



Analysis and Prediction of Minimum Temperatures in Kurdistan Province Using Climatic Scenarios

Ali Mohammad Khorshiddoust^{1*} | Saeed Jahanbakhshasl² | Zahra Abbasighasrik³ | Fatemeh Abbasighasrik⁴

1. Professor University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: khoshid@tabrizu.ac.ir

2. Professor University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3. Master of Environmental Climatology, Tabriz, Iran.

4. Master of Environmental Climatology, Tabriz, Iran.

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 January 2021

Received in revised form 22

April 2021

Accepted 19 May 2021

Published online 19 February

2024

Keywords:

Minimum temperatures,
LARS-WG6 Model,
HadGEM2-ES Model,
Kurdistan Province, Climatic
Scenarios

Today, long-term forecasting of climate variables has received much attention in order to be aware of the extent of change and, consequently, to take the necessary measures to mitigate the adverse effects of climate change. In this study, minimum temperatures in Kurdistan province were predicted using LARS-WG6 downscaling for the next three 20-year periods (2040-2021, 2060-2041, 2080-2061). For this purpose, the HadGEM2-ES general circulation model and three scenarios of RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6 were used. To generate the time series of future periods, daily data for the statistical period 1989-2019 were used and the trend of its changes was analyzed using Mann-Kendall test. The results showed that LARS-WG6 software simulates the minimum values of the minimum temperature well with low error indicators. Also, based on the results of the HadGM2-ES global model output in the study area, the minimum temperature in the future period will be higher than the base period in all scenarios and periods. The intensity of this increase under the RCP8.5 scenario is related to the last period of the century (2080-2061) and its lesser extent is related to the period (2060-2041) under the RCP4.5 scenario. Examination of seasonal averages also shows that spring has a lower temperature increase and autumn has a higher temperature increase. The trend of changes shows that the trend is positive and negative in both directions, so that in most stations and scenarios in different forecast periods, spring will have the most positive trend and autumn will have the most negative trend. Therefore, it can be concluded that the temperature will increase in future periods and the effect of cold waves will decrease.

Cite this article: Khorshiddoust, A; Jahanbakhshasl, S; Abbasighasrik, Z; Abbasighasrik, F. (2024). Analysis and Prediction of Minimum Temperatures in Kurdistan Province Using Climatic Scenarios. *Journal of Geography and Planning*, 27 (86), 1-20. <http://doi.org/10.22034/GP.2021.44023.2762>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2021.44023.2762>

Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

One of the important issues in the 21st century is the issue of global climate change and its effects on all aspects of human living conditions and other living things on the planet (Elhami Moghaddam, 2014). Cold waves and glaciers are among the most important phenomena studied in climatic studies that are caused by temperature changes over time (Farajzadeh, 2014). Recently, with the occurrence of weather disturbances, one of the most important climatic disasters that threaten human societies, especially in different parts of the country, are cold waves and severe frosts that in some years cover large areas of the country. They include these glaciers with a relatively stable and several-day cold wave that may have harmful effects (Karimi et al., 2012).

Data and Method

The purpose of this study is to predict the cooling waves of selected stations in Kurdistan province in three time periods (2040-2021, 2060-2041 and 2080-2061). To achieve this goal, the LARS-WG6 exponential microscale model and RCP scenarios were used. These scenarios include RCP4.5, RCP2.6 and RCP8.5. In the present study, first daily data on minimum and maximum temperatures, precipitation and sundials for the years (1989-2019) were prepared and arranged by the Meteorological Organization. Then, LARS-WG6 microscale model was used to analyze the data. Data flow was determined using Mann-Kendall test in XLSTAT and Excel software.

Results and Discussion

According to the results obtained in all stations, the minimum temperature for future periods will increase compared to the base period according to all three scenarios studied in all months of the year. Accordingly, in Saqez station, the intensity of changes in February is higher than other months. According to the seasonal estimates, the intensity of changes based on all RCP scenarios is less in spring and more in autumn than in other seasons. Scenario RCP8.5 shows the highest rate of temperature increase, which is more evident in the period (2080-2061).

Sanandaj station has the lowest temperature in September in RCP2.6 and RCP4.5 scenarios and in September and November under RCP8.5 scenario. Also, in this station, according to the scenarios of RCP2.6 and RCP4.5, in spring, according to the scenario of RCP8.5, in winter, the temperature increases less, and in autumn, according to all scenarios, the temperature increases the most. As it turns out, the RCP8.5 scenario shows the largest increase in minimum temperature, which is most evident in the period 2080-2061.

The minimum temperature of Qorveh station will have the highest increase in September and November under RCP2.6 scenario, in September under RCP4.5 scenario and in November according to RCP8.5 scenario. Seasonal averages also confirm the trend of increasing minimum temperature. According to RCP2.6 and RCP4.5 scenarios, spring has the lowest temperature increase according to RCP8.5 scenario and winter shows the highest temperature increase according to all scenarios. Meanwhile, RCP2.6 scenario shows the lowest temperature changes compared to the other two scenarios.

According to the monthly averages of Bijar station, February has the most changes under all three RCP scenarios. It can be stated that in RCP2.6 and RCP4.5 scenarios, spring has the lowest and autumn and summer seasons have the highest temperature increase, and in RCP8.5 scenario, winter and summer seasons show the lowest and highest temperature increase, respectively. Meanwhile, RCP2.6 and RCP4.5 scenarios have the lowest temperature changes compared to RCP8.5 scenario for near, middle and distant periods. As can be seen from the graphs, the 2080-2061 period will be warmer than the other periods according to the RCP8.5 scenario.

Conclusion

Due to climate change and global warming, in this study using LARS-WG microscale model and the output of HadGM2-ES global model under three scenarios of RCP4.5, RCP2.6 and RCP8.5 changed in the lowest province in three the time periods 2040-2021, 2060-2041 and 2080-2061 were examined. The results obtained from the study of LARS-WG model showed that this model of high efficiency for change at the lowest level in the study area continues. Also, by achieving the output of the global HadGM2-ES model in the study area, the low temperature will increase in the future period compared to the base period in all scenarios and periods, which is more significant in February, September and November. It should be noted that the intensity of this increase under the RCP8.5 scenario is related to the last period of the century (2080-2061) and to a lesser extent related to the period (2060-2041) is under the RCP4.5 scenario. It will be warmer at the end of the century. Examination of seasonal averages also shows that spring has a lower temperature increase and autumn has a higher temperature increase. Based on this, it can be concluded that the weather will be warmer in future periods.

Keywords: Minimum temperatures, LARS-WG6 Model, HadGEM2-ES Model, Kurdistan Province, Climatic Scenarios

References

- Elhami Moghadam, Mina (1393). **Detection of Recent Changes in Daily Temperatures of Northwestern Stations in Iran Using Some Atmospheric Circulation Models**, M.Sc. Thesis, Department of Natural Geography, Faculty of Humanities, Mohaghegh Ardabili University, 2. In persian
- Farajzadeh, Manouchehr (1393). **Iran Climatic Hazards**, Samat Publisher, First Edition. In persian
- Karimi, Sadegh, Writing, Hossein, Tavousi, Taghi, Alijani, Behloul (2012). **Synoptic analysis of pervasive cold waves in Iran, (Case: January and February 2004 cold wave in Chaharmahal and Bakhtiari province)**, Geography and Development, winter 2012, (29): 76-55. In persian





تحلیل و پیش‌بینی دماهای حداقل در استان کردستان با استفاده از سناریوهای اقلیمی

علی محمد خورشیددوست*^۱ | سعید جهانبخش اصل^۲ | زهرا عباسی قصریک^۳ | فاطمه عباسی قصریک^۴

۱. استاد دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. ایمیل: khورشید@tabrizu.ac.ir

۲. استاد دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. کارشناس ارشد آب و هواشناسی محیطی، تبریز، ایران.

۴. کارشناس ارشد آب و هواشناسی محیطی، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	امروزه پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق پیش‌بینی دماهای حداقل استان کردستان با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG6 برای سه دوره آتی ۲۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) انجام شد. به این منظور، از مدل گردش عمومی جو HadGEM2-ES و سه سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 استفاده گردید. برای تولید سری زمانی دوره‌های آتی از داده‌های روزانه برای دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۹ استفاده شد و روند تغییرات آن با استفاده از آزمون من-کندال تحلیل گردید. نتایج نشان داد که نرم افزار LARS-WG6 با پایین بودن شاخص‌های خطاسنجی مقادیر ماهانه دمای کمینه را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. همچنین براساس نتایج حاصل از خروجی مدل جهانی HadGM2-ES در منطقه مورد مطالعه میزان دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه در تمام سناریوها و دوره‌ها افزایش خواهد بود. شدت این افزایش تحت سناریوی RCP8.5 مربوط به دوره آخر قرن (۲۰۸۰-۲۰۶۱) می‌باشد و میزان کمتر آن مربوط به دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) تحت سناریوی RCP4.5 می‌باشد. بررسی میانگین‌های فصلی نیز نشان می‌دهد فصل بهار افزایش دمای کمتر و فصل پاییز افزایش دمای بیشتری دارد. روند تغییرات نشان می‌دهد که روند در دو جهت مثبت و منفی است بطوریکه در اکثر ایستگاه‌ها و سناریوها در دوره‌های مختلف پیش‌بینی، فصل بهار بیشترین روند مثبت و فصل پاییز بیشترین روند منفی را خواهند داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بر مقدار دما در دوره‌های آینده افزوده شده و اثر امواج سرمایی کاسته خواهد شد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰	
کلیدواژه‌ها: دماهای حداقل، مدل-LARS-WG6، مدل-HadGEM2-ES، استان کردستان، سناریوهای اقلیمی	

استناد: خورشیددوست، علی محمد؛ جهانبخش اصل، سعید؛ عباسی قصریک، زهرا؛ عباسی قصریک، فاطمه (۱۴۰۲). تحلیل و پیش‌بینی دماهای حداقل در

استان کردستان با استفاده از سناریوهای اقلیمی. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۷ (۸۶)، ۲۰-۱.



<http://doi.org/10.22034/GP.2021.44023.2762>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

یکی از مسائل مهم در قرن بیست و یکم، مسئله تغییر اقلیم جهانی و تأثیرات آن بر تمامی جنبه‌های شرایط زیستی انسان و سایر زیست‌کنندگان کره زمین می‌باشد. از بین عوامل مهم در تغییر اقلیم، می‌توان به تغییر در ورودی انرژی خورشیدی، استفاده بیش از حد از توان طبیعت، افزایش بی‌رویه جمعیت، از بین بردن جنگل‌ها و ایجاد بیابان و افزایش گازهای گلخانه‌ای اشاره نمود (الهامی مقدم، ۱۳۹۳). افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرمایش جهانی از جمله معضلاتی است که منجر به ایجاد پدیده تغییر اقلیم می‌گردد (احمدی، ۱۳۹۲). یکی از جلوه‌های دما، رخداد اندازه‌های فرین آن است. رخدادهای دماهای فرین از جمله رویدادهای مهم دمایی محسوب می‌شوند که موج‌های سرمای و روزهای سرد نمودی از این رویدادها هستند. به عبارتی یکی از حالت‌های ویژه دمایی که در آن مقادیر فرین دمایی حداقل مشاهده شده، امواج سرما می‌باشند (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲). با رخداد چنین پدیده‌هایی تغییرات شدید و مقادیر غیر معمول دمایی مشاهده می‌شوند (شاهبایی کوتنایی، ۱۳۹۳). امواج سرمای و یخبندان‌ها از مهم‌ترین پدیده‌های مورد مطالعه در مطالعات اقلیم شناسی محسوب می‌شوند که از تغییر دما در طول زمان ناشی شده و به تغییر درجه حرارت به زیر صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر از آن گفته می‌شود. در این شرایط دمای هوا در ارتفاع ۲ یا ۱ متری از سطح زمین، به صفر یا زیر صفر درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا می‌کند (فرج زاده، ۱۳۹۳). اخیراً با وقوع آشفته‌گی‌های جوی، یکی از مهم‌ترین بلایای اقلیمی که جوامع بشری و به‌ویژه مناطق مختلف کشور را تهدید می‌کند، امواج سرما و یخبندان-های شدید هستند که در برخی سال‌ها مناطق وسیعی از کشور را در بر می‌گیرند، این یخبندان‌ها، موج سرمای نسبتاً پایدار و چند روزه‌ای را با خود به همراه دارند که ممکن است آثار زیان باری را به دنبال داشته باشند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). از اینرو نوسانات و تغییرپذیری اقلیمی به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. موج سرما در مدیریت و برنامه‌ریزی محیط مؤلفه‌ی بسیار مهمی بشمار می‌رود. با توجه به گردش عمومی جو، موقعیت ایران در نیمکره شمالی به گونه‌ای است که در دوره سرد سال از توده‌های هوایی گوناگون تأثیر می‌پذیرد (امام هادی و علیجانی، ۱۳۸۳) در نتیجه پهنه وسیعی از سرزمین ایران در دوره سرد سال در معرض امواج سرمای قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه استان کردستان منطقه‌ای کوهستانی و سردسیر است و همواره در معرض ورود امواج سرمای قرار دارد، این سرما و یخ‌زدگی همه ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری به جامعه کشاورزی خصوصاً باغات وارد می‌کنند که موجب غافلگیری و نگرانی کشاورزان و باغداران می‌شوند پدیده‌ی سرمازدگی و یخبندان و خسارت‌های ناشی از آن نه فقط در کشور ما بلکه در اکثر کشورهای جهان وجود دارد. بنابراین با پیشگیری به‌موقع و زمان دقیق وقوع آن می‌توان با به کارگیری شیوه‌های مقابله با این پدیده جوی، خسارت آن را به حداقل میزان ممکن رساند. با توجه به اینکه تحقیقات زیادی درمورد پیش‌بینی امواج سرمای در استان کردستان صورت نگرفته، به عنوان منطقه مورد مطالعه برای بررسی این موضوع انتخاب شده است.

پیشینه تحقیق

صادقی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش تحلیل هم‌مدیدی امواج سرمای در شمال شرق ایران، به این نتیجه رسیدند که ۹۰ درصد از سرماهای شدید منطقه، علت سینوپتیکی یا انتقالی دارند، به طوری که ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر منجر به وقوع سرما در منطقه می‌شود. دارند (۱۳۹۲) امواج گرما و سرما در استان کردستان و تغییرات بسامد رخداد آن‌ها را شناسایی کرد و به این نتیجه رسید که بسامد رخداد، شدت و دوام امواج گرما بر روی مناطق پست و کم ارتفاع که بخش‌های غربی و شرقی استان را در بر دارد، افزایش یافته، در حالیکه بر روی بلندی‌های استان (مرکز و شمال استان) کاهش پیدا کرده است. در این تحقیق امواج گرمایی و سرمای شناسایی شده‌اند اما هدف از پژوهش حاضر تحلیل امواج سرمای در گذشته و پیش‌بینی آن برای ۶۰ سال آینده می‌باشد. پیرمردیان و همکاران (۱۳۹۳) با پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش در ایستگاه رشت بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم به این نتیجه رسیدند که دمای کمینه و بیشینه به ترتیب تحت سناریوهای A2 و A1B افزایشی بوده و روند تغییرات تابش در تمام فصول تحت سناریوی A2 کاهشی خواهد بود و میزان بارش تحت سناریوی B1 در تمام

فصول بویژه فصل پاییز افزایش خواهد یافت. رضازاده و علیجانی (۱۳۹۳) با تحلیل آماری سینوپتیکی امواج سرمای خسارت بار شمال غرب ایران به این نتیجه رسید که علت بیشتر یخبندان‌های شدید سطح بالا ناشی از استقرار یک فرود عمیق در غرب ایران بوده که هوای سرد مناطق قطبی را به ایران هدایت می‌کند. در سطح زمین هم اکثراً پرفشارهای مهاجر غربی و گسترش زبانه پرفشار سیبری بر شدت سرمای هوا می‌افزاید. دارند (۱۳۹۳) به شناسایی امواج سرمای و تحلیل زمانی - مکانی آن‌ها بر روی ایران زمین پرداخت و به این نتیجه رسید که نه تنها از بسامد و رخداد امواج سرمای ایران کاسته شده بلکه دوام و شدت آن‌ها نیز طی دوره مورد پژوهش روند نزولی از خود نشان می‌دهند. تنها در گستره‌ی کوچکی از ایران (بر روی بلندی‌ها) روند امواج سرمای مثبت بوده و بر روی مناطق کم ارتفاع و دشت‌های داخلی ایران این روند منفی است. در تحقیقی که توسط نظری و همکاران (۱۳۹۴) انجام گرفت، با استفاده از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما در دو دوره (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و (۲۰۶۰-۲۰۴۰) در سه شهر مهاباد، سردشت و پیرانشهر واقع در حوزه آبریز سد مهاباد در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت که در این پژوهش از خروجی مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 استفاده شده است. نتایج خروجی از این مدل نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارش در حوضه مورد مطالعه می‌باشد. کریمی و نبی‌زاده (۱۳۹۵) با ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل LARS-WG به این نتیجه رسیدند که بارش ۴/۰۳ درصد کاهش خواهد داشت و میانگین دمای حداقل، افزایش ۰/۶۴ تا ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد در کل حوضه خواهد داشت و بیشترین افزایش دمای حداکثر در ماه نوامبر به میزان ۱/۲۷ و کمترین افزایش آن در ماه ژانویه به میزان ۰/۳۳ درجه خواهد بود. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی حوضه شهر چای ارومیه، به این نتیجه رسیدند که بارش دوره‌ی آتی ۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت و این در حالی است که دمای حداقل، ۱/۰۵ و دمای حداکثر، ۰/۸۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۷) چشم انداز تغییرات زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهار در شمال شرق کشور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که یخبندان‌های زودرس پاییزه یک الی دو هفته دیرتر شروع شده و یخبندان‌های دیررس بهار نیز ۹ الی ۱۸ روز زودتر به پایان می‌رسند. همچنین سرماهای زودرس پاییزه حدود ۷ تا ۱۳ روز دیرتر شروع شده و سرماهای دیررس بهار نیز حدود ۹ الی ۱۳ روز زودتر خاتمه می‌یابند. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) تغییرات دمای هوای دوره آینده در استان ایلام با استفاده از مدل‌های CMIP5 و سناریوهای RCP بررسی کردند نتایج تحقیقات نشان داد که بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 آثار تغییر اقلیم برای استان ایلام بصورت افزایش دمای کمینه و بیشینه خواهد بود به طوری که براساس سناریو RCP8.5 مقدار دمای کمینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۴/۲ و ۵/۵ و براساس سناریو RCP4.5 مقدار دمای کمینه ۳/۶ و ۴/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. صادقی و آزاد جلودارلو (۱۳۹۷) دماهای کمینه و بیشینه شهر زنجان را با استفاده از ریزمقیاس-نمایی آماری LARS-WG6 و مدل گردش عمومی HadGEM2-ES تحت سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که نرم‌افزار LARS-WG6 مقادیر ماهانه دمای کمینه و بیشینه را به خوبی پیش‌بینی کرده و مطابق با داده‌های مشاهداتی است. همچنین طبق هر سه سناریو، میانگین دمای کمینه و بیشینه در همه ماه‌های سال در هر سه دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۸) پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس‌گردانی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف انجام دادند. نتایج حاصل از بررسی برای دوره‌های آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) حاکی از کاهش ۷/۷ درصدی بارش، افزایش ۳/۴ درجه دمای حداقل و ۳/۳ درجه سلسیوس دمای حداکثر می‌باشد و همچنین میزان تابش نیز ۰/۳۸ میلی ژول در روز افزایش خواهد یافت. احمدی و همکاران (۱۳۹۸) کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی ناپهنجاری فصلی دمای ایران را تحت سناریوهای واداشت تابشی بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل HadGEM2-ES از عملکرد مناسبی در ارزیابی ناپهنجاری فصلی دمای ایران برخوردار است.

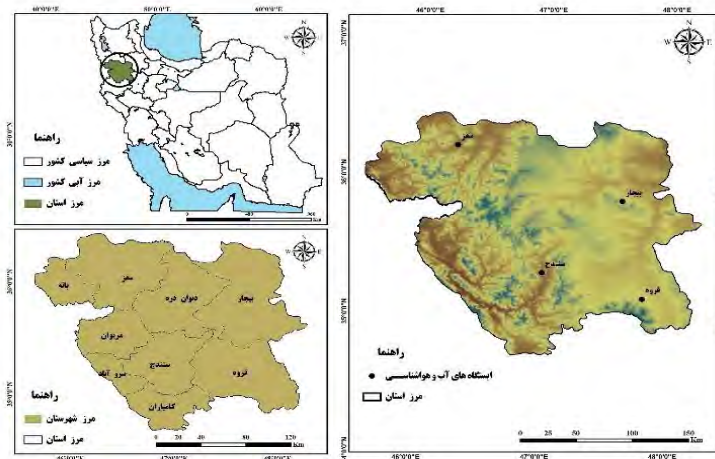
مطالعه جیودیت و ریتا^۱ (۲۰۰۶) در خصوص شاخص‌های دمایی حوضه کارپات نشانگر وجود روند افزایشی شدید در تعداد روزهای سرد، شدت یخبندان‌ها و شاخص استمرار موج سرما است. واوروس و همکاران^۲ (۲۰۰۶) به کمک مدل گردش عمومی جو رفتار موج‌های سرما را واکاوی کرده و به این نتیجه رسیدند که در بخش‌های غربی آمریکای شمالی و اروپا و با شدتی کمتر بر روی کلاهک‌های قطبی، بسامد رخداد موج‌های سرما رو به افزایش است و دلیل آن را قرارگیری در بخش پایین دست سردچال‌های جوی دانستند. کیویان و ژانگ^۳ (۲۰۰۷) تغییرات رخداد امواج گرم و سرد فصل زمستان را در چین مطالعه کردند. یافته‌ها بیانگر کاهش رخداد امواج سرد طی دوره مورد مطالعه (۱۹۶۰-۲۰۰۵) در این کشور است. پارک^۴ و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی رخداد موج‌های سرمای شرق آسیا در ارتباط با گردش‌های جوی به این نتیجه رسیدند که گردش‌های جو بالا نقش مهمی در رخداد موج‌های سرما در شرق آسیا دارند. وارفی^۵ و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی ویژگی‌های آماری روزهای همراه با رخداد سرما و گرماهای فرین یونان نتایج بدست آوردند که نشان داد میزان و شدت رخداد سرما و گرمای فرین در چهار دهه اخیر تغییرات معنی‌داری داشته است. گیورگیوس^۶ و همکاران (۲۰۱۱) رخداد امواج گرم و سرد زمستانی در نیمکره شمالی را بررسی کردند. نتایج مطالعات نشان داد که فاز منفی نوسان اطلس شمالی مسئول رخداد امواج سرد است. فاز مثبت آن با توجه به موقعیت و وضعیت نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام و نوسان جنوبی، منجر به رخداد امواج گرم می‌شوند. مدالا و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های مختلف GCM به پیش‌بینی تغییر اقلیم در دشت‌های مرتفع و هموار تگزاس پرداختند نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۷۰ طول فصل بدون یخبندان ۲/۶ تا ۳/۴ هفته طولانی‌تر می‌شود و روزهای یخبندان ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد در منطقه کاهش می‌یابد. گورکان^۷ و همکاران (۲۰۱۷) روند پیش‌بینی امواج سرمایی و گرمایی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی در ترکیه را با استفاده از مدل HadGEM2-ES تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که امواج گرمایی در دوره‌های آینده افزایش می‌یابند و روند کاهشی امواج سرمایی در دوره‌های آینده در این کشور حاکم خواهد بود.

از آنجایی که در تحقیقات داخلی انجام گرفته به پیش‌بینی دمای کمینه یا به عبارتی دماهای حداقل با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در استان کردستان کمتر توجه شده است بنابراین با احساس خالی بودن جای اینگونه مطالعات در پژوهش حاضر سعی شد که به پیش‌بینی دماهای حداقل با استفاده از مدل HadGEM2-ES و ریز مقیاس نمایی آماری LARS-WG6 در این استان پرداخته شود.

روش پژوهش

استان کردستان با وسعتی برابر با ۲۸۳۰۰ کیلومتر مربع در نوار کوهستانی غرب ایران واقع شده است. آب و هوای استان کردستان بیشتر متأثر از ارتفاع و جهت کوه‌های زاگرس، همچنین توده هوای مرطوب مدیترانه‌ای است. جریان‌های آب و هوایی متأثر از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه که عامل عمده بارش در کشور است، در عبور از این استان و برخورد با ارتفاعات زاگرس، بخش قابل توجهی از رطوبت خود را به شکل باران و برف از دست می‌دهد. به‌طور کلی استان کردستان به علت داشتن کوهستان‌های متعدد از نقاط سردسیر کشور به شمار می‌رود. (فلاح قاهره و همکاران، ۱۳۹۴). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1. Judit & Rita
2. Vavrus et al
3. Qian & Zhang
4. Park et al
5. Varfi et al
6. Guirguis et al
7. Gurkan et al



شکل (۱). محدوده مورد مطالعه

جدول (۱). مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۱	بیجار	۶۲/۴۷	۸۹/۳۵	۱۸۸۳
۲	سقز	۳۱/۴۶	۲۲/۳۶	۲۱۴۲
۳	سنندج	۰۱/۴۷	۲۵/۳۵	۱۳۷۳
۴	قروه	۷۹/۴۷	۱۸/۳۵	۱۹۰۶

هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی دماهای حداقل در استان کردستان در سه بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰) ریزمقیاس نمایی LARS-WG6 و سناریوهای RCP استفاده شد. این سناریوها شامل RCP2.6^۱، RCP4.5^۲ و RCP8.5^۳ می‌باشند. در تحقیق پیش‌رو ابتدا داده‌های روزانه دماهای کمینه و بیشینه، بارش و ساعت آفتابی برای سال‌های (۲۰۱۹-۱۹۸۹) از سازمان هواشناسی تهیه و مرتب گردید. سپس جهت تحلیل داده‌ها از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG6 استفاده شد. این مدل یک مدل مولد متغیرهای هواشناسی به صورت تصادفی است که می‌توان از آن برای شبیه‌سازی داده‌های جوی در یک مکان یا ایستگاه معین و برای بازه زمانی حال و آینده استفاده کرد (Semenov et al, 1998; Semenov & Brooks, 1999). مدل LARS-WG از سه بخش اصلی، کالیبره، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های مصنوعی تشکیل شده است (روشن و همکاران، ۱۳۹۱). در این تحقیق برای ارزیابی مدل LARS-WG از شاخص‌های خطاستنجه‌ی که در ذیل به شرح آن پرداخته شده است استفاده گردید. مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری به کار می‌رود که به صورت معادله ۱ تعریف می‌گردد. خطای میانگین مربعات (MSE) که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند این معیار در معادله ۲ تعریف می‌شود. میانگین قدرمطلق خطا (MAD) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به صورت معادله ۳ ارائه می‌گردد و ضریب تعیین (R^2) معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر ۱ است که در معادله ۴ نحوه محاسبه آن بیان شده است.

۱. براساس این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ وات بر متر مربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد.
 ۲. مطابق این سناریو واداشت تابشی از گازهای گلخانه‌ای پس از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع فرض می‌شود
 ۳. وجه مشخصه این سناریو افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به بیش از 1000ppm (parts per million) خواهد رسید (صادقی و آزاد جلودارلو، ۱۳۹۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (۲)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (۳)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A})(F_t - \bar{F})]^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A})^2 \sum_{t=1}^n (F_t - \bar{F})^2} \quad (۴)$$

در روابط فوق (۱ تا ۴) A_t به منزله t امین داده شبیه‌سازی شده توسط مدل و F_t نیز t امین داده مشاهداتی \bar{A} و \bar{F} ، میانگین کل داده‌های A_t و F_t در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸). پس از اطمینان از صحت مدل LARS-WG پیش‌بینی برای سه دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت سناریوهای RCP2.6، 4.5، 8.5 با بکارگیری داده‌های مدل HadGEM2-ES صورت گرفت سپس روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال در نرم افزار XLSTAT و Excel مشخص شد. من کندال یک آزمون ناپارامتریک رتبه‌ای است که جهت روند را مشخص کرده ولی بزرگی آن را مشخص نمی‌کند (باغی‌مقدم، ۱۳۹۶). روابط مربوطه جهت تعیین آماره من کندال به صورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (۵)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (۷)$$

$$Z_M = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (۸)$$

در روابط فوق (۵ تا ۸) n تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، x_i و x_j به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای، و q تعداد گروه‌های ایجادشده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو) t_p تعداد داده‌های برابر در p امین گروه و Z_M مقدار آماره من-کندال می‌باشد. مقدار منفی Z_M بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر $|Z_M| > 1/96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود (سبزی‌پرور و شادمانی، ۱۳۹۰).

مدل HadGEM2-ES

مدل‌های خانواده HadGEM2 شامل طیف وسیعی از پیکربندی مدل‌های خاص با درجات مختلف پیچیدگی ولی با چهارچوبی مشترک می‌باشند، اجزای مختلف خانواده HadGEM2 در پنجمین گزارش IPCC مورد استفاده قرار گرفتند. مؤلفه اتمسفر مدل HadGEM2-ES دارای ۳۸ لایه است که تا ارتفاع ۴۰ کیلومتری امتداد می‌یابد و تفکیک افقی آن از ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۸۷۵ درجه طول جغرافیایی است. تفکیک مکانی مدل در حدود ۲۰۸ کیلومتر در ۱۳۹ کیلومتر در استوا است که در

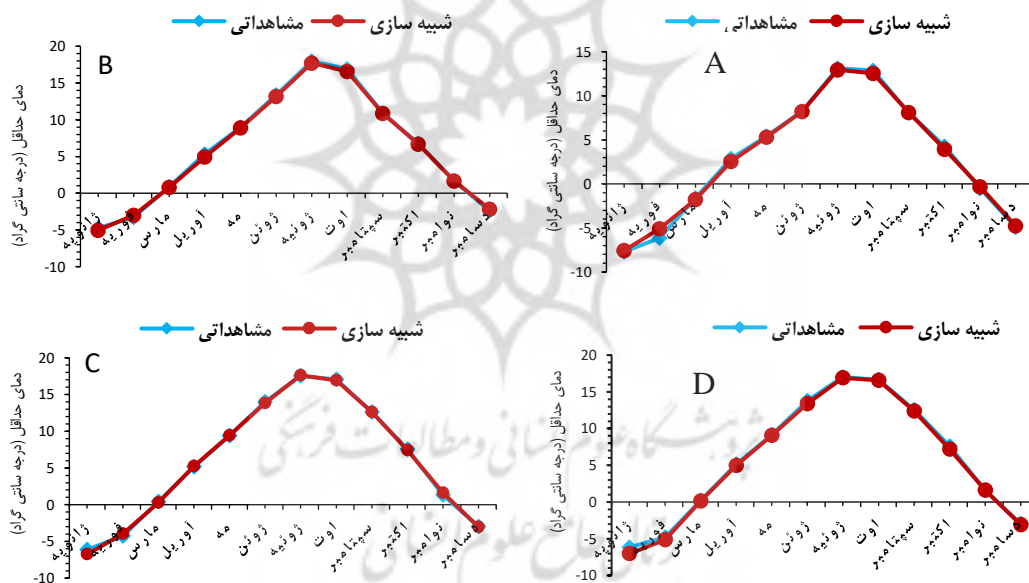
عرض‌های بالاتر این مقدار کاهش یافته و در عرض جغرافیایی ۵۵ درجه به ۱۲۰ کیلومتر در ۱۳۹ کیلومتر می‌رسد. (کولینز^۱ و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱).

بحث و بررسی

به منظور واسنجی و اطمینان از صحت مدل LARS-WG ابتدا مدل برای دوره آماری پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) اجرا گردید. سپس خروجی مدل که در این پژوهش دمای کمینه می‌باشد با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که مطابق شکل (۲) این مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی دما برخوردار است. به طوری که مقایسه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کم است و تمام ایستگاه‌ها ضریب تبیین ۰/۹۹ دارند. براساس نتایج کمترین خطای مدل مربوط به ایستگاه قروه و بیشترین خطا مربوط به ایستگاه سقز است که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲). ضرایب شاخص‌های خطاسنجی مدل LARS-WG

ایستگاه	RMSE	MAD	MSE	R ²
سقز	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۹۹
سنندج	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۹۹
قروه	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۹۹
بیجار	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۹۹

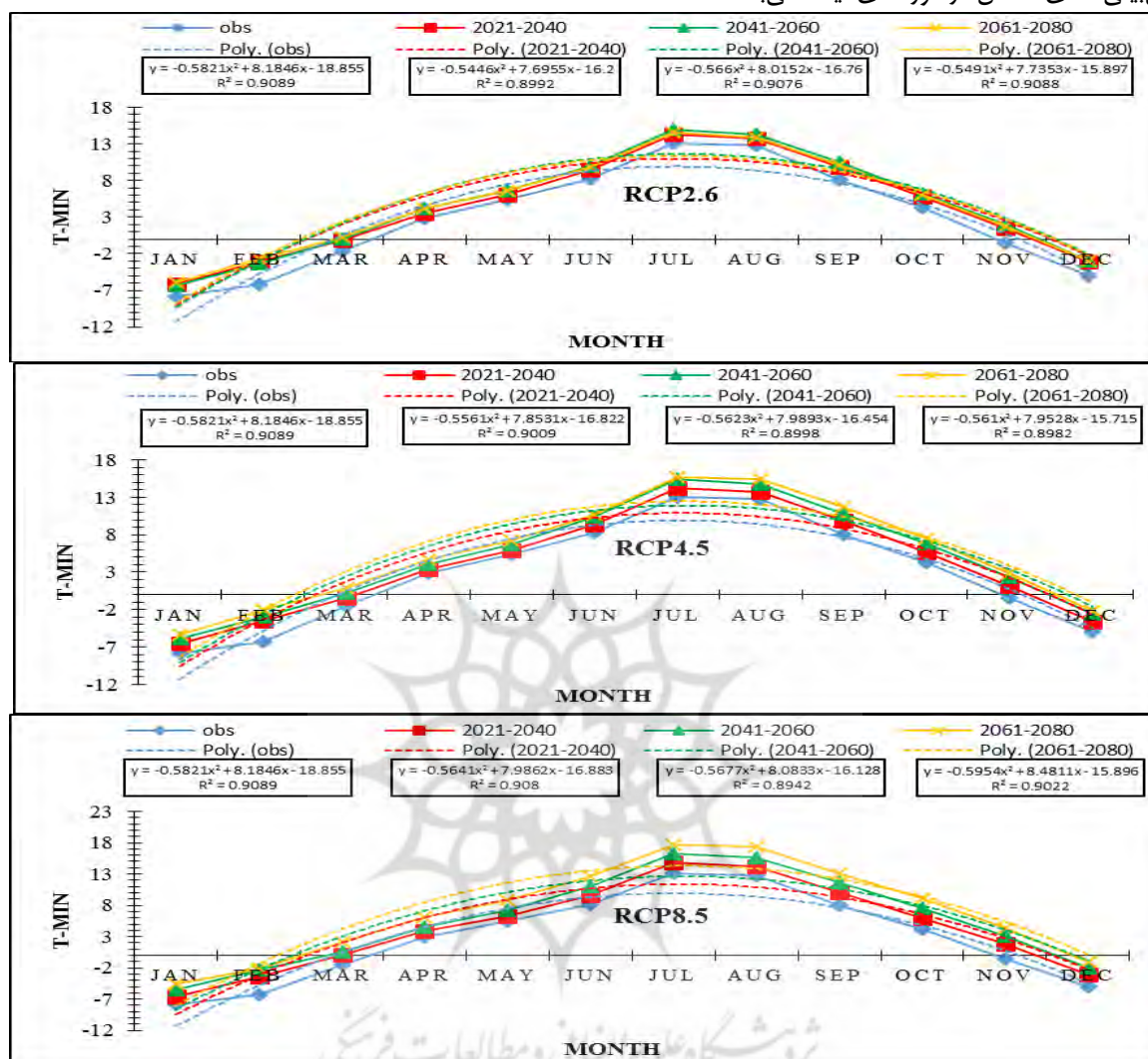


شکل (۲). مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه مشاهداتی و تولید شده ایستگاه‌های A: سقز، B: سنندج، C: قروه، D: بیجار برای دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۸۹

بررسی تغییرات دمای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های آینده ایستگاه سقز

طبق برآورد مدل و نتایج مندرج در نمودارهای شکل (۳)، دمای کمینه برای دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در تمامی ماه‌های سال افزایش خواهد داشت. بر این اساس شدت تغییرات در ماه فوریه بیشتر از بقیه ماه‌هاست. همانطور که از نمودارها مشخص است، براساس برآورد فصلی نیز شدت تغییرات در فصل بهار کمتر و در فصل پاییز بیشتر از سایر فصول هستند. همچنین سناریو RCP2.6 برای سه دوره نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) دمای کمینه را کمتر پیش‌بینی می‌کند و سناریو RCP8.5 نشان دهنده بیشترین میزان افزایشی دما می‌باشد که

این مقدار در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) مشهودتر است. با توجه به مقدار ضریب تبیین در این نمودارها، مدل تا سطح ۹۰ درصد قادر به پیش‌بینی دمای حداقل در دوره‌های آینده می‌باشد.



شکل (۳). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۹) ایستگاه سقز^۱

نتایج مقایسه میانگین‌های سالانه دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه نیز روند افزایشی دمای کمینه را نسبت به دوره پایه تأیید می‌کند. به طوری که بیشترین افزایش در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) مطابق سناریو RCP8.5 و کمترین میزان تغییرات در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت سناریو RCP4.5 می‌باشد که میزان افزایش به ترتیب ۴/۲ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد خواهند بود.

جدول (۳). مقایسه میانگین سالانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۹) ایستگاه سقز

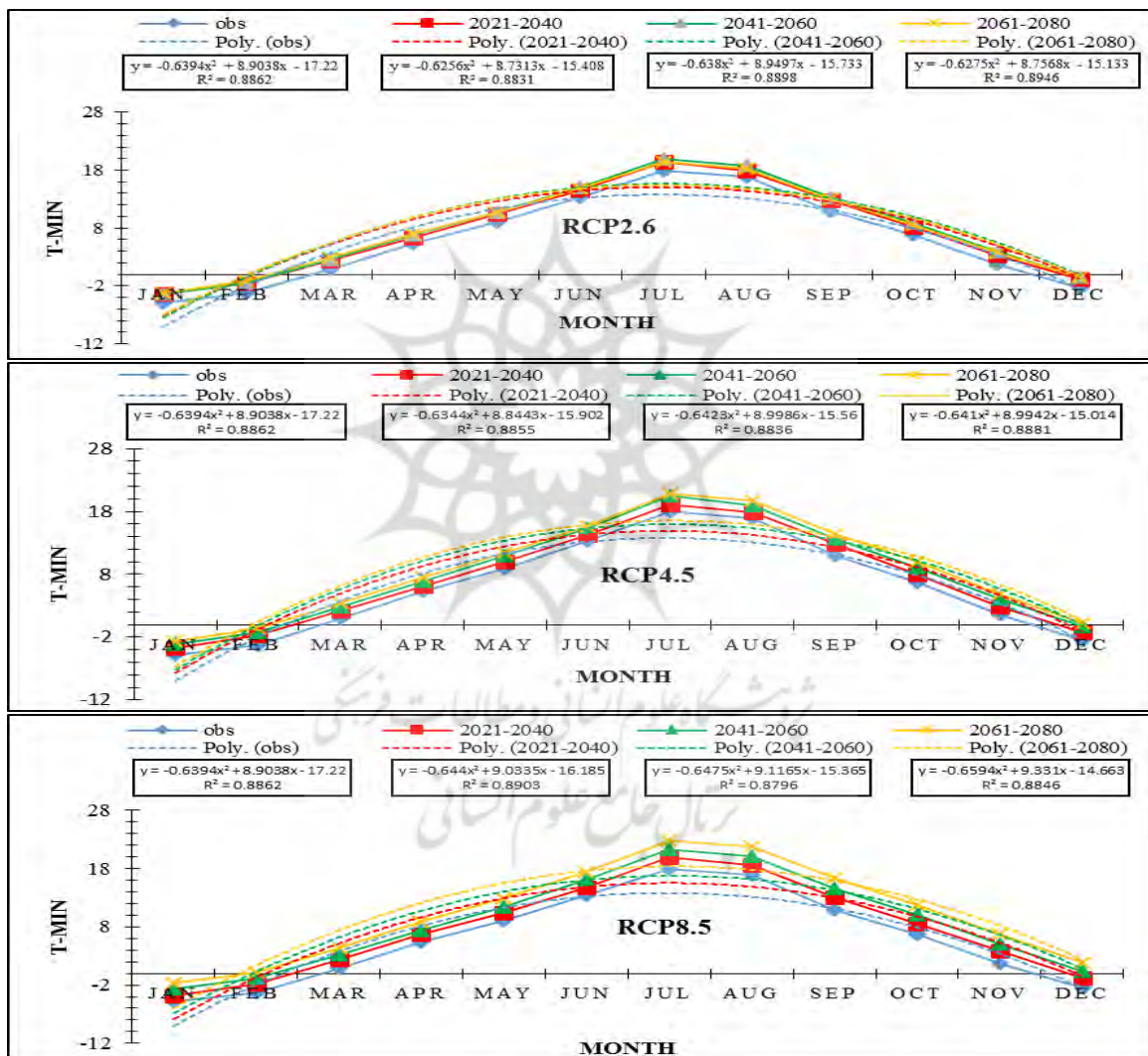
سناریوها	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۰۶۱-۲۰۴۰	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۱۹۸۹-۲۰۱۹
RCP2.6	۱/۵	۱/۹	۱/۸	
RCP4.5	۱/۳	۲/۲	۲/۸	
RCP8.5	۱/۷	۲/۸	۴/۲	۲/۸

۱. خطوط منقطع: Trend (روند دما)

خطوط ممتد: میزان افزایش دمای حداقل در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه

ایستگاه سنندج

بر اساس نتایج مشخص شده در نمودارهای شکل (۴)، دمای کمینه در این ایستگاه در تمام ماه‌ها روند افزایشی را برای دوره‌های آینده نشان می‌دهد. به طوری که ماه سپتامبر در سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 و ماه‌های سپتامبر و نوامبر تحت سناریوی RCP8.5 بیشترین میزان تغییرات را دارا می‌باشند. همچنین در این ایستگاه بر اساس سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 فصل بهار و بر اساس سناریوی RCP8.5 فصل زمستان افزایش دمای کمتری دارند و فصل پاییز بر اساس تمام سناریوها بیشترین افزایش دما را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است سناریو RCP8.5 نشان دهنده بیشترین میزان افزایش دمای کمینه می‌باشد که این مقدار در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ مشهودتر است. مقدار ضریب تبیین (R^2) نیز در این نمودارها نشان می‌دهد که مدل بین ۸۸ تا ۸۹ درصد قادر به پیش‌بینی دمای حداقل در دوره‌های آینده می‌باشد.



شکل(۴). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) ایستگاه سنندج

بر اساس جدول (۴) میانگین سالانه دمای حداقل در خوشبینانه‌ترین حالت (RCP2.6) در دوره‌های نزدیک ۱/۴، دوره متوسط ۱/۹ و دوره دور ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در حالت متوسط (RCP4.5) در همه دوره‌ها افزایش دما به ترتیب ۱/۲، ۲/۱ و ۲/۷ بوده و در بدبینانه‌ترین حالت (RCP8.5) در دوره‌های نزدیک و میانی به ترتیب ۱/۶، ۲/۸ و در دوره دور ۴/۲ درجه

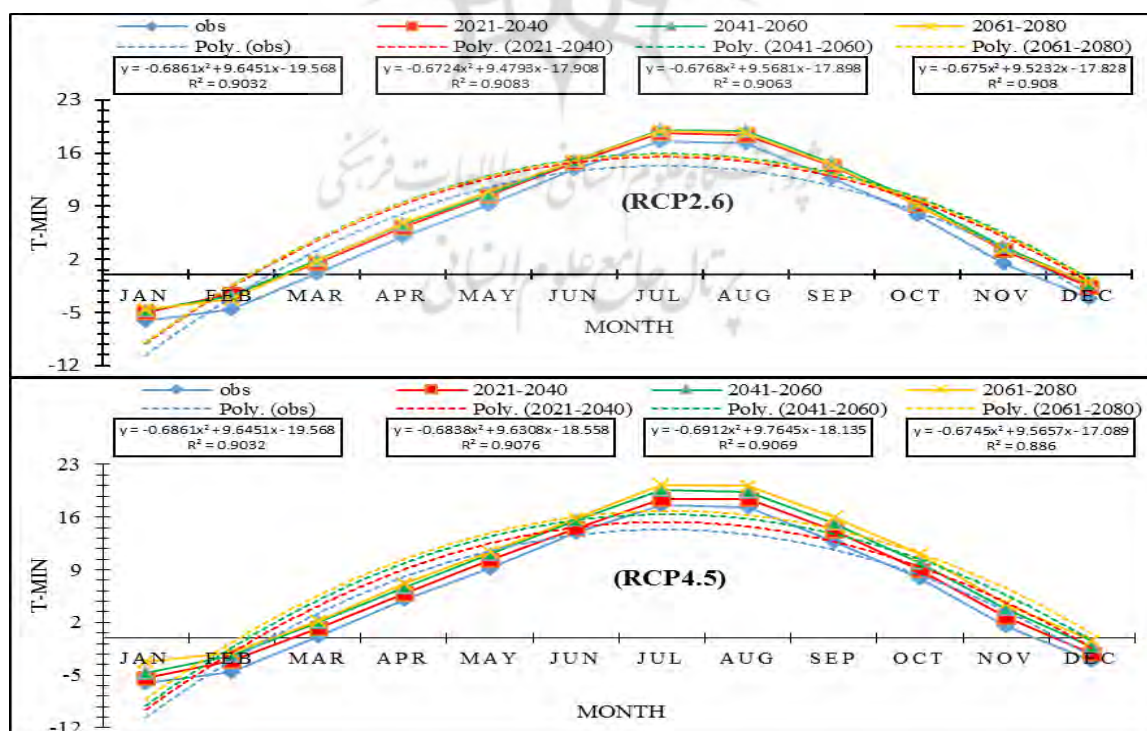
سانتی‌گراد خواهد بود. بنابراین نتیجه می‌شود که کمترین میزان افزایش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریو RCP4.5 و بیشترین میزان آن در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریو RCP8.5 خواهد بود.

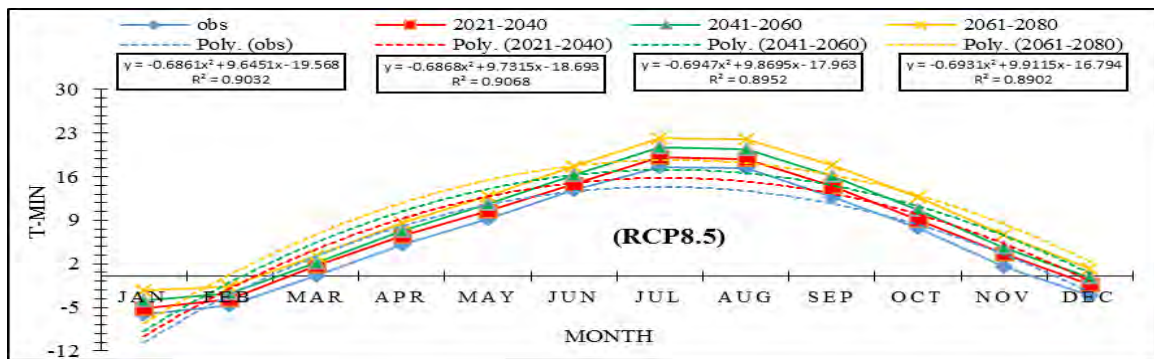
جدول (۴). مقایسه میانگین سالانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) ایستگاه سنندج

سناریوها	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۰۶۱-۲۰۶۰	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۱۹۸۹-۲۰۱۹
RCP2.6	۱/۴	۱/۹	۱/۸	۶/۰
RCP4.5	۱/۲	۲/۱	۲/۷	
RCP8.5	۱/۶	۲/۸	۴/۲	

ایستگاه قره

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل و طبق نمودارهای شکل (۵)، دمای کمینه ایستگاه قره در تمامی ماه‌ها با همه سناریوها افزایش خواهد یافت به طوری که ماه‌های سپتامبر و نوامبر تحت سناریو RCP2.6، ماه سپتامبر تحت سناریو RCP4.5 و ماه نوامبر براساس سناریو RCP8.5 بیشترین میزان افزایش را خواهند داشت. میانگین‌های فصلی نیز روند افزایش دمای کمینه را تأیید می‌کنند. براساس سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 فصل بهار، براساس سناریو RCP8.5 فصل زمستان کمترین میزان افزایش دما را دارند و فصل پاییز بر اساس تمام سناریوها بیشترین میزان افزایش دما را نشان می‌دهد. در این بین سناریو RCP2.6 نسبت به دو سناریو دیگر کمترین میزان تغییرات دما را نشان می‌دهد. سناریو RCP8.5 نشان دهنده بیشترین میزان تغییرات دما می‌باشد که این مقدار در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) ملموس‌تر است. مقدار ضریب R^2 در این نمودارها نیز نشان می‌دهد که مدل تا سطح ۹۰ درصد قادر به پیش‌بینی دمای حداقل در دوره‌های آینده می‌باشد. میانگین‌های سالانه جدول (۵) نشان می‌دهند که بیشترین میزان روند افزایشی در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت سناریو RCP8.5 و کمترین میزان تغییرات در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریو RCP4.5 می‌باشد که به ترتیب ۴/۱ و ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابند.





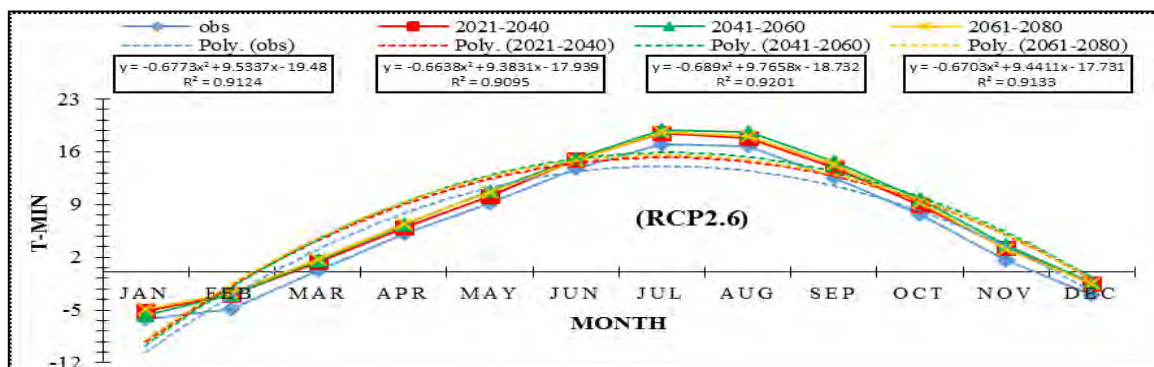
شکل (۵). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) ایستگاه قروه

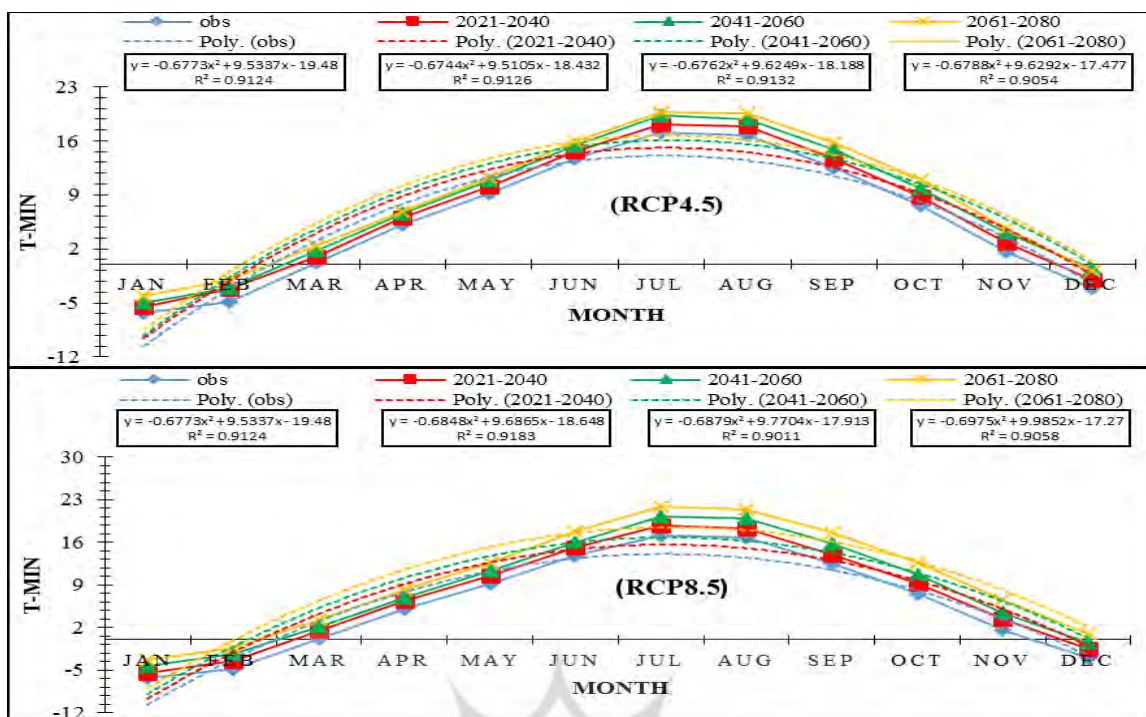
جدول (۵). مقایسه میانگین سالانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) ایستگاه قروه

سناریوها	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۱۹۸۹-۲۰۱۹
RCP2.6	۱/۳	۱/۷	۱/۵	۶/۰
RCP4.5	۱	۱/۹	۲/۶	
RCP8.5	۱/۴	۲/۶	۴/۱	

ایستگاه بیجار

همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است در ایستگاه بیجار تمامی سناریوها افزایش دمای کمینه را نسبت به دوره پایه پیش‌بینی می‌کنند. بر اساس میانگین‌های ماهانه ایستگاه بیجار، ماه فوریه دارای بیشترین میزان تغییرات تحت هر سه سناریو RCP می‌باشد. می‌توان اظهار داشت که در سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 فصل بهار کمترین و فصول پاییز و تابستان بیشترین میزان افزایش دما را دارند و در سناریوی RCP8.5 فصول زمستان و تابستان به ترتیب کمترین و بیشترین روند افزایشی دما را نشان می‌دهند. در این میان سناریو RCP2.6 و RCP4.5 نسبت به سناریو RCP8.5 برای دوره‌های نزدیک، میانی و دورکمترین میزان تغییرات دما را دارند. همان‌طور که از نمودارها مشخص است، دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ بر اساس سناریو RCP8.5 گرمتر از سایر دوره‌ها خواهد بود. همچنین مقدار ضریب تعیین (R^2) مشخص شده در این نمودارها نشان می‌دهد که مدل بین ۹۰ تا ۹۲ درصد قادر به پیش‌بینی دمای حداقل در دوره‌های آینده می‌باشد که خود نشان دهنده دقت بالای مدل برای پیش‌بینی دوره‌های آتی می‌باشد.





شکل (۶). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) ایستگاه بیجار

به علت اینکه داده‌های مشاهداتی در هر سه نمودار تکرار شده است مقادیر ضرایب معادلات نیز در دوره مشاهداتی یکسان می‌باشد اما اعداد هر سه سناریو متفاوت می‌باشد بر این اساس ضرایب معادلات نیز تفاوت دارند. مطابق جدول (۶) دمای سالانه ایستگاه بیجار در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) به ترتیب ۱/۲، ۱ و ۱/۴ درجه، دوره میانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) ۱/۶، ۱/۹ و ۲/۵ درجه و دوره دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) ۱/۵، ۲/۵ و ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهند داشت. بنابراین دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در سناریوی RCP4.5 با ۱ درجه سانتی‌گراد، کمترین مقدار افزایش را دارد و دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت سناریوی RCP8.5 با ۴ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان افزایش دمای کمینه را دارد.

جدول (۶). مقایسه میانگین سالانه دمای حداقل پیش‌بینی شده برای دوره‌های آینده با دوره پایه (۲۰۱۹-۱۹۸۹) ایستگاه بیجار

سناریوها	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۱۹۸۹-۲۰۱۹
RCP2.6	۱/۲	۱/۶	۱/۵	۵/۸
RCP4.5	۱	۱/۹	۲/۵	
RCP8.5	۱/۴	۲/۵	۴	

روند تغییرات فصلی و سالانه دمای کمینه ایستگاه سقز

۱- سناریوی RCP2.6: براساس جدول (۷) روند تغییرات در مقیاس فصلی نشان می‌دهد که در ایستگاه سقز تغییرات آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بین -۰/۲۹ تا -۲/۲۴ می‌باشد. آماره Z در تمام فصول منفی بوده و در فصل پاییز روند آن معنادار می‌باشد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) فصل بهار با مقدار ۰/۳۶ دارای روند مثبت بوده و سایر فصول روند منفی دارند. در این میان فصل پاییز با مقدار -۲/۶۳ روند منفی معناداری نشان می‌دهد. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) نیز روند منفی وجود دارد. فصل بهار بدون

روند بوده و فصل پاییز با مقدار ۲/۱۷- دارای روند منفی است. روند تغییرات در مقیاس سالانه نیز منفی بوده و بیشترین میزان آن با ۱/۸۵- مربوط به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) می‌باشد.

۲- سناریوی RCP4.5: تغییرات آماره Z در دو دوره‌های (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) بین ۰/۲۹- تا ۲/۲۴- می‌باشد که در این میان فصل پاییز روند منفی معناداری دارد. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) نیز روند منفی مشهود می‌باشد. در این دوره فصل بهار روند تقریباً ثابتی داشته و فصل پاییز با ۲/۳۰- روند منفی معناداری دارد. نتایج در مقیاس سالانه نیز روند منفی داشته و دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) با مقدار ۱/۸۵- بیشترین روند کاهشی را نشان می‌دهد.

۳- سناریوی RCP8.5: آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در فصل بهار روند تقریباً ثابتی داشته و در بقیه فصول بین ۱/۰- تا ۲/۱۷- متغیر است. در این میان فصل پاییز روند منفی معناداری دارد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) فصول بهار و تابستان روند مثبت داشته و فصول زمستان و پاییز روند منفی را نشان می‌دهند که در این دوره هم روند منفی معنی‌دار، مربوط به فصل پاییز می‌باشد. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) فصل بهار با مقدار ۲/۸۹ دارای روند مثبت یا افزایشی معنی‌دار می‌باشد و در بقیه فصول روند منفی مشاهده می‌گردد و فصول پاییز و تابستان دارای روند منفی معنادار هستند. نتایج مقیاس سالانه نیز در این سناریو نشان‌دهنده روند منفی می‌باشد و دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) با مقدار ۲/۰۴- معنادار می‌باشد.

جدول (۷). آماره Z دمای حداقل ایستگاه سقز در مقیاس فصلی و سالانه

سناریوها	دوره‌ها	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
RCP2.6	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۸۵	-۰/۲۹	-۰/۳۶	-۱/۲۰	-۲/۲۴
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۵۹	-۰/۰۳	۰/۳۶	-۰/۷۵	-۲/۶۳
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۶۵	-۰/۲۳	۰/۰۰	-۰/۹۴	-۲/۱۷
RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۷۲	-۰/۲۹	-۰/۳۶	-۱/۲۷	-۲/۲۴
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۸۵	-۰/۲۹	-۰/۲۳	-۱/۲۰	-۲/۲۴
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۶۵	-۰/۱۶	۰/۱۰	-۰/۹۴	-۲/۳۰
RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۵۹	-۰/۱۰	۰/۱۰	-۰/۹۴	-۲/۱۷
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۶۵	-۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۸۸	-۲/۲۴
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۲/۰۴	-۱/۸۵	۲/۸۹	-۲/۴۳	-۳/۳۴

روند تغییرات فصلی و سالانه دمای کمینه ایستگاه سقز

۱- سناریوی RCP2.6: مطابق جدول (۸) روند تغییرات در مقیاس فصلی نشان می‌دهد که در ایستگاه سقز تغییرات آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در فصل بهار با مقدار ۱/۹۸ دارای روند مثبت معنادار بوده و در سایر فصول این روند منفی است و بین ۰/۱۰- تا ۲/۶۹- متغیر می‌باشد. در این بین، فصل پاییز با مقدار ۲/۶۹- دارای روند منفی معنادار است. در دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) فصل بهار با مقدار ۱/۸۵ روند مثبت غیرمعنادار داشته و در سایر فصول روند منفی بوده و بین ۰/۴۹- تا ۱/۷۸- متغیر است. دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) دارای روند می‌باشد. در این میان روند، برای فصل بهار با مقدار ۱/۵۴ مثبت بوده و برای فصول تابستان و پاییز منفی است و فصل زمستان نیز تقریباً روند ثابتی دارد. روند تغییرات در مقیاس سالانه نیز نشان‌دهنده منفی بودن آن است که دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با مقدار ۱/۷۸- بیشترین مقدار را دارد.

۲- سناریوی RCP4.5: تغییرات آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در فصول تابستان و پاییز دارای روند منفی معنادار است. فصل زمستان تقریباً بدون روند بوده و فصل بهار نیز با مقدار ۱/۹۱ روند مثبت دارد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) فصل تابستان بدون روند بوده و فصول زمستان و پاییز به ترتیب با مقدار ۰/۱۰- و ۲/۶۹- روند منفی دارند که در این بین فصل پاییز روند منفی معنادار را نشان می‌دهد و فصل بهار نیز با مقدار ۲/۱۰ روند مثبت معنادار دارد. دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) به جز فصل بهار بقیه فصول روند منفی دارند. روند تغییرات در مقیاس سالانه نشان‌دهنده روند منفی می‌باشد که دو دوره اول با مقدار ۱/۷۸- بیشترین روند را دارد.

۳- سناریوی RCP8.5: تغییرات آماره Z دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) فصل بهار با مقدار ۱/۸۸ روند مثبت داشته و در سایر فصول روند منفی، بین ۰/۴۲- تا ۱/۷۲- متغیر می‌باشد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) به جز فصل بهار، روند منفی در سایر فصول مشهود می‌باشد که فصل پاییز با مقدار ۱/۸۵- بیشترین مقدار روند منفی را دارد. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) فصل بهار با ۲/۰۴ دارای روند مثبت معنادار می‌باشد. در بقیه فصول روند منفی می‌باشد که بین ۰/۴۲- تا ۱/۸۵- متغیر است. روند تغییرات در مقیاس سالانه نیز نشان دهنده روند منفی در هر سه دوره، با مقدار ۱/۳۳- می‌باشد.

جدول (۸). آماره Z دمای حداقل ایستگاه سنندج در مقیاس فصلی و سالانه

سناریوها	دوره‌ها	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
RCP2.6	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۷۸	-۰/۱۰	۱/۹۸	-۱/۹۸	-۲/۶۹
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۳۳	-۰/۴۹	۱/۸۵	-۱/۰۱	-۱/۷۸
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۱۸	۰/۰۹	۱/۵۴	-۰/۵۷	-۱/۹۶
RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۷۸	-۰/۰۳	۱/۹۱	-۱/۹۸	-۲/۶۹
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۷۸	-۰/۱۰	۲/۱۰	-۰/۰۱	-۲/۶۹
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۳۳	-۰/۴۸	۱/۸۴	-۱/۰۰	-۱/۸۴
RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۳۳	-۰/۴۲	۱/۸۸	-۱/۰۱	-۱/۷۲
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۳۳	-۰/۶۲	۲/۱۱	-۱/۰۱	-۱/۸۵
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۳۳	-۰/۴۲	۲/۰۴	-۰/۹۴	-۱/۸۵

روند تغییرات فصلی و سالانه دمای کمینه ایستگاه قروه

۱- سناریوی RCP2.6: براساس جدول (۹) روند تغییرات در مقیاس فصلی نشان می‌دهد که در ایستگاه قروه در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) تغییرات آماره Z برای فصول زمستان و بهار مثبت بوده و برای فصول تابستان و پاییز منفی باشد که در این دو فصل به ترتیب با مقادیر ۲/۰۴- و ۳/۵۳- معنادار می‌باشد. فصل بهار با مقدار ۲/۳۰ روند مثبت معنادار دارد. روند در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نیز همچون دوره قبل در فصل بهار با مقدار ۲/۶۹ مثبت معنادار بوده و دو فصل تابستان و پاییز با مقدار ۲/۵۶- منفی معنادار می‌باشند. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) آماره Z در فصل بهار روند مثبت داشته و در سایر فصول روند منفی بین ۰/۴۲- تا ۳/۶۶- متغیر است. که فصل پاییز با مقدار ۳/۶۶- معنادار می‌باشد. در مقیاس سالانه هم دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) با مقدار ۱/۷۸- بیشترین روند منفی را داراست.

۲- سناریوی RCP4.5: تغییرات آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در فصول تابستان و پاییز منفی معنادار، در فصل بهار با مقدار ۱/۹۸ مثبت معنادار و در فصل زمستان تقریباً بدون روند می‌باشد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) تغییرات در تمام فصول روند مثبت دارد به جز فصل پاییز که با مقدار ۳/۹۹- روند منفی معناداری دارد. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) تغییرات آماره Z در فصل تابستان بدون روند می‌باشد، فصل پاییز با مقدار ۲/۹۵- دارای روند منفی معنادار بوده و در سایر فصول روند مثبت است. تغییرات در مقیاس سالانه روند منفی را نشان می‌دهد که دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) با مقدار ۱/۲۷- بیشترین مقدار را دارد.

۳- سناریوی RCP8.5: روند تغییرات نشان می‌دهد که در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تغییرات آماره Z برای فصول بهار و تابستان دارای روند مثبت است. فصل بهار با مقدار ۳/۲۱ معنادار بوده و برای فصول زمستان و پاییز روند منفی را نشان می‌دهند که در این میان فصل پاییز با مقدار ۳/۶۷- معنادار می‌باشد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) روند تغییرات در تمام فصول وجود دارد که فصل بهار با مقدار ۲/۸۹ روند مثبت معنادار و فصل پاییز با مقدار ۳/۷۳- روند منفی معنادار دارند. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) آماره Z برای فصل پاییز با مقدار ۳/۳۴- روند منفی معنادار داشته، و برای سایر فصول روند مثبت را نشان می‌دهد که در این میان فصل بهار با مقدار ۲/۳۰ معنادار می‌باشد. روند تغییرات در مقیاس سالانه نشان دهنده روند منفی می‌باشد که دو دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ با مقدار ۱/۵۹- بیشترین میزان روند را دارد.

جدول (۹). آماره Z دمای حداقل ایستگاه قروه در مقیاس فصلی و سالانه

سناریوها	دوره‌ها	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
RCP2.6	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۰/۸۱	۰/۲۹	۲/۳۰	-۲/۰۴	-۳/۵۳
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۰/۴۹	۰/۱۰	۲/۶۹	-۲/۵۶	-۲/۵۶
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۷۸	-۰/۴۲	۲/۷۵	-۱/۳۷	-۳/۶۶
RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۲۰	-۰/۰۳	۱/۹۸	-۱/۷۸	-۲/۷۶
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۳۷	۰/۱۶	۲/۲۴	۱/۹۸	-۳/۹۹
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۰/۸۱	۰/۴۹	۱/۳۳	۰/۰۰	-۲/۹۵
RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	-۱/۵۹	-۰/۷۵	۳/۲۱	۰/۸۸	-۳/۶۷
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۱/۵۹	-۰/۲۳	۲/۸۹	-۱/۱۴	-۳/۷۳
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۰/۸۸	۰/۳۶	۲/۳۰	۰/۸۱	-۳/۳۴

روند تغییرات فصلی و سالانه دمای کمینه ایستگاه بیجار

۱- سناریوی RCP2.6: همانطور که در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود روند تغییرات فصلی نشان می‌دهد که در ایستگاه بیجار تغییرات آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) برای فصول زمستان و بهار روند مثبت یا افزایشی معنادار دارد و برای فصول تابستان و پاییز روند منفی معنادار است. دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نیز دارای روند می‌باشد که فصل بهار با مقدار ۲/۵۶ دارای روند مثبت معنادار و فصل تابستان با مقدار -۲/۵۶ دارای روند منفی معنادار می‌باشد. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) روند مثبت و منفی مشهود می‌باشد که فصل زمستان با مقدار ۲/۳۷ مثبت معنادار بوده و فصل تابستان با مقدار -۲/۴۳ روند منفی معنادار دارد. روند تغییرات سالانه نیز نشان می‌دهد که دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) با مقدار -۰/۳۵ دارای روند منفی بوده و دو دوره دیگر روند مثبت دارند.

۲- سناریوی RCP4.5: آماره Z در هر سه دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و (۲۰۶۱-۲۰۸۰) بین ۲/۲۴ تا -۰/۹۷ متغیر می‌باشد. که فصول بهار و زمستان روند مثبت معنادار داشته و فصول تابستان و پاییز روند منفی دارند. که فصل تابستان در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ با مقدار -۲/۵۳ روند منفی معنادار دارد. در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ فصل بهار با مقدار ۲/۱۱ مثبت یا افزایشی معنادار و فصل پاییز با مقدار -۲/۱۷ منفی یا کاهشی معنادار می‌باشند. همچنین روند تغییرات در مقیاس سالانه مثبت و منفی است که دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) با میزان -۱/۰۷ دارای روند منفی می‌باشد.

۳- سناریوی RCP8.5: آماره Z در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) برای فصول زمستان و بهار مثبت بوده و برای فصول تابستان و پاییز منفی می‌باشد که در این میان فصل تابستان با مقدار -۲/۸۲ منفی معنادار می‌باشد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نیز آماره Z مطابق دوره قبل می‌باشد که فصول تابستان و زمستان به ترتیب با مقدار -۲/۵۰ و ۲/۲۴ روند معنادار دارند. در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) فصل زمستان تقریباً بدون روند بوده، فصل بهار با مقدار ۲/۳۷ روند مثبت معنادار داشته و فصول تابستان و پاییز روند منفی دارند که فصل پاییز با مقدار -۲/۳۷ معنادار می‌باشد. براساس تغییرات سالانه نیز دو دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) روند مثبت دارند و دوره آخر با مقدار -۱/۳۳ روند منفی دارد.

جدول (۱۰). آماره Z دمای حداقل ایستگاه بیجار در مقیاس فصلی و سالانه

سناریوها	دوره‌ها	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
RCP2.6	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۳۸	۱/۹۸	۲/۲۴	-۳/۰۸	-۲/۶۹
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	-۰/۳۵	۰/۲۳	۲/۵۶	-۲/۵۶	-۱/۴۰
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۰/۱۶	۲/۳۷	۰/۶۲	-۲/۴۳	-۱/۲۰
RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۴۹	۲/۳۰	۲/۲۴	-۱/۷۲	-۱/۲۰
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۰/۳۹	۱/۶۹	۱/۸۲	-۲/۵۳	-۰/۹۷
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۰۷	۰/۴۹	۲/۱۱	-۱/۳۳	-۲/۱۷
RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۴۹	۱/۵۹	۱/۳۷	-۲/۸۲	-۱/۷۲
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۰/۱۶	۲/۲۴	۰/۶۲	-۲/۵۰	-۱/۵۲
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	-۱/۳۳	-۰/۰۳	۲/۳۷	-۱/۳۳	-۲/۳۷

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، در این پژوهش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و خروجی مدل جهانی HadGM2-ES تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه استان در سه دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی عملکرد مدل LARS-WG نشان داد که این مدل از کارایی بالایی جهت شبیه‌سازی تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. همچنین براساس نتایج حاصل از خروجی مدل جهانی HadGM2-ES در منطقه مورد مطالعه میزان دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه در تمام سناریوها و دوره‌ها افزایش خواهد داشت که در ماه‌های فوریه، سپتامبر و نوامبر بیشتر قابل توجه می‌باشد. شایان ذکر است که شدت این افزایش تحت سناریوی RCP8.5 مربوط به دوره آخر قرن (۲۰۶۱-۲۰۸۰) می‌باشد و به میزان کمتر مربوط به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) تحت سناریوی RCP4.5 می‌باشد بر این اساس دمای هوا در دوره پایانی قرن گرم‌تر خواهد بود. بررسی میانگین‌های فصلی نیز نشان می‌دهد فصل بهار افزایش دمای کمتر و فصل پاییز افزایش دمای بیشتری دارد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که هوا در دوره‌های آینده گرم‌تر خواهد شد. این نتایج با تحقیقات صادقی و آزادجلودارلو (۱۳۹۷) و احمدی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارند. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان می‌دهد که تغییرات دما در استان کردستان از مهم‌ترین ویژگی‌های آن محسوب می‌شود که توزیع آن از نظر زمانی و مکانی در سطح استان یکسان نمی‌باشد. با بررسی پارامتر دمای حداقل سطح استان معلوم گردید که تغییرات موجود از نوع روند و در دو جهت مثبت و منفی است که در ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس تمام سناریوها در دوره‌های مختلف پیش‌بینی شده، فصل بهار با دارا بودن بیشترین روند مثبت هوای سردتری خواهد داشت اما فصل پاییز با دارا بودن بیشترین روند منفی هوای گرمتری را تجربه خواهد کرد و از مقدار دمای کمینه در این فصل کاسته خواهد شد. در این بین تغییرات ایجاد شده بر اساس RCP8.5 در دوره پایانی قرن (۲۰۶۱-۲۰۸۰) مشهودتر خواهد بود. پیامد افزایش دمای هوا موجب کاهش رطوبت خاک، افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل، افزایش خشکی محیط و گسترش آفات خواهد شد، بنابراین به کارگیری برنامه‌های بلندمدت و سازگارانه برای کاهش آثار سوء تغییر اقلیم در منطقه پراهمیت می‌باشد.

منابع

- احمدی، بهروز (۱۳۹۲). شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان خوزستان با استفاده از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جو (GCMs). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا گرایش اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۲.
- احمدی، محمد، عزیزی، قاسم، کردوانی، پرویز (۱۳۹۷). چشم‌انداز تغییرات دمای هوای دوره آینده براساس مدل‌های CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی RCP (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان ایلام). فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۱۲(۴۳):
- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی، اکبری‌ازیرانی، طیبیه، کرمی، جمال (۱۳۹۸). کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی ناهنجاری فصلی دمای ایران تحت سناریوهای واداشت تابشی، فیزیک زمین و فضا، ۴۵(۳): ۶۲۵-۶۴۴.
- الهامی مقدم، مینا (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات اخیر دماهای روزانه ایستگاه‌های شمال غرب ایران با استفاده از برخی مدل‌های گردش عمومی جو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۲.
- پیرمردیان، نادر، هادی‌نیا، حسن، اشرف زاده، افشین (۱۳۹۳). پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش در ایستگاه سینوپتیک رشت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۵): ۲۹-۴۴.

جهانبخش اصل، سعید، محمد خورشیددوست، علی، عالی نژاد، محمد حسین، پور اصغر، فرناز (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه شهر چای ارومیه)، هیدروژئومورفولوژی، (۷): ۱۰۷-۱۲۲.

دارند، محمد (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرما و سرما در استان کردستان و تغییرات بسامد رخداد آن‌ها طی چند دهه اخیر، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران ۱۳۹۲، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

دارند، محمد (۱۳۹۳). شناسایی امواج سرما و تحلیل زمانی-مکانی آن‌ها بر روی ایران زمین، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، (۲): ۲۵۳-۲۶۸.

رضازاده، یعقوب، علیجانی، بهلول (۱۳۹۳). تحلیل آماری سینوپتیکی امواج سرمای خسارت‌بار شمال غرب ایران، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(۶۱): ۲۰۲-۱۸۳.

رضایی بنفشه درق، مجید، جهانبخش اصل، سعید، محمد خورشیددوست، علی، علی محمدی، مجید (۱۳۹۷). چشم انداز تغییرات زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در شمال شرق کشور. فصلنامه جغرافیای طبیعی، بهار ۱۳۹۸، ۱۲ (۴۳): .

روشن، غلامرضا، خواجه شاهکوئی، علیرضا، نجفی، محمد سعید (۱۳۹۱). بررسی اثرات گرمایش جهانی بر گرمایش و سرمای سکونتگاه‌های انسانی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های شمال غربی ایران)، مجله نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی.

زهره‌وندی، حسن، محمد خورشیددوست، علی، ساری صراف، بهروز (۱۳۹۸). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس گردانی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۱)۷: ۴۹-۶۴.

سبزی‌پرور، علی اکبر، شادمانی، مجتبی (۱۳۹۰). تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک (۴): ۸۲۳-۸۴۳.

شاهبایی کوتنایی، علی (۱۳۹۳). تحلیل همدید موج‌های سرمای زمستانی در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، آب و هواشناسی سینوپتیک، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، ۱۹.

صادقی، امین، آزاد جلودارلو، کوروش (۱۳۹۷). پیش‌بینی دمای هوا و روند تغییرات آن در دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی، زنجان)، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام ایران-تبریز پایتخت گردشگری کشورهای اسلامی).

صادقی، سلیمان، حسن زاده، سیدرضا، دوستان، رضا، آهنگرزاده، زهرا (۱۳۹۱). تحلیل همدیدی امواج سرمای در شمال شرق ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، پاییز ۱۳۹۱ (۳): ۱۰۷-۱۲۳.

فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۳). مخاطرات اقلیمی ایران، ناشر سمت، چاپ اول.

فلاح قاله‌ری، غلام‌عباس، میوانه، فاطمه، شاکری، فهیمه (۱۳۹۴). ارزیابی آسایش حرارتی انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی، مطالعه موردی: استان کردستان، مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی، انجمن علمی بهداشت محیط ایران، پاییز ۱۳۹۴، ۸ (۳): ۳۶۷-۳۷۸.

کریمی، صادق، نبی‌زاده، عادل (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل **LARS-WG**، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۲ (۶۵): ۲۶۷-۲۸۵.

کریمی، صادق، نگارش، حسین، طاوسی، تقی، علیجانی، بهلول (۱۳۹۱). تحلیل هم‌دید امواج سرماهای فراگیر ایران، مورد: موج سرمای دی و بهمن ۱۳۸۳ استان چهارمحال و بختیاری، جغرافیا و توسعه، زمستان ۱۳۹۱، (۲۹): ۷۶-۵۵.

مسعودیان، ابوالفضل، دارند، محمد (۱۳۹۲). ارتباط دو الگوی دریای شمال- خزر و شرق اروپا-شمال شرق ایران با بسامد رخداد سرماهای فرین دوره سرد سال ایران، مجله فیزیک زمین در فضا، (۲): ۱۸۶-۱۷۱.

نظری شریبان، محمد، طاهریانف مسعودف احمدی، آزاده (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش در حوزه آبریز سد مهاباد با استفاده از مدل **CanESM2**. اولین همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، ارومیه ۱۳۹۴.

Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., and Martin, G., (2011), **Development and evaluation of an Earth-System model- HadGEM2**, Geosci. Model Dev, (4): 1051-1075, 2011.

Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T., Jones, C.D., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., and Senio, C., (2008), **Evaluation of the HadGEM2 model. Hadley Cent**, Tech. Note, (74):

Guirguis, K., Gershunov, A., Schwartz, R., Bennett, S., (2011), **recent warm and cold daily winter temperature extremes in the Northern Hemisphere**, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, and VOL. (38): L17701, doi.

Gurkan, H., Eskioglu, O., Yazici, B., Sensoy, S., Komuscu, A.U., Calik, Y., (2017). **Projected Trends In Heat And Cold Waves Under Effect Of Climate Change**, 8 Th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2017), and 1-4 November 2017, Istanbul/TURKEY.

Judit, B., Rita, P., (2006), **Regional analysis of extreme temperature indices for the Carpathian Basin from 1964 to 2001**, Global and planetary change, (91): 213-221.

Modala, N. R. S., Ale, D. W., Goldberg, M., Olivares, C. L., Munster, N., Rajan, and R. A Feagin. (2016). **Climate change projections for the Texas High Plains and Rolling Plains**. Theoretical and Applied Climatology, 124:1-18

Park, T.W., Jeong, J.H., Chang, H.H., Kim, S.J., (2008), **Characteristics of Atmospheric Circulation Associated with Cold Surge Occurrences in East Asia: A Case Study During (2005/06) winter** Advances in Atmospheric Sciences. VOL. 25, NO. (5): 791-804.

Qian, W., Zhang, W., (2007), **Changes in Cold Wave Events and Warm Winter in China during the Last 46 Years**, Chinese Journal of Atmospheric Sciences, Vol, 6, 423- 468.

Semenov M.A., Brooks, R.J. Barrow, E.M., and Richardson, C.W., (1998), **Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diver's climates**. Climate research 10, 95-107.

Semenov, M.A., and Brooks. R.J., (1999), **spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain**. Climate research 11: 137-148.

Varfi, M.S., Karacostas, T.S., Makroglannis, T.J., and Flocas A.A., (2009), **Characteristics of the extreme warm and cold days over Greece**, Advances in Geosciences, 20, 45-50.

Vavrus, S., Walsh, J.E., Chapman, W.L., and Portis, D., (2006), **the behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming**. International Journal of Climatology, (2): 1133-1147.