

Time-spatial estimation of frosting of apricot trees in Kurdistan province for the purpose of regional sustainable development

Mohammad Hossein Gholizadeh^{1*}, Maryam Gheisavandi², Masoud Moradi³

1. Assistant Professor, Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

2. PhD student in Climatology, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran and Member of Department of Zrebar Lake socio-economic Research, Kurdistan Studies Institute, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFO

Research Paper

Article history:

Received:

20 October 2024

Accepted:

26 November 2024

Published online:

02 January 2025

Keywords: *Spatial-temporal determination, apricot trees, frost damage, Kurdistan province, sustainable regional development*



Abstract

Background and Objective: Over the past two decades, the presence of urban mega-projects in major Iranian cities has brought about significant transformations in various aspects of citizens' lives. In the absence of value frameworks based on the Islamic-Iranian city, these large-scale and transformative projects have faced challenges such as intensified spatial inequalities, the weakening of local identities, and a disconnection between space and the lifeworld of citizens. Therefore, the aim of this study is to extract and explain a conceptual model for evaluating urban mega-projects with an emphasis on the components of the Islamic-Iranian city.

Methodology: This research is applied-developmental in terms of purpose and mixed-method (quantitative-qualitative) of an exploratory nature in terms of approach. In the first phase, using a three-round Delphi technique and a expert questionnaire (20 professors and specialists in urban planning, architecture, and Islamic-Iranian studies), five main components of the Islamic-Iranian city (dignity-centeredness, cultural identity and continuity, spatial justice, meaning and urban symbolism, and developmental balance) and four components for evaluating mega-projects (spatial-physical, identity-semantic, spatial justice, and actor roles) were extracted and validated. Subsequently, by integrating the two sets of components, the final conceptual model was presented in the form of three overarching criteria: "justice creation," "identity building," and "value alignment." In the second phase, the opinions of the public and the authors' field observations were used to evaluate the positive and negative effects of real-world examples.

Results and Findings: The findings indicate that mega-projects have been successful in some aspects and undesirable in others. The results confirm that applying the triple model of justice creation, identity building, and value alignment can compensate for existing shortcomings and pave the way for the design and implementation of mega-projects that, while preserving human dignity and spatial justice, are aligned with the identity and cultural-religious values of Iranian society.

Citation: Gholizadeh, M H, Gheisavandi, M and Moradi, M. (2026). Time-spatial estimation of frosting of apricot trees in Kurdistan province for the purpose of regional sustainable development. Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 7(1), 503-517.

URL: https://www.srds.ir/article_212609.html?lang=en

© The Author(s). Publisher: Private.



* Corresponding author: m.gholizadeh@uok.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Frostbite is one of the important environmental factors in plant damage and significant economic losses in the agricultural sector. This phenomenon causes damage to internal and external tissues in plant organs, especially buds, flowers and fruits of trees (Vitas et al, 2018). Due to global warming and increasing air temperatures, especially in winter and early spring, it can be expected to reduce the number of cold days throughout the year (Fernandez-Long et al, 2013). However, the temporal and spatial characteristics of frostbite at the beginning of plant growth and flowering are reported in different regions of the world. For example, forests and fruit farms in Europe (Yan et al, 2018) and (Asia Wang et al, 2021). With the occurrence of frostbite. Climate models have also predicted an increase in the frequency and severity of low temperatures under various climate change scenarios in the 21st century, which could increase the likelihood of frost damage (Rigby and Purpurato, 2008). Apricot flower buds show the lowest resistance to low temperatures compared to other pome species, and thermal fluctuations in winter reduce the resistance of flower buds to cold (Szabo et al, 1995). Meanwhile, late spring frost also severely reduces the percentage of fruit formation and yield by disrupting the pollen-dispersal system, pollen tube growth, and reducing honey bee activity (Meybadi et al, 2005). Frost is one of the important climatic phenomena that may directly or indirectly affect any activity, but it has its greatest effects in the three economic sectors of agriculture, transportation, and energy. Climate models have also predicted an increase in

the frequency and severity of low temperatures under various climate change scenarios in the 21st century, which could increase the likelihood of frost damage (Rigby and Purpurato, 2008). Apricot flower buds show the lowest resistance to low temperatures compared to other pome species, and thermal fluctuations in winter reduce the resistance of flower buds to cold (Szabo et al, 1995). Meanwhile, late spring frost also severely reduces the percentage of fruit formation and yield by disrupting the pollen-dispersal system, pollen tube growth, and reducing honey bee activity (Meybadi et al, 2005). Frost is one of the important climatic phenomena that may directly or indirectly affect any activity, but it has its greatest effects in the three economic sectors of agriculture, transportation, and energy.

Methodology

Matlab software was used to prepare and draw maps of apricot tree frost damage in the study area. In the present study, in order to estimate frost damage and determine its occurrence, the temperature range of zero to 10 degrees Celsius was considered, and in case of occurrence, the temperature was considered lower than the freezing point. Thus, in ten-day intervals for each station in the spring, the time periods when the temperature rate caused frost damage were calculated in the period from 1980 to 2018 and were considered as the days of frost damage occurrence. These apricot tree technology studies are determined by daily average, zero and day degree methods for the temperature stations studied in order to identify the apricot tree garden calendar in different areas and to determine the possibility of frostbite in the stages of apricot tree technology in the studied locations, and appropriate methods to deal

with environmental temperature phenomena of 0 to 10 degrees Celsius. Next, using the Mann-Kendall test and the slope of the age line, the significance of the minimum temperature trend and its trend rate have been calculated. The Mann-Kendall test is one of the most common and widely used nonparametric methods for analyzing time series trends. Using the Mann-Kendall method, data changes are identified, their type and time are determined. The nonparametric Mann-Kendall test was first presented by Mann (1945) and then developed by Kendall (1975).

Results and Discussion

The minimum trend in the study stations was calculated using the Mann-Kendall test and the age slope index. The estimated slope of the sand was estimated every 10 years in the trend test. Under these conditions, the null hypothesis was specified with a value of zero, and the alternative hypothesis was specified with a value of 1. Also, the p-value was presented as another indicator of the degree of non-significance of the minimum trend. Under these conditions, a hypothesis greater than the desired error level (0.05) indicates confirmation of the zero at the 95% confidence level. In all stations and in all three months of spring, the minimum temperature values have shown no significant trend. Evaluation of the trend of changes in minimum temperatures in the months of April, May and June in Kurdistan province shows that the trend of increasing minimum temperatures in all stations is not significant and this factor can be affected by climate change and global warming.

Conclusion

This technological research in apricot tree is determined with the help of daily average, zero and day degree for

temperature stations in order to identify the orchard calendar of apricot tree in different areas and to determine the possibility of frostbite in the technological stages of apricot tree in the studied places and to change the appropriate methods to deal with frostbite phenomena. This research was carried out with the aim of determining the time-spatial determination of spring frostbite in the technical stages of apricot tree in Kurdistan province. Daily data of less than 10 degrees Celsius in spring in the period from 1/1/1980 to 12/31/2018 were used. The trend of frostbite and its change was obtained with the help of the Mann-Kendall test. Declarations The results showed that the Zarrineh station, which is located at a higher latitude and altitude, is more exposed to frost and the flowering stage of the apricot tree at this station is more exposed to frost in the second decade of May, and the stations located in the south, west and east are less exposed to frost. The results showed that for all stations in the second decade of May, except for the Zarrineh station, the fruit growth stage has begun and there is a possibility of frost for the fruits. However, the Zarrineh station, which is in the fruiting stage, has a higher risk of frost compared to other stations, and the stations located in the south, east and west are less exposed to frost in the third decade of May. The results obtained show that the southern, eastern and western regions are less exposed to frostbite in the first decade of June, and in all stations except the Zarrineh station, the fruit growth stage has begun, which is a possibility of frostbite for the fruits. The results obtained in the second decade of June show that all stations are less exposed to frostbite, and the southern, eastern and western regions are in the fruit growth stage and are less exposed to frostbite. The overall results of the study indicate the fact that frostbite is

a common phenomenon in the spring, especially in the months of Farvardin and Ordibehesht in Kurdistan province. And it is necessary to take necessary measures to combat frostbite of apricot trees by being aware of its occurrence and to use methods to combat frostbite in order to reduce the damages caused by it in order to ensure an increase in product production. A study of the trend of changes in minimum temperatures that cause frostbite of fruit trees such as apricots showed that the intensity of this phenomenon in Kurdistan province is decreasing and has increased by about one degree Celsius per decade (Qorveh station) and it also shows a decreasing trend in other stations. The result of this trend leads to a decrease in the number of frostbite.

Declarations

Funding: There is no funding support.

Authors' Contribution: The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest: The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments: We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

References

1. Abedini, M., Sabouri, H. and Pasban, A. (2025). Flood Hazard Zoning and Its Relationship with Land Use Using the Analytic Network Process Model (Case Study: Razi Chay Watershed, Ardabil Province). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(2), 68-84. (In Persian). https://www.srds.ir/article_214387.html?lang=en
2. Albuquerque, N., Burgos, L., & Egea, J. (2003). Apricot flower bud development and abscission related to chilling, irrigation and type of shoots. *Scientia Horticulturae*, 98(3), 265-276. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00202-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00202-9)

3. Atkinson, C. J., Brennan, R. M., & Jones, H. G. (2013). Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany*, 91, 48-62. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.02.004>
4. Azari Sanjebad, R., Salahi, B. (2025). Comparison of AHP and TOPSIS Methods in Zoning Lands Suitable For Rainfed Wheat Cultivation in the Balekhlo-Chai Basin of Ardabil. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies*, 6(4), 202-221. (In Persian). http://www.srds.ir/article_226570_2251441cb1003ef17a3dce6ed34fc372.pdf
5. Baharvandi, K., Khorshiddoust, A. M., & Nassaji Zavareh, M. (2021). The Clarification of Climatic Fluctuations through SNHT Method (Case Study: Khorramabad Station). *Geography and Planning*, 25(75), 51-63. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gp.2021.10829>
6. Fallah Barzoki, S., Arzani, K., & Bouzari, N. (2022). Flowering and Self-Incompatibility in Some of the Superior Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Genotypes Grown in Barzok (Kashan) Climate. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(3), 511-522. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-422-en.html>
7. Farhadfar, S., Keshavarzi, M., Ladan, A., Bouzari, N., & Atashkar, D. (2018). Winter Cold Tolerance in Cherry (*Prunus avium*) and Its Association with Electrical Conductivity and a Number of Morphological Traits. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(3), 1-11. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.9.3.30901>
8. Fernández-Long, M.E., Müller, G.V., Beltrán-Przekurat, A. and Scarpati, O.E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33, 1673-1686. <https://doi.org/10.1002/joc.3541>
9. Heidarifard, M. R., Bahrami, R. and Batmani, F. (2021). An analysis on the development capabilities of the cities of Kurdistan province with emphasis on national convergence. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 2(3), 66-82. (In Persian). https://www.srds.ir/article_142192.html?lang=en
10. Hejazizadeh, Z., & Naserzadeh, M. H. (2006). Calculation and analysis of frost duration hours using Delphi programming. *Geographical Research Quarterly*, 76, 139-150. (In Persian).
11. Hewett, E. W., & Hawkins, J. E. (1968). Sprinkler irrigation to protect apricots from frost. *New Zealand Journal of Agricultural Research*,

- 11(4), 927–938.
<https://doi.org/10.1080/00288233.1968.10422426>
- 12.Huo Z., Mao H., Yang J., Wang P., Wu D. & Ma Y., (2022), Process-based evaluation indicators of grape drought and risk characteristics in the Bohai Rim Region, China. *Theoretical and Applied Climatology* 150: 1573–1585.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3541>
- 13.Jafarbegloo, N., Khorshiddoust, A. M., Rezaei Banafsheh, M., & Rostamzadeh, H. (2021). Study of Minimum temperature variations in the northwest of the country using the HadCM3 and MPEH5 global output models statistical output statistics. *Geography and Planning*, 26(77), 17–30. (In Persian).
<https://doi.org/10.22034/gp.2021.13754>
- 14.Jafari,M and Arekhi,S . (2026). Spatial Panel Analysis of Road Travel Restrictions on the Spatiotemporal Dynamics of COVID-19 in Kurdistan Province, Iran. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(3), 150-172. (In Persian).
https://www.srds.ir/article_243710.html?lang=en
- 15.Jahanbakhsh Asl, S., Mohammadi, G. H., Rashidi, S., & Hosseini, A. (2017). Study of the Cold Period Monthly Minimum Temperature Trend in Northwest of Iran. *Geography and Planning*, 22(62), 79–96. (In Persian).
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_7119_d33ec63cc43d52e2ba81830490846acb.pdf
- 16.Javanmardzadeh,A , Shahbazi Shiran,H and Rostami,M . (2026). Examination of the Temporal-Spatial Distribution of Ancient Sites in the Qezel Ozan River Basin, the eastern region of Kurdistan Province, Iran (1st Millennium BCE), with a Focus on Geographic Information System (GIS). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(2), 270-291. (In Persian).
https://www.srds.ir/article_233292.html?lang=en
- 17.Karami, F., & Rezaei, A. (2014). Effects of Late Spring Frost on Fruit Yield and Some Physiological Traits of Apricot in Kurdistan Province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 29(2), 1–15. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110496>
- 18.Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods (4th ed.). Charles Griffin , London.
- 19.Mahmoudzadeh, H., Faroughi, D., & Imani, A. (2014). Studying the effect of some chemicals on apricot frost damage in West Azerbaijan Province, Second National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and Environment. (In Persian). <https://civilica.com/doc/245644/>
- 20.Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
<https://doi.org/10.2307/1907187>
- 21.Meng, Q. R., Liang, Y. Q., Wang, W. F., Du, S. H., Li, Y. H., & Yang, J. M. (2007). Study on supercooling point and freezing point in floral organs of apricot. *Agricultural Sciences in China*, 6(11), 1330–1335. [doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2008.04.023](https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2008.04.023)
- 22.Meybodi Mirmohammadi, S. A., & Torkesh Esfahani, S. (2005). Protecting orchards and fruit farms against frost, Collection of papers of the Applied Scientific Conference on Ways to Deal with Frost, Yazd Province Agricultural Jihad Organization Publications. (In Persian).
<https://civilica.com/doc/23088/>
- 23.Miller, A. K., & Downton, M. W. (1992). The Freeze Risk to Florida Citrus. Part 1: Investment Decisions. *Journal of Climate*, 6, 354–363.
[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006%3C0354:TFRTEFC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006%3C0354:TFRTEFC%3E2.0.CO;2)
- 24.Moradi, M., Gholizadeh, M.G., Rahmani, M. (2023). Spatiotemporal Trend Analysis of Maximum Soil Temperature Over Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 10(2), 167-186. (In Persian).
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5>
- 25.Nazari,L and Kiani,M S . (2022). Urban environment-friendly behaviors in public cultural-sports spaces in the provinces of Iran. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 2(4), 119-137. (In Persian).
https://www.srds.ir/article_146919.html?lang=en
- 26.Owhadi, D., & Yazdanpanah, H. (2011). Evaluation of Fogger and Fogger-heater Efficiency in Frost Protection. *Physical Geography Research*, 73, 111–119. (In Persian).
https://jphgr.ut.ac.ir/article_21823_35215db3836a792c4284de1bf57ac041.pdf
- 27.Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M., Domingo, R., & Torrecillas, A. (2004). Growth and phenological stages of Búlida apricot trees in south-east Spain. *Agronomie*, 24(2), 93–100.
<https://doi.org/10.1051/agro:2004004>
- 28.Rezaei, M., Heidari, P., & Khadivi, A. (2019). Identification of superior apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes among seedling origin trees. *Scientia Horticulturae*, 262, 109062.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109062>
- 29.Rigby, J. R., & Porporato, A. (2008). Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 35, L12703.
<https://doi.org/10.1029/2008GL033955>
- 30.Rouhaninia, M., Grigorian, V., Matlabi Azar, A., & Dezhampour, J. (2007). Evaluation of frost injury and changes in proline levels of flower buds in several commercial apricot cultivars at different phenological stages. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(2), 103–

112. (In Persian).
<https://www.sid.ir/FileServer/JF/67613860205>
31. Ruml, M., Milatović, D., Vulić, T., & Vuković, A. (2011). Predicting apricot phenology using meteorological data. *International Journal of Biometeorology*, 55(5), 723–732.
<https://doi.org/10.1007/s00484-010-0387-0>
32. sobhani B, goldust A. Prediction of the Starting and Ending of Freezing Periods of Ardabil Province by Using HADCM3 Climatic Model. *GeoRes* 2018; 33 (2) :191-205. (In Persian).
<http://georesearch.ir/article-1-291-en.html>
33. Szabo, Z., Soltesz, M., Bubán, T., & Nyeki, J. (1995). Low winter temperature injury to apricot flower buds in Hungary. *Acta Horticulturae*, 384, 273–276.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.384.41>
34. Thom, H. C. S., & Shaw, R. H. (1958). Climatological analysis of freeze data for Iowa. *Monthly Weather Review*, 86, 251–257.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086%3C0251:CAOFDF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086%3C0251:CAOFDF%3E2.0.CO;2)
35. Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., & Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 60–69.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005>
36. Wang, P. J., Ma, Y. P., Tang, J. X., Wu, D. R., Chen, H., Jin, Z. F., & Huo, Z. G. (2021). Spring frost damage to tea plants can be identified with daily minimum air temperatures estimated by MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing*, 13, 1177.
<https://doi.org/10.3390/rs13061177>
37. Wang, S., Chen, J., Rao, Y., Liu, L., Wang, W., & Dong, Q. (2020). Response of winter wheat to spring frost from a remote sensing perspective: Damage estimation and influential factors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 221–235.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.014>
38. Waylen, P. R. (1988). Statistical analysis of freezing temperatures in Central and Southern Florida. *Journal of Climatology*, 8(6), 607–628.
<https://doi.org/10.1002/joc.3370080605>
39. Xiao, L., Liu, L., Asseng, S., Xia, Y., Tang, L., Liu, B., ... Zhu, Y. (2018). Estimating spring frost and its impact on yield across winter wheat in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 260, 154–164.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.06.006>
40. Yang, J., Huo, Z., Wang, P., Wu, D., Ma, Y., Yao, S., & Dong, H. (2021). Process-based indicators for timely identification of apricot frost disaster in the warm temperate zone of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 1143–1155.
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03762->



نوع مقاله: پژوهشی

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای

https://www.srds.ir/article_212609.html?lang=fa

دوره هفتم، شماره یکم، پیاپی (۲۳)، بهار ۱۴۰۵

صص ۵۱۷-۵۰۳

برآورد زمانی-مکانی سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان به منظور توسعه پایدار منطقه‌ای

محمد حسین قلی زاده*: استادیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

مریم قیسوندی: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

مسعود مرادی: استادیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران، عضو گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان‌شناسی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: این پژوهش به منظور برآورد زمانی-مکانی رخداد سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان انجام گرفت. از داده‌های روزانه دمای کمینه در فصل بهار در بازه زمانی ۱۹۸۰/۱/۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱ استفاده شد.

روش‌شناسی: روند تغییرات دمای کمینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون من-کندال و مقادیر تغییر دمای کمینه به کمک شاخص شیب سن برآورد گردید.

یافته‌ها و نتایج: نتایج تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی نشان داد ایستگاه‌های زرینه و سقز که ارتفاع بیشتری داشته و در عرض‌های بالاتر قرار دارند از تعدد و استمرار سرمازدگی بیشتری برخوردار هستند. ایستگاه بانه با اقلیم مرطوب‌تر و ارتفاع کمتر از سطح دریا در بین تمامی ایستگاه‌ها کمترین سرمازدگی را به خود اختصاص داد. ایستگاه‌هایی که در نواحی جنوبی، شرقی و غربی قرار دارند، احتمال سرمازدگی در آن‌ها کمتر است. مطالعه روند تغییرات دمای کمینه که سبب سرمازدگی درختان میوه مانند زردآلو می‌شود، نشان داد که شدت وقوع پدیده سرمازدگی در استان کردستان روندی کاهشی داشته و به ازای هر دهه تا حدود یک درجه سانتی‌گراد دما افزایش پیدا کرده است. نتیجه‌ی این روند منجر به کاهش تعداد سرمازدگی می‌شود. ارزیابی روند تغییرات دمای کمینه در ماه فروردین در استان کردستان نشان داد که بیشترین نرخ افزایش دمای کمینه در ماه فروردین و به تبع آن کاهش سرمازدگی در ایستگاه‌های شرقی استان شامل قروه و بیجار مشاهده گردید. در ماه اردیبهشت بیشترین نرخ افزایش دمای کمینه و کاهش سرمازدگی در ایستگاه‌های شرقی استان شامل قروه به ازای هر دهه ۱/۰۸۴ درجه سانتی‌گراد و بیجار ۰/۷۸۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه برآورد گردید و در ماه خرداد افزایش سرمازدگی در ایستگاه‌های بانه و کامیاران به ترتیب به ازای هر دهه ۱/۲۳۵ - ۰/۸۴ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه برآورد گردید و در ماه خرداد افزایش سرمازدگی در ایستگاه‌های بانه و کامیاران به ترتیب به ازای هر دهه ۱/۲۳۵ - ۰/۸۴ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.

واژگان کلیدی: برآورد زمانی-مکانی، درختان زردآلو، سرمازدگی، استان کردستان، توسعه پایدار منطقه‌ای.

*مسئول مکاتبات: m.gholizadeh@uok.ac.ir

ارجاع به این مقاله: قلی زاده، محمد حسین، قیسوندی، مریم و مرادی، مسعود. (۱۴۰۵). برآورد زمانی-مکانی سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان به منظور توسعه پایدار منطقه‌ای. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۱۷(۱)، ۵۱۷-۵۰۳.

مقدمه و بیان مسأله

سرمازدگی یکی از عوامل محیطی مهم در آسیب به گیاهان و ایجاد خسارت‌های اقتصادی چشمگیر در بخش کشاورزی است. این پدیده منجر به آسیب بافت‌های درونی و بیرونی در اندام‌های گیاه به ویژه جوانه، گل و میوه درختان (Vitasse et al., 2018). امروزه با توجه به گرمایش جهانی و افزایش میانگین دمای هوا به ویژه در زمستان و اول بهار می‌توان انتظار کاهش تعداد روزهای سرد در طول سال را داشت (Fernández-Long et al., 2013). با این حال ویژگی‌های زمانی و مکانی سرمازدگی در مراحل آغازین رشد گیاهان و گلدهی درختان در مناطق مختلف جهان گزارش می‌شود. برای نمونه جنگل‌ها و مزارع میوه در اروپا (Vitasse et al., 2018) و آسیا (Wang et al., 2021) با رخداد سرمازدگی مواجه هستند. مدل‌های اقلیمی نیز افزایش فراوانی و شدت دماهای پایین را تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در قرن ۲۱ پیش‌بینی کرده‌اند که می‌توان احتمال رخداد سرمازدگی را افزایش دهد (Rigby & Porporato, 2008). جوانه‌های گل زردآلو در مقایسه با سایرگونه‌های هسته دار کمترین مقاومت را به دمای پایین نشان می‌دهند و نوسانات حرارتی در زمستان مقاومت جوانه‌های گل را به سرما کاهش می‌دهد (Szabo et al., 1995). در این میان سرمای دیررس بهاره همچنین از طریق اختلال در سامانه گرده‌افشانی، رشد لوله گرده و کاهش فعالیت زنبورهای عسل درصد تشکیل میوه و محصول را به شدت کاهش می‌دهد (Meybodi Mirmohammadi & Torkesh Esfahani, 2005). یخبندان یکی از پدیده‌های مهم اقلیمی است که ممکن است هر فعالیتی را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد، اما بیشترین اثرات خود را در سه بخش اقتصادی کشاورزی، حمل و نقل و انرژی دارد. تغییرات دما که منجر به سرمازدگی و یخبندان می‌شود، بیشترین اثر را در بخش کشاورزی دارند. توجه به عوامل اقلیمی و محیطی در ارزیابی قابلیت اراضی کشاورزی و تعیین مناطق مناسب کشت محصولات مختلف، نقش مهمی در مدیریت پایدار تولید محصولات کشاورزی دارد (Azari Sanjebad & Salahi, 2025) اما تغییرپذیری بالای دماهای کمینه به ویژه در فصول گذار بهار و پاییز (Moradi et al., 2023) همچنان خطر سرمازدگی را گوشزد می‌کند. با توجه به اهمیت زردآلو به‌عنوان یکی از محصولات عمده استان کردستان و از طرفی به دلیل کوهستانی بودن منطقه و نوسانات دمایی زیاد می‌تواند سبب بروز سرمازدگی شود. این پدیده در اوایل بهار بیش‌تر بوده و در نتیجه امکان بروز سرمازدگی را افزایش می‌دهد. در این میان سرمازدگی درختان زردآلو با توجه به گلدهی در این زمان از سال بالا بوده و پیامد آن خسارت به تولید این محصول است (Hejazizadeh & Naserzadeh, 2006). بررسی تغییرات دمای کمینه در شمال غرب ایران (Jafarbegloo et al., 2021)، آشکارسازی نوسانات اقلیمی با تاکید بر دمای حداقل ماهانه (Baharvandi et al., 2021) و بررسی روند تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه در دوره سرد سال در شمال غرب ایران (Jahanbakhsh Asl et al., 2017) روند افزایشی دمای حداقل را نشان دادند که نشانگر کاهش رخداد سرمازدگی درختان میوه در این نواحی می‌باشند.

مبانی نظری پژوهش

سرمازدگی به شرایطی گفته می‌شود که گیاه در مراحل فنولوژیکی در نتیجه بروز درجه حرارت‌های بین صفر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد بسته به رقم و گونه خسارت می‌بیند. سرمازدگی پدیده‌ای است که در درجه حرارت‌های پایین باعث ایجاد خسارت و از بین رفتن شکوفه، میوه و اندام‌های گیاهی می‌شود. این عارضه در درختان میوه در اوایل پاییز و اوایل بهار اتفاق می‌افتد و هر ساله خسارت‌های بسیاری به بار می‌آورد. سرمازدگی بسته به زمان وقوع و مرحله فنولوژیکی درخت خسارات جبران‌ناپذیری به درختان میوه وارد می‌کند. این پدیده برای درختان میوه مناطق سردسیر و معتدله از مهمترین چالش‌های باغداران در فرآیند تولید به شمار می‌رود و به جهت زودگل دهی درختان میوه هسته‌دار در اکثر سال‌ها خسارت زیادی به تولیدکنندگان وارد می‌کند. ازجمله عوامل مهمی که در مطالعه سرمازدگی محصولات کشاورزی اثرگذار است می‌توان به شدت و مدت آن اشاره کرد که در در مطالعات پیشین با توجه به عامل یخبندان شامل یخبندان تابشی و فرارفتی و یا ترکیبی از این دو، مدل‌های نظری برای مطالعه یخبندان زردآلو ارزیابی شده است (Huo et al., 2022). در این مدل‌ها فراوانی رخداد یخبندان و دماهای مخاطره‌آمیز تجمعی در بررسی شدت و مدت یخبندان مدنظر بوده است. با تحلیل فراوانی وقوع سرمازدگی‌ها در محدودی مورد

مطالعه، روند و بازه‌ی زمانی این پدیده قابل شناسایی می‌باشد. بدین صورت تقویم رخداد پدیده سرمازدگی را می‌توان مشخص نمود و جهت بهره‌برداری در اختیار عوامل ذینفع قرار داد. درختان زردآلو از جمله‌ی درختان زود گل‌ده می‌باشند به همین دلیل در معرض سرمازدگی بهار به‌شتر قرار می‌گیرند.

پیشینه پژوهش

در یکی از نخستین پژوهش‌های انجام شده (Thom & Shaw, 1958) دریافتند تاریخ وقوع یخبندان‌ها تصادفی بوده و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و با استفاده از انحراف معیار و میانگین، احتمال وقوع یخبندان‌های دیررس بهار و زودرس پاییزه و طول فصل رشد را محاسبه نمودند. در پژوهشی با عنوان آبیاری بارانی برای محافظت از جوانه‌های زردآلو، شکوفه‌ها و رشد میوه از سه میزان بارندگی (۰/۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۵ در ساعت) در برابر سرمازدگی در اوتاگو مرکزی نیوزلند بررسی شده است (Hewett & Hawkins, 1968). نتایج نشان داده است که ۰/۱۵ اینچ در برابر سرمازدگی محافظت می‌کند زمانی که دمای هوا ۲۵ درجه فارنهایت باشد برای باغ‌های حساس به سرما در اوتاگو مرکزی میزان بارش ۰/۱۵ اینچ در ساعت پیشنهاد شد در مناطق کمتر حساس ۰/۱۵ اینچ در ساعت احتمال محافظت کافی از زردآلو را ایجاد می‌کند. بر اساس تحلیل‌های احتمالاتی انجام شده (Waylen, 1988)، ویژگی یخبندان‌ها، تاریخ شروع و پایان آنها سردترین دما و ریسک وقوع دوره‌های سرد را در فلوریدای مرکزی بررسی و توزیع احتمالی آن را پیش‌بینی کرد. برآورد میزان خسارت یخبندان در فلوراید نشان داده است که دقیق‌ترین برآورد آن می‌تواند براساس شناخت طولانی مدت آب و هوا صورت گیرد (Miller & Downton, 1992). در پژوهشی دیگر تأثیر شرایط مختلف سرمازدگی و آبیاری بر رشد جوانه‌های گل ارقام زردآلو گیلرو در اسپانیا با استفاده از روش یوتا یا ریچاردسون بررسی شده و نتایج نشان داده است که در سه مکان، در اواسط فوریه در سیزا و ایران سرمازدگی غلبه بیشتری دارد و هنگامی که مرحله‌ی رشد جوانه‌های گل در دو رقم زردآلو مورد مطالعه قرار گرفت، رشد سریعتری در درختانی که تجمع سرمای بیشتری داشتند مشاهده شده است (Albuquerque et al., 2003). نتایج بررسی میزان گرما برای گل‌دهی در ارقام زردآلو از داده‌های هواشناسی با استفاده از روش (GDD) نشان داده است میانگین زمان شروع گل‌دهی زردآلو در منطقه بلگراد نیمه دوم مارس بود اختلاف ارقام با اولین و آخرین تاریخ شروع گل‌دهی ۱۰ روز بود (Ruml et al., 2011).

در پژوهشی بررسی اثرات سرمای زمستان رو به کاهش را بر تولید محصولات چند ساله در نواحی معتدله در نیمکره شمالی نیاز گرمایی برای گل‌دهی به مدت ۲ سال متوالی در ۶۹ رقم زردآلوی ژاپنی نانجینگ (چین) بررسی شده است. نتایج نشان داده که در مناطق با تجمع سرمای کمتر، ارقام با نیاز سرمایی پایین ارقام مناسبی بودند (Atkinson et al., 2013). درک الگوی زمانی-مکانی یخبندان بهاری و تأثیر آن بر عملکرد گندم زمستانه، درجه یخ‌زدگی-روز (AFDD) به عنوان شاخص خطر ابتلا به یخ‌زدگی در بازه‌ی زمانی ۱۹۱۸ تا ۲۰۰۹ در چین مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده است خطر یخبندان در مناطق خنک‌تر شمالی و گرم‌تر جنوبی نسبت به منطقه گندم مرکزی زمستان چین کمتر است (Xiao et al., 2018). تنوع ریخت شناسی و پومولوژیکی ۹۸ اصله درخت نهال زردآلو در مناطق مختلف ایران با استفاده از روش Ward توسط نرم‌افزار PAS بررسی شده است (Rezaei et al., 2019). نتایج نشان داد سرمازدگی دیررس بهار عامل اصلی تعیین تولید زردآلو بوده و ارقام دیرگل ده عوامل مهمی برای محافظت در برابر سرمازدگی بهار است و ۳۹ ژنوتیپ دیررس و هفت ژنوتیپ بسیار دیرگل بودند که در برابر سرمازدگی اواخر بهار مقاوم بودند. برآورد شاخص خسارت سرمازدگی بهار مبتنی بر سنجش از دور برای تعیین کمیت و سرعت تأثیر سرمازدگی بهار بر گندم زمستانی از ۳ تا ۷ آوریل ۲۰۱۸ در شمال چین برای شناسایی عوامل اصلی تأثیرگذار بر تغییر فضایی در SFDI نشان داده است که وضعیت رشد گندم زمستانه قبل از سرمازدگی بهار و میزان بارندگی در طی رویداد یخبندان دو عامل عمده‌ی مؤثر بر شدت خسارت یخبندان به گندم زمستانه و رطوبت خاک می‌باشد (Wang et al., 2020). این نشان می‌دهد که مدیریت صحیح میزان رشد محصول پس از سبز شدن گندم زمستانی و رطوبت کافی خاک (از آبیاری و بارش) قبل و در طی دوره یخبندان بهاری می‌تواند آسیب یخبندان بهار به گندم زمستانی را بسیار کاهش دهد. در پژوهشی به بررسی میزان خسارت در جوانه‌های گل چند رقم زردآلوی تجاری پرداخته و نتایج نشان داده است که ارقام درشت ملایر و ارقام قربان مراغه به ترتیب کمترین و بیشترین میزان خسارت را به خود اختصاص دادند و بقیه‌ی ارقام از نظر میزان خسارت بین درشت ملایر و قربان مراغه قرار گرفتند (Rouhaninia et al., 2007). بررسی تأثیر سرمای بهار بر عملکرد میوه و فیزیولوژی زردآلو در استان کردستان نشان داد ارقام دیرگل ده کم بارده بوده و تاریخ گل‌دهی در ارقام میوه زردآلو کوتاه بوده است (Karami & Rezaei, 2014).

در پژوهشی دیگر سه روش بخاری، مه‌پاشی و بخاری-مه‌پاش برای مبارزه با تیمار یا درمان سرمازدگی بررسی شده و نتایج نشان داده است که کاربرد دستگاه مه‌پاش به تنهایی نتوانسته است نقش زیادی در افزایش دما داشته باشد، به طوری که در بهترین حالت تنها دما به

میزان ۰/۶ درجه سانتی گراد افزایش یافت و به طور متوسط ۰/۳ درجه دمای هوا را افزایش داده است و بهترین نتیجه زمانی به دست آمد که دستگاه مه پاش در کنار بخاری استفاده شد (Owhadi & Yazdanpanah, 2011). اثر کاهش خسارت سرمازدگی دیررس بهاره روی درختان زردآلو ارقام عسکرآباد در ایستگاه کهریز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که ماده‌ی تیوفر نسبت به سایر تیمارها موجب ناباروری و نازایی درصد بیشتری از گل‌ها می‌شود (Mahmoudzadeh et al., 2014). بررسی مقاومت سرمازدگی زمستانه ۲۰ ارقام گیلاس نشان داد بیشتر ارقام گیلاس نسبت به سرمای زمستان از ظرفیت تحمل بالایی برخوردارند و میان قطر شاخه و شدت خسارت همبستگی دیده شد (Farhadfar et al., 2018). بررسی تاریخ گلدهی برخی نژادهای زردآلو در برزک کاشان اثر تغییرات دمایی در تاریخ و میزان گلدهی باغات انجام شده است. نتایج گویای اهمیت وجود سرمای طولانی در زمستان برای مقاومت بهاره‌ی محصولات به سرما بوده است (Fallah Barzoki et al., 2022). همچنین بررسی تعداد روزهای آغاز و پایان یخبندان در دشت اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم نشان داده است که در آستانه‌های دمایی مختلف طول دوره‌ی یخبندان کاهش خواهد یافت (Sobhani & Goldust, 2018). در این پژوهش هدف از بررسی یخبندان‌های دیررس بهاره شناسایی روند تغییرات یخبندان در مناطق مختلف استان کردستان است تا بر اساس آخرین داده‌های ایستگاهی، تغییرات خطر یخبندان در مناطق مختلف استان بر اساس داده‌های در دسترس ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

ابزارهای گردآوری داده‌ها

در این تحقیق به منظور پیش‌بینی زمانی-مکانی سرمازدگی درخت زردآلو در استان کردستان از داده‌های روزانه دمای حداقل و دمای خشک در ایستگاه‌های سینوپتیک (سنندج، سقز، قروه، بیجار، مریوان، زرینه، بانه، کامیاران، مهاباد، تکاب، بوکان، زنجان، سردشت، روانسر، همدان، سنقر، کرمانشاه) در دوره آماری ۱۹۸۰/۱/۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱ و درجه روز، صفر بیولوژیک گیاه استفاده گردید. به منظور تعیین مراحل فنولوژیکی درخت زردآلو از کتاب ۱۵ محصول سازمان هواشناسی کشور بهره گرفته شد. داده‌های مورد استفاده این پژوهش از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه در داخل و اطراف استان کردستان

Table 1. Characteristics of the synoptic meteorological stations located within and around Kurdistan Province

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری موجود سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸
۱	سنندج	۴۷/۰۱	۳۵/۲۵	۱۳۷۶/۱	۳۸
۲	مریوان	۴۶/۱۵	۳۵/۴۹	۱۳۹۱/۴	۲۶
۳	سقز	۴۶/۳۱	۳۶/۲۲	۱۵۲۳/۵	۳۷
۴	بانه	۴۵/۸۹	۳۶/۰۰	۱۵۸۶/۳	۱۹
۵	بیجار	۴۷/۶۲	۳۵/۸۸	۱۸۸۵/۲	۳۱
۶	زرینه اوباتو	۴۶/۹۱	۳۶/۰۵	۲۱۴۳/۵	۲۹
۷	قروه	۴۷/۷۸	۳۵/۱۸	۱۹۰۵/۹	۲۹
۸	کامیاران	۴۶/۸۹	۳۴/۷۸	۱۴۱۴/۹	۱۲
۹	بوکان	۴۶/۲۳	۳۶/۵۲	۱۳۸۰/۷	۱۲
۱۰	سردشت	۴۵/۴۹	۳۶/۱۵	۱۵۴۵/۷	۲۹
۱۱	مهاباد	۴۵/۷۱	۳۶/۷۵	۱۳۵۰/۸	۳۳
۱۲	زنجان	۴۸/۵۲	۳۶/۶۵	۱۶۶۱/۹	۳۷
۱۳	کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۱۳۱۳/۶	۳۸
۱۴	سنقر	۴۷/۵۸	۳۴/۷۶	۱۶۷۵/۷	۱۴
۱۵	روانسر	۴۶/۶۵	۳۴/۷۲	۱۳۸۳/۲	۳۱
۱۶	همدان (فرودگاه)	۴۸/۵۳	۳۴/۸۶	۱۷۳۶/۴	۳۸
۱۷	تکاب	۴۷/۰۹	۳۶/۳۹	۱۸۱۷/۲	۳۲

برای تهیه و ترسیم نقشه‌های سرمازدگی درخت زردآلو در محدوده‌ی مورد مطالعه از نرم افزار متلب استفاده گردید. در پژوهش حاضر به منظور برآورد سرمازدگی و تعیین رخداد آن، دامنه دمای صفر تا ۱۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد و در صورت وقوع، دمای پایین‌تر از

نقطه انجماد در نظر گرفته شد. بدین صورت که در فواصل زمانی ده روزه برای هر ایستگاه در فصل بهار، مقاطع زمانی که نرخ دما سبب رخداد سرمازدگی شده، در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ محاسبه شد و به عنوان روزهای وقوع سرمازدگی در نظر گرفته شد. در ادامه میانگین فراوانی رخداد سرمازدگی در هر ده روز از ماه‌های فصل بهار در طول دوره‌ی آماری مورد بررسی با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شده است.

$$MF = \frac{\sum(T_{min} < 10)}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱) MF میانگین فراوانی رخداد سرمازدگی دهه مورد نظر، $T_{min} < 10$ تعداد روزهای با دمای کمتر از ۱۰ درجه‌ی سلسیوس و n تعداد کل سال‌های آماری در ایستگاه مورد نظر است. در این پژوهش مراحل فنولوژیکی درخت زردآلو به کمک دمای متوسط روزانه، صفر بیولوژیک و درجه روز برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین گردید تا تقویم باغی درخت زردآلو در نواحی مختلف شناسایی شود و امکان سرمازدگی در مراحل فنولوژیکی درخت زردآلو در مکان‌های مورد مطالعه آشکار شود و روش‌های مناسب جهت مبارزه با پدیده‌ی سرمازدگی دامنه ۰ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد اعمال گردد.

در ادامه با استفاده از آزمون من-کندال^۱ و شیب خط سن معنی‌داری روند دمای کمینه و میزان روند آن محاسبه شده است. آزمون من-کندال از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود. با استفاده از روش من-کندال تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌گردد. آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط Man در سال (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط Kendal در سال (۱۹۷۵) توسعه یافت.

گام اول در بررسی روند، محاسبه‌ی اختلاف بین تک تک پایش‌های سری زمانی موجود با یکدیگر است که برای دمای هوای ایستگاهی بر اساس رابطه‌ی (۲) انجام می‌شود. با اعمال تابع علامت (sgn)، آماره‌ی آزمون S (اختلاف بین پایش‌ها) با میانگین صفر به صورت زیر استخراج می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که n تعداد پایش‌ها در سری زمانی داده‌ها و x_j و x_k به ترتیب داده‌های زام و kام این سری‌ها هستند. تابع علامت نیز به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn} = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

گام دوم محاسبه‌ی واریانس داده‌هایی است که در رابطه‌ی (۳) به دست آمده است. این کار به کمک یکی از روابط (۴) و (۵) انجام می‌شود:

$$\text{Var}_S = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{if } n > 10 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{Var}_S = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if } n < 10 \quad \text{رابطه (۵)}$$

که n تعداد داده‌های پایش‌شده، m معرف تعداد سری داده‌های است که مقادیر با ارزش یکسان دارند و t نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در هر کدام از این سری‌های مشابه است.

در گام سوم آماره Z توسط یکی از حالت‌ها در رابطه (۶) تعیین می‌گردد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}_S}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}_S}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۶)}$$

گام چهارم آزمون فرض می‌باشد، فرض صفر بر تصادفی و عدم وجود روند آن دلالت دارد. به بیانی دیگر Z به لحاظ آماری معنی‌دار نیست، سری زمانی مورد نظر از خود روندی نشان نمی‌دهد. زمانی فرض تأیید می‌شود که $-Z_{\alpha/2} < [Z] < Z_{\alpha/2}$ باشد مقادیر $Z_{\alpha/2}$ انحراف نرمال استاندارد Z جدول می‌باشد و α سطح معنی‌داری است که در نظر گرفته می‌شود برای آزمون، فرض یک یا فرض مقابل بر وجود روند دلالت دارد و به این معنی می‌باشد که Z از لحاظ آماری معنی‌دار است. فرض زمانی تأیید می‌شود که $Z < -Z_{\alpha/2}$ یا $Z > Z_{\alpha/2}$ باشد.

¹ Mann-Kendal

اگر Z کوچک تر از صفر باشد، روند منفی سری زمانی نمایه‌ی مورد نظر را تأیید کرده و اگر Z بزرگتر از صفر باشد روند مثبت سری زمانی را رد نمی‌کنیم.

برآورد شیب سن:

شیب سن: توسط Sen در سال ۱۹۶۸ ارائه داده شد و تخمین گر شیب سن یک روش ساده ناپارامتریک است. اگر مدل خطی $f(t)$ به صورت رابطه (۷) باشد:

$$f(t) = Qt + B \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

Q شیب و B ثابت و عرض از مبدأ است. جهت محاسبه‌ی شیب Q ، شیب همهی جفت داده‌ها با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \cdot i = 1.2. \dots \dots \dots N. j > k \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

اگر سری زمانی x دارای n مقدار باشد، تعداد شیب‌های محاسبه شده برابر با Q برابر با $N = n(n-1)/2$ خواهد بود. تخمین گر شیب سن برابر با میانه‌ی N مقدار Q_i است. مقادیر Q_i از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود و شیب سن با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$Q = \left\{ \frac{Q \frac{N+1}{2}}{\frac{1}{2}(Q \frac{N}{2} + Q \frac{N+2}{2})} \right\} \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

اگر N فرد شود از رابطه‌ی اول و اگر زوج شود از رابطه‌ی دوم استفاده می‌کنیم. فاصله‌ی اطمینان آزمون دو طرفه‌ی روش ناپارامتریک شیب سن برپایه‌ی توزیع نرمال به دست می‌آید. گام بعد محاسبه‌ی C_a در سطوح اطمینان مورد نظر است که با استفاده از رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$C_a = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\text{Var}(S)} \quad \text{رابطه‌ی (۱۰)}$$

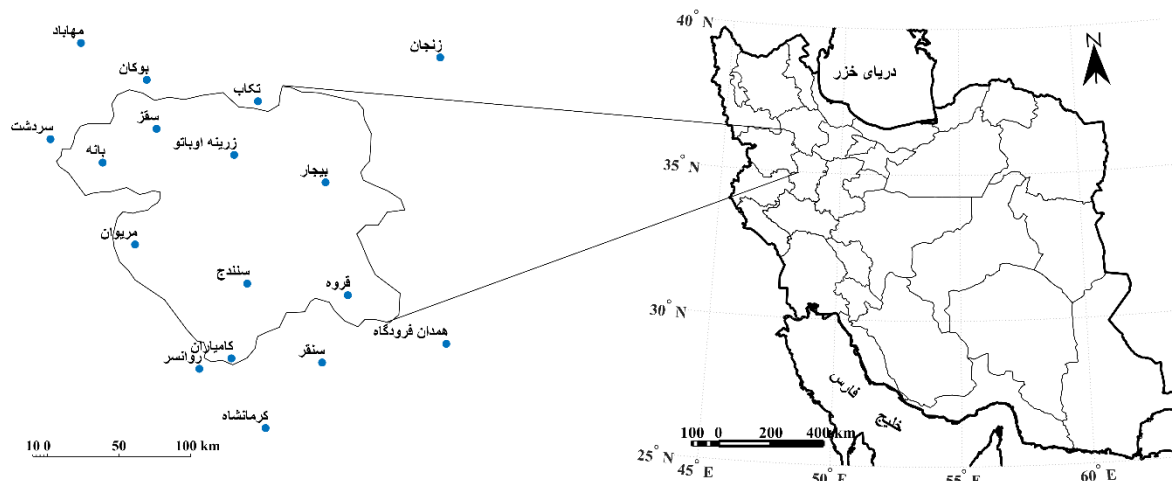
در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد که برای سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۶۴، ۱/۹۶ و ۲/۵۸ است. گام بعد محاسبه‌ی حدود اعتماد بالا و پایین (M_1 و M_2) است که با استفاده از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N' + C_a}{2} \\ M_2 = \frac{N' - C_a}{2} \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی (۱۱)}$$

که N' تعداد شیب‌های محاسبه شده در گام‌های نخستین می‌باشد. گام آخر آزمون فرض می‌باشد که بر پایه‌ی شیب‌های محاسبه شده M_1 و $M_2 + 1$ شیب‌ها استخراج شد. اگر عدد صفر بین دو شیب استخراج شده قرار گیرد فرض صفر تأیید شده و سری زمانی داده‌ها بدون روند است. زمانی که عدد صفر بین دو شیب محاسبه شده قرار نگیرد سری زمانی مورد نظر در سطح اطمینان مورد نظر روند معناداری از خود نشان می‌دهد.

معرفی محدوده مورد مطالعه

استان کردستان با مساحت ۲۸'۲۰۳ کیلومترمربع در غرب ایران بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد که این مساحت ۱/۷ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود و از نظر وسعت رتبه ۱۶ را در کشور دارا است. ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش شامل ایستگاه‌های (سنندج، سقز، قروه، بیجار، مریوان، زرینه، بانه، کامیاران، بوکان، تکاب، مهاباد، سردشت، زنجان، همدان، سنقر، روانسر، کرمانشاه) که در (شکل ۱) نشان داده شده است. برای انجام این پژوهش از داده‌های دمای حداقل روزانه و میانگین دمای روزانه ایستگاه‌های همدید داخل استان و ایستگاه‌های نزدیک در استان‌های همجوار در دوره آماری ۱۹۸۰/۱/۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱ استفاده شده است. برخی مشخصات آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) تنظیم شده است. به منظور انجام تحلیل‌های آماری مناسب در این پژوهش یک پایگاه داده‌ی مناسب با دوره‌ی آماری ثابت از تمام ایستگاه‌های مورد بررسی انتخاب شده است. داده‌های مورد استفاده از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است. داده‌های سه ماهه‌ی بهار از سری زمانی موجود به منظور بررسی سرمازدگی جداسازی شده است. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و ۸ ایستگاه همدید درون آن در شکل ۱ آمده است.



شکل (۱) موقعیت استان کردستان در ایران و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان

Figure 1. Location of Kurdistan Province in Iran and the spatial distribution of the study stations across the province

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه اول فروردین در استان کردستان

به منظور تحلیل رخداد سرمازدگی بهاره در استان کردستان، نقشه‌ی فراوانی وقوع این پدیده در هر یک از دهه‌های فصل بهار ترسیم گردید. تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی استان کردستان در شکل (۲-الف) نشان می‌دهد که در دهه‌ی اول فروردین بیشترین رخداد سرمازدگی در ایستگاه زرینه که جزء ایستگاه‌های شمالی است، به تعداد ۱۰ مورد اتفاق می‌افتد. بنابراین امکان سرمازدگی برای درخت زردآلو در اولین مرحله فنولوژیکی (جوانه‌زدن) بسیار بالاست. نتایج به دست آمده نشان داد که در ایستگاه زرینه، امکان سرمازدگی درخت زردآلو بیش از ایستگاه‌های دیگر است. اما کمترین رخداد سرمازدگی در دهه‌ی اول فروردین با میانگین فراوانی ۸/۸ از ۱۰ روز متعلق به ایستگاه بانه است و امکان سرمازدگی جوانه‌ها در آن کمتر است. اگر چه در همه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه احتمال رخداد دماهای کمینه‌ی زیر ۱۰ درجه بالاست و به طور میانگین از هر ۱۰ روز بیش از ۸ روز را نشان می‌دهد، اما به نظر می‌رسد در ایستگاه بانه به دلیل اقلیم مرطوب‌تر، وجود پوشش جنگلی و ارتفاع پایین‌تر نسبت به ایستگاه‌هایی همچون زرینه و تکاب احتمال رخداد سرمازدگی کمتر است.

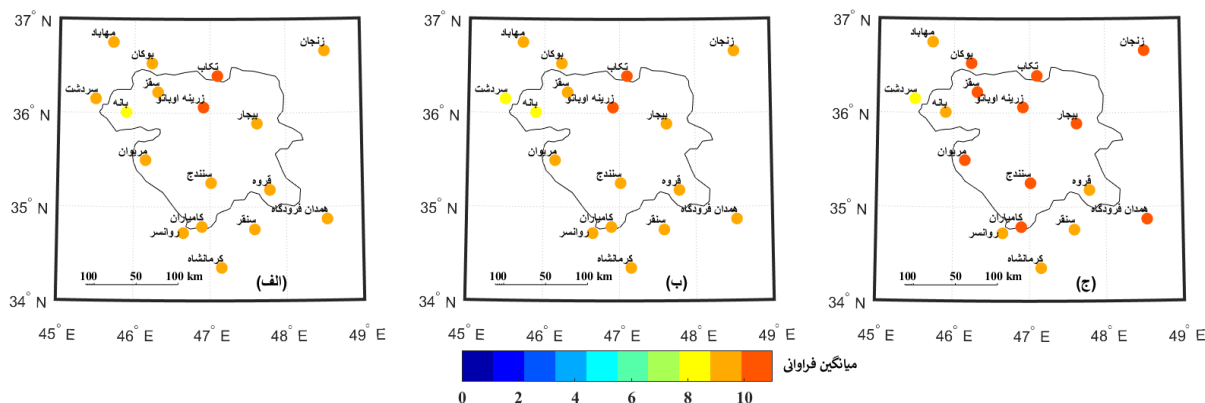
تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه دوم فروردین در استان کردستان

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی بهاره در استان کردستان در شکل (۲-ب) نشان می‌دهد که در دهه‌ی دوم فروردین بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه زرینه است که در آن ۱۰ مورد سرمازدگی اتفاق افتاده یعنی با احتمال زیاد سرمازدگی برای درختان زردآلو در مرحله جوانه‌زدن و گل‌دادن وجود دارد. اما کمترین آن مربوط به ایستگاه بانه است که تعداد رخداد این پدیده ۸ مورد بوده است. اگرچه تغییرات مکانی تعداد روزهای همراه با سرمازدگی در دهه دوم فروردین زیاد نیست اما اثر ارتفاع از سطح دریا و همچنین میزان بارش دریافتی هر ایستگاه در مشهود است. به گونه‌ای که دو ایستگاه زرینه اوباتو و تکاب با ارتفاع بالاتر بیشترین احتمال سرمازدگی در درخت زردآلو و بانه و سردشت با ارتفاع کمتر و مجموع بارش سالانه بیشتر کمترین احتمال سرمازدگی را نشان می‌دهند.

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه سوم فروردین در استان کردستان

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در شکل (۲-ج) نشان می‌دهد که در دهه‌ی سوم فروردین بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه‌های زرینه، سنندج، بیجار، سقز، مریوان و کامیاران است و تعداد رخداد سرمازدگی در آن‌ها ۱۰ مورد یعنی احتمال ۱۰۰ درصد سرمازدگی وجود دارد. اما در ایستگاه‌های بانه و قروه وقوع سرمازدگی کمتر بوده که تعداد رخداد در آن‌ها ۹ مورد یعنی ۹۰ درصد امکان سرمازدگی وجود دارد و این نتیجه به دست می‌آید که ایستگاه‌هایی که در نواحی جنوبی قرار دارند مرحله‌ی گل‌دادن و میوه‌دادن آن‌ها در معرض سرمازدگی است، ایستگاه‌هایی که در نواحی شمالی قرار دارند جوانه‌های آن‌ها تحت سرمازدگی قرار دارند و ایستگاه‌هایی که در غرب قرار دارند، مرحله‌ی

گل دادن در آنها اتفاق افتاده، و امکان سرمازدگی گل‌های درخت زردآلو وجود دارد. ایستگاه کامیاران که در عرض جغرافیایی پایین قرار دارد، در این بازه زمانی کمتر در معرض سرمازدگی قرار می‌گیرد.



شکل (۲). میانگین تعداد رخداد سرمازدگی در هر ده روز ایستگاه‌های مورد مطالعه (الف تا ج دهه اول تا سوم فروردین)

Figure 2. Mean number of frost events during each 10-day period (dekad) at the study stations: (a-c) the first, second, and third dekads of April

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه اول اردیبهشت در استان کردستان

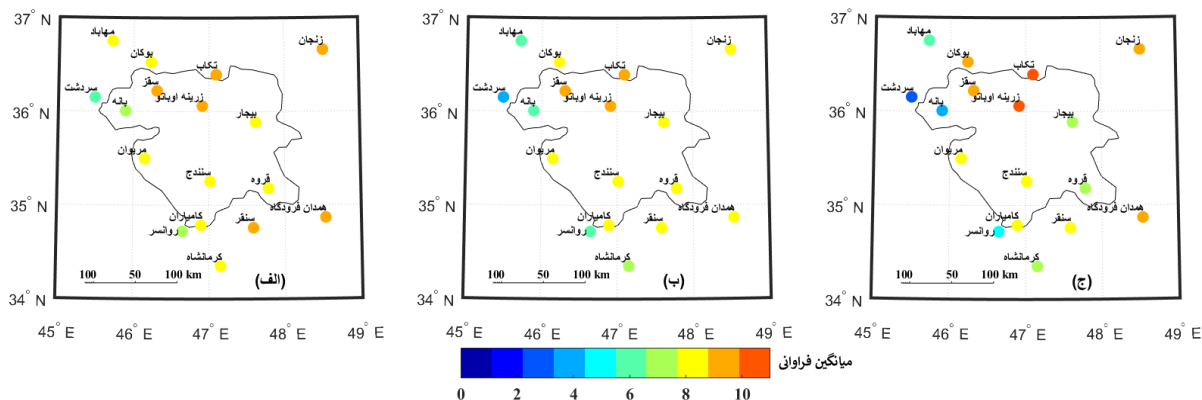
تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی دیررس بهار در استان کردستان در شکل (۳-الف) نشان می‌دهد که در دهه‌ی اول اردیبهشت بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه‌های زرینه و سقز است که تعداد رخداد سرمازدگی در آنها ۹ مورد بوده و بیشترین احتمال وقوع سرمازدگی را به خود اختصاص داده‌اند و کمترین رخداد مربوط به ایستگاه بانه است که ۶ مورد بوده است. نتایج بدست آمده گویای این واقعیت است که ایستگاه‌های زرینه و سقز که در عرض‌های بالاتر قرار دارند، بیشتر تحت سرمازدگی قرار می‌گیرند و در بقیه ایستگاه‌ها مانند ایستگاه بانه که هم رطوبت محلی و هم گرمای کشور عراق دخیل است کمتر تحت سرمازدگی قرار می‌گیرد.

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه دوم اردیبهشت در استان کردستان

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در شکل (۳-ب) نشان می‌دهد که در دهه‌ی دوم اردیبهشت بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه‌های زرینه و سقز است که تعداد رخداد سرمازدگی درخت زردآلو در آنها ۹ مورد بوده است و کمترین رخداد مربوط به ایستگاه بانه است که ۶ مورد بوده یعنی ۶۰ درصد احتمال سرمازدگی درخت زردآلو وجود دارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد ایستگاه زرینه که در عرض جغرافیایی بالاتر قرار دارد بیشتر در معرض سرمازدگی قرار می‌گیرد و مرحله‌ی گل‌دادن این ایستگاه در دهه‌ی دوم اردیبهشت بیشتر تحت سرمازدگی است و ایستگاه‌هایی که در جنوب، غرب و شرق قرار دارند کمتر در معرض سرمازدگی هستند.

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه سوم اردیبهشت در استان کردستان

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی درخت زردآلو در استان کردستان در شکل (۳-ج) نشان می‌دهد که در دهه‌ی سوم اردیبهشت بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه زرینه است که تعداد رخداد در آن ۱۰ مورد بوده و احتمال ۱۰۰ درصد سرمازدگی زردآلو وجود دارد. کمترین رخداد مربوط به ایستگاه بانه است که ۴ مورد بوده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد برای تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه زرینه، مرحله‌ی رشد میوه آغاز شده است و امکان سرمازدگی برای میوه‌ها وجود دارد. اما در ایستگاه زرینه که در مرحله‌ی میوه‌دادن قرار دارد نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر تحت پدیده‌ی سرمازدگی است و ایستگاه‌هایی که در جنوب، شرق و غرب قرار دارند در دهه‌ی سوم اردیبهشت کمتر تحت سرمازدگی قرار می‌گیرند.



شکل (۳): تعداد رخداد سرمازدگی در هر ده روز ایستگاه‌های مورد مطالعه (الف تا ج دهه اول تا سوم اردیبهشت)

Figure 3. Number of frost events during each 10-day period (dekad) at the study stations: (a–c) the first, second, and third dekads of May

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه اول خرداد در استان کردستان

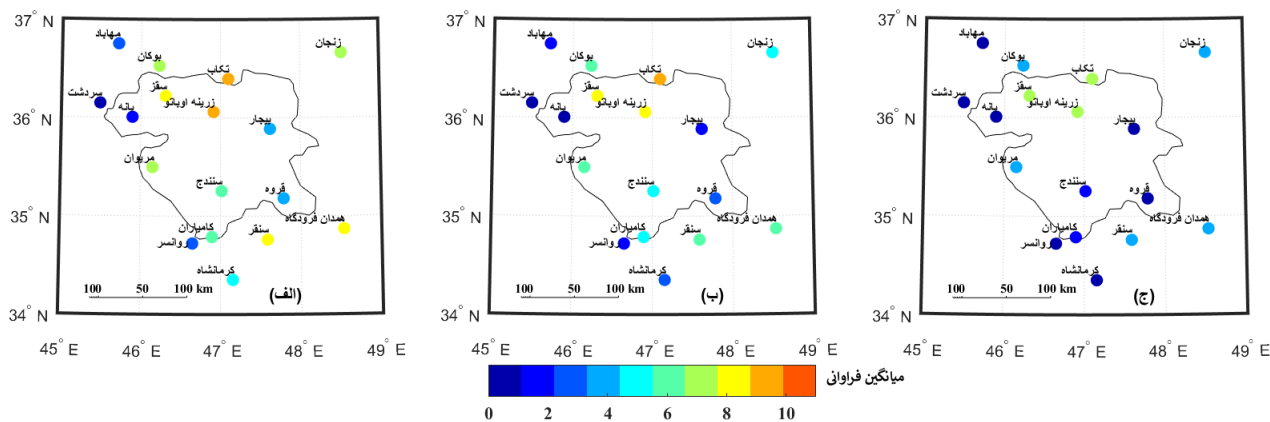
تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان در شکل (۴-الف) نشان می‌دهد که در دهه‌ی اول خرداد بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه زرینه است که تعداد رخداد در آن ۹ مورد بوده و احتمال سرمازدگی در این ایستگاه در مرحله رشد میوه درختان زردآلو وجود دارد. کمترین رخداد سرمازدگی مربوط به ایستگاه بانه است که ۲ مورد بوده و احتمال سرمازدگی در تمام روزها برای درخت زردآلو وجود ندارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نواحی جنوبی، شرقی و غربی در دهه‌ی اول خرداد کمتر دچار وقوع پدیده‌ی سرمازدگی هستند و در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌ها زرینه، مرحله‌ی رشد میوه آغاز گردیده که امکان سرمازدگی برای میوه‌ها وجود دارد.

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه دوم خرداد در استان کردستان

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی دیررس در استان کردستان در شکل (۴-ب) نشان می‌دهد که در دهه‌ی دوم خرداد بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه زرینه است که تعداد رخداد در آن ۸ مورد بوده است. نتایج به دست آمده در دهه‌ی دوم خرداد ماه نشان می‌دهد که تمامی ایستگاه‌ها کمتر در معرض سرمازدگی هستند و نواحی جنوبی، شرقی و غربی در مرحله رشد و رسیدن میوه قرار داشته و کمتر در معرض سرمازدگی قرار دارند.

تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی در دهه سوم خرداد در استان کردستان

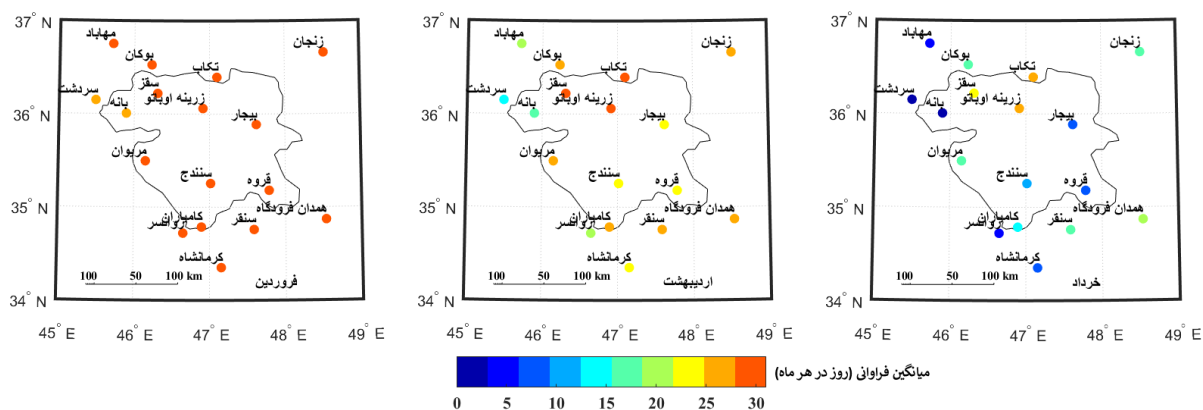
تحلیل فراوانی رخداد سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان در شکل (۴-ج) نشان می‌دهد که در دهه‌ی سوم خرداد بیشترین رخداد سرمازدگی متعلق به ایستگاه‌های زرینه و سقر است که احتمال ۷۰ درصد سرمازدگی را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌ها بخصوص نواحی جنوبی، شرقی و غربی احتمال سرمازدگی در آن‌ها بین ۲ و صفر مورد است و درختان زردآلو از نظر جوانه‌دادن، گل‌دادن و میوه‌دادن مصون از سرمازدگی هستند.



شکل (۴): تعداد رخداد سرمازدگی در هر ده روز ایستگاه‌های مورد مطالعه (الف تا ج دهه اول تا سوم خرداد)

Figure 3. Number of frost events during each 10-day period (dekad) at the study stations: (a–c) the first, second, and third dekads of May

میانگین ماهانه فراوانی سرمازدگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۵) پراکنش مکانی آن را در سه ماه فصل بهار نشان می‌دهد. همچنان که دیده می‌شود در فروردین غالب ایستگاه‌ها به جز بانه و سردشت به طور میانگین بیش از ۲۸ روز احتمال رخداد سرمازدگی را دارند. در این دو ایستگاه این مقدار ۲۶ روز است. در اردیبهشت میانگین فراوانی‌ها کاهش یافته است. ایستگاه‌های سقز، زرینه و تکاب همچنان فراوانی بالای ۲۸ روز در ماه را دارا هستند. دوره گرم سال در خرداد ماه فراوانی سرمازدگی نیز کاهش یافته و کمترین فراوانی یک تا دو روز در بانه، سردشت و مهاباد و بیشترین مقدار در حدود ۲۵ روز مربوط به تکاب و زرینه است (شکل ۵).



شکل ۵) میانگین فراوانی رخداد سرمازدگی در دوره‌ی آماری مورد بررسی برای ماه‌های فصل بهار

Figure 5. Spatial distribution of the mean frequency of frost events during the study period for the spring months

تحلیل روند دمای کمینه در ماه‌های فصل بهار در محدوده‌ی مورد مطالعه

روند دمای کمینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون من-کندال و شاخص شیب سن محاسبه شد. مقادیر بدست آمده توسط برآوردگر شیب سن به ازای هر ۱۰ سال در جدول‌های (۲ تا ۴) نمایش داده شده است. در آزمون روند انجام شده فرض پژوهش بر وجود روند معنی‌دار دمای کمینه در سطح اطمینان ۹۵٪ بوده است. تحت این شرایط در جدول‌های ۲ تا ۴ تایید فرض صفر با مقدار صفر، و تایید فرض مقابل با مقدار ۱ مشخص شده است. همچنین p -value نیز به عنوان شاخص دیگری از میزان عدم معنی‌داری روند دمای کمینه ارائه شده است. تحت این شرایط مقادیر p بزرگتر از سطح خطای مورد نظر (۰/۰۵) گویای تایید فرض صفر در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد. همچنان که در این جدول‌ها آمده است، در تمامی ایستگاه‌ها و در هر سه ماه بهار مقادیر دمای کمینه عدم روند معنی‌دار را نشان داده‌اند. ارزیابی روند تغییرات دمای کمینه در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد در استان کردستان نشان می‌دهد که روند افزایش دمای کمینه در تمام ایستگاه‌ها عدم معنی‌دار می‌باشد و این عامل می‌تواند متأثر از تغییر اقلیم و گرمایش جهانی باشد. طبق جدول (۲) نرخ رخداد سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان در حال کاهش است. هرچند که وقوع پدیده‌ی سرمازدگی سالانه در محدوده‌ی مورد مطالعه امری محتمل است و در تمام ایستگاه‌ها امکان رخداد سرمازدگی وجود دارد. بیشترین نرخ افزایش دمای کمینه در ماه فروردین و به تبع آن کاهش سرمازدگی در ایستگاه‌های شرقی استان شامل قروه و بیجار مشاهده گردید.

جدول (۲). معنی‌داری روند و شیب تغییرات دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه فروردین (فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪)

Table 2. Statistical significance of the trend and slope of minimum temperature changes at the study stations in April (95% confidence level)

ایستگاه	تعداد سالهای آماری موجود	تایید (۰) یا رد (۱) فرض پژوهش	p-value	شیب سن در هر ۱۰ سال (درجه‌ی سلسیوس)
بانه	۱۹	روند ندارد، افزایشی	۰/۳۶۴	۰/۲۰۴
بیجار	۳۲	روند ندارد، افزایشی	۰/۱۳۶	۰/۷۹۸
قروه	۳۰	روند ندارد، افزایشی	۰/۳۸۵	۱/۰۲۰
کامیاران	۱۳	روند ندارد، افزایشی	۰/۷۸۴	۰/۲۱۷
مریوان	۲۶	روند ندارد، افزایشی	۰/۴۲۷	۰/۲۴۸
سقز	۳۸	روند ندارد، کاهشی	۰/۷۹۷	-۰/۰۴۷
سنندج	۳۸	روند ندارد، افزایشی	۰/۵۱۳	۰/۶۴۵
زرینه	۳۰	روند ندارد، افزایشی	۱	۰/۴۴۸

طبق جدول (۳) نرخ رخداد سرمازدگی درختان زردآلو در استان کردستان در حال کاهش است. هر چند که وقوع پدیده‌ی سرمازدگی سالانه در محدوده‌ی مورد مطالعه امری محتمل است و در تمام ایستگاه‌ها امکان رخداد سرمازدگی وجود دارد. بیشترین نرخ افزایش دمای کمینه در ماه اردیبهشت و به تبع آن کاهش سرمازدگی در ایستگاه‌های شرقی استان شامل قروه به ازای هر دهه ۰/۰۴۸ درجه سانتی‌گراد و بیجار ۰/۷۸۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه برآورد گردید.

جدول (۳). معنی‌داری روند و شیب تغییرات دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه اردیبهشت (فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪)
Table 3. Statistical significance of the Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimates for minimum temperature in May at the study stations (95% confidence level).

ایستگاه	تعداد سال‌های آماري موجود	تایید (۰) یا رد (۱) فرض پژوهش	p-value	شیب سن در هر ۱۰ سال (درجه‌ی سلسیوس)
بانه	۱۹	روند ندارد، افزایشی	۰/۵۱۶	۰/۶۶۷
بیجار	۳۲	روند ندارد، افزایشی	۰/۷۷۲	۰/۷۸۱
قروه	۳۰	روند ندارد، افزایشی	۰/۹۴۰	۱/۰۸۴
کامیاران	۱۳	روند ندارد، افزایشی	۰/۵۸۳	۰/۱۶۴
مریوان	۲۶	روند ندارد، افزایشی	۰/۹۲۹	۰/۰۷۶
سقز	۳۸	روند ندارد، کاهشی	۰/۸۲۴	-۰/۳۱۲
سنندج	۳۸	روند ندارد، افزایشی	۰/۵۰۵	۰/۶۱۶
زرینه	۳۰	روند ندارد، افزایشی	۰/۹۷۰	۰/۳۱۳

طبق جدول (۴) نرخ رخداد سرمازدگی درخت زردآلو در ماه خرداد در اغلب نواحی استان کردستان به ویژه در نیمه غربی آن در حال افزایش است. چون در این موقع مقاومت درخت زردآلو به سرمازدگی افزایش یافته است، وقوع پدیده‌ی مذکور تأثیر چندانی بر کمیت و کیفیت میوه‌ی درخت زردآلو ندارد. هر چند که وقوع پدیده‌ی سرمازدگی سالانه در محدوده‌ی مورد مطالعه امری محتمل است و در تمام ایستگاه‌ها امکان رخداد سرمازدگی وجود دارد. بیشترین نرخ کاهش دمای کمینه در ماه خرداد به تبع آن افزایش سرمازدگی در ایستگاه‌های بانه و کامیاران به ترتیب به ازای هر دهه ۰/۸۴- و ۱/۲۳۵- درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.

جدول (۴). معنی‌داری روند و شیب تغییرات دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه خرداد (فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪)
Table 4. Statistical significance of the Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimates for minimum temperature in June at the study stations (95% confidence level)

ایستگاه	تعداد سال‌های آماري موجود	تایید (۰) یا رد (۱) فرض پژوهش	p-value	شیب سن در هر ۱۰ سال (درجه‌ی سلسیوس)
بانه	۱۹	روند ندارد، کاهشی	۰/۹۴۸	۰-/۸۴۱
بیجار	۳۲	روند ندارد، افزایشی	۰/۸۶۵	۰/۶۹۴
قروه	۳۰	روند ندارد، افزایشی	۱	۰/۸۵۳
کامیاران	۱۳	روند ندارد، کاهشی	۱	-۱/۲۳۵
مریوان	۲۶	روند ندارد، افزایشی	۰/۸۶۰	۰/۱۱۶
سقز	۳۸	روند ندارد، کاهشی	۰/۹۰۲	-۰/۴۴۰
سنندج	۳۸	روند ندارد، افزایشی	۰/۵۳۷	۰/۸۳۶
زرینه	۳۰	روند ندارد، کاهشی	۰/۷۹۳	-۰/۱۰۶

نتیجه گیری و پیشنهادها

در ارتباط با موضوع تحقیق مطالعاتی انجام شده که وجه تشابه و افتراق با پژوهش حاضر دارند. تغییرپذیری بالای دما در فصل های گذار (بهار و پاییز) به عنوان نمودی از اقلیم ایران (Moradi et al. 2023) در مورد دماهای کمینه استان کردستان نیز نمایان است. بررسی تغییرات دمای کمینه در شمال غرب ایران (Jafarbegloo et al., 2021)، آشکارسازی نوسانات اقلیمی با تاکید بر دمای حداقل ماهانه (Baharvandi et al., 2021) و بررسی روند تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه در دوره سرد سال در شمال غرب ایران (Jahanbakhsh Asl et al., 2017) روند افزایشی دمای حداقل را نشان دادند که نشانگر کاهش رخداد سرمازدگی درختان میوه در این نواحی می باشد که با نتایج این تحقیق مشابهت دارند. برخی از پژوهش ها به لحاظ محتوا با این تحقیق هماهنگی دارند؛ (Rezaei et al., 2019)، در پژوهشی نشان داد سرمازدگی دیررس بهاره عامل اصلی تعیین تولید زردآلو بوده و ارقام دیرگل ده عوامل مهمی برای محافظت در برابر سرمازدگی بهاره می باشند (Rouhaninia et al., 2007) در پژوهشی به بررسی میزان خسارت ناشی از سرمازدگی در جوانه های گل چند رقم زردآلوی تجاری را مورد بررسی قرار دادند و گونه های مقاوم به سرمازدگی را معرفی نمودند. (Karami & Rezaei, 2014)، تأثیر سرمای بهاره را در کاهش عملکرد میوه و فیزیولوژی درخت زردآلو در استان کردستان نشان دادند. (Owhadi & Yazdanpanah, 2011)، بهترین روش مبارزه با سرمازدگی را استفاده همزمان از دستگاه مه پاش و بخاری معرفی کردند.

در این پژوهش مراحل فنولوژیکی درخت زردآلو به کمک دمای متوسط روزانه، صفر بیولوژیک و درجه روز برای ایستگاه های مورد مطالعه تعیین گردید تا تقویم باغی درخت زردآلو در نواحی مختلف شناسایی شود و امکان سرمازدگی در مراحل فنولوژیکی درخت زردآلو در مکان های مورد مطالعه آشکار شود و روش های مناسب جهت مبارزه با پدیده سرمازدگی اعمال گردید. این تحقیق با هدف برآورد زمانی - مکانی سرمازدگی بهاره در مراحل فنولوژیکی درخت زردآلو در استان کردستان انجام گرفت. از داده های روزانه دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی گراد در فصل بهار در بازه زمانی ۱۹۸۰/۱/۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱ استفاده شد. به کمک آزمون من-کندال روند وقوع سرمازدگی و نرخ تغییرات آن به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد؛ ایستگاه زرینه که در عرض و ارتفاع بالاتر قرار دارد بیشتر در معرض سرمازدگی قرار می گیرد و مرحله ی گل دادن درخت زردآلو در این ایستگاه در دهی دوم اردیبهشت بیشتر تحت سرمازدگی است و ایستگاه هایی که در جنوب، غرب و شرق قرار دارند کمتر در معرض سرمازدگی هستند. نتایج به دست آمده نشان می دهد برای تمامی ایستگاه ها در دهی دوم اردیبهشت به غیر از ایستگاه زرینه، مرحله ی رشد میوه آغاز شده است و امکان سرمازدگی برای میوه ها وجود دارد. اما در ایستگاه زرینه که در مرحله ی میوه دادن قرار دارد، نسبت به سایر ایستگاه ها ریسک سرمازدگی آن بیشتر است و ایستگاه هایی که در جنوب، شرق و غرب قرار دارند در دهی سوم اردیبهشت کمتر مورد سرمازدگی قرار می گیرند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که نواحی جنوبی، شرقی و غربی در دهی اول خرداد کمتر تحت وقوع پدیده سرمازدگی هستند و در تمامی ایستگاه ها به جز ایستگاه زرینه، مرحله ی رشد میوه آغاز گردیده که امکان سرمازدگی برای میوه ها وجود دارد. نتایج به دست آمده در دهی دوم خرداد، نشان می دهد که تمامی ایستگاه ها کمتر در معرض سرمازدگی هستند و نواحی جنوبی، شرقی و غربی در مرحله ی رشد میوه هستند و کمتر در معرض سرمازدگی قرار دارند. نتایج کلی تحقیق گویای این واقعیت است که سرمازدگی پدیده ای رایج در فصل بهار به ویژه در ماه های فروردین و اردیبهشت در استان کردستان است و لازم است با آگاهی از رخداد آن تمهیدات لازم جهت مبارزه با سرمازدگی درختان زردآلو صورت گیرد و از روش های مقابله با سرمازدگی به منظور کاهش آسیب های ناشی از آن استفاده شود تا متضمن افزایش تولید محصولات شود. مطالعه روند تغییرات دمای کمینه که سبب سرمازدگی درختان میوه مانند زردآلو می شود، نشان داد که شدت وقوع این پدیده در استان کردستان روند کاهشی دارد و به ازای هر دهه حدود یک درجه سانتی گراد (ایستگاه قروه) افزایش پیدا کرده است و در سایر ایستگاه ها نیز روند کاهشی نشان می دهد. نتیجه ی این روند منجر به کاهش تعداد سرمازدگی می شود.

بر اساس نتایج به دست آمده، پیشنهاد می شود برای کاهش خسارات ناشی از سرمازدگی بهاره در باغ های زردآلو در استان کردستان، برنامه ریزی مدیریتی باید بر اساس تقویم فنولوژیکی هر منطقه باشد. استفاده از سیستم های هشدار اولیه برای خسارت سرمازدگی، با استفاده از داده های هواشناسی روزانه و پیش بینی های کوتاه مدت، می تواند در افزایش آگاهی در بین کشاورزان و تشویق به اتخاذ اقدامات حفاظتی به موقع بسیار مهم باشد.

علاوه بر این، توصیه می شود توسعه و کشت ارقام دیرگل و مقاوم به سرما، به ویژه در مناطق مرتفع با آب و هوای بسیار سرد، مانند ایستگاه زرینه، در نظر گرفته شود تا احتمال قرار گرفتن مراحل گلدهی حساس به سرما در معرض دماهای بحرانی کاهش یابد. انتخاب مکان برای باغ های جدید نیز باید ویژگی های توپوگرافی، ارتفاع، شیب و سابقه خسارت سرمازدگی را در نظر بگیرد.

با توجه به کاهش وقوع تورم یخبندان در سال‌های اخیر، مطالعات آینده برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر زمان‌بندی مراحل فنولوژیکی زردآلو و تغییر در الگوهای خطر تورم یخبندان، با استفاده از سناریوهای اقلیمی آینده پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، بررسی همزمان اثرات عوامل اقلیمی مانند حداقل دما، مدت زمان یخبندان، رطوبت نسبی، سرعت باد و شرایط تابش بر شدت خسارت یخبندان می‌تواند درک دقیق‌تری از فرآیند تورم یخبندان ارائه دهد.

پیشنهاد می‌شود اثربخشی روش‌های مختلف حفاظت از یخبندان، از جمله آبیاری بارانی، مه‌پاشی، بخاری‌های باغی، استفاده از پوشش‌های محافظ و ترکیبی از این روش‌ها، تحت شرایط اقلیمی استان کردستان ارزیابی شود. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های مدرن مانند سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ایجاد نقشه‌های خطر یخبندان و تعیین مناطق پرخطر می‌تواند به مدیریت بهتر باغ‌ها و کاهش خسارات اقتصادی ناشی از این پدیده کمک کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله به شکل توضیح داده شده از سوی مجله، مورد تأیید نویسندگان این مقاله است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر فاقد حمایت مالی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که در مراحل مختلف نوشتن این مقاله با نظرات خود ما را یاری دادند، سپاسگزاری می‌کنیم.

References:

1. Abedini, M., Sabouri, H. and Pasban, A. (2025). Flood Hazard Zoning and Its Relationship with Land Use Using the Analytic Network Process Model (Case Study: Razi Chay Watershed, Ardabil Province). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(2), 68-84. (In Persian). https://www.srds.ir/article_214387.html?lang=en
2. Albuquerque, N., Burgos, L., & Egea, J. (2003). Apricot flower bud development and abscission related to chilling, irrigation and type of shoots. *Scientia Horticulturae*, 98(3), 265–276. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00202-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00202-9)
3. Atkinson, C. J., Brennan, R. M., & Jones, H. G. (2013). Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany*, 91, 48–62. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.02.004>
4. Azari Sanjebad, R., Salahi, B. (2025). Comparison of AHP and TOPSIS Methods in Zoning Lands Suitable For Rainfed Wheat Cultivation in the Balekhlo-Chai Basin of Ardabil. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies*, 6(4), 202-221. (In Persian). http://www.srds.ir/article_226570_2251441cb1003ef17a3dce6ed34fc372.pdf
5. Baharvandi, K., Khorshiddoust, A. M., & Nassaji Zavareh, M. (2021). The Clarification of Climatic Fluctuations through SNHT Method (Case Study: Khorramabad Station). *Geography and Planning*, 25(75), 51–63. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gp.2021.10829>

6. Fallah Barzoki, S., Arzani, K., & Bouzari, N. (2022). Flowering and Self-Incompatibility in Some of the Superior Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Genotypes Grown in Barzok (Kashan) Climate. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(3), 511–522. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-422-en.html>
7. Farhadfar, S., Keshavarzi, M., Ladan, A., Bouzari, N., & Atashkar, D. (2018). Winter Cold Tolerance in Cherry (*Prunus avium*) and Its Association with Electrical Conductivity and a Number of Morphological Traits. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(3), 1–11. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.9.3.30901>
8. Fernández-Long, M.E., Müller, G.V., Beltrán-Przekurat, A. and Scarpati, O.E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33, 1673–1686. <https://doi.org/10.1002/joc.3541>
9. Heidarifar, M. R., Bahrami, R. and Batmani, F. (2021). An analysis on the development capabilities of the cities of Kurdistan province with emphasis on national convergence. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 2(3), 66–82. (In Persian). https://www.srds.ir/article_142192.html?lang=en
10. Hejazizadeh, Z., & Naserzadeh, M. H. (2006). Calculation and analysis of frost duration hours using Delphi programming. *Geographical Research Quarterly*, 76, 139–150. (In Persian).
11. Hewett, E. W., & Hawkins, J. E. (1968). Sprinkler irrigation to protect apricots from frost. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 11(4), 927–938. <https://doi.org/10.1080/00288233.1968.10422426>
12. Huo Z., Mao H., Yang J., Wang P., Wu D. & Ma Y., (2022), Process-based evaluation indicators of grape drought and risk characteristics in the Bohai Rim Region, China. *Theoretical and Applied Climatology* 150: 1573–1585. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3541>
13. Jafarbegloo, N., Khorshiddoust, A. M., Rezaei Banafsheh, M., & Rostamzadeh, H. (2021). Study of Minimum temperature variations in the northwest of the country using the HadCM3 and MPEH5 global output models statistical output statistics. *Geography and Planning*, 26(77), 17–30. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gp.2021.13754>
14. Jafari, M. and Arekhi, S. (2026). Spatial Panel Analysis of Road Travel Restrictions on the Spatiotemporal Dynamics of COVID-19 in Kurdistan Province, Iran. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(3), 150–172. (In Persian). https://www.srds.ir/article_243710.html?lang=en
15. Jahanbakhsh Asl, S., Mohammadi, G. H., Rashidi, S., & Hosseini, A. (2017). Study of the Cold Period Monthly Minimum Temperature Trend in Northwest of Iran. *Geography and Planning*, 22(62), 79–96. (In Persian). https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_7119_d33ec63cc43d52e2ba81830490846acb.pdf
16. Javanmardzadeh, A., Shahbazi Shiran, H. and Rostami, M. (2026). Examination of the Temporal-Spatial Distribution of Ancient Sites in the Qezel Ozan River Basin, the eastern region of Kurdistan Province, Iran (1st Millennium BCE), with a Focus on Geographic Information System (GIS). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(2), 270–291. (In Persian). https://www.srds.ir/article_233292.html?lang=en
17. Karami, F., & Rezaei, A. (2014). Effects of Late Spring Frost on Fruit Yield and Some Physiological Traits of Apricot in Kurdistan Province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 29(2), 1–15. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110496>
18. Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods (4th ed.). Charles Griffin, London.
19. Mahmoudzadeh, H., Faroughi, D., & Imani, A. (2014). Studying the effect of some chemicals on apricot frost damage in West Azerbaijan Province, Second National

- Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and Environment. (In Persian). <https://civilica.com/doc/245644/>
20. Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica*, 13, 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
 21. Meng, Q. R., Liang, Y. Q., Wang, W. F., Du, S. H., Li, Y. H., & Yang, J. M. (2007). Study on supercooling point and freezing point in floral organs of apricot. *Agricultural Sciences in China*, 6(11), 1330–1335. [doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2008.04.023](https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2008.04.023)
 22. Meybodi Mirmohammadi, S. A., & Torkesh Esfahani, S. (2005). Protecting orchards and fruit farms against frost, Collection of papers of the Applied Scientific Conference on Ways to Deal with Frost, Yazd Province Agricultural Jihad Organization Publications. (In Persian). <https://civilica.com/doc/23088/>
 23. Miller, A. K., & Downton, M. W. (1992). The Freeze Risk to Florida Citrus. Part 1: Investment Decisions. *Journal of Climate*, 6, 354–363. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006%3C0354:TFRTFC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006%3C0354:TFRTFC%3E2.0.CO;2)
 24. Moradi, M., Gholizadeh, M.G., Rahmani, M. (2023). Spatiotemporal Trend Analysis of Maximum Soil Temperature Over Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 10(2), 167–186. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5>
 25. Nazari, L. and Kiani, M. S. (2022). Urban environment-friendly behaviors in public cultural-sports spaces in the provinces of Iran. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 2(4), 119–137. (In Persian). https://www.srds.ir/article_146919.html?lang=en
 26. Owahdi, D., & Yazdanpanah, H. (2011). Evaluation of Fogger and Fogger-heater Efficiency in Frost Protection. *Physical Geography Research*, 73, 111–119. (In Persian). https://jphgr.ut.ac.ir/article_21823_35215db3836a792c4284de1bf57ac041.pdf
 27. Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M., Domingo, R., & Torrecillas, A. (2004). Growth and phenological stages of Búlida apricot trees in south-east Spain. *Agronomie*, 24(2), 93–100. <https://doi.org/10.1051/agro:2004004>
 28. Rezaei, M., Heidari, P., & Khadivi, A. (2019). Identification of superior apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes among seedling origin trees. *Scientia Horticulturae*, 262, 109062. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109062>
 29. Rigby, J. R., & Porporato, A. (2008). Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 35, L12703. <https://doi.org/10.1029/2008GL033955>
 30. Rouhaninia, M., Grigorian, V., Matlabi Azar, A., & Dezhangpour, J. (2007). Evaluation of frost injury and changes in proline levels of flower buds in several commercial apricot cultivars at different phenological stages. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(2), 103–112. (In Persian). <https://www.sid.ir/FileServer/JF/67613860205>
 31. Ruml, M., Milatović, D., Vulić, T., & Vuković, A. (2011). Predicting apricot phenology using meteorological data. *International Journal of Biometeorology*, 55(5), 723–732. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0387-0>
 32. sobhani B, goldust A. Prediction of the Starting and Ending of Freezing Periods of Ardabil Province by Using HADCM3 Climatic Model. *GeoRes* 2018; 33 (2) :191-205. (In Persian). <http://georesearch.ir/article-1-291-en.html>
 33. Szabo, Z., Soltesz, M., Bubán, T., & Nyeki, J. (1995). Low winter temperature injury to apricot flower buds in Hungary. *Acta Horticulturae*, 384, 273–276. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.384.41>
 34. Thom, H. C. S., & Shaw, R. H. (1958). Climatological analysis of freeze data for Iowa. *Monthly Weather Review*, 86, 251–257. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086%3C0251:CAOFDF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086%3C0251:CAOFDF%3E2.0.CO;2)

35. Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., & Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005>
36. Wang, P. J., Ma, Y. P., Tang, J. X., Wu, D. R., Chen, H., Jin, Z. F., & Huo, Z. G. (2021). Spring frost damage to tea plants can be identified with daily minimum air temperatures estimated by MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing*, 13, 1177. <https://doi.org/10.3390/rs13061177>
37. Wang, S., Chen, J., Rao, Y., Liu, L., Wang, W., & Dong, Q. (2020). Response of winter wheat to spring frost from a remote sensing perspective: Damage estimation and influential factors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 221–235. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.014>
38. Waylen, P. R. (1988). Statistical analysis of freezing temperatures in Central and Southern Florida. *Journal of Climatology*, 8(6), 607–628. <https://doi.org/10.1002/joc.3370080605>
39. Xiao, L., Liu, L., Asseng, S., Xia, Y., Tang, L., Liu, B., ... Zhu, Y. (2018). Estimating spring frost and its impact on yield across winter wheat in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 260, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.06.006>
40. Yang, J., Huo, Z., Wang, P., Wu, D., Ma, Y., Yao, S., & Dong, H. (2021). Process-based indicators for timely identification of apricot frost disaster in the warm temperate zone of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03762->



© The Author(s). This is an open access article under the CC

COPYRIGHTS



BY-NC license:
Publisher: