The Journal of Geographical Research on Desert Areas
11th Year – No. 1- Spring and Summer 2023, pp. 179-191
Home page: http://grd.yazd.ac.ir/
P-ISSN: 2345-332X E-ISSN: 2588-7009

Original Research Article

Climate Change and its Effect on Agricultural Climate Indices for Pistachio Trees in Kerman Province: A case study of Rafsanjan stations

Alireza Baniasadi [1*], Ahmad Mazidi [2], Golamali Mazafari[3], Kamal Omidvar[4]

[1] Ph.D. student in Climatology, Yazd University, Yazd, Iran
[2] Associate Professor, Geography Department, Yazd University, Yazd, Iran
[3] Associate Professor, Geography Department, Yazd University, Yazd, Iran
[4] Professor, Geography Department, Yazd University Yazd, Iran

10.22034/GRD.2023.20098.1579

Received:
May 21, 2023
Accepted:
October 14, 2023

Keywords:
Climate change, Agricultural climate indices, Temperature and precipitation, Pistachio, Kerman Province

Abstract

The aim of this research is to investigate the effects of climate change on the agricultural climate indicators of pistachio trees at Rafsanjan station. First, based on the data for the reference period of 1992-2021, the status of the climatic indicators of pistachio trees and their trends were investigated using the available tests. By downscaling the CanESM5 model output data under SSP5-8.5 and SSP2-4.5 scenarios, the daily temperature and precipitation data for Rafsanjan station were simulated during 2075-2100, 2050-2074, and 2025-2049. The results showed that, in the reference period of 1992-2021, the temperature indicators of the growing season (average temperature and average maximum temperature) with a coefficient of 0.007 at the 95% confidence level have a significant positive trend annually. In the average growing season, the minimum temperature in March and April (with the statistical values of 0.04 and 0.005, respectively) revealed a positive significant trend at the desired confidence level. In the flowering stage, the indexes of average daily temperature and average minimum temperature (with the statistical values of 0.038 and 0.016, respectively) showed a positive significant trend annually at the 95% confidence level. In the future period of 2025-2049 under the SSp2-4.5 scenario in the growing season (average daily temperature, average maximum and average minimum temperature indices) in April, July and October revealed a significant increasing trend. The simulation showed that the average daily temperature in the pistachio growing season under the SSP2-4.5 scenario during 2025-2074 increases compared to the base period (23.5 degrees Celsius) and reaches 24.6 degrees Celsius. The above index has a positive increasing trend under the SSp5-8.5 scenario in 2075-2100 and 2050-2074. The average daily temperature rises from 23.5 to 26.63 degrees Celsius. The average minimum temperature in the base period is 15.8 degrees Celsius. Under the SSp2-4.5 scenario, it matures to 3/16, 1/17 and 3/17.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[*] **Corresponding Author:** Alireza Baniasadi
Address: Kerman Province, Kerman Province Management and Planning Organization, Kerman, Iran
Email: Baniasadi4747@yahoo.com

Extended Abstract

1. Introduction

The climate of Kerman Province is suitable for pistachio cultivation, so the pistachio cultivars of the province are of a high quality. Weather conditions play a decisive role in the planting and growth of fruit trees. Climate change can make the agricultural sector vulnerable to the changes in temperature and precipitation parameters. Therefore, it is necessary to investigate the future climatic conditions of fruit tree cultivation areas under the influence of climate change. Similarly, it is necessary to investigate the effects of climate change on the climate indicators of pistachio trees in Kerman Province. For this purpose, the indicators of temperature, precipitation, and evaporation in the coming decades have been investigated concerning climate change.

2. Research Methodology

The trend of changes in temperature, precipitation, and evaporation indices during the observation period of each station was determined using Kendall's statistical test. Based on the CanESM6 climate model, under SSp2-4.5 and SSp5-8.5 scenarios, minimum temperature, maximum temperature and precipitation data have been produced in the coming years. As a general circulation model (GCM), the CanESM5 model was used to predict the climate parameters. The canESM5 model data were downscaled using the SDSM software. The error rate of the production data was checked with the Base data using validation criteria. Also, the process of production data changes in different stages of pistachio phenology was calculated.

3. Results and discussion

First, based on the observational data of the 1992-2021 period, the status of the climatic indicators of pistachio trees and the trend of each were investigated using the available tests. Based on the temperature of 7.5 degrees Celsius, the five stages in the phenology of the Ohadi cultivar were determined. The stages included flowering to full flowering, bone shell hardening, and the beginning of rapid brain growth, the end of brain growth, and the harvest time based on the summary of the day-growth degree. Through the downscaling of CanESM5 model output data under SSP5-8.5 and SSP2-4.5 scenarios, the daily temperature and precipitation data for Rafsanjan station were simulated for the three periods of 2075-20100, 2050-2074, and 2025-2049. The results showed that, in the base period, the temperature indices of the growing season (average daily temperature and average maximum) and the average minimum in March and April have a positive significant trend. The flowering (average temperature and average minimum temperature indices) in the future period of 205-2049 under the SSp2-4.5 scenario in the growing season (average daily temperature indices, average maximum, and average minimum temperature) in April have a significant positive trend. Moreover, according to the simulation, the average daily temperature index in the pistachio growing season under the SSP2-4.5 scenario during 2025-2074 increases compared to the base period (23.5 degrees Celsius) and reaches 24.6 degrees Celsius.

4. Conclusion

The results of the simulation showed that the average daily temperature index in the pistachio growing season in Rafsanjan station under the SSP2-4.5 scenario was 0.97°C from 2025 to 2074 in April and May and in the autumnal month of October with a positive trend. Under the SSP5-8.5 scenario, the average daily temperature in the two future periods of 2075-2100 and 2050-2074 has a positive increasing trend. In the final period, the average daily temperature of the growing season will increase by 3.13°C compared to the base period. The average daily temperature will also reach 26.63°C from 23.5°C. The average minimum temperature under the SSP2-4.5 scenario in the period of 2025 - 2049 in April and October has an increasing trend. In addition, the average minimum temperature in March in the period of 2075-2100 has an increasing trend. The average minimum temperature under the mentioned scenario is 0.75°C. In March from 2100–2075, there is an increase in the average temperature under the above scenario. Under the pessimistic scenario SSP5-8.5 during the periods of 2075-2100 and 2050-2074, the average minimum temperature has an increasing trend of about 1.76°C. The maximum temperature in the flowering stage under the SSP2-4.5 scenario in the base period and the future periods of 2050-2074 and 2025-2049 will not have a trend. Under this scenario, the index has a positive trend during 2075-2100. On average, it increases by 0.29°C compared to the base period. Under the SSP5-8.5 scenario, the average maximum daily temperature has a positive trend and increases by 1.06°C. As for the mean daily

temperature index in the pistachio-growing season at Rafsanjan station, the average days with a temperature between 35 and 40 degrees Celsius in the base period are about 39 days. During 2025-2100, under the SSp2-4.5 scenario, the number of the days with a temperature of 35 to 40 degrees Celsius shows a decreasing trend. Also, the number of the days with a temperature higher than 40 degrees Celsius under the same scenario reveals an increasing trend. From the number of 9 days in the base period, it will reach about 31.5 days between 2025 and 2100. This finding also applies to the SSp5-8.5 scenario. The number of days with temperatures higher than 40 degrees Celsius will reach about 50 days at the end of the 2025-2100 period, and the trend is significantly positive.

کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی
سال یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان۱۴۰۲، صفحات
Home page: http://grd.yazd.ac.ir/
P-ISSN: 2345-332X E-ISSN: 2588-7009

مقاله پژوهشی

تغییر اقلیم و تأثیر آن بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی درخت پسته در استان کرمان مطالعه موردی ایستگاه رفسنجان

علیرضا بنی اسدی [۱*]، احمد مزیدی [۲]، غلامعلی مظفری [۲]، کمال امیدوار [۳]

[۱] دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، ایران.
[۲] دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
[۳] استاد گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

10.22034/GRD.2023.20098.1579

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۲۲

کلیدواژه‌ها:
استان کرمان، پسته، تغییر اقلیم، دما و بارش

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی درخت پسته ایستگاه رفسنجان است. ابتدا بر اساس داده‌های دوره مرجع ۲۰۲۱-۱۹۹۲، وضعیت شاخص‌های اقلیمی درخت پسته و روند آن‌ها، با استفاده از آزمون‌های موجود بررسی گردید. بر مبنای دمای ۷/۵ درجه سلسیوس ۵، مرحله مهم فنولوژی رقم اوحدی، به ترتیب گل‌دهی تا تمام گل، سخت شدن پوسته استخوانی، آغاز رشد سریع مغز، پایان رشد مغز و زمان برداشت، بر اساس شاخص درجه روز-رشد تعیین گردید. با ریزمقیاس گردانی داده‌های خروجی مدل CanESM5 تحت سناریوهای SSP5-8.5 و SSP2-4.5، داده‌های روزانه دما و بارش برای ایستگاه رفسنجان طی سه دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵، ۲۰۷۴-۲۰۵۰، ۲۰۴۹-۲۰۲۵ شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد، در دوره مرجع ۲۰۲۱-۱۹۹۲، شاخص‌های دما فصل رشد (میانگین دما و میانگین دما حداکثر) با مقدار آماره ۰/۰۰۷ در سطح اعتماد ۹۵ درصد به‌صورت سالانه دارای روند معنی‌داری مثبت هستند، در فصل رشد متوسط کمینه دما در ماه‌های اسفند و فروردین (به ترتیب با آماره ۰/۰۴ و ۰/۰۰۵) روند معنی‌داری مثبت را در سطح اعتماد موردنظر آشکار نمود. در مرحله گل‌دهی (شاخص‌های متوسط دمای روزانه و متوسط کمینه دما به ترتیب با مقادیر آماره ۰/۰۳۸ و ۰/۰۱۶) به‌صورت سالانه در سطح اعتماد ۹۵ درصد روند معنی‌داری مثبت را نشان داد. در دوره آینده ۲۰۴۹-۲۰۲۵ تحت سناریو ssp2-4.5 در فصل رشد (شاخص‌های متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه و متوسط کمینه دما) در ماه‌های فروردین، تیر و مهر روند معنی‌داری افزایشی را آشکار نمود. شبیه‌سازی نشان داد متوسط دمای روزانه در فصل رشد پسته تحت سناریوی SSP2-4.5 طی دوره ۲۰۷۴-۲۰۲۵ نسبت به دوره پایه (۲۳/۵ درجه سلسیوس) افزایش دارد و به ۲۴/۶ درجه سلسیوس می‌رسد. شاخص فوق تحت سناریو ssp5-8.5 در دو دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۵ و ۲۰۷۴-۲۰۵۰ دارای روند افزایشی مثبت است دمای متوسط روزانه از ۲۳/۵ به ۲۶/۶۳ درجه سلسیوس بالغ می‌گردد متوسط کمینه دما در دوره پایه ۱۵/۸ درجه سلسیوس است. تحت سناریوی ssp2-4.5 به ۱۶/۳، ۱۷/۱ و ۱۷/۳ بالغ می‌گردد.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*نویسنده مسئول: علیرضا بنی اسدی
آدرس: استان کرمان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان، کرمان، ایران.
ایمیل: Baniasadi4747@yahoo.com

۱ مقدمه

آب‌وهوای استان کرمان، برای کشت انواع پسته مناسب است، مزیت آب و هوایی باعث گردیده است، ارقام پسته استان کرمان از کیفیت بالایی برخوردار باشند. سطح زیر کشت پسته استان، معادل ۲۱۲،۶۱۰ هکتار برآورد گردیده است، که سالانه ۱۲۰،۸۰۰ تن پسته از این اراضی برداشت می‌شود. بیشترین سطح زیر کشت پسته استان، به شهرستان رفسنجان اختصاص دارد. مطالعه تأثیرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی پسته استان، به‌منظور اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب، جهت تقابل با پدیده تغییر اقلیم مفید و سودمند خواهد بود. در خصوص تغییر اقلیم و تأثیر آن بر بخش کشاورزی، و شاخص‌های اقلیم کشاورزی مطالعات فراوان صورت پذیرفته است.

الومی[1] و همکاران (۲۰۱۳)، پاسخ‌های درختان پسته به سرمای متغیر زمستانی و بارش سالانه را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد، زمستان‌های گرم با سرمای ناکافی، باعث شکسته شدن نامنظم جوانه گل، تأخیر در گل‌دهی می‌شود. بلورت[2] و همکاران (۲۰۱۸)، به پایش تبخیر و تعرق گیاه و تعیین ضرایب گیاهی بادام و پسته با استفاده از سنجش دور در ایالت کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان داد، در بادام، بیشینه مقادیر ضریب گیاهی تخمین زده‌شده بین ۱/۰۵ تا ۰/۹۰ متغیر بود، درحالی‌که برای پسته، مقدار ضریب گیاهی، بین ۰/۸۹ تا ۰/۸۰ به دست آمد. سلیک[3] و همکاران (۲۰۱۸)، به اثرات آب‌وهوای خشک و مرطوب، بر عملکرد پسته در حوضه میانی فرات در جنوب شرقی ترکیه توجه نمودند، نتایج تحلیل خشک‌سالی هر دو ایستگاه بیرسیک و قازیانتپ (استانی در بخش‌های جنوب شرقی ترکیه)، نشان داد پسته به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی شدید قرار دارد، به‌گونه‌ای که فعالیت فتوسنتزی پسته در طول دوره‌های شرایط آب و هوایی مرطوب افزایش یافت.

حیدری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود تعیین نیاز سرمایی رقم پسته بادام سفیدی مهولات و نقش راهبردی آن در خراسان، را موردتحقیق قراردادند. نتایج نشان داد، پسته رقم بادام سفیدی مه ولات به یک دوره سرمادهی بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ ساعت نیاز دارد. نیاز سرمایی رقم اکبری نیز بین ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ ساعت تعیین شد. احمدی و همکاران، (۲۰۲۰) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی در مناطق کشت پسته ایران پرداخته‌اند. یافته‌ها آشکار نمود، در دوره پایه، در مناطق کشت پسته ایران روند کاهشی برای بارش سالانه، روند افزایشی برای دمای سالانه هوا وجود دارد.

احمدی و همکاران، (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مناطق کشت پسته در ایران با استفاده از تحلیل شبیه‌سازی بر اساس مجموعه‌های چند مدل CORDEX-MENA پرداخته‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌های CORDEX برای مناطق کشت پسته نشان می‌دهد، کمینه و بیشینه دمای سالانه هوا و دمای فصل رشد در پایان قرن جاری در مقایسه با سال ۲۰۱۷-۱۹۸۷ به‌عنوان دوره مرجع به‌طور قابل‌توجهی به میزان ۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

۲ مبانی نظری

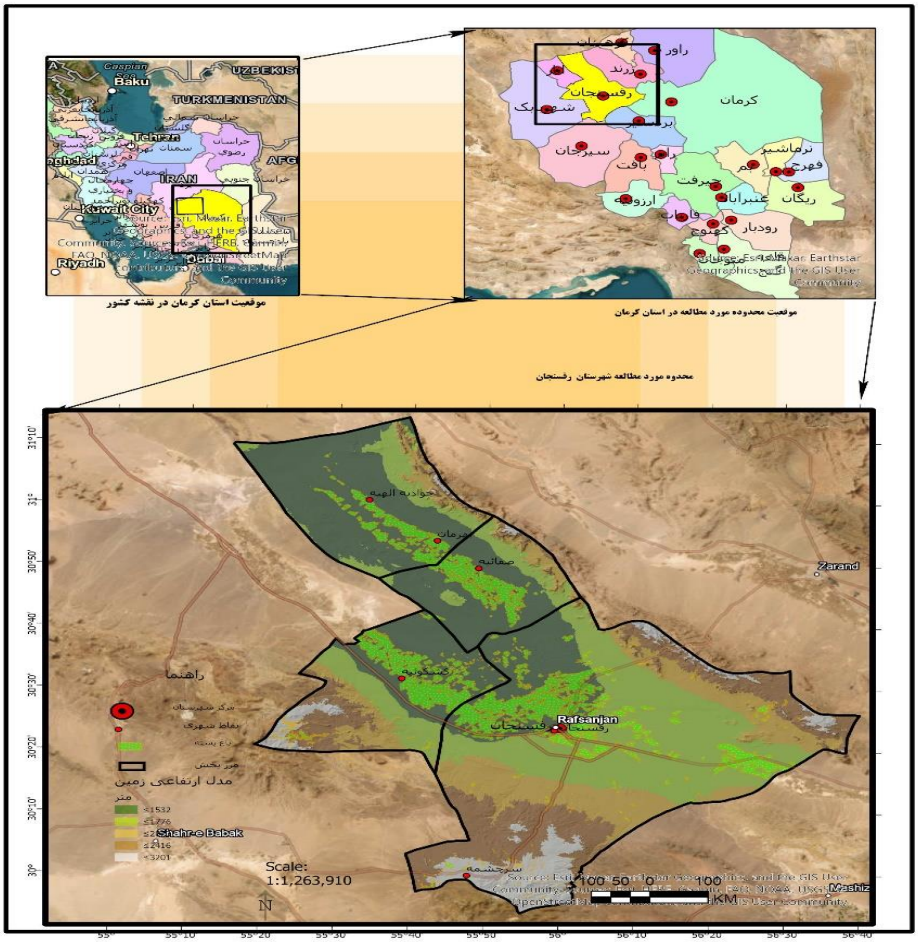
۲،۱ معرفی منطقه موردمطالعه

ازنظر ویژگی‌های توپوگرافی، دشت رفسنجان در ناحیه مرکزی ایران در ۱۱۰ کیلومتری غرب شهر کرمان، در منطقه‌ای پست به لحاظ ارتفاعی واقع‌شده است. وسعت آن برابر ۵۴۹۴/۳۶ کیلومترمربع است. دشت فوق بخشی از حوضه آبریز، در انجیر-ساغند بوده، که جزء حوضهٔ آبریز درجه‌یک ایران مرکزی محسوب می‌گردد. ارتفاع آن بین ۱۲۳۹ متر تا ۳۴۲۱ متر است (قضاوی و همکاران،۱۳۹۶). اقلیم دشت بر اساس شاخص دو مارتن از نوع فرا خشک است. جدول ۱ مشخصات اقلیمی دشت رفسنجان را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی ایستگاه رفسنجان محدوده موردمطالعه

نام ایستگاه	نوع اقلیم (دمارتن)	متوسط دمای روزانه c°	متوسط حداقل دما c°	متوسط حداکثر دما c°	بارش (میلی‌متر)	رطوبت نسبی	تعداد روز یخبندان
رفسنجان	فرا خشک	۱۷/۳	۹/۵	۲۵/۳	۸۵/۷	۳٤	٤۱

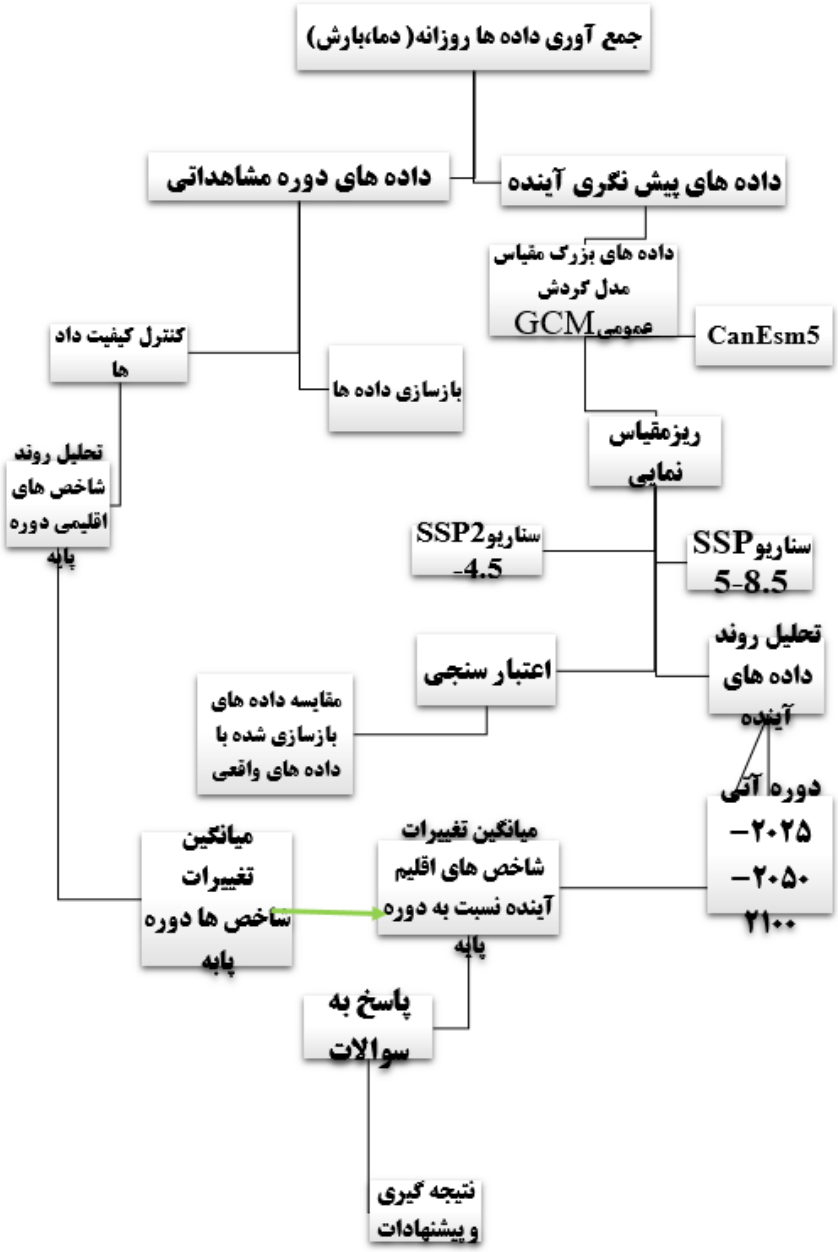
[1] Elloumi
[2] Bellvert
[3] celik



تصویر ۱- موقعیت محدوده موردمطالعه در استان کرمان

۳ روش تحقیق

داده‌های مورداستفاده در پژوهش حاضر به دو بخش تقسیم می‌شود؛ بخش اول داده‌های واقعی ایستگاه هواشناسی رفسنجان دوره مشاهداتی را در برمی‌گیرد و شامل پارامتر دمای هوا شاخص‌های (متوسط دمای روزانه، متوسط کمینه و متوسط بیشینه روزانه)، پارامتر بارش (متوسط بارش ماهانه)، پارامتر رطوبت (متوسط رطوبت نسبی، کمینه و بیشینه رطوبت نسبی) پارامتر باد (متوسط سرعت روزانه باد، متوسط بیشینه سرعت روزانه باد) تعداد روزانه یخبندان و مجموع ساعات آفتابی می‌شود. بخش دوم داده‌ها، داده‌های پیش‌نگری شده برونداد مدل‌های تغییر اقلیم برای دوره آینده را در برمی‌گیرد. شامل دما (کمینه و بیشینه) بارش (متوسط بارش ماهانه) این داده‌ها به‌صورت روزانه از برونداد مدل گردش عمومی جو CanESM5 از مرکز ملی کشور کانادا تهیه شد. از دو سناریو ssp2-4.5 (سناریو باحالت متوسط و خوش‌بینانه) و سناریو ssp5-8.5(حالت بدبینانه) استفاده شد. برای ریزمقیاس نمایی داده دوره آینده از محیط نرم‌افزار SDSM استفاده گردید. و فاصله بین سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۷۴ و ۲۰۷۵-۲۱۰۰ به‌عنوان دوره آتی مدنظر قرار گرفت. ارزیابی و اعتبار سنجی داده‌های بازسازی‌شده مدل و بینی عناصر اقلیمی با استفاده از معیارهای خطای میانگین مربعات، میانگین خطای مطلق، میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات درصد خطای میانگین مطلق، ضریب همبستگی و ضریب تعیین انجام گرفت.



شکل ۱ - نمودار مراحل انجام روش تحقیق

۳,۱ شاخص درجه روز – رشد

در این پژوهش به‌منظور مطالعه و مشخص نمودن دمای پایه کمینه حرارتی و نیاز گرمایی رقم تجاری پسته اوحدی که کشت غالب شهرستان رفسنجان را به خود اختصاص داده است از نتایج مطالعات (امیری زاده و همکاران،۱۳۸۷) ۱۳۸۷ به‌عنوان مبنا کار جهت تعیین تاریخ شروع و خاتمه مراحل فنولوژی پسته در دوره پایه و دوره‌های آینده استفاده شد. در مطالعه فوق، آستانه کمینه حرارتی در رقم اوحدی با دقت ۰/۵ درجه سلسیوس ۷/۵ درجه سلسیوس به‌دست‌آمده است. بر همین اساس نیاز گرمایی برای رقم اوحدی به ترتیب از گل‌دهی تا تمام گل ۶۵/۹ درجه روز، تا سخت شدن پوسته استخوانی ۷۵۰/۴ درجه روز، تا آغاز رشد سریع مغز /۱۴۲۹ درجه روز، تا پایان رشد مغز ۲۰۶۹/۳ درجه روز، و تا زمان برداشت ۲۷۶۱/۱۵ درجه روز گرما محاسبه گردیده است.

$$GDD = \sum_{a}^{b}\left[\left(\frac{T_{\max}+T_{\min}}{2}\right)-T_b\right]$$ رابطه (۱)

که در آن $\frac{T_{\max}+T_{\min}}{2}$ دمای متوسط روزانه و T_b دمای پایه حرارتی گیاه است.

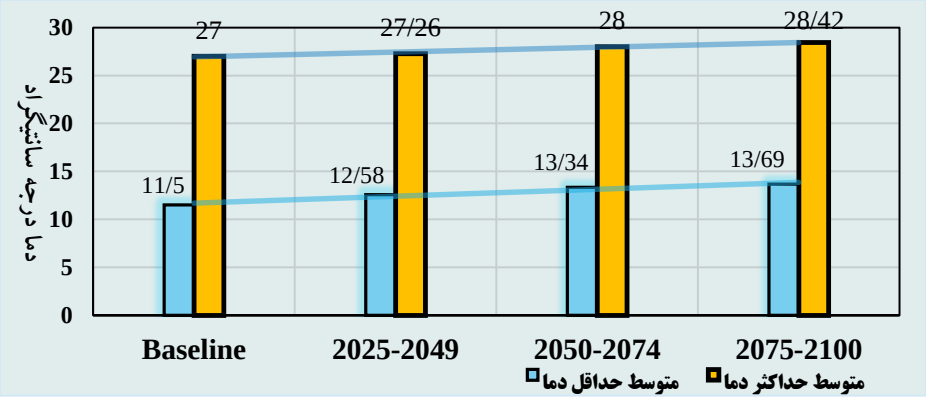
به‌منظور آشکارسازی وجود روند در عناصر و پارامترهای اقلیمی از دو آزمون من کندال و سن شیب استفاده گردید. آزمون نا پارامتری من-کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت .این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته‌می‌شود. از نقاط قوت این روش، می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است.

٤ یافته‌ها و بحث

شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش تحت سناریوهای تغییر اقلیم SSP2-4.5, SSP5-8.5 برای دوره آینده ۲۰۴۹-۲۰۲۵ در جدول ۲ و نمودار ۱ آمده است. مقایسه داده‌های دما دوره مشاهداتی با داده‌های بازسازی‌شده نشان می‌دهد تحت سناریوی حد وسط SSP2-4.5 متوسط سالانه دمای کمینه در ایستگاه رفسنجان از ۱۱/۵ درجه سلسیوس به ۱۲/۵۸، ۱۳/۳۴ و ۱۳/۶۹ به ترتیب در دوره های ۲۰۴۹-۲۰۲۵، ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۵ افزایش خواهد داشت این نتیجه با نتایج باعقیده و عسکری (۱۳۹۶) برای ایستگاه سبزوار همخوانی دارد به‌عبارت‌دیگر تحت سناریوی SSP2-4.5 SSP5-.5 به ترتیب متوسط کمینه دما در ایستگاه فوق ۱/۰۸ و ۱/۸۴ نسبت به دمای پایه افزایش خواهد داشت شاخص متوسط بیشینه در مقایسه با دوره مشاهداتی با دما ۲۷ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۷/۲۶، ۲۸ و ۲۸/۴۲ درجه سلسیوس خواهد رسید.

جدول ۲- میانگین تغییرات دما بازسازی‌شده دوره‌های آتی نسبت به دوره مبنا ایستگاه رفسنجان

دوره شاخص	دوره پایه	SSP2-4.5			SSP5-8.5		
		۲۰۲۵	۲۰۵۰	۲۱۰۰	۲۰۲۵	۲۰۵۰	۲۱۰۰
متوسط کمینه	۱۱/۵	۱۲/۵۸	۱۳/۳٤	۱۳/٦۹	۱۲/۷	۱٤/۱٦	۱٦/۳۳
متوسط بیشینه	۲۷	۲۷/۲٦	۲۸	۲۸/٤۲	۲۷/۵۱	۲۸/۹۹	۳۱/۰۰



نمودار ۱ - تغییرات دما دوره‌های آتی نسبت به دوره مبنا ایستگاه رفسنجان

در ایستگاه رفسنجان در دوره پایه شاخص‌های فصل رشد (متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه و متوسط کمینه) روند معنی‌داری مثبت را نشان می‌دهند. تحت سناریو ssp2-4.5 در دوره ۲۰۴۹-۲۰۵ در فصل رشد (شاخص‌های متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه) روند معنی‌داری مثبت را آشکار می‌کنند در فصل رشد تحت سناریو فوق متوسط کمینه دما در ماه‌های فروردین، تیر و مهرماه روند معنی‌داری مثبت دارد در دوره ۲۰۷۴-۲۰۵۰ تحت سناریو ssp2-4.5 در فصل رشد دو شاخص متوسط دما و متوسط بیشینه در ماه اردیبهشت و در دوره پایانی شاخص متوسط کمینه روند معنی‌داری ملیت را نشان می‌دهد. تحت سناری تحت سناریو SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۵ در فصل رشد (شاخص متوسط دمای روزانه) و شاخص متوسط بیشینه در مرداد و در دو دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۵ شاخص‌های فصل رشد شامل متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه دما و متوسط کمینه) دارای روند معنی‌داری مثبت هستند. با استفاده از شاخص درجه روز- رشد، شروع و پایان مراحل فنولوژی پسته، بر مبنای آستانه کمینه ۷/۵ درجه روز- رشد، برای سال پایه و سال‌های هدف محاسبه گردید. نیاز حرارتی هر مرحله فنولوژی پسته به‌صورت تجمعی برای هرسال برآورد شد. با استفاده از توزیع احتمال پیرسون تیپ ۲، تاریخ‌های آغاز و خاتمه مراحل فنولوژی پسته با احتمال ۹۵ درصد برآورد گردید. نتایج در جدول ۳ قابل‌مشاهده است.

جدول ۳- تاریخ آغاز و خاتمه مراحل فنولوژی پسته ایستگاه رفسنجان دوره پایه (احتمال ۹۵ درصد)

مراحل فنولوژی	تاریخ شروع و خاتمه	طول مرحله
مرحله اول: گل‌دهی	۸ فروردین-۱۵ فروردین	۸ روز
مرحله دوم: سخت شدن پوسته استخوانی	۱۶ فروردین-۶ خرداد	۵۳ روز
مرحله سوم: آغاز رشد مغز	۷ خرداد-۳۱ خرداد	۲۶ روز
مرحله چهارم پایان رشد سریع مغز	۱ تیر-۱۰ مرداد	۴۱ روز
مرحله پنجم رسیدگی و برداشت	۱۱ مرداد-۳ شهریور	۲۴ روز
مرحله ششم: برداشت تا شروع خواب	۴ شهریور-۷ آذر	۶۵ روز
مرحله هفتم خواب	۸ آذر-۷ فروردین	۱۱۹ روز

۴,۱ روند تغییرات شاخص‌های دما مراحل فنولوژی پسته در دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۲۵

در ایستگاه رفسنجان در دوره پایه، شاخص‌های فصل رشد (متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه و متوسط کمینه)، روند معنی‌داری مثبت را نشان می‌دهند. در دوره آینده ۲۰۴۹- ۲۰۲۵ تحت سناریو ssp2-4.5 در فصل رشد، (شاخص‌های متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه) روند معنی‌داری مثبت را آشکار نمود. در دوره فوق، در فصل رشد، متوسط کمینه دما فقط در ماه‌های فروردین، تیر و مهرماه روند معنی‌داری مثبت را نشان داد. در دوره آینده ۲۰۷۴-۲۰۵۰ تحت سناریوی فوق در فصل رشد، برای شاخص متوسط دما به‌صورت سالانه و متوسط بیشینه فقط در ماه اردیبهشت، روند معنی مثبت قابل‌مشاهده است. در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ تحت همان سناریو شاخص متوسط کمینه به‌صورت سالانه روند معنی‌داری مثبت را نشان می‌دهد. تحت سناریوی SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۵، در فصل رشد، شاخص متوسط دمای روزانه به‌صورت سالانه و شاخص متوسط بیشینه برای مرداد روند معنی‌داری افزایشی را آشکار نمود. در دو دوره ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۵ شاخص‌های فصل رشد (متوسط دمای روزانه، متوسط بیشینه و متوسط کمینه دما) به‌صورت سالانه دارای روند معنی‌داری مثبت خواهند بود.

در مرحله گل‌دهی در دوره پایه (شاخص‌های متوسط دمای روزانه و متوسط کمینه دما) روند معنی‌داری مثبت دارند. در دوره‌های آینده ۲۰۴۹-۲۰۲۵ و ۲۰۷۴-۲۰۵۰ شاخص‌های دما در مرحله گل‌دهی فاقد روند هستند. در دوره پایانی تحت سناریوی ssp2-4.5 هر سه شاخص متوسط دما روزانه، متوسط بیشینه و متوسط کمینه دما به‌صورت سالانه روند معنی‌داری مثبت را نشان می‌دهند. هم‌چنین شاخص تعداد روز با دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ‌تر ۲۶/۴) روند معنی‌داری مثبت دارد.

تحت سناریو SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۵ در مرحله گل‌دهی (شاخص متوسط بیشینه دما) به‌صورت سالانه روند معنی‌داری مثبت را به خود اختصاص داده است. سایر شاخص‌های مرحله فوق در دوره مورداشاره فاقد روند هستند. در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ در مرحله گل‌دهی شاخص‌های متوسط دمای روزانه و متوسط بیشینه به‌صورت سالانه دارای روند معنی‌دار مثبت هستند. هم‌چنین شاخص تعداد روز دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ‌تر ۲۸/۸ درجه سلسیوس) دارای روند معنی‌داری مثبت است شاخص‌های مرحله رسیدن تحت سناریوssp2-4.5 در آینده فاقد روند هستند. تحت سناریو ssp5-8.5 در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ و ۲۰۷۴-۲۰۵۰ دو شاخص در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ شاخص‌های متوسط دمای روزانه و متوسط بیشینه به‌صورت سالانه روند معنی‌داری مثبت را به نمایش می‌گذارند. شاخص تعداد روزهای با دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ‌تر از ۴۰/۸) در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ روند معنی‌داری مثبت را نشان می‌دهد.

تاریخ آغاز و پایان مراحل فنولوژی پسته برای ایستگاه رفسنجان در دوره پایه و هم‌چنین دوره‌های آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۵، ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۴ تحت دو سناریو ssp2-4.5 و ssp5-8.5 محاسبه گردید تاریخ شروع گل‌دهی در ایستگاه رفسنجان در دوره پایه ۸ فروردین ماه به‌دست‌آمده است، تاریخ شروع فرایند فوق در هر سه دوره آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۵، ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۵ تحت سناریو ssp2-4.5، ۱۳ روز نسبت به دوره پایه (۸ فروردین) زودتر آغاز می‌شود. این موضوع در مورد سایر مراحل فنولوژی پسته نیز صدق می‌کند به‌طور مثال آغاز تاریخ سخت شدن پوسته استخوانی پسته در دوره پایه ۱۶ فروردین‌ماه محاسبه گردیده است، تاریخ شروع فرایند فوق نیز به ترتیب در سه دوره آتی ۱۳ روز آغاز می‌گردد. بر پایه اطلاعات فوق طول دوره رشد در ایستگاه رفسنجان در دوره پایه ۲۴۹ روز محاسبه گردیده است، طول رشد پسته در سناریو فوق به ترتیب برای سه دوره ۲۰۲۵، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ به ۲۹۶، ۲۹۴ و ۳۰۲ روز بالغ می‌گردد. بر این اساس می‌توان گفت در اثر تغییراتی که در شاخص‌های دما به وجود می‌آید متوسط حداقل دما روزانه در ایستگاه با افزایش روبرو خواهد شد و با فراهم شدن زمینه لازم جهت رخ داد دمای پایه ۷/۵ در ماه اسفند و ادامه آن در انتهای فصل رشد طول دوره رشد پسته برای سه دوره آتی به‌احتمال ۹۵ درصد به ترتیب از دوره اول تا انتهای دور سوم ۴۷ روز،۴۶ روز و ۵۳ روز افزایش خواهد یافت. تحت سناریوی ssp5-8.5. با احتمال ۹۵ درصد تاریخ شروع گل‌دهی در ایستگاه رفسنجان در هر سه دوره آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۵، ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۵ نسبت به دوره پایه که ۸ فروردین است به ترتیب ۳،۱۷ و ۱۷ روز زودتر آغاز خواهد شد.

جدول ٤- میانگین تغییرات شاخص‌های دما در مراحل فنولوژی درخت پسته تحت شرایط تغییر اقلیم

سناریو / شاخص	SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	۲۰۴۹-۲۰۲۵	۲۰۷٤-۲۰۵۰	۲۱۰۰-۲۰۷۵	۲۰۴۹-۲۰۲۵	۲۰۷۴-۲۰۵۰	۲۱۰۰-۲۰۷۵
متوسط دما فصل رشد	۲۳/۹۳	۲۴/۶۶	۲۴/۹	۲۳/۸۶	۲۵/۴	۲۶/۶۳
متوسط بیشینه دما فصل رشد	۳۱/۵	۳۲/۲۲	۳۲/۴۶	۳۱/۵	۳۳/۰۰	۳۴/۱۵
متوسط کمینه دما فصل رشد	۱٦/۳۵	۱۷/۱	۱۷/۳	۱۶/۲۵	۱۷/۸	۱۹/۱
متوسط دما مرحله گل‌دهی	۱۵/۱٦	۱۵/۳۶	۱۵/۷۱	۱۵/۴۵	۱۵/۷۵	۱۶/۶۱
متوسط بیشینه دما گل‌دهی	۲۲/۵۵	۲۲/۸۲	۲۳/۱۹	۲۳/۳۴	۲۳/۶	۲۴/۴
متوسط کمینه دما گل‌دهی	۷/۷۷	۷/۹۳	۸/۲۴	۷/۵۴	۷/۹۳	۸/۸۳
متوسط دما مرحله رسیدن	۳۱/٤	۳۲/۱	۳۲/۴	۳۱/۵	۳۳/۰	۳۴/۱
متوسط بیشینه دما رسیدن	۳۹/۲	۳۹/۹	۴۰/۲	۳۹/۴	۴۰/۸	۴۱/۸
تعداد روز دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ‌تر ۲۸/۸ در گل	٤/۷	۱/۳۱	۱/۴	۱/۴	۱/۶۶	۱/۹
تعداد روزهای با دمای کمینه کمتر از صدک ۱۰ ام (کمتر از ٤/۰۵ گل‌دهی سلسیوس در مرحله گل دهی	۱/۹۰	۱/۶۹	۱/۷	۱/۴۳	۲/۲۲	۳/۰۰
تعداد روزهای با دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام (بزرگ تر از ٤۰/۸ در مرحله رسیدن	۲/۵	۴/۵	۴/۶	۴/۶۵	۴/۴	۳/۴۱
تعداد روز یخبندان	۲/۳	۲/۰	۲/۷۲	۳/۰۰	۳/۱	۲/۶۶
طول دوره بدون یخبندان	۲٦۹	۲۷۳	۲۷۴	۲۷۴	۲۷۵	۲۹۷

۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی نشان داد شاخص متوسط دمای روزانه در فصل رشد پسته در ایستگاه رفسنجان تحت سناریوی SSP2-4.5 طی دوره ۲۰۷۴-۲۰۲۵ نسبت به دوره پایه (۲۳/۵ درجه سلسیوس) افزایش دارد و به ۲۴/۶ درجه سلسیوس می‌رسد .شاخص فوق تحت سناریو ssp5-8.5 در دو دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۵ و ۲۰۷۴-۲۰۵۰ از ۲۳/۵ به ۲۶/۶۳ درجه سلسیوس بالغ می‌گردد. متوسط کمینه دما از ۱۵/۸ درجه سلسیوس تحت سناریوی ssp2-4.5 به ۱۶/۳، ۱۷/۱ و ۱۷/۳ بالغ می‌گردد. متوسط بیشینه دما در فصل رشد از ۳۱/۲۱ درجه سلسیوس در دوره پایه تحت سناریو اول در انتهای دوره به ۳۲/۲ و تحت سناریو بدبینانه به ۳۴/۱ درجه سلسیوس می‌رسد. در مرحله گل‌دهی دمای روزانه مناسب جهت درخت پسته معمولاً بین ۱۶ تا ۲۲ درجه سلسیوس است. متوسط دمای روزانه در مرحله گل‌دهی ۱۶ درجه سلسیوس محاسبه گردیده است. این مقدار تحت سناریو SSP2-4.5 به ترتیب طی سه دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵، ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۰۴۹-۲۰۲۵ مقادیر ۱۵/۱، ۱۵/۳ و ۱۵/۷ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد.

در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ متوسط دما در مرحله گل‌دهی به ۱۶/۶ درجه سلسیوس می‌رسد. در ارتباط با شاخص متوسط بیشینه دما در مرحله گل‌دهی نتایج آشکار می‌کند. مقدار شاخص فوق در دوره مشاهداتی ۲۲/۹ درجه سلسیوس محاسبه گردیده است. در دو دوره اولی تحت سناریو ssp2-4.5 تفاوت خاصی مشاهده نمی‌گردد. در دوره سوم متوسط بیشینه دما با یک درجه سلسیوس به ۲۳/۲ درجه سلسیوس می‌رسد. تحت سناریو ssp5-8.5 تغییرات متوسط بیشینه دما در مرحله گل‌دهی با مقادیر بالاتر مشاهده می‌گردد، به‌طوری‌که در انتهای دوره سوم متوسط بیشینه دما به ۲۴/۴ درجه سلسیوس می‌رسد. در خصوص شاخص‌های مرحله رسیدن پسته دو شاخص متوسط دما و متوسط بیشینه موردتوجه قرارگرفته است. در ارتباط با شاخص متوسط دما مشاهده می‌گردد. مقدار شاخص فوق در دوره مشاهداتی ۳۰/۴ درجه سلسیوس به‌دست‌آمده است. تحت سناریو ssp2-4.5 در دو دوره ۲۰۷۴-۲۰۵۰ و ۲۰۴۹-۲۰۲۵ بین یک تا دو درجه سلسیوس افزایش دما مشاهده می‌گردد. تحت سناریو ssp5-8.5 در دو دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۵ و ۲۰۷۴-۲۰۵۰ مشاهده می‌گردد. حدود سه تا چهار درجه سلسیوس مقدار شاخص افزایش در پی دارد. هم‌چنین اطلاعات نشان می‌دهد. مقادیر تغییرات شاخص متوسط بیشینه دما در مرحله رسیدن تحت سناریو ss2-4.5نسبت به دوره پایه دارای تغییرات جزئی است. مقدار پارامتر فوق در دوره مشاهداتی ۳۸/۲ درجه سلسیوس محاسبه گردیده است. تحت سناریو فوق برای سه دوره به ترتیب به ۳۹/۲، ۳۹/۹ و ۴۰/۲ درجه سلسیوس تغییر می‌کند. تحت سناریو بدبینانه ssp5-8.5 مقدار شاخص به ۳۹/۴، ۴۰/۸ و ۴۱/۸ درجه سلسیوس تغییر می‌کند. در ایستگاه رفسنجان میانگین تعداد روزهای با دمای بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس در دوره پایه حدود ۳۹ روز به‌دست‌آمده است. در طی دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۲۵ تحت سناریوی ssp2-4.5 تعداد روزهای با دمای ۳۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس روند کاهشی را نشان‌کرده. در مقابل آن تعداد روزهای با دمای بیشتر از ۴۰ درجه سلسیوس تحت همان سناریو روند افزایشی را آشکار می‌کند و از تعداد ۹ روز در دوره پایه به حدود ۳۱/۵ روز در طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۵ می‌رسد. ذکر این نکته ضروری است که روند افزایشی معنادار نیست. این مطالب در مورد سناریوی ssp5-8.5 نیز صدق می‌کند. و تعداد روزهای با دمای بیشتر از ۴۰ درجه سلسیوس با روند افزایشی بسیار به حدود ۵۰ روز در انتهای دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۲۵ می‌رسد و روند معنی‌داری مثبت است.

References

- Adams, Richard M; Hurd, Brian H; Lenhart, Stephanie; & Leary, Neil. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. CLIMATE RESEARCH, 11, 19-30.
- Ahmadi, Hamza, Falah Qalhari, Gholam Abbas, Baaqida, Mohammad and Amiri, Mohammad Ismail. 2017. Investigating the effects of climate change on the heat accumulation pattern of apple tree cultivation areas in Iran in the future period. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 5(2): 54-35.
- Ahmadi, Hamza. 2016. Investigating the effects of climate change on apple trees in Iran. PhD thesis, Department of Water and Meteorology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University.
- Ahmadi, Hamzeh; & Baaghideh, Mohammad. (2020). Assessment of anomalies and effects of climate change on reference evapotranspiration and water requirement in pistachio cultivation areas in Iran. Arabian Journal of Geosciences, 13(9), 332. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05316-8
- Ahmadi, Mohammad; Azizi, Qasim; and Kordavani, Parviz. (2018). Forecasting the effects of climate change on the degree of cooling and heating demand days in selected stations of Ilam province. Researches of natural geography, 2, 283-300.
- Ali, MH; Adham, AKM; & Rahman, M. (2007). Impact of climate change on crop water demand and its implication on water resources planning. J. Agrometeorol, 9(1), 20-25.
- Baagideh, Mohammad; Askari, Elahe; and Kashki, Abdul Reza. (1396). Evaluation of the consequences of climate change on the trend and structure of climatic parameters affecting pistachio production, a case study: Sabzevar. Geographical studies of arid regions, 8th(29), 17-32.
- Bakhtiari, Bahram; Hashemi Nasab Khabisi, Farideh Al-Sadat; Mousavi Baighi, Mohammad; and Davari, Kamran. (2013). Prediction of rainfall changes in the next 20 years in Kerman province using LARS-WG microscale models and HadCM3 general circulation. Iranian Water and Irrigation Engineering, Volume 3(4), 43-58.
- Barnett, T. P.; Pierce, D. W.; Hidalgo, H. G.; Bonfils, C.; Santer, B. D.; Das, T.; Bala, G.; Wood, A. W.; Nozawa, T.; Mirin, A. A.; Cayan, D. R.; & Dettinger, M. D. (2008). Human-induced changes in the hydrology of the western United States. Science, 319. https://doi.org/10.1126/science.1152538
- Bazzaz, F. A.; & Sombroek, W. (1996). Global climate change and agricultural production. Wiley.
- Bellvert, Joaquim; Adeline, Karine; Baram, Shahar; Pierce, Lars; Sanden, Blake L.; & Smart, David R. (2018). Monitoring Crop Evapotranspiration and Crop Coefficients over an Almond and Pistachio Orchard Throughout Remote Sensing. Remote Sensing, 10(12). https://doi.org/10.3390/rs10122001
- Bellvert, Joaquim; Adeline, Karine; Baram, Shahar; Pierce, Lars; Sanden, Blake L.; & Smart, David R. (2018). Monitoring Crop Evapotranspiration and Crop Coefficients over an Almond and Pistachio Orchard Throughout Remote Sensing. Remote Sensing, 10(12). https://doi.org/10.3390/rs10122001
- Elloumi, Olfa; Ghrab, Mohamed; Kessentini, Hanen; & Ben Mimoun, Mehdi. (2013). Chilling accumulation effects on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climate. Scientia Horticulturae, 159, 80-87. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.004
- Fallah Qalhari, Gholam Abbas, 2013. Evaluation of the effects of climate change on citrus cultivation areas in Iran, PhD thesis, Department of Geography, University of Isfahan.
- Ghrab, M; Ben Mimoun, M; Masmoudi, MM; & Ben Mechlia, N. (2016). Climate change and vulnerability of the pistachio and almond crops in the Mediterranean arid areas (Vol. 119, pp. 247-251). Presented at the Options Méditerranéennes, A XVI GREMPA Meeting on Almonds and Pistachio.

- Hamdy, A; Ragab, Ragab; & Scarascia-Mugnozza, Elisa. (2003). Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, 52(1), 3-20.
- Ismaili, Reza; Gandhamkar, Amir; and Ghayor, Hassan Ali. (1390). Zoning of climate changes from the perspective of agriculture in the future climate period, case study: Khorasan-Razavi province. Journal of Geography and Environmental Planning, 1, 52-35.
- Karimi, Vahid; Karami, Ezatollah; & Keshavarz, Marzieh. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. Integrative Agriculture, 17, 1-15. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5
- Khushal Dastjardi, Javad; and Mardanian, Hossein. (2008). Investigating the environmental conditions and thermal requirements of pistachio cultivation in the Lower Jarqwieh Plain. Journal of Geography and Environmental Planning, (series 34), 41-64.
- Lasco, Rodel D.; Habito, Christine Marie D.; Delfino, Rafaela Jane P.; Pulhin, Florencia B.; & Concepcion, Rogelio N. (2011). Climate change adaptation for smallholder farmers in Southeast Asia.
- Letson, David. (2017). Climate Change and Food Security: Florida's Agriculture in the Coming Decades. In World Agricultural Resources and Food Security (Vol. 17, pp. 85-102). Emerald Publishing Limited.
- Luedeling, E.; Zhang, M.; & Girvetz, E. H. (2009). Climatic changes lead to declining winter chill for fruit and nut trees in California during 1950–2099. PLoS One, 4. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006166
- Matzarakis, A; Ivanova, D; Balafoutis, C; & Makrogiannis, T. (2007). Climatology of growing degree days in Greece. Climate Research, 34(3), 233-240.
- Murad, Wahid; Molla, Rafiqul Islam; Mokhtar, Mazlin Bin; & Raquib, Abdur. (2010). Climate change and agricultural growth: an examination of the link in Malaysia. International Journal of Climate Change Strategies and Management. https://doi.org/10.1108/17568691011089927
- Neshat, Ali; and Sajjadi Bami, Yasmin. (2016). Forecasting the impact of climate change on temperature measurement using atmospheric general circulation software (case study: Kerman and Bam). Journal of Water Resources Engineering, 51-61.
- P. SAVVA, Andreas; & FRENKEN, Karen. (n.d.). Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling.
- Rakib, Z. (2018). Characterization of climate change in southwestern Bangladesh: trend analyses of temperature, humidity, heat index, and rainfall. CLIMATE RESEARCH, 76, 241-252.
- Scherm, H. (2004). Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management? Can J Plant Pathol, 26. https://doi.org/10.1080/07060660409507143
- Thamo, Tas; Addai, Donkor; Pannell, David J.; Robertson, Michael J.; Thomas, Dean T.; & Young, John M. (2017). Climate change impacts and farm-level adaptation: Economic analysis of a mixed cropping–livestock system. Agricultural Systems, 150, 99-108. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.0
- Turral, Hugh; Burke, Jacob; & Marc Faurès, Jean. (2011). Climate change, water and food security (Vol. 36). FAO.