the country, located in the southwest of Asia and the Middle East with an area of 1648195 square kilometers in the geographical coordinates of 25° to 40° north latitude and 44° to 63° longitude. eastern became operational in the period of 80 years (2021-2100). In the above thematic, geographical and temporal framework, to investigate the amount of climatic elements effective in climate change (maximum temperature, minimum temperature and precipitation) by using the valid Canadian CanESM5 model based on intermediate (SSP2_4.5) and very worst-case (SSP5_8.5) scenarios. An innovative approach was used to estimate Iran's future climate prospects by using remote sensing data from the National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Results

The current research in the country's spatial, temporal and spatial section in the 80-year period between 2021 and 2100; To the study of Iran's climate change based on the CMIP6 report based on the emission of greenhouse gases with the approach of satellite data, forecasting and comparison of climatic elements (maximum temperature, minimum temperature and precipitation) using the statistical data and remote sensing of the National Aeronautics and Space Administration of America (NASA) based on intermediate scenarios SSP2_4.5 (according to the mentioned scenario, greenhouse gas emissions will be moderate and the amount of CO₂ will be in its current form until 2050, then it will decrease, but will not reach zero until 2100) and the very worst-case scenario SSP5_8.5 (Based on the mentioned scenario, the emission of greenhouse gases will be very high and the amount of CO₂ will triple by 2075) the CanESM5 model was used for the first forty-year period (2021-2060) and the second forty-year period (2061-2100), reviews and evaluations were accompanied by several findings that were mentioned in previous discussions. Parts of the main findings of the research can be presented in several axes, which are: The results obtained from the analysis and investigation of climate change in the country, in the first 40-year period (2021-2060) based on the intermediate scenario (SSP2-4.5) for predicting the minimum and maximum temperature and precipitation climatic elements, show that: the maximum The possible value of the climatic elements of the minimum temperature with a value of 13.24 °C, the maximum, maximum temperature with a value of 50.45 °C and the maximum climatic parameter of precipitation with a value of 15.22 with the unit of mm They were predicted for the future years studied in the first 40-year period. The results obtained

from the very worst-case scenario (SSP5-8.5) indicate that: the maximum possible value of the climatic elements is the minimum temperature with 13.38 °C, the maximum temperature with 50.93 °C and the highest the amount of precipitation as one of the studied climate elements with the value of 10.81 mm could be predicted for the next years of the research in the first 40 years period.

Conclusion

The findings obtained from the study and evaluation of Iran's climate change in predicting the minimum and maximum temperature and precipitation climatic elements based on the CanESM5 model and the intermediate scenario (SSP2_4.5) in the second 40-year period in the time period (2061-2100) indicate that the maximum possible value of the climatic elements is the minimum temperature with 16.19 °C, the maximum value of the temperature with 53.64 °C, and for the climatic parameter of precipitation, the maximum possible value is 22.25 mm in the second period of 40 years. The study was obtained for the years under review. If the results obtained from the very worst-case scenario (SSP5-8.5) for the climatic elements of minimum and maximum temperature

and precipitation indicate that: the maximum possible value obtained from the climatic elements of the minimum temperature with 20.97 °C, the maximum temperature with 57.46 °C and the maximum possible value of the precipitation climatic parameter with 9.63 mm were predicted for the next years studied in the second period of 40 years based on the mentioned scenario and model.



مطالعه تغییر اقلیم ایران با رویکرد سناریوهای مسیرهای مشترک اجتماعی و اقتصادی

وحید صفریان^{۱*}، احمد فتاحی اردکانی^۲

۱. نویسنده مسئول، استادیار اقلیم شناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: v.safarian@uok.ac.ir

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: fatahi@ardakan.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰

کلیدواژه‌ها:

تغییر اقلیم،

ایران،

سناریوهای SSPs،

CMIP6،

CanESM5.

هدف پژوهش حاضر برآورد تغییر اقلیم ایران براساس گزارش CMIP6 با رویکرد داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از عناصر اقلیمی (کمینه دما، بیشینه دما و بارش) تا سال ۲۱۰۰ است. ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل روش‌های نوآورانه الگوریتم، کدنویسی و داده‌های ناسا می‌باشد. برای ارزیابی و پیش‌بینی عناصر اقلیمی مذکور از سناریوی حدوسط (SSP2_4.5) و سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) مدل CanESM5 کانادا که مبتنی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (مسیرهای اجتماعی - اقتصادی مشترک) می‌باشد، استفاده شد. همچنین برای تحلیل، بررسی و مقایسه بهتر تغییرات اقلیمی آینده ایران بازه زمانی مورد مطالعه ۸۰ ساله، به دو دوره: آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) تقسیم شد. نتایج نشان داد که برای دوره ۴۰ ساله اول (۲۰۲۱-۲۰۶۰) براساس سناریوی SSP2_4.5، تغییرات عناصر اقلیمی کمینه دما ۱/۹۱ سانتی‌گراد، بیشینه دما ۱/۴۱ سانتی‌گراد و مقدار بیشینه بارش ۱۵/۲۲ میلی‌متر پیش‌بینی شدند. همچنین برای دوره ۴۰ ساله دوم (۲۱۰۰-۲۰۶۱) براساس سناریوی SSP2_4.5، تغییرات عناصر اقلیمی کمینه دما ۱/۷۱ سانتی‌گراد، بیشینه دما ۱/۱۷ سانتی‌گراد و مقدار بیشینه بارش ۲۲/۲۵ میلی‌متر پیش‌بینی شدند. با توجه به یافته‌های به دست آمده از CMIP6 و به کمک سناریوهای SSP2_4.5 و SSP5_8.5 در پیش‌بینی عناصر اقلیمی، نتایج نشان دادند که مقدار عناصر اقلیمی کمینه و بیشینه دما با روند افزایشی همراه بوده و این افزایش در سناریوی SSP5_8.5 نسبت به سناریوی SSP2_4.5 بیش‌تر خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که مقدار بارش براساس سناریوی SSP2_4.5 در دوره آینده نزدیک نسبت به دوره آینده دور کم‌تر خواهد بود و مقدار بارش در سناریوی SSP5_8.5 در مقایسه با سناریوی SSP2_4.5 روند کاهشی خواهد داشت.

استناد: صفریان، وحید؛ فتاحی اردکانی، احمد؛ (۱۴۰۴). مطالعه تغییر اقلیم ایران با رویکرد سناریوهای مسیرهای مشترک اجتماعی و اقتصادی. جغرافیا و برنامه‌ریزی،

۲۹ (۹۳)، ۲۶۱-۲۸۰.

<http://doi.org/10.22034/gp.2024.63432.3304>



© نویسنده‌گان.

شر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

مهم‌ترین عوامل طبیعی که می‌تواند در تغییر آب و هوا نقش داشته باشند عبارتند از: تغییر در مؤلفه‌های گردشی زمین مانند رقص محوری، حرکت تقدیمی که در دوره‌های زمانی طولانی مدت رخ می‌دهد، تغییر در میزان فعالیت‌های خورشیدی مانند تغییرات کلف‌های خورشیدی که مقدار انرژی خورشیدی دریافتی در سطح زمین را تنظیم می‌کند که در طی دهه‌ها و یا سال‌ها صورت می‌گیرد، تغییرات و نوسان‌هایی مانند پدیده‌ی انسو، نائو و... که در نتیجه‌ی عملکرد و واکنش‌های بین جو و اقیانوس پدید می‌آید که در مقیاس چندین سال یا دهه می‌باشند، انفجارات آتشفشانی که به صورت سریع و در طی یک دوره یک ساله و یا دو ساله می‌تواند مقدار انرژی دریافتی خورشید را تغییر دهد (سیسرون و نرژ، ۲۰۱۴: ۱۱؛ فرج‌زاده و قاسمی‌فر، ۱۳۹۸: ۲۵-۲۶، IPCC- 18: 2007, TGICA). عوامل انسانی تأثیرگذار در تغییر آب و هوایی به‌ویژه بعد از انقلاب صنعتی قابل مشاهده است که در نتیجه آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش زیادی پیدا کرده است و همین عوامل باعث افزایش دمای کره زمین گردیده است. تغییرپذیری اقلیم و تغییر آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر در قرن بیست و یکم است. بهترین روش پیش‌نمای رفتار اقلیم استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است. تغییر اقلیم از جمله عواملی است که به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر در متغیرهای اقلیمی می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل طبیعی و انسانی، موجب گرم شدن جو زمین شده و به تبع آن چرخه آب را تحت تأثیر جدی قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر توجه به تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن اهمیت زیادی پیدا کرده است که می‌توان آن را نتیجه پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت‌های مالی و جانی مربوط به رویدادهای فرین‌های اقلیمی دانست (احمدآبادی و صدیقی‌فر، ۱۳۹۷: ۱۰۳؛ فهیمی‌نژاد، ۱۳۹۸: ۲۷؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۸؛ IPCC^۲، ۲۰۱۳: ۲۱؛ حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۱؛ محمدپورخوئی و ناصری، ۱۴۰۱: ۱۳۲؛ حجازی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲: ۱).

تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های علمی و ژئوپلیتیکی عصر حاضر می‌باشد (کالینز^۳ و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). زمین از سال ۱۸۵۰ افزایش قابل توجهی از شدت گرما را در سطح منطقه و جهان تجربه کرده است (لی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲؛ اوزتورک^۵ و همکاران، ۲۰۱۸: ۲؛ وانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم تأثیر عمیقی بر محیط‌زیست (ایزوبه^۷، ۲۰۱۳: ۲؛ گومیرو^۸ و همکاران، ۲۰۱۸)، اقتصاد اجتماعی (میشرا^۹ و همکاران، ۲۰۱۰: ۲؛ لو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹) و سلامت انسان (باچینی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۳: ۲؛ جیانگ^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۵؛ لوو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹) دارد. میانگین دمای سطح جهانی در سناریوهای انتشار بدینانه در سال ۲۱۰۰ بین ۲/۶ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (اونوزوکا^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹، فنگ و چائو^{۱۵}، ۲۰۲۰). براساس اهمیت تغییر اقلیم و تغییرپذیری زمانی و مکانی عناصر اقلیمی تا زمان انجام تحقیق حاضر، پژوهش‌های زیادی توسط محققان متعددی با استفاده از روش‌های مختلفی صورت گرفته است. ورود در ادبیات موضوع پژوهش و کنکاش در پیشینه تحقیق دارای اهمیت زیادی می‌باشد. تحقیقات متعددی در پیش‌زمینه پژوهشی این تحقیق مورد مراجعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: کریمی‌احمدآباد و نبی‌زاده (۱۳۹۷) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز

^۱ Cicerone and Nurse^۲ Intergovernmental Panel on Climate Change^۳ Collins^۴ Li^۵ Ozturk^۶ Wang^۷ Isobe^۸ Gomiero^۹ Mishra^{۱۰} Lu^{۱۱} Baccini^{۱۲} Jiang^{۱۳} Luo^{۱۴} Onozuka^{۱۵} Feng and Chao

دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل (LARS-WG)، محمدعلیزاده و همکاران (۱۳۹۹) ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش در مناطق فاقد آمار مشاهداتی با استفاده از بسته نرم‌افزاری CCT مطالعه موردی: حوضه دریا، زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۹) پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس گردانی خروجی مدل HadCM3، عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) ارزیابی شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی، میرزایی و همکاران (۱۴۰۰) تغییرات اقلیمی حوضه آبریز زاینده رود، اکبری و صیاد (۱۴۰۰) تحلیل تغییر اقلیم در ایران، عساکره و همکاران (۱۴۰۰) تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین، پویان‌فر و همکاران (۱۴۰۱) روند تغییرات نیاز سرمایگی گیاه پسته و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل (SDSM) مطالعه موردی: یزد، سبحانی و صفریان (۱۴۰۲) آشکارسازی و برآورد تغییرات اقلیم سال‌های آتی ایران، وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۵) سیگنال تغییر آب و هوا و عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های مبتنی بر CMIP5 از ارتفاعات امواج سطحی اقیانوس‌های جهانی، هوانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۶) پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از SPI و EDI تحت سناریوهای RCP8.5 تغییر اقلیم برای حوضه رودخانه لنگات، مالزی، هوانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات آب و هوای سرزمین خشک: پیشرفت‌ها و چالش‌های اخیر، فیسسا^۴ و همکاران (۲۰۱۸) ریزمقیاس گردانی دما و بارندگی شدید در آدیس آبابا تحت تغییرات آب و هوا، راتوره^۵ و همکاران (۲۰۱۹) مدل‌سازی آسیب‌پذیری تکسیس والیچیان^۶ نسبت به سناریوهای تغییرات آب و هوایی در آسیای جنوب شرقی و ارلر^۷ و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رطوبت خاک و منابع آب زیرزمینی در منطقه تحت تأثیر دریاچه اقدام نمودند. محمدلو و همکاران (۱۳۹۵) اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات دما و بارندگی حوضه آبخیز باراندوزی چای آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو مورد مطالعه قرار دادند و به این یافته رسیدند که در دوره‌های آتی مولفه دما نسبت دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت. جهان‌بخش‌اصل و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با سناریوهای اقلیمی در حوضه‌ی شهرچای ارومیه اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که بارش در دوره‌ی آتی ۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. در حالی که دمای حداقل ۱/۰۵ و دمای حداکثر ۰/۸۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. میرشکاران و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه آبخیز قره‌سو، کرمانشاه پرداختند و به این یافته رسیدند که فصل تابستان و بهار به ترتیب بیش‌ترین مقدار افزایش دما را در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۴۴-۲۰۱۵) و آینده دور (۲۰۷۴-۲۰۴۵) برای هر دو سناریوی A2 و B2 خواهند داشت و فصل زمستان بیش‌ترین مقدار کاهش بارندگی را دارد. خیاط و همکاران (۱۳۹۹) پارامترهای دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در دشت بیرجند مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شبیه‌سازی مدل حاکی از افزایش درجه حرارت در دوره آتی می‌باشد. به گونه‌ای که بیش‌ترین افزایش دما (۱/۸۹) درجه سانتی‌گراد) و کم‌ترین میزان بارندگی (۰/۰۷ میلی‌متر) در ماه ژوئن مشاهده گردید. سرابی و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر وضعیت دما و بارش در حوضه آبخیز سد طرق مشهد مورد تحقیق قرار دادند نتایج مطالعه حاکی از یک روند سینوسی تغییرات مقدار بارش برای سناریوی SSP-8.5 در دوره‌های مختلف بود. این درحالی می‌باشد که مقدار بارش تحت سناریوی SSP1-2.6 برای دوره اول تغییرات قابل توجهی نداشته است. همچنین لی^۸ و همکاران (۲۰۲۰) برگشت‌ناپذیری تأثیرات تغییرات آب و هوایی دریایی تحت حذف دی‌اکسید کربن را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات در دمای سطح دریا، pH و اکسیژن محلول تا حد زیادی قابل برگشت هستند. سلیمی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی به عملکرد دی‌اکسید کربن پیت لند به سناریوهای تغییرات آب و هوایی آینده و مدیریت سطح آب اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که مدیریت سطح آب، بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد CO₂ تحت RCP 8.5 و RCP 4.5 داشت. بوکوفسکی^۹ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی

¹ Wang² Huang³ Huang⁴ Feyissa⁵ Rathore⁶ Taxus Wallichiana⁷ Erler⁸ Li⁹ Bukovsky

به سناریوهای تغییر کاربری زمین مبتنی بر SSP: یک عدم قطعیت بحرانی در پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم منطقه‌ای آینده اقدام کردند و به این یافته رسیدند که گرم شدن هوا در محیط شهری افزایش یافته است. شهرنشینی آینده هم‌چنین تأثیر زیادی بر پیش‌بینی بارش در طول تابستان، افزایش شدت طوفان، طول رویداد و مقدار کلی در مناطق شهری و کاهش بارش در مناطق اطراف را دارد. بونمن^۱ و همکاران (۲۰۲۱) به پیش‌بینی‌های مبتنی بر ویژگی اثرات تغییر آب و هوا بر توزیع‌های زیستی جهانی پرداختن و به این نتیجه رسیدند که بیش از ۷۰ تا ۷۵ درصد از توزیع فعلی جنگل‌های پهن برگ و مخلوط معتدل و علفزارهای معتدل به سمت شمال تغییر می‌کند. کاسترو^۲ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به مدل‌سازی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر کیفیت آب برای مخازن استوایی اقدام کردند و نتایج پیش‌بینی شده پژوهش نشان داد که در سناریوهای RCP افزایش تغییرات WQI^۳ را برای مقادیر دمای پایین‌تر به دست آمد (بهترین پیش‌بینی $WQI = 74$ ؛ بدترین پیش‌بینی $WQI = 71$) می‌باشد. نازارنکو^۴ و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات آب و هوایی آینده تحت سناریوهای انتشار SSP با GISS-E2.1 بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پروژه هر دو مدل جفت شده در عملکرد جریان واژگونی اقیانوس اطلس تا سال ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد. با توجه به مطالعات انجام شده مذکور اکثر پژوهش‌ها در مقیاس خرد منطقه‌ای و با استفاده از داده‌های اقلیمی ثبت شده از اداره هواشناسی براساس نرم‌افزارهای ریزمقیاس‌گردانی SDSM، LARS WG و غیره انجام شده‌اند که با توجه به کاربر بودن نرم‌افزارها توسط انسان‌ها و وجود خطای انسانی در محاسبه آماری و ریاضی و روند طولانی آن، در تحقیق حاضر از روش جدید الگوریتم و کد نویسی و استفاده از داده‌های اقلیمی ثبت شده در سازمان ناسا با بهره‌گیری از یک مدل معتبر اقلیمی CanESM5 کانادا برای پیش‌بینی عناصر اقلیمی استفاده شد. در پژوهش حاضر با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم با یک نگاه کلان منطقه‌ای و در برش فضایی کشور ایران در جنوب غرب آسیا و با استفاده عملیاتی از داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) در بازه زمانی دو دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) به به پیش‌بینی تغییر اقلیم ایران براساس گزارش CMIP6 با رویکرد داده‌های ماهواره‌ای پرداخته شد.

روش پژوهش

پژوهش حاضر در چهارچوب موضوعی پژوهش و مطالعه برآورد و پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده ایران در مقیاس فضایی کشور، واقع در جنوب‌غربی آسیا و خاورمیانه با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی 25° تا 40° درجه عرض شمالی و 44° تا 63° درجه طول شرقی در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) صورت عملیاتی به خود گرفت. در چهارچوب موضوعی جغرافیایی و زمانی مذکور به پیش‌بینی میزان عناصر اقلیمی موثر در تغییر اقلیم (بیشینه دما، کمینه دما و بارش) با به کارگیری مدل معتبر CanESM5 کانادا براساس سناریوهای حد وسط (SSP2_4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) با روش جدید و نوآورانه در پیش‌بینی چشم‌انداز اقلیم آینده ایران با به کارگیری داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا)^۵ پرداخته شد که در (شکل ۱) خلاصه مراحل تحقیق ارائه شد.

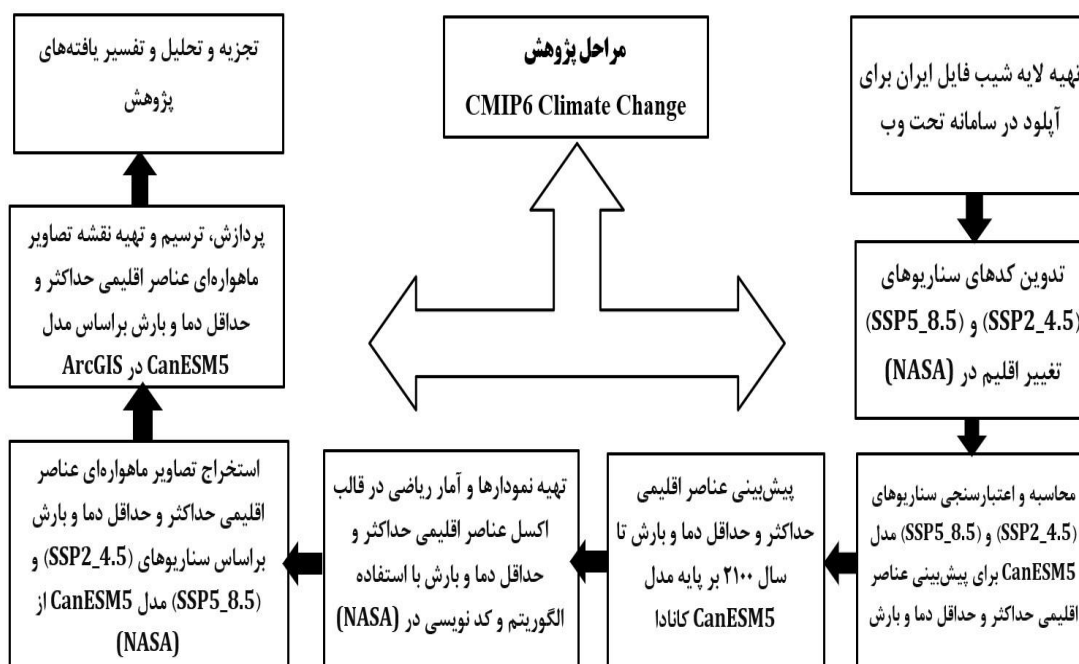
¹ Boonman

² Castro

³ Water Quality Index

⁴ Nazarenko

⁵ National Aeronautics and Space Administration (NASA)



شکل ۱. روش‌شناسی پژوهش

با توجه به مطالعاتی که در پژوهش حاضر در رابطه به روش‌ها و مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم تا زمان انجام تحقیق حاضر صورت گرفت اکثر پژوهش‌های صورت گرفته براساس نرم‌افزارهای ریزمقیاس‌گردانی مانند SDSM، LARS WG و Magicc Scengen انجام شده بودند. در پژوهش حاضر از روش و رویکرد نوآورانه با داده‌های به‌روز مدل‌های معتبر تغییر اقلیم سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) در سامانه متن باز تحت وب^۱ (Google Earth Engine) استفاده شد. این پایگاه داده ۳۴ مدل تغییر اقلیمی را پشتیبانی می‌کند که از بین آن‌ها در پژوهش حاضر با توجه بررسی مطالعات گوناگون انجام شده در پیشینه تحقیق برای دقت و صحت‌سنجی مدل‌های مختلف تغییر اقلیم در گزارش مختلف آب و هوایی از مدل معتبر CanESM5 کانادا براساس سناریوهای حد وسط (SSP2_4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) با الگوریتم و کدنویسی در پایگاه داده ناسا عناصر اقلیمی تاثیرگذار در تغییر اقلیم (بیشینه دما، کمینه دما و بارش) در بازه زمانی دو دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) محاسبه و برآورد شد. مجموعه داده NEX-GDDP-CMIP6 شامل پیش‌بینی‌های روزانه مدل‌های اقلیم CMIP6^۲ است که با روش BCSD^۳ (اصلاح انحراف سیستماتیک و تفکیک مکانی) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی GMFD^۴ اصلاح شده‌اند. این روش خطاهای سیستماتیک مدل‌ها را تصحیح کرده و داده‌ها را با رزولوشن ۰/۲۵ درجه ریزمقیاس می‌کند که مناسب مطالعات منطقه‌ای و کاربردهای عملی می‌باشد (مرکز شبیه‌سازی اقلیم ناسا، ۲۰۲۱). این کار توسط تیم توسعه‌دهنده مجموعه داده NEX-GDDP-CMIP6 در ناسا، اصلاح بایاس و اعتبارسنجی اولیه را در مقیاس جهانی انجام داده و این اعتبارسنجی‌ها به‌صورت پیش‌پردازش به داده‌های نهایی اضافه شده‌اند (ناسا، ۲۰۲۰). بعد از محاسبه و گرفتن خروجی مقادیر آماری عناصر اقلیمی بیشینه دما، کمینه دما و بارش براساس مدل و سناریوهای مذکور تصاویر ماهواره‌ای هر کدام از سناریوهای (SSP2_4.5 و SSP5_8.5) به صورت جداگانه در سال‌های پیش‌بینی با کدنویسی دریافت و تحلیل و بررسی شدند. مجموعه داده ناسا از سناریوهای آب و هوایی ریزمقیاس‌گردانی برای کره زمین تشکیل شده است که از مدل آب و هوای جهانی

^۱ Earthengine.google.com^۲ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6^۳ Bias Correction and Spatial Disaggregation^۴ Global Meteorological Forcing Dataset^۵ NASA Center for Climate Simulation^۶ NASA

(GCM^۱) اجرا شده از پروژه مقایسه مدل جفت شده تحت فاز ششم (CMIP6) می‌باشد (تیلور^۲ و همکاران، ۲۰۱۲)، و در دو مورد از پنج سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای که به عنوان مسیرهای اجتماعی و اقتصادی مشترک (SSPs^۳) شناخته می‌شوند (تراشر^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). کاربردهای مدل‌های گردش عمومی فاز ششم پروژه مقایسه مدل جفت شده در حمایت از گزارش ارزیابی ششم (AR6^۵) هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC^۶) توسعه داده شده است. این مجموعه داده، توسط گروه تحلیل آب و هوا و مرکز تحقیقات ایمر ناسا با استفاده از تبادل زمینی ناسا تهیه شده و توسط مرکز شبیه‌سازی آب و هوای ناسا (NCCS^۷) توزیع شده است. در پژوهش حاضر برای برآورد مقادیر آینده (عناصر اقلیمی بیشینه دما، کمینه دما و بارش) از داده‌های سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) با دقت تفکیک‌پذیری ۲۷۸۳۰ متری که برای هر سه عناصر اقلیمی مذکور مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوتی دارد، استفاده شد. مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی بیشینه دما (میانگین بیشینه دمای روزانه هوای نزدیک به سطح) به ترتیب ۲۰۲/۰۹ تا ۳۵۲/۷۷ با واحد کلوین؛ مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی کمینه دما (میانگین کمینه دمای روزانه هوای نزدیک به سطح) به ترتیب ۱۶۳/۶۶ تا ۳۳۴/۹۲ با واحد کلوین می‌باشد که در ادامه براساس الگوریتم و کدنویسی واحدهای اندازه‌گیری هر دو پارامتر اقلیمی بیشینه و کمینه دما از واحد کلوین به واحد اندازه‌گیری سانتی‌گراد تغییر پیدا کرد و با واحد سانتی‌گراد مورد تحلیل قرار گرفت. مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی بارش (میانگین میزان بارندگی روزانه) به ترتیب ۰ تا ۰/۰۰۸۳ با واحد کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه $\text{kg/m}^2/\text{s}$ بود که به وسیله کد نویسی واحد اندازه‌گیری آن به میلی‌متر تبدیل شد. داده‌های اقلیمی مذکور به شکل آماری و تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۱۵۱ ساله (۲۱۰۰-۱۹۵۰) در دسترس است که از سال ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۲۰ به‌عنوان داده‌های پایه استفاده شد و از سال ۲۰۲۱ تا سال ۲۱۰۰ در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) به‌عنوان دوره‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده برای منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

نتایج

پژوهش حاضر با استفاده کاربردی از داده‌های آماری - ریاضی و تصاویر ماهواره‌ای سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) در پیش‌بینی تغییر اقلیم ایران با رویکرد ماهواره‌ای براساس گزارش CMIP6 و با بهره‌گیری از مدل آب و هوای جهانی (GCM) و سناریوهای حد وسط (SSP2_4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) با به کارگیری مدل معتبر CanESM5 در مقیاس فضایی و آماری کشور ایران و بازه زمانی (۲۱۰۰-۲۰۲۱) صورت عملیاتی به خود گرفت که با بازنمایی جداول، نمودارها و نقشه‌ها از نتایج بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مذکور، همراه بود.

باتوجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) مورد مطالعه با استفاده از سناریوی حد وسط (SSP2_4.5) کمینه مقدار، پیش‌بینی شده حداقل دما با مقدار ۱۶/۸۲- سانتی‌گراد برای فصل زمستان در ماه ژانویه سال ۲۰۲۴ و بیشینه حداقل دما با مقدار ۱۳/۲۴+ درجه سانتی‌گراد برای ماه جولای در فصل تابستان سال ۲۰۴۰ به دست آمد، در منطقه مورد مطالعه: شمال غرب کشور، دامنه‌های غربی، شرقی و جنوبی رشته کوه زاگرس؛ دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته کوه البرز و شمال شرق ایران، از جمله مناطق احتمالی درگیر با حداقل دما در بازه زمانی مورد پژوهش می‌باشد (شکل الف - ۲؛ شکل الف - ۳). نتایج به دست آمده از پیش‌بینی بیشینه دما در دوره آینده نزدیک حاکی از آن است که کمینه بیشینه دما، با مقدار ۲۳/۹۱+ درجه سانتی‌گراد در ماه می فصل بهار ۲۰۲۴ و بیش‌ترین بیشینه دما با مقدار ۵۰/۴۵+ درجه سانتی‌گراد برای فصل تابستان در ماه آگوست پیش‌بینی شد، در منطقه مورد پژوهش: بخش‌های از ایران مرکزی، جنوب ایران، جنوب غرب ایران مانند

^۱ Global Climate Model.

^۲ Taylor

^۳ Shared Socioeconomic Pathways

^۴ Thrasher

^۵ Assessment Report 6

^۶ Intergovernmental Panel on Climate Change

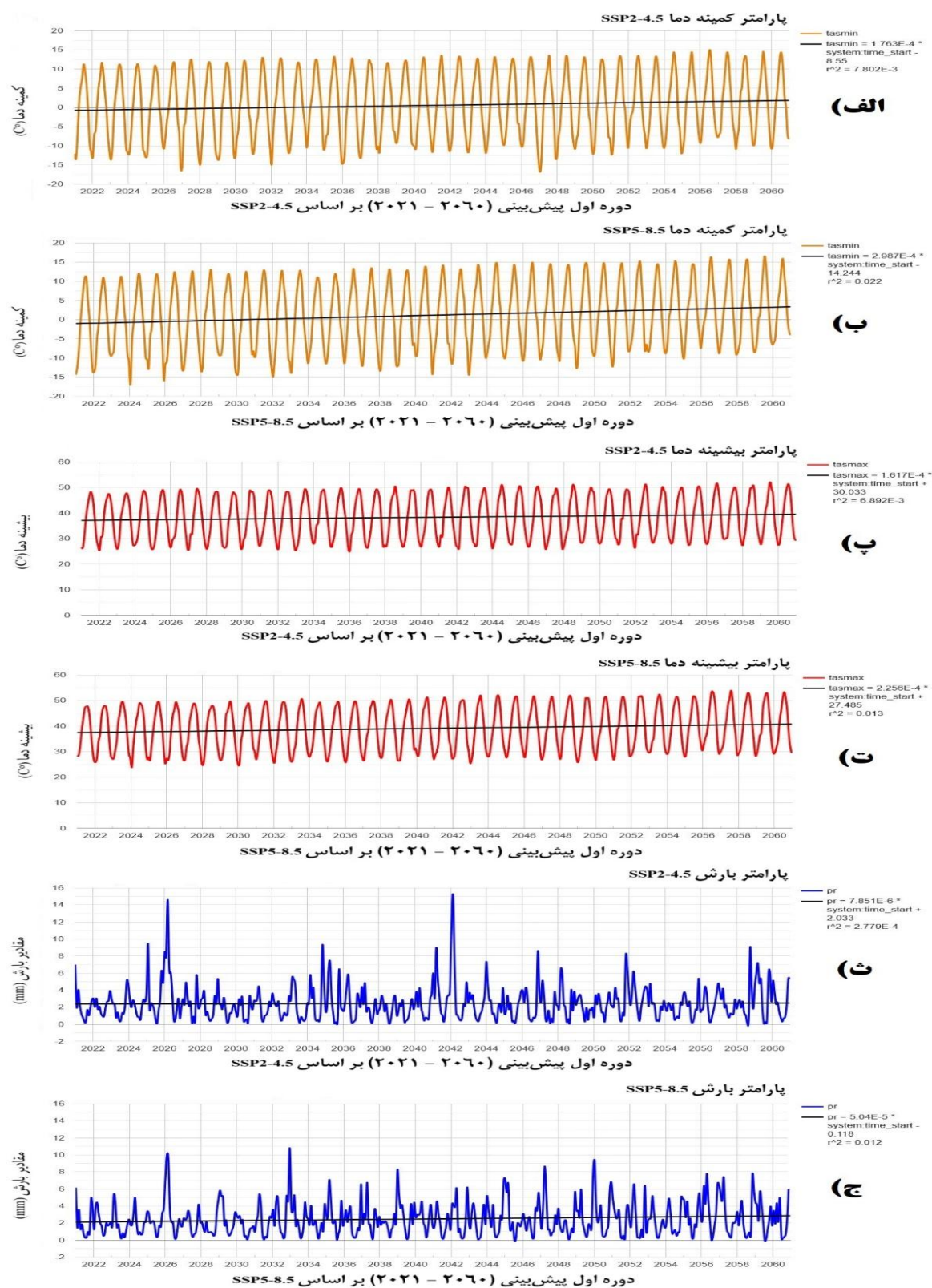
^۷ NASA Center for Climate Simulation

استان خوزستان، شرق و جنوب شرق کشور از جمله نواحی پیش‌بینی شده درگیر با بیشینه دما در دوره آینده نزدیک به دست آمد (شکل پ - ۲؛ شکل پ - ۳). با توجه به نتایج به دست آمده از روند پیش‌بینی کم‌ترین و بیش‌ترین کمینه دما براساس سناریوی SSP2_4.5 در بازه زمانی دوره آینده نزدیک مقدار تغییر روند $1/91 +$ درجه سانتی‌گراد و برای کم‌ترین و بیش‌ترین بیشینه دمای در دوره آینده نزدیک پیش‌بینی مقدار تغییر روند $1/41 +$ سانتی‌گراد، افزایش دما به دست آمد (جدول ۱). یافته‌های به دست آمده از پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش در دوره آینده نزدیک بیان‌گر این است که بیش‌ترین مقدار آن به ترتیب برای ۱۹ فوریه سال ۲۰۴۲ با مقدار $15/22$ ، ۷ مارس سال ۲۰۲۶ با مقدار $14/61$ و ۲۸ ژانویه سال ۲۰۲۵ با مقدار $9/47$ میلی‌متر به دست آمد. در منطقه مورد مطالعه: بخش‌های از شمال غرب کشور، مناطقی از شمال، مرکز و جنوب رشته کوه زاگرس در دامنه غربی و شرقی آن، نیمه غربی رشته کوه البرز و بخش‌های از شمال شرق کشور از جمله مناطق احتمالی پر بارشی کشور در دوره مورد مطالعه است (شکل ث - ۲؛ شکل ث - ۳). براساس یافته‌های به دست آمده از تحقیق حاضر در دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰ - ۲۰۲۱) مورد پژوهش با بهره‌گیری از سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5_8.5)، حداقل مقدار، پیش‌بینی شده کمینه دما با مقدار $15/74 -$ درجه سانتی‌گراد برای اواخر ماه دسامبر و اوایل زمستان سال ۲۰۲۶ و برای پارامتر اقلیمی بیش‌ترین کمینه دما با مقدار $13/38 +$ سانتی‌گراد برای ماه جولای اواسط فصل تابستان سال ۲۰۳۵ به دست آمد. در منطقه مورد مطالعه: بخش‌هایی از شمال غرب کشور، دامنه شمالی و جنوبی رشته کوه البرز، بخش‌هایی از شمال و مرکز رشته کوه زاگرس و مناطقی از شمال شرق کشور از جمله مناطق احتمالی درگیر با کمینه دما می‌باشند (شکل ب - ۲؛ شکل ب - ۳). با توجه به نتایج به دست آمده از پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بیشینه دما در دوره آینده نزدیک، کم‌ترین مقدار بیشینه دما با مقدار $25/16 +$ درجه سانتی‌گراد برای فصل بهار، اواخر ماه آوریل در سال ۲۰۳۶ و بیش‌ترین بیشینه دما با مقدار $50/93 +$ درجه سانتی‌گراد برای اواخر ماه جولای فصل تابستان سال ۲۰۳۸ پیش‌بینی شدند. در منطقه مورد پژوهش: در اکثر مناطق کشور از جمله نواحی مرکزی کشور، نیمه شرقی و جنوبی کشور، و غرب و جنوب غرب کشور پارامتر اقلیمی بیشینه دما در سال‌های مورد مطالعه با افزایش بیشینه دما درگیر خواهند شد (شکل ت - ۲؛ شکل ت - ۳). با توجه به یافته‌های به دست آمده از تغییر روند کم‌ترین و بیش‌ترین کمینه دما با مقدار $1/99 +$ سانتی‌گراد و مقدار تغییر روند کم‌ترین و بیش‌ترین بیشینه دما با مقدار $1/45 +$ سانتی‌گراد قابل پیش‌بینی می‌باشد (جدول ۱). نتایج به دست آمده از پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش در دوره آینده نزدیک مورد مطالعه بیشینه مقدار بارش به ترتیب در ۲۰ دسامبر سال ۲۰۳۲ با مقدار $10/81$ ، ۴ فوریه سال ۲۰۲۶ با مقدار $9/88$ و ۱۱ ژانویه سال ۲۰۵۰ با مقدار $9/21$ میلی‌متر پیش‌بینی شدند. در منطقه مورد مطالعه: مقدار بارش در دوره مورد مطالعه براساس سناریوی SSP5_8.5 کاهش پیدا کرده و مناطقی از جمله شمال غرب کشور، بخش‌هایی از دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز، بخش عمده‌ای از شمال و مرکز رشته کوه زاگرس و بخش ناچیزی از جنوب آن و مناطق کمی از شمال شرق کشور را شامل خواهد شد (شکل ج - ۲؛ شکل ج - ۳). شایان ذکر است براساس یافته‌های به دست آمده از پیش‌بینی عناصر اقلیمی کمینه و بیشینه دما و بارش؛ از شدت پارامتر اقلیمی کمینه دما در دوره آینده نزدیک براساس سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) نسبت به سناریوی حد وسط (SSP2_4.5) افزایش پیدا کرده و به سمت ارقام مثبت صعود کرده و به طرف عرض‌های شمالی کشور و ارتفاعات کوهستان‌ها، دامنه‌های شمالی رشته کوه‌های زاگرس و البرز و نواحی مرتفع شمال غرب کشور مانند قلعه‌های سبلان و سهند کشیده می‌شوند، هم‌چنین پارامتر اقلیمی بیشینه دما براساس سناریوی خیلی بدبینانه نسبت به سناریوی حد متوسط با افزایش چشم‌گیری روبه‌رو خواهد شد. و براساس یافته‌های به دست آمده از پارامتر اقلیمی بارش در بازه زمانی مورد مطالعه در منطقه مورد پژوهش در دوره آینده نزدیک، از مقدار بارش براساس سناریوی SSP5_8.5 به نسبت سناریوی SSP2_4.5 کاهش پیدا خواهد کرد.

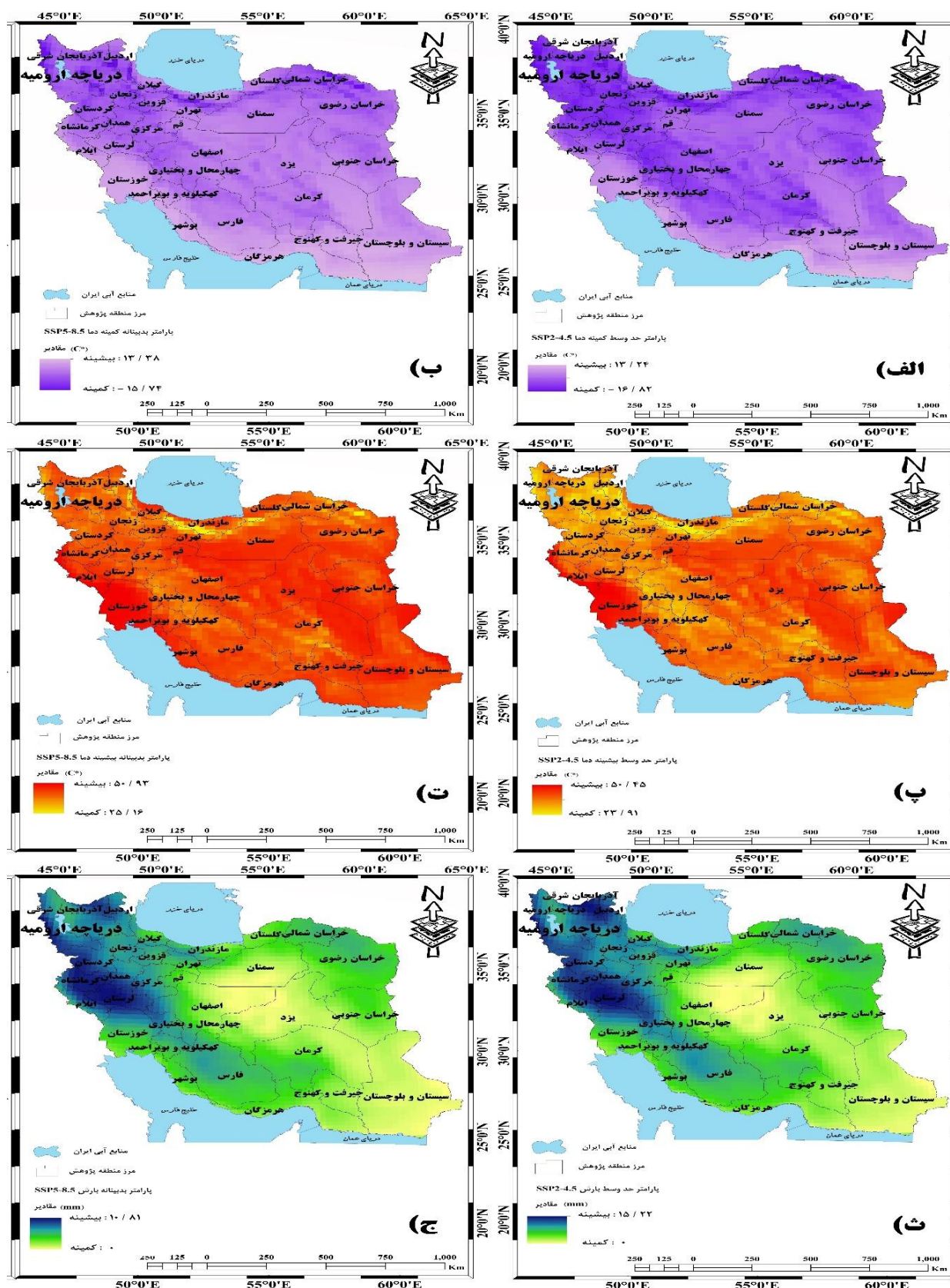
جدول ۱. پیش‌بینی عددی تغییر اقلیم کمینه و بیشینه دما در دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) براساس سناریوهای SSP2_4.5 و

SSP5_8.5

Scenario SSP2 4.5			Scenario SSP5 8.5		
حداقل، کمینه دما		حداکثر، کمینه دما	حداقل ، کمینه دما		حداکثر، کمینه دما
-۱۶/۸۲		۱۳/۲۴	-۱۵/۷۴		۱۳/۳۸
حداقل، بیشینه دما		حداکثر، بیشینه دما	حداقل، بیشینه دما		حداکثر ، بیشینه دما
۲۳/۹۱		۵۰/۴۵	۲۵/۱۶		۵۰/۹۳
پیش‌بینی روند تغییر اقلیم کمینه و بیشینه دما در دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) براساس سناریوهای SSP2_4.5 و SSP2_8.5					
Scenario SSP2 4.5			Scenario SSP5 8.5		
ابتدای کمینه دما	انتهای کمینه دما	افزایش مقدار دما	ابتدای کمینه دما	انتهای کمینه دما	افزایش مقدار دما
-۱/۰	۰/۹۱	۱/۹۱	-۰/۹۳	۱/۰۶	۱/۹۹
ابتدای بیشینه دما	انتهای بیشینه دما	افزایش مقدار دما	ابتدای بیشینه دما	انتهای بیشینه دما	افزایش مقدار دما
۳۷/۱۰	۳۸/۵۱	۱/۴۱	۳۷/۵۳	۳۸/۹۸	۱/۴۵



شکل ۲. نمودارهای پیش‌بینی عناصر اقلیمی کمینه دما، بیشینه دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط SSP2_4.5 و خیلی بدبینانه SSP5_8.5، در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) براساس مدل CanESM5



شکل ۳. نقشه‌های تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی عناصر اقلیمی کمینه دما و بیشینه دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط SSP2_4.5 و خیلی بدبینانه SSP5_8.5، در دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) براساس مدل CanESM5

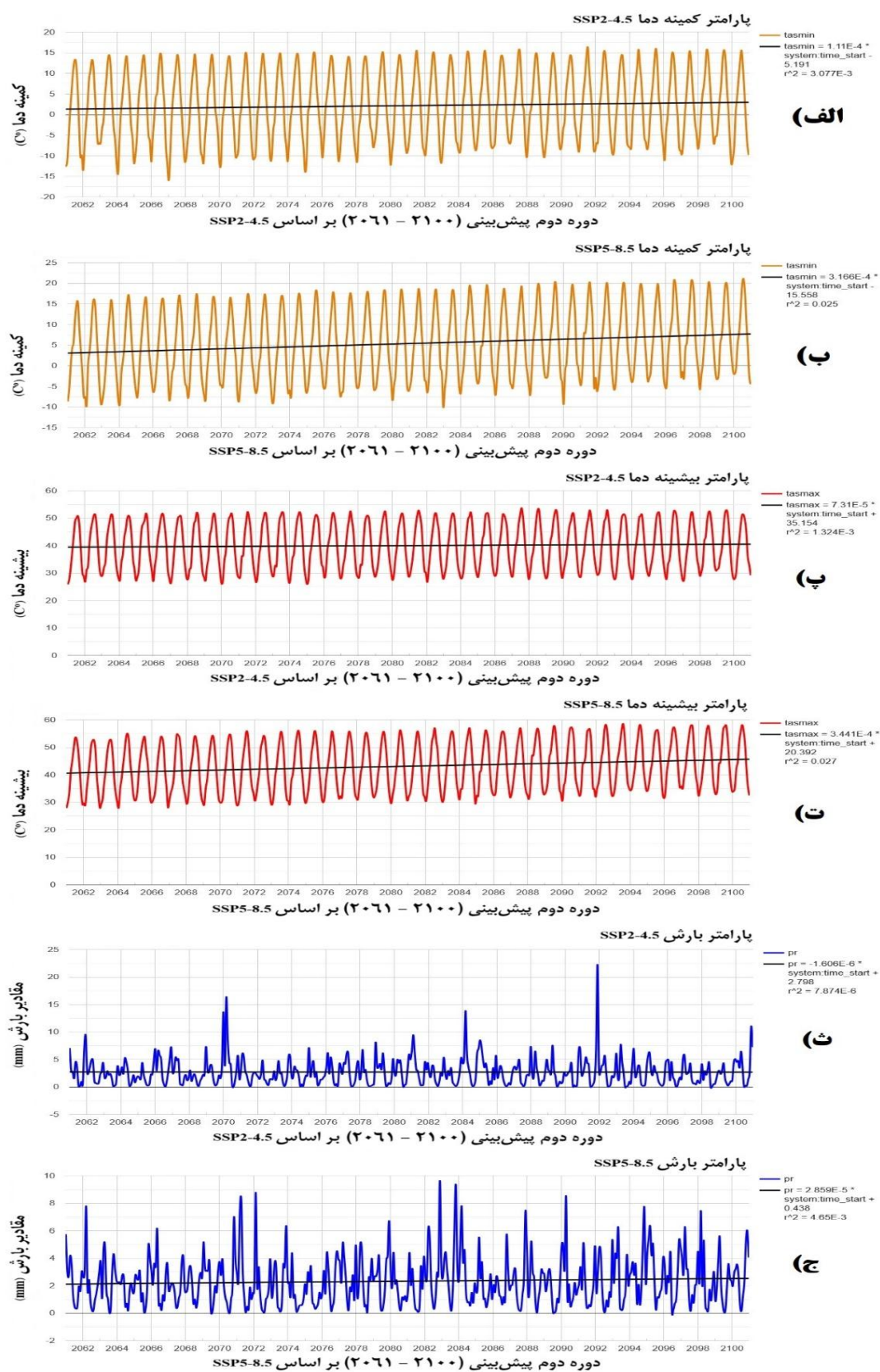
باتوجه به خروجی به دست آمده از گزارش CMIP6 براساس مدل معتبر CanESM5 با به کارگیری سناریوی‌های حد وسط (SSP2_4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) برای دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) حاکی از این مطالب می‌باشد که نتایج به دست آمده براساس سناریوی (SSP2_4.5) در دوره آینده دور، حداقل کمینه دما با مقدار $-۱۴/۶۴$ سانتی‌گراد برای ماه ژانویه، اوایل فصل زمستان سال ۲۰۶۷، و بیش‌ترین کمینه دما با مقدار $+۱۶/۱۹$ درجه سانتی‌گراد برای اواخر ماه جولای در اواسط فصل تابستان سال ۲۰۹۱ پیش‌بینی شدند، در منطقه مورد پژوهش: بخش‌های از شمال غرب کشور، مناطقی از بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی رشته کوه زاگرس؛ بخش‌های از دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته کوه البرز و بخش‌های عمده‌ای از مناطق شمال شرق و شرق کشور از جمله نواحی درگیر احتمالی با پارامتر اقلیمی کمینه دما در دوره آینده دور می‌باشد. (شکل الف - ۴؛ شکل الف - ۵). هم‌چنین یافته‌های به دست آمده از پیش‌یابی‌ها برای کم‌ترین بیشینه دما با مقدار $+۲۵/۴۰$ درجه سانتی‌گراد برای اواخر ماه مارچ در اوایل فصل بهار سال ۲۰۷۵، و بیش‌ترین حداکثر دما با مقدار $+۵۳/۶۴$ سانتی‌گراد برای ماه آگوست در اواخر فصل تابستان برای سال ۲۰۸۷ پیش‌بینی شدند، در منطقه مورد مطالعه: مناطقی از ایران مرکزی؛ جنوب و جنوب شرق کشور؛ بخش‌های از جنوب غرب کشور مانند استان‌های خوزستان، ایلام و بخش‌های از شمال کشور از جمله نواحی احتمالی درگیر با پارامتر اقلیمی بیشینه دما می‌باشند (شکل پ - ۴؛ شکل پ - ۵). براساس یافته‌های به دست آمده از روند تغییر پیش‌بینی کم‌ترین و بیش‌ترین پارامتر اقلیمی کمینه دما براساس سناریوی SSP2_4.5 در بازه زمانی مورد مطالعه دوره آینده دور مقدار تغییر روند $+۱/۷۱$ سانتی‌گراد و برای کم‌ترین و بیش‌ترین بیشینه دما در دوره آینده دور پیش‌یابی مقدار تغییر روند $+۱/۱۷$ سانتی‌گراد افزایش دما قابل پیش‌بینی بود (جدول ۲). یافته‌های به دست آمده از نتایج پیش‌یابی پارامتر اقلیمی بارش در سال‌های پیش‌بینی دوره آینده دور بیشینه مقدار بارش به ترتیب برای ۲۴ نوامبر سال ۲۰۹۱، با مقدار $۲۲/۲۵$ ، ۳ مارس سال ۲۰۷۰، با مقدار $۱۶/۳۱$ و ۴ مارس سال ۲۰۸۴، با مقدار $۱۳/۸۴$ میلی‌متر پیش‌بینی شدند. در منطقه مورد پژوهش: براساس سناریوی مذکور بخش‌های از شمال غرب کشور؛ بخش‌های عمده از شمال، مرکزی و جنوب رشته کوه زاگرس در دامنه غربی و شرقی؛ مناطقی از جنوب کشور؛ نیمه غربی رشته کوه البرز و بخش‌های ناچیزی از شمال شرق کشور از جمله نواحی هستند که به طور احتمالی با مقدار بارش قابل توجه‌ای روبه‌رو خواهند شد (شکل ت - ۴؛ شکل ت - ۵). براساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) مورد مطالعه با استفاده از سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5_8.5)، کم‌ترین مقدار، پیش‌بینی شده کمینه دما با مقدار $-۱۰/۸۷$ درجه سانتی‌گراد برای ماه ژانویه در فصل زمستان سال ۲۰۸۳، و مقدار بیش‌ترین کمینه دما با $+۲۰/۹۷$ سانتی‌گراد پیش‌بینی شدند، در منطقه مورد مطالعه: بخش‌های از مناطق کوهستانی در شمال غرب کشور مانند قلعه‌های سبلان و سه‌نند؛ مناطق مرتفع و کوهستانی در رشته کوه‌های زاگرس و البرز؛ مناطق پراکنده در بخش‌های شمال شرق و نواحی مرکزی کشور از جمله مناطق درگیر احتمالی پیش‌بینی شده هستند که با پارامتر اقلیمی کمینه دما روبه‌رو خواهند شد (شکل ب - ۴؛ شکل ب - ۵). این درحالی می‌باشد که براساس سناریوی مذکور مقدار کم‌ترین بیشینه دما با مقدار $+۲۸/۱۸$ درجه سانتی‌گراد برای ماه آوریل در فصل بهار سال ۲۰۶۱، و حداکثر بیشینه دما با مقدار $+۵۷/۴۶$ سانتی‌گراد در ماه جولای برای اواسط فصل تابستان در سال ۲۰۹۷ به دست آمد، در منطقه مورد پژوهش: اکثر بخش‌های منطقه مورد مطالعه به جز مناطقی از رشته کوه البرز و زاگرس، مناطق کوهستانی شمال غرب کشور و نواحی پراکنده در شمال شرق کشور با افزایش چشم‌گیر پارامتر اقلیمی بیشینه دما روبه‌رو خواهد شد (شکل ت - ۴؛ شکل ت - ۵). باتوجه به نتایج به دست آمده از تغییر روند حداقل و حداکثر کمینه و بیشینه دما براساس گزارش CMIP6 با استفاده از سناریوی SSP5_8.5 در دوره آینده دور، مقدار تغییر روند کم‌ترین و بیش‌ترین کمینه دما $+۴/۷۷$ سانتی‌گراد و مقدار تغییر روند کم‌ترین و بیش‌ترین بیشینه دما $+۵/۳۳$ سانتی‌گراد قابل پیش‌بینی شدند (جدول ۲). و براساس نتایج به دست آمده از پیش‌یابی احتمالی مقدار پارامتر اقلیمی بارش براساس سناریوی مذکور در دوره آینده دور مورد مطالعه بیشینه مقدار بارش در منطقه مورد پژوهش به ترتیب در ۲۵ نوامبر سال ۲۰۸۲، با مقدار $۹/۶۳$ ، ۱ نوامبر سال ۲۰۸۳ با مقدار $۹/۳۲$ و ۱۴ فوریه سال ۲۰۷۲ با مقدار $۸/۷۸$ میلی‌متر به دست آمد. در منطقه مورد مطالعه: براساس پیش‌بینی انجام شده بیشینه مقدار بارشی در سال‌های مورد بررسی در نواحی شمال غرب کشور؛ زاگرس شمالی و مرکزی در دامنه غربی و شرقی آن؛ نیمه غربی رشته کوه البرز و بخش‌های ناچیزی از شمال شرق کشور را شامل خواهند شد (شکل ج - ۴؛ شکل ج - ۵). با توجه

به نتایج به دست آمده از گزارش CMIP6 در پیش‌بینی عناصر اقلیمی کمینه و بیشینه دما و بارش براساس مدل CanESM5 و بهره‌گیری از سناریوی‌های حد وسط (SSP2_4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) برای دوره آینده دور، براساس نتایج به دست آمده از پیش‌بینی پارامتر اقلیمی کمینه دما، شدت افزایش کم‌ترین و بیش‌ترین کمینه دما برای دوره آینده دور مورد مطالعه در سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5_8.5) نسبت به سناریوی حد وسط (SSP2_4.5) بیش‌تر خواهد بود و پارامتر اقلیمی کمینه دما به طرف عرض‌های بالا و مناطق کوهستانی کشور از جمله رشته کوه البرز و زاگرس و مناطق کوهستانی شمال غرب کشور کشیده خواهد شد. همچنین براساس پیش‌بینی‌های انجام شده برای پارامتر اقلیمی بیشینه دما در دوره آینده دور شدت بیشینه دمای به دست آمده در سناریوی (SSP5_8.5) به نسبت سناریوی (SSP2_4.5) به شکل قابل توجه‌ای افزایش خواهد بود و این پارامتر اقلیمی اکثر بخش‌های منطقه مورد مطالعه را در سال‌های پیش‌بینی درگیر خود خواهد کرد. و باتوجه به نتایج به دست آمده از پیش‌بینی پارامتر اقلیمی بارش، مقدار بارش در سناریوی خیلی بدبینانه به نسبت سناریوی حد واسط کاهش خواهد بود و بیشینه پارامتر اقلیمی بارش در نواحی شمال غرب کشور، نیمه غربی رشته کوه البرز و بخش‌های شمالی و مرکزی رشته کوه زاگرس متمرکز خواهد بود.

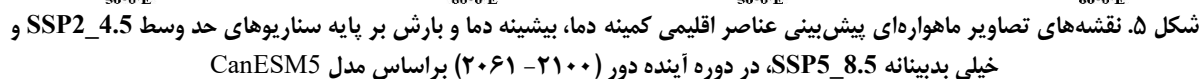
جدول ۲. پیش‌بینی عددی تغییر اقلیم کمینه و بیشینه دما در دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) براساس سناریوهای SSP2_4.5 و

SSP5_8.5

Scenario SSP2 4.5			Scenario SSP5 8.5				
حداقل، کمینه دما		حداکثر، کمینه دما	حداقل، کمینه دما		حداکثر، کمینه دما		
-۱۴/۶۴		۱۶/۱۹	-۱۰/۸۷		۲۰/۹۷		
حداقل، بیشینه دما		حداکثر، بیشینه دما	حداقل، بیشینه دما		حداکثر، بیشینه دما		
۲۵/۴۰		۵۳/۶۴	۲۸/۱۸		۵۷/۴۶		
پیش‌بینی روند تغییر اقلیم کمینه و بیشینه دما در دوره آینده دور (۲۰۶۱ – ۲۱۰۰) براساس سناریوهای SSP2_4.5 و SSP2_8.5							
Scenario SSP2 4.5			Scenario SSP5 8.5				
ابتدای کمینه دما		انتهای کمینه دما	افزایش مقدار دما	ابتدای کمینه دما		انتهای کمینه دما	افزایش مقدار دما
۱/۳۱		۳/۰۲	۱/۷۱	۲/۹۳		۷/۷۰	۴/۷۷
ابتدای بیشینه دما		انتهای بیشینه دما	افزایش مقدار دما	ابتدای بیشینه دما		انتهای بیشینه دما	افزایش مقدار دما
۳۹/۳۹		۴۰/۵۶	۱/۱۷	۴۰/۴۱		۴۵/۷۴	۵/۳۳



شکل ۴. نمودارهای پیش‌بینی عناصر اقلیمی کمینه دما، بیشینه دما و بارش بر پایه سناریوهای حد وسط SSP2_4.5 و خیلی بدبینانه SSP5_8.5، در دوره آینده دور (۲۰۶۱ - ۲۱۰۰) براساس مدل CanESM5



بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در برش فضایی زمانی و مکانی کشور ایران در بازه زمانی ۸۰ ساله در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱)، به مطالعه تغییر اقلیم ایران براساس گزارش CMIP6 پرداخت. این گزارش مبتنی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای با رویکرد داده‌های ماهواره‌ای، به منظور پیش‌بینی و مقایسه عناصر اقلیمی (بیشینه دما، کمینه دما و بارش) با استفاده از داده‌های آماری و سنجش از دور سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) انجام گرفت. در این پژوهش بر اساس دو سناریوی حدوسط SSP2_4.5 و خیلی بدبینانه SSP5_8.5، مدل CanESM5 برای دو دوره آینده نزدیک و آینده دور بررسی شد. سناریوی حدوسط SSP2_4.5 بیانگر این مطلب است که انتشار گازهای گلخانه‌ای به شکل متوسط خواهد بود و مقدار CO₂ تا سال ۲۰۵۰ در حدود سطوح فعلی خواهد بود و سپس کاهش می‌یابد اما تا سال ۲۱۰۰ به صفر نخواهد رسید. سناریوی خیلی بدبینانه SSP5_8.5 بیان می‌کند که انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا خواهد بود و مقدار CO₂ تا سال ۲۰۷۵ سه برابر خواهد شد (IPCC, ۲۰۲۱). یافته‌های پژوهش حاکی از افزایش کمینه و بیشینه دما و کاهش و بی‌نظمی در بارش بود. نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آتی اتفاق خواهد افتاد؛ و این تغییر اقلیم اثراتی را در جنبه‌های مختلف جوامع بشری مانند آب، غذا، انرژی، کشاورزی، اقتصاد، محیط‌زیست، تنوع‌زیستی، مهاجرت، مناطق ساحلی، گردشگری خواهد گذاشت. در بخش کشاورزی، شاخص‌های آب و هوای کشاورزی نیز کم و بیش تغییر می‌کند و تغییرات اقلیمی می‌تواند در تقویم و تاریخ کاشت، داشت و برداشت محصولات کشاورزی و همچنین بر کیفیت و کمیت آن‌ها اثر داشته باشد که مدیریت این اثرات نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و سریع در بخش مدیریت منابع آبی، تصمیم‌گیری در مدیریت کلان کشاورزی و سیاست‌گذاری‌های دقیق در اقتصاد کشاورزی از جمله راه‌حلهایی برای مقابله تغییرات اقلیمی و تأثیرات منفی آن در توسعه کشاورزی می‌باشد.

با توجه به مطالعه پیشینه تغییر اقلیم در ایران و خارج از کشور، پژوهش حاضر به مطالعه تغییر اقلیم ایران، براساس گزارش ششم (CMIP6) تغییرات آب و هوایی پرداخت. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با یافته‌های سایر محققان از جمله: اکبری و صیاد (۱۴۰۰)، عساکره و همکاران (۱۴۰۰)، حمیدیان‌پور و همکاران (۱۴۰۰)، زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۹)، جهان‌بخش‌اصل و همکاران (۱۳۹۵)، میرشکاران و همکاران (۱۴۰۰)، هوانگ و همکاران (۲۰۱۶) و راتوره و همکاران (۲۰۱۹)؛ مورد مقایسه، ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت. استفاده از روش نوین کدنویسی در پژوهش حاضر، موجب افزایش دقت و کارایی نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج پژوهش‌های قبلی شد. در بحث شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، اکثر پژوهش‌های انجام شده براساس نرم‌افزارهای ریزمقیاس‌گردانی بودند که به شدت زمان‌بر و دارای خطاهای نرم‌افزاری می‌باشند. اما در پژوهش حاضر از روش رویکرد نوآورانه با استفاده از داده‌های به‌روز، مدل‌های معتبر تغییر اقلیم سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) در سامانه متن باز تحت وب (Google Earth Engine) مورد استفاده قرار گرفت. این پایگاه داده ۳۴ مدل تغییر اقلیمی را پشتیبانی می‌کند که با توجه به مطالعات انجام شده از پیشینه تحقیقات تغییر اقلیم در داخل و خارج کشور مدل CanESM5 کانادا از اعتبار زیادی برخوردار بود که از آن به عنوان مدل مورد مطالعه در پژوهش حاضر استفاده شد.

منابع

- احمدآبادی، علی و صدیقی‌فر، زهرا (۱۳۹۷). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریز مقیاس نمایی آماری. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۸ (۵۱)، ۱۱۴-۱۰۳.
- اکبری، مهری و صیاد، وحیده (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳ (۱)، ۷۴-۳۷.
- پویان‌فر، ناصر؛ مظفری، غلامعلی؛ امیدوار، کمال و مزیدی، احمد (۱۴۰۱). روند تغییرات نیاز سرمایی گیاه پسته و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل (SDSM) مطالعه موردی: یزد. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۶ (۸۰)، ۶۰-۴۵.
- جهانبخش‌اصل، سعید؛ خورشیددوست، علی‌محمد؛ عالی‌نژاد، محمدحسین و پوراصغر، فرناز (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی شهرچای ارومیه). *هیدروژئومورفولوژی*، ۳ (۷)، ۱۲۲-۱۰۷.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ زارعی، شریفه و صیاد، وحیده (۱۴۰۲). بررسی چشم انداز تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای (RCP) واداشت تابشی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۳ (۶۹)، ۱۴-۱.
- حمیدیان‌پور، محسن؛ فلاح‌قاله‌ری، غلامعباس و علی‌مرادی، محمدرضا (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل SDSM در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم برای پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲ (۵)، ۱۴-۱.
- خیاط، امیر؛ امیرآبادی‌زاده، مهدی؛ بیلندی و محسن‌پوررضا و خزیمه‌نژاد، حسین (۱۳۹۹). بررسی پارامترهای دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت بیرجند). *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۱ (۱)، ۲۱۰-۲۰۰.
- زهره‌وندی، حسن؛ خورشیددوست، علی‌محمد و ساری‌صراف، بهروز (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس گردانی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۷ (۱)، ۶۴-۴۹.
- سبحانی، بهروز و صفریان، وحید (۱۴۰۲). آشکارسازی و برآورد تغییر اقلیم سال‌های آتی ایران. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۸ (۴)، ۱۲۶۳-۱۲۴۳.
- سرابی، مجتبی؛ دستورانی، محمدتقی و زرین، آذر (۱۳۹۹). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر وضعیت دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد طرق مشهد). *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۳ (۱)، ۸۳-۶۳.
- عباسی، فاطمه؛ کوهی، منصوره؛ جوانشیری، زهره؛ ملبوسی، شراره؛ حبیبی‌نوخندان، مجید؛ بابائیان، ایمان و فلامرزی، یاشار (۱۳۹۹). آشکارسازی و به‌روزرسانی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های کشور (دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸). *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱ (۴۲)، ۱۵۳-۱۳۷.
- عزیزی، حمیدرضا؛ ابراهیمی، حسین؛ محمد، ولی؛ سامانی، حسین و خاکی، ویدا (۱۳۹۹). ارزیابی شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین با استفاده از شاخص NISTOR. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۶ (۳)، ۱۸۷-۱۷۲.
- عساکره، حسین؛ مسعودیان، ابوالفضل و ترکارانی، فاطمه (۱۴۰۰). تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳ (۱)، ۱۰۷-۹۱.
- فرج‌زاده، منوچهر و قاسمی‌فر، الهام (۱۳۹۸). *مبانی تغییر آب و هوا (اقلیم) و پیامدهای آن*. تهران، نشر انتخاب، صص ۴۳۵.
- فهیمی‌نژاد، الهام؛ باعقیده، محمد؛ بابائیان، ایمان و انتظاری، علیرضا (۱۳۹۸). شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی بر میانگین و رخدادهای حدی برخی متغیرهای هیدرواقلیمی در حوضه‌ی آبریز شاندیز، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶ (۳)، ۴۸-۲۷.

- کریمی‌احمدآباد، مصطفی و نبی‌زاده، عادل (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل (LARS-WG). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲ (۶۵)، ۲۸۵-۲۶۵.
- محمدپورخوئی، محمدمسعود و ناصری، محسن (۱۴۰۱). ارزیابی الگوی مکانی نالیستایی بارش و مقادیر حدی آن در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در ایران، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۲ (۴۹)، ۱۴۸-۱۳۱.
- محمدعلیزاده، الهام؛ میرموسوی، سیدحسین؛ یاراحمدی، جمشید و فرجی، عبدالله (۱۳۹۹). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش در مناطق فاقد آمار مشاهداتی با استفاده از بسته نرم‌افزاری CCT مطالعه موردی: حوضه دریان. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴ (۷۳)، ۳۲۳-۳۰۵.
- محمدلو، محمد؛ حق‌زاده، علی؛ زینی‌وند، حسین و طهماسبی‌پور، ناصر (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات دما و بارندگی حوضه آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو. *فضای جغرافیایی*، ۱۶ (۵۶)، ۱۶۸-۱۵۱.
- مولودی، گلاله؛ خورانی، اسداله و مرادی، عباس (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳ (۱)، ۱۴-۱.
- میراکبری، مریم؛ مصباح‌زاده، طیبه؛ محسنی‌ساروی، محسن؛ خسروی، حسن و مرتضایی‌فریزه‌ندی، قاسم (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰ (۳)، ۶۰۹-۵۹۳.
- میرزایی، مژگان؛ لاورنس، برایس؛ سامانی‌مجد، امیرمسعود (۱۴۰۰). تغییرات اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود بر اساس سناریوهای IPCC و طبقه‌بندی کوپن-گایگر. *فصل‌نامه توسعه پایدار شهری*، ۳ (۵)، ۴۰-۲۵.
- میرشکاران، یحیی؛ کاکاپور، وحید و زارعی، امیر (۱۴۰۰). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما با استفاده از مدل‌های AR4 (مطالعه موردی: حوضه آبخیز قره‌سو، کرمانشاه). *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲ (۸)، ۳۴-۲۳.
- Abbasi, F., Kouhi, M., Javanshiri, Z., Malbousi, S., Habibi Nokhandan, M., Babaeian, I., & Falamarzi, Y. (2020). Climate change detection update over Iran during 1958-2017. *Journal of Climate Research*, 1399(42), 137-153. (in Persian)
- Ahmadabadi A, Sedighifar Z. (2018). Prediction of Climate Change Induced Hydrogeomorphology by using SDSM in CAN Watershed. *Jgs*; 18 (51):103-114. URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2697-fa.html>. (in Persian)
- Akbary, M., & sayad, V. (2021). Analysis of climate change studies in Iran. *Physical Geography Research*, 53(1), 37-74. doi: 10.22059/jphgr.2021.301111.1007528. (in Persian)
- Alizadeh, E., mousavi, H., Yarahmadi, J., & Faraji, A. (2020). Assessment the Impact of Climate Change on Precipitation in Non-Observed data using the CCT Toolkit Case study: Daryan sub basin. *Journal of Geography and Planning*, 24(73), 305-323. doi: 10.22034/gp.2020.10790. (in Persian)
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., & Tarkarani, F. (2021). A Discrimination of Roles of Internal and External Factors on the Decadal Variation of Annual Precipitation in Iran over Recent Four Decades (1975-2016). *Physical Geography Research*, 53(1), 91-107. doi: 10.22059/jphgr.2021.304776. 1007529. (in Persian)

- Azizi, H. R., Ebrahimi, H., Mohamadvali samani, H., & Khaki, V. (2020). Assessment the Intensity of the Effect of Climate Change on Groundwater Resources of Varamin plain using NISTOR index. *Iran-Water Resources Research*, 16(3), 172-187. (in Persian)
- Baccini, M., Kosatsky, T & Biggeri, A. (2013). Impact of Summer Heat on Urban Population Mortality in Europe during the 1990s: an Evaluation of Years of Life Lost Adjusted for Harvesting, *PLoS ONE*, 8, e69638. doi:10.1371/journal.pone.0069638
- Boonman, C.C.F., Huijbregts, M.A.J., López, A.B., Schipper A.M., Thuiller, W., Santini, L. (2021). Trait-based projections of climate change effects on global biome distributions, *Diversity and Distributions*, 28 (1). <https://doi.org/10.1111/ddi.13431>
- Bukovsky, M. S., Gao, J., Mearns, L. O., & O'Neill, B. C. (2021). SSP-based land-use change scenarios: A critical uncertainty in future regional climate change projections. *Earth's Future*, 9 (3). <https://doi.org/10.1029/2020EF001782>
- Castro, A.Q.; Yaneth, A. B.T.; Erick, R.B.; Juan G.L.; Jesús, G.R.P. (2022). Modeling the effect of climate change scenarios on water quality for tropical reservoirs, *Journal of Environmental Management*, 322: 116137. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116137>.
- Cicerone, R., & Nurse, P. (2014) Climate Change Evidence & Causes, An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences.
- Collins, M.; Barreiro, M.; Frölicher, T.; Kang S.M.; Ashok, K.; Roxy M.K.; Singh, D.; Tedeschi, R.G.; Wang, G.; Wilcox, L & Wu, B. (2020). Frontiers in Climate Predictions and Projections, *Journal frontiers in Climate*, 2. <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.571245>
- Erler, A.R., Frey, S.K., Khader, O., D'Orgeville, M., Park, Y.J., Hwang, H.T., Lapen, D.R., Peltier, W.R & Sudicky, E .A. (2019). Evaluating climate change impacts on soil moisture and groundwater resources within a lake-affected region, *Water Resources Research*, 55 (10). <https://doi.org/10.1029/2018WR023822>
- Fahiminezhad E, Baaghide M O, Babaeian I, Entezari A. (2019). Simulation of the effect of global warming on the mean and extreme events of some hydrochemical variables in Shandiz catchment basin Case study: The Case of the general circulation model CanESM2. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 6(3):27-48. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2788-fa.html>. (in Persian)
- Farajzadeh, Manoochehr, and Ghasemifar, Elham (2019). *Fundamentals of Climate Change and Its Consequences*. Tehran: Nashre entekhab, p. 435. (in Persian)
- Feng, A & Chao, Q. (2020). An Overview of Assessment Methods and Analysis for Climate Change Risk in China. *Phys, Chem. Earth, Parts A/B/C*, 117: 102861. doi:10.1016/j.pce.2020.102861
- Feyissa, G.; Zeleke, G.; Bewket, W & Ephrem, G. (2018). Downscaling of Future Temperature and Precipitation Extremes in Addis Ababa under Climate Change, *Climate*, 6 (58). <https://doi.org/10.3390/cli6030058>
- Gomiero, A., Bellerby, R. G. J., Manca Z.M., Babbini, L & Viarengo, A. (2018). Biological Responses of Two marine Organisms of Ecological Relevance to On-Going Ocean Acidification and Global Warming, *Environ. Pollut*, 236: 60–70. doi:10.1016/j.envpol.2018.01.063
- Hamidian Pour, M., Fallah Ghalhari, G., & Reza Alimoradi, M. (2021). Evaluating the Efficiency of the SDSM Model in Investigating the Consequences of Climate Change for Different Climate Zones in Iran. *Climate Change Research*, 2(5), 1-14. doi: 10.30488/ccr.2020.248188.1023. (in Persian)

- Hejazizadeh Z, Zarei S. (2023). Investigation of Changes of Temperature and Rainfall Indicators in Kurdistan Province Based on Radiation Injection Scenarios (RCP). *jgs*; 23 (69), 1. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3015-fa.html>. (in Persian)
- Huang, J., Li, Y. Fu, C. Chen, F. Fu, Q. Dai, A. Shinoda, M. Ma, Z. Guo, W. Li, Z. Zhang, L. Liu, Y. Yu, H. He, Y. Xie, Y. Guan, X. Ji, M. Lin, L. Wang, S. Yan, H & Wang, G. (2017). Dryland climate change: Recent progress and challenges, *Reviews of geophysics*, 55 (3). <https://doi.org/10.1002/2016RG000550>
- Huang, Y.F.; Jong, T.A.; Yong, J.T.; Mirzaei, M.; Mohd, Z.M.A. (2016). Drought Forecasting Using SPI and EDI under RCP-8.5 Climate Change Scenarios for Langat River Basin, Malaysia, *Procedia Engineering*, 154: 710-717. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.573>.
- IPCC, (2021) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change In: Stocker TF, Qin D, Plattner G. K., Tignor M., Allen SK et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and new York, NY, USA.
- IPCC-TGICA. (2007). General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 pp.
- Isobe, M. (2013). Impact of Global Warming on Coastal Structures in Shallow, Water. *Ocean Eng*, 71. doi:10.1016/j.oceaneng.2012.12.032
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., Alinejad, M. H., & Pourasghar, F. (2016). Impact of Climate Change on Precipitation and Temperature by Taking the Uncertainty of Models and Climate Scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 3(7), 107-122. (in Persian)
- Jiang, C., Shaw, K. S., Upperman, C. R., Blythe, D., Mitchell, C & Murtugudde, R. (2015). Climate Change, Extreme Events and Increased Risk of Salmonellosis in Maryland, USA: Evidence for Coastal Vulnerability, *Environ. Int*, 83. doi:10.1016/j.envint.2015.06.006
- Karimiahmad abad, M., & Nabizadeh, A. (2018). Assessment of climate change impacts on climate parameters of Urmia Lake basin during 2011-2040 years by using LARS-WG model. *Journal of Geography and Planning*, 22(65), 265-285. (in Persian)
- Khayat, A., Amirabadizadeh, M., Pourreza-Bilondi, M., & khozaymehnehad, H. (2020). Study Temperature and Precipitation Parameters under the Effect of Climate Change (Case study: Birjand Plain). *Irrigation and Water Engineering*, 11(1), 200-210. doi: 10.22125/iwe.2020.114963. (in Persian)
- Li, X., Clinton, N., Si, Y., Liao, J., Liang, L & Gong, P. (2015). Projected Impacts of Climate Change on Protected Birds and Nature Reserves in China, *Sci. Bull*, 60. doi: 10.1007/s11434-015-0892-y

- Li, X., Zickfeld, K., Mathesius, S., Kohfeld, K., & Matthews, J.B.R. (2020). Irreversibility of marine climate change impacts under carbon dioxide removal, *Geophysical Research Letters*, 47 (17). <https://doi.org/10.1029/2020GL088507>
- Lu, S., Bai, X., Zhang, X., Li, W & Tang, Y. (2019). The Impact of Climate Change on the Sustainable Development of Regional Economy, *J. Clean. Prod.*, 233: 1387–1395. doi:10.1016/j.jclepro.2019.06.074
- Luo, Q., Li, S., Guo, Y., Han, X & Jaakkola, J. J. K. (2019). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Association between Daily Mean Temperature and Mortality in China. *Environ. Res.*, 173. doi:10.1016/j.envres.2019.03.044
- Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., & Mortezaie Farizhendi, G. (2018). Performance of Series Model CMIP5 in Simulation and Projection of Climatic Variables of Rainfall, Temperature and Wind Speed (Case Study: Yazd). *Physical Geography Research*, 50(3), 593-609. doi: 10.22059/jphgr.2018.248177.1007156. (in Persian)
- Mirshekaran, Y., Kakapour, V., & Zarey, A. (2021). Assess the effect of climate change on precipitation and temperature using AR4 models (Case Study: Gharasoo Basin of Kermanshah province). *Climate Change Research*, 2(8), 23-34. doi: 10.30488/ccr.2022.319044.1061. (in Persian)
- Mirzaei, M., Lawrence, B., & Samani Majd, A. M. (2021). Climate change of ZayandehRood watershed based on IPCC scenarios and Köppen–Geiger classification. *Journal of Urban Sustainable Development*, 2(5), 23-37. doi: 10.22034/usd.2021.696816. (in Persian)
- Mishra, A.K., Singh, V.P & Jain, S. K. (2010). Impact of Global Warming and Climate Change on Social Development, *J. Comp. Soc. Welfare*, 26. doi: 10.1080/17486831003687626
- Mohammadloo, M; Haqizadeh, A; Zeinivand, H and Tahmasibipour, N (2017). Evaluation of climate change on temperature and precipitation trends in Barandozchay watershed, In the West Azerbaijan, using General Circulation Models (GCM). *Journal of Geography Space*, 16(56), 151-168. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1164-fa.html>. (in Persian)
- Mohammadpourkhoie, M. M., & Nasser, M. (2022). Evaluation of Unstationary and Extreme Value Patterns of Precipitation over Iran considering Impacts of Climate Change. *Journal of Climate Research*, 1401(49), 131-148. (in Persian)
- Molodi G, khorani A, moradi A. (2016). Impacts of climate change on heat waves in northern coast of Persian Gulf. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 3 (1):1-14. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2541-fa.html>. (in Persian)
- NASA Center for Climate Simulation. (2021). NEX-GDDP-CMIP6: Bias Correction and Spatial Disaggregation (BCSD) Technical Note. Retrieved from https://www.nccs.nasa.gov/sites/default/files/NEX-GDDP-CMIP6-Tech_Note_4.pdf
- NASA Goddard Space Flight Center. (2020). *NEX-GDDP-CMIP6: NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections based on CMIP6* [Dataset]. NASA Earth Exchange. Retrieved August 2, 2025, from <https://data.nasa.gov/>
- Nazarenko, L. S.; Tausnev, N.; Russell, G. L.; Rind, D.; Miller, R. L & Schmidt, G. A. (2022). Future climate change under SSP emission scenarios with GISS-E2.1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14 (7): 119-125. <https://doi.org/10.1029/2021MS00287>

- Onozuka, D., Gasparrini, A., Sera, F., Hashizume, M & Honda, Y. (2019). Future Projections of Temperature-Related Excess Out-Of-Hospital Cardiac Arrest under Climate Change Scenarios in Japan, *Sci. Total Environ*, 682. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.196
- Ozturk, T., Turp, M.T., Türkeş, M & Kurnaz, M. L. (2018). Future Projections of Temperature and Precipitation Climatology for CORDEX-MENA Domain Using RegCM4.4, *Atmos. Res*, 206. doi:10.1016/j.atmosres.2018.02.009
- Pouyanfar, N., Mozafari, G. A., Omidvar, K., & Mazidi, A. (2022). Trend of changes in pistachio plant chilling need and its prediction using SDSM model (Case study: Yazd). *Journal of Geography and Planning*, 26(80), 60-45. doi: 10.22034/gp.2021.45642.2827. (in Persian)
- Rathore, P.; Arijit, R.; Harish, K. (2019). Modelling the vulnerability of *Taxus wallichiana* to climate change scenarios in South East Asia, *Ecological Indicators*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.020>.
- Salimi, S.; Martin, B.; Miklas, S. (2021). Response of the peatland carbon dioxide sink function to future climate change scenarios and water level management, *Glob Change Biol*, 27. <https://doi.org/10.1111/gcb.15753>
- Sarabi, M., Dastorani, M. T., & Zarrin, A. (2020). Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 3(1), 63-83. doi: 10.22034/jmas.2021.278862.1129. (in Persian)
- Sobhani, B & Safarian, V. (2024). Obviousization and estimation of climate change in the coming years of Iran. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4). Doi: 10.22034/jess.2023.393740.2007. (In persian)
- An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, 93 (4). <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T & Nemani, R. (2022). NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. *Sci Data*, 9: (262). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4>
- Wang, X. L., Feng, Y & Swail, V. R. (2015), Climate change signal and uncertainty in CMIP5-based projections of global ocean surface wave heights, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120 (5). <https://doi.org/10.1002/2015JC010699>
- Wang, X.; Hou, X.; Piao, Y.; Feng, A & Li, Y. (2021). Climate Change Projections of Temperature Over the Coastal Area of China Using SimCLIM, *Frontiers in Environmental Science*, 9: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.782259>
- Zohrevandi H, Khorshid dost A M, Sari saraf B. (2020). Prediction of Climate Change in Western of Iran using Downscaling of HadCM3 Model under Different Scenarios. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 7 (1):49-64. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2741-fa.html>. (in Persian)