



Assessment of Frost Susceptibility in Pomegranate Orchards of Kashan

saeid Taghavigodarzi,^{1✉}  Mina Sajadifar² 

1. Faculty of the Geography Department, Islamic Azad University, Khorramabad Branch. Email: taghavi.saeid@khoiau.ac.ir
2. MSc in Physical Geography from Islamic Azad University, Khorramabad Branch". Email: minasajadifar@gmail.com

Article Info

Article type
Research Article

Article history:

Received
12 May 2026
Received in revised form
19 May 2026
Accepted
28 May 2026
Available online
28 June 2026

Keywords:

Frost,
Pomegranate Orchard,
SMADA,
Kashan County,
Temperature Changes.

ABSTRACT

Objective: Frost and freezing are among the most important environmental factors causing damage to horticultural products, especially pomegranates, in various regions of Iran. Due to its geographical location, Iran is constantly exposed to severe cold events. In the present study, the effect of temperature as a climatic factor on pomegranate trees in Kashan County during the period 1990 to 2024 has been investigated.

Method: Temperature values were calculated using probability distributions in SMADA software. Considering the observed temperature changes in Kashan (increase in annual mean temperature and seasonal shifts), the phenological stages of pomegranate were approximately determined, and the probability of frost damage was calculated for each stage. For estimating early autumn frost and late spring frost, Log-Pearson Type III and Log-Normal probability distributions were used, respectively.

Results: The phenological stages of pomegranate and their damage probabilities are as follows: dormant bud on December 29 with 7.5% damage probability, bud burst on April 4 with 42.3%, flower bud emergence on May 23 with 36.8%, young fruit on June 30 with 25.5%, fruit growth on July 10 with 13.9%, and fruit ripening on October 17 with 68.7%. Early autumn frost with Log-Pearson Type III distribution and 50% probability (2-year return period) was estimated at 14.5%. Furthermore, late spring frost with Log-Normal 50% distribution determined the date of the first severe frost at 70 days of autumn (approximately December 1) and the last severe frost at 105 days of autumn (approximately December 16), showing a significant shift in the frost calendar compared to the previous period (1990-2016).

Conclusions: The observed temperature changes in Kashan, including increased annual mean temperature and seasonal shifts, have altered the frost calendar and the probability of damage to pomegranate phenological stages. The highest damage probabilities are related to fruit ripening (68.7%) and bud burst (42.3%). The significant shift in the dates of the first and last severe frosts compared to the previous period highlights the necessity of revising pomegranate orchard management calendars and adopting climate change adaptation strategies.

Cite this article: Taghavi, S, Hajari, Z, Sajadifar, M, (2026). Assessment of Frost Susceptibility in Pomegranate Orchards of Kashan, 1(1), 160-173.. <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.10.1>



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

Publisher: : Lorestan University.



DOI: <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.10.1>

1. Introduction

Agriculture, especially horticulture in Kashan, faces the significant challenge of frost damage to various crops. Pomegranate, as a subtropical fruit, is particularly vulnerable to three types of frost: late spring frost, early autumn frost, and severe winter frost. Climate change, characterized by temperature increases and seasonal shifts, has altered the traditional frost calendar in the region. The updated

Daily minimum temperature data from Kashan (1990-2024) were analyzed using SMADA software and five probability distributions (Normal, Two and Three-Parameter Log-Normal, Pearson Type III, and Log-Pearson Type III). The best-fit distribution was selected using statistical criteria such as sum of squared errors. For determining phenological stages, the equation $N = A/(T-B)$ was used, where N is duration between stages,

findings of this research can serve as a basis for adjusting frost warning calendars tailored to recent decades' temperature changes in Kashan. The aim of this study is to determine the effects of frost on pomegranate orchards in Kashan using temperature data from 1990 to 2024 and SMADA software. This will help identify changes in early and late frost patterns and vulnerable phenological stages

2. Methodology

A is sum of effective temperatures, B is base temperature, and T is average ambient temperature. The dates of the first and last severe frost and the probability of damage at different phenological stages of pomegranate were calculated. Finally, based on the superior distribution and considering climate changes in the 1990-2024 period, comprehensive frost risk assessments were completed.

3. Results

Log-Pearson Type III distribution was selected as the best fit for analyzing frost data in Kashan County. Phenological stages with damage probabilities: dormant bud (December 29, 7.5%), bud burst (April 4, 42.3%), flower bud emergence (May 23, 36.8%), young fruit (July 1, 25.5%), fruit growth (July 11, 13.9%), and fruit ripening (October 17, 68.7%). The first severe autumn frost with 50% probability

occurs 70 days after autumn (December 1) and the last severe frost occurs 105 days after autumn (December 16). For longer return periods (200, 100, 50, 25, 10, 5, and 3 years), probabilities of early and late frost occurrence were calculated. The results show that rare events with high return periods have values 2.5 to 2.8 times the mean, indicating severe risk.

4. Discussion

A 7-10 day shift in the frost calendar compared to the previous period (1990-2016) indicates the impact of regional warming on pomegranate phenology. The highest damage probabilities are at fruit ripening (68.7%) and bud burst (42.3%) stages, requiring special attention in orchard management. Log-Pearson Type III distribution is the best tool for predicting moderately recurring events (2 to 25-year return periods). The decreased frequency of severe frost in the last decade is consistent with regional warming trends in Kashan. The

probability of damage at dormant bud stage has decreased, while at young fruit and fruit ripening stages it has relatively increased. These findings highlight the need for updated management strategies based on recent climate data.

5. Conclusion

Climate change has shifted the frost calendar in Kashan and increased damage probability at sensitive spring (bud burst) and autumn (fruit ripening) stages. The best planting time for pomegranate is determined as April 4 to 15 based on the updated climatic calendar. Using

an updated warning calendar, selecting resistant cultivars, and implementing protective methods are essential for reducing damage. For longer return periods (200, 100, 50, 25, 10, 5, and 3 years), the probability of early and late frost occurrence has been calculated, indicating rare but severe risks for pomegranate orchards. Continuous temperature monitoring and phenological stage tracking are essential for

Ethical Considerations

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

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

timely frost warnings and effective risk management.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

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

Funding

This research was conducted with the support of the [Institutional Name]. The authors would like to express their sincere gratitude and appreciation to these institutions for their valuable support.



سنجش میزان حساسیت انارستان‌های کاشان به پدیده سرمازدگی

سعید تقوی گودرزی   مینا سجادی فر 

۱. هیات علمی گروه جغرافیا دانشگاه آزاد واحد خرم آباد. رایانامه: taghavi.saeid@khoiau.ac.ir

۲. کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد واحد خرم آباد. رایانامه: minasajadifar@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: سرما و یخبندان از مهم‌ترین عوامل محیطی خسارت‌زا به محصولات باغی به‌ویژه انار در مناطق مختلف ایران هستند و کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود همواره در معرض رویدادهای سرمای شدید قرار دارد. در پژوهش حاضر، تأثیر عامل اقلیمی دما بر درخت انار در شهرستان کاشان در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ بررسی شده است.

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

روش‌ها: مقادیر دما با استفاده از توزیع‌های احتمال در نرم‌افزار SMADA محاسبه گردیده است. با لحاظ تغییرات دمایی مشاهده‌شده در کاشان (افزایش میانگین دمای سالانه و جابجایی فصل‌ها)، مراحل فنولوژیک انار به صورت تقریبی تعیین و احتمال خسارت سرمازدگی برای هر مرحله محاسبه شد. برای برآورد سرمای زودرس پاییزه و سرمای دیررس بهار به ترتیب از توزیع‌های احتمال لوگ‌پیرسون تیپ ۳ و لوگ‌نرمال استفاده گردید.

نتایج: مراحل فنولوژیک انار و احتمال خسارت آن‌ها به شرح زیر است: جوانه در خواب زمستانی در ۸ دی‌ماه با احتمال خسارت ۵/۷٪، شکوفایی غنچه در ۱۵ فروردین‌ماه با احتمال ۳/۴۲٪، ظهور غنچه‌های گل در ۲ خردادماه با احتمال ۸/۳۶٪، میوه جوان در ۱۰ تیرماه با احتمال ۵/۲۵٪، رشد میوه در ۲۰ تیرماه با احتمال ۹/۱۳٪ و رسیدن میوه در ۲۵ مهرماه با احتمال ۷/۶۸٪. سرمای زودرس پاییزه با توزیع احتمال لوگ‌پیرسون تیپ ۳ و با احتمال ۵۰ درصد (دوره بازگشت ۲ ساله) به میزان ۵/۱۴٪ برآورد شده است. همچنین سرمای دیررس بهار به توزیع احتمال لوگ‌نرمال ۵۰ درصد، تاریخ اولین سرما با خسارت سنگین را در ۷۰ روز پاییز (حدود ۱۰ آذر) و آخرین سرما با خسارت سنگین را در ۱۰۵ روز پاییز (حدود ۲۵ دی) تعیین کرده که نسبت به دوره پیشین (۱۹۹۰-۲۰۱۶) جابجایی محسوس در تقویم سرمازدگی نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها:

سرمازدگی،

انارستان،

SMADA،

تغییرات دمایی،

کاشان.

نتیجه‌گیری: تغییرات دمایی مشاهده‌شده در کاشان شامل افزایش میانگین دمای سالانه و جابجایی فصل‌ها، موجب تغییر در تقویم سرمازدگی و احتمال خسارت به مراحل فنولوژیک انار شده است. بالاترین احتمال خسارت مربوط به مرحله رسیدن میوه (۷/۶۸ درصد) و شکوفایی غنچه (۳/۴۲ درصد) می‌باشد. جابجایی محسوس در تاریخ اولین و آخرین سرمای سنگین نسبت به دوره پیشین، ضرورت بازنگری در تقویم مدیریت باغات انار و اتخاذ راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی را نشان می‌دهد.

استناد: تقوی، س، حاجری، ز، سجادی فر، م؛ (۱۴۰۵). سنجش میزان حساسیت انارستان‌های کاشان به پدیده سرمازدگی، (۱)، ۱۶۰-۱۷۳.

<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.10.1>



<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.10.1>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

۱. مقدمه

بخش کشاورزی به دلیل برخورداری از رشد مستمر، پایدار و درون‌زا و همچنین نقش حیاتی در ایجاد عدالت اجتماعی، تأمین امنیت غذایی و توسعه‌ی اشتغال، مستلزم توجه خاص و حمایت کارآمد است. شرایط آب‌وهوایی سرد کوهستانی، وجود کوه‌های مرتفع، شیب تند و عدم نیاز آبی حداقل ۶ ماه از سال در باغات و مزارع کوهستانی کاشان، موجب از دسترس خارج شدن آب برخی منابع می‌گردد. احداث استخرهای ذخیره آب زمستانه و استفاده حداکثر ۲۰ درصدی از این منابع می‌تواند راندمان بخش کشاورزی مناطق تحت پوشش را حداقل ۲۵ درصد افزایش دهد. انار میوه‌ای نیمه‌گرمسیری است که مناطق با تابستان گرم و خشک محل اصلی رشد آن هستند. این درخت در آب‌وهوایی با زمستان خنک و تابستان و پاییز خشک و طولانی به خوبی رشد می‌کند و به طور معمول دمای ۱۲- تا ۱۵- درجه سانتیگراد را در زمستان تحمل می‌نماید. سه نوع سرما به درختان انار خسارت می‌زند: سرمای دیررس بهاره (که باعث خشک شدن جوانه‌ها و حتی سرشاخه‌های نازک می‌شود)، سرمای زودرس پاییزه و سرمای شدید زمستانه. زردی، کم‌برگی و پژمردگی از علائم اولیه‌ای هستند که در بهار روی درختان آسیب‌دیده از سرمای زودرس پاییزه یا سرمای شدید زمستان ظاهر می‌شوند. پوست ناحیه طوقه این درختان از بین رفته، ورقه‌ورقه شده و از تنه جدا می‌گردد (به ویژه در سمت جنوب تنه). استفاده از ارقام مقاوم و قطع آبیاری بلافاصله پس از برداشت محصول به منظور تسریع در رکود درخت، از توصیه‌هایی است که شدت خسارت این عارضه را می‌کاهد (Fajr Isfahan Agricultural Company Portal, 2017).

مطالعات گسترده‌ای در جهان و ایران به مسئله‌ی سرمازدگی محصولات باغی و راه‌های مقابله با آن پرداخته‌اند. در سطح بین‌المللی، (Thom, H.C., & Shaw, R.H, 1985)، تاریخ وقوع اولین سرمای پاییزه و آخرین سرمای بهاره مستقل از یکدیگر بوده و دوره‌ی بازگشت آن‌ها قابل تعیین است. (Carpiro, J.M, 1961 & Crawford, T.V, 1965)، به ترتیب به تخمین تاریخ آخرین سرمای بهاره و اثر بخاری‌های باغی در کاهش خسارت پرداختند. (Chen, P., Li, P.H., & Weiser, C.J, 1975)، رابطه‌ی مستقیم بین شدت تنش

رطوبتی و افزایش مقاومت به سرما در زغال‌اخته را نشان دادند. (Levitt, J, 1980)، مقاومت به یخزدگی را صفتی کمی و وابسته به برهمکنش عوامل محیطی دانست. در دهه‌های اخیر، (Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., & Peter, C., 2003)، در اروپای مرکزی به این نتیجه رسیدند که یخبندان‌های بهاره زودتر از مراحل فنولوژیک رخ می‌دهند. همچنین (Khokhar, K.M., Hadley, P., & Pearson, S, 2007 & Sameshima, R., et al, 2007) به ترتیب اثرات بلندمدت یخبندان بهاره بر پیاز و نقشه‌سازی خطر سرمازدگی در سويا را بررسی کردند.

در ایران، پژوهش‌ها عمدتاً در چهار حوزه متمرکز بوده است: الف) مطالعه‌ی خسارت و علائم سرمازدگی روی درختان انار (Shakeri, M, 2005)، نشان داد سرمای زودرس پاییزه و شدید زمستانه باعث خشکیدگی طوقه، پوسته‌پوسته شدن پوست و در نهایت مرگ درخت می‌شود.

ب) روش‌های کاهش خسارت پس از برداشت (Mirdehghan, S.H., & Rahemi, M, 2002 & Ranjbar, H., Zolfaghari Nasab, R., Ghasemnejad, M., & Sorkhosh, A, 2006 & Siyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Alizadeh, H., & Asgari, M.A, 2009 & Mirdehghan, S.H., & Rahemi, M, 2010)

ج) تحلیل آماری و همبستگی سرمازدگی (Mehrshahi, D., Omidvar, K., & Khajehei, A, 2011 & Mazidi, A., Mozaffari, Gh., & Salari, H, 2011 & Halabian, A.H., Jabali, M., & Yazdi, M, 2012, Sobhani, B., Salahi, B., Hajbapour, G., & Einollahzadeh, N, 2014 & Bazgir, S., Mohammadi, H., Sharifi, L., & Soleimani, N, 2016) با استفاده از نرم‌افزار

SMADA و توزیع‌های احتمال، دوره‌ی بازگشت یخبندان‌ها را محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر را ارائه کردند.

د) ارزیابی پتانسیل اقلیمی و مقاومت ارقام (Karimi, J., & Jamalinejad, M, 2011 & Ghasemi Solokluei, A.A., Arshadi, E., & Tabatabaei, S.Z, 2011) مناطق نامساعد کشت انار در استان اصفهان و ارقام نسبتاً مقاوم مانند آلك و آقا محمدعلی را معرفی نمودند.

تحلیل داده‌های دمایی با استفاده از نرم‌افزار SMADA و توزیع‌های احتمال (لوگ‌پیرسون تیپ ۳ و لوگ‌نرمال) بیانگر جابجایی تقویم سرمازدگی است؛ به طوری که اولین سرمای

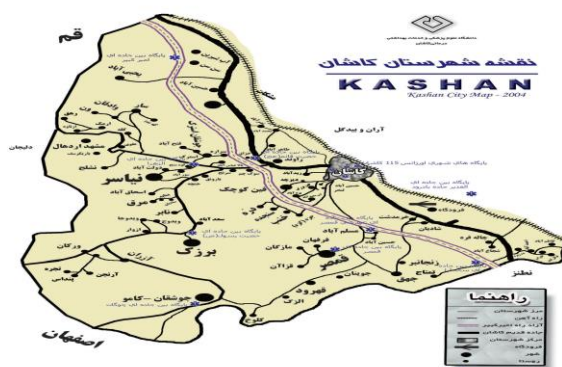
یافته‌های به‌روز این پژوهش می‌تواند مبنایی برای تنظیم تقویم هشدارهای سرمازدگی متناسب با تغییرات دمایی دهه‌های اخیر در کاشان قرار گیرد. هدف از این تحقیق، تعیین اثرات سرمازدگی بر انارستان‌های شهرستان کاشان با استفاده از داده‌های دمایی بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ و نرم‌افزار SMADA است تا با شناسایی تغییرات الگوی سرمای زودرس و دیررس و مراحل فنولوژیک آسیب‌پذیر، تقویم هشدار به‌روزی برای مدیریت باغات ارائه گردد.

۲. مواد و روش

شهرستان کاشان با مساحت تقریبی ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع در شمال استان اصفهان و دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. این شهرستان از شمال به کویر مرکزی و شهرستان قم، از شرق به شهرستان آران و بیدگل و دشت کویر، از جنوب به شهرستان‌های برخوار، میمه و نطنز و از غرب به شهرستان دلپجان و محلات محدود می‌گردد. منطقه کاشان از دیر باز یکی از مناطق تاریخی و صنعتی و از قطب‌های تمدن و علم در ایران است. این شهرستان در مرکز ایران و در فاصله ۲۳۰ کیلومتری پایتخت و ۲۱۰ کیلومتری اصفهان واقع است.

سنگین پاییزه حدود ۷۰ روز پس از شروع پاییز (حدود ۱۰ آذر) و آخرین سرمای سنگین بهار حدود ۱۰۵ روز پس از پاییز (حدود ۲۵ دی) رخ می‌دهد. احتمال خسارت ناشی از سرمای دیررس بهار در مرحله شکوفایی غنچه به حدود ۴۲ درصد رسیده و زمان وقوع آن به ۱۵ فروردین منتقل شده است. در مقابل، احتمال خسارت سرمای زودرس پاییزه کاهش نسبی یافته (حدود ۵/۱۴ درصد) و تاریخ وقوع آن دیرتر شده است. این تغییرات نشان می‌دهد که تکیه صرف بر آمارهای قدیمی (پیش از ۲۰۱۶) برای مدیریت باغات کافی نیست.

از آنجا که سرما و یخبندان به عنوان دو عامل محیطی، خسارت‌های زیادی به محصولات کشاورزی (به‌ویژه باغی) وارد می‌کنند و ایران در منطقه‌ای واقع شده که بروز سرمای شدید در بسیاری از نقاط آن دور از ذهن نیست، لازم است در احداث باغات انار به شرایط اقلیمی حاکم بر ناحیه و روش‌های حفاظتی مقابله با سرمازدگی (مانند انتخاب مکان مناسب و مدیریت باغ) توجه شود. همچنین پس از ایجاد باغ، با بهره‌گیری از آمار درازمدت به‌روز (از جمله نتایج پژوهش حاضر) می‌توان پیش‌بینی‌های هواشناسی لازم را انجام داد و خسارت را به حداقل رساند. در این راستا، به‌کارگیری روش‌های اضطراری مانند گرم کردن باغ با بخاری یا استفاده از ضدیخ طبیعی جدید نیز قابل ارزیابی است.



نقشه ۱: (اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی، ۱۳۹۴)

و استان قم، از شرق به شهرستان آران و بیدگل و دشت کویر، از جنوب به شهرستان‌های برخوار، میمه و نطنز و از غرب به شهرستان‌های دلپجان و محلات محدود می‌شود. کاشان از دیرباز به عنوان یکی از مناطق تاریخی، صنعتی و از قطب‌های

شهرستان کاشان با مساحتی نزدیک به ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع، در شمال استان اصفهان واقع شده و مختصات جغرافیایی آن ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی است. این شهرستان از شمال به کویر مرکزی

تمدن و دانش در ایران شناخته شده است. این شهرستان در مرکز کشور، در فاصله ۲۳۰ کیلومتری تهران (پایتخت) و ۲۱۰ کیلومتری اصفهان قرار دارد.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر جهت تحلیل داده‌های دمایی و تعیین دوره‌های بازگشت سرمازدگی در انارستان‌های شهرستان کاشان، از نرم‌افزار SMADA استفاده گردید. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از توابع مختلف توزیع احتمال، امکان محاسبه مقادیر متغیرهای اقلیمی (در این تحقیق، دمای حداقل روزانه) را برای دوره‌های بازگشت ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله فراهم می‌سازد. به منظور انتخاب بهترین برازش، پنج توزیع آماری شامل نرمال، لوگ‌نرمال دو پارامتری، لوگ‌نرمال سه پارامتری، پیرسون تیپ ۳ و لوگ‌پیرسون تیپ ۳ مورد آزمون قرار گرفتند. در توزیع لوگ‌نرمال، فرض بر آن است که لگاریتم طبیعی داده‌ها دارای توزیع نرمال است، در حالی که در توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳، ابتدا لگاریتم داده‌ها محاسبه شده و سپس با استفاده از پارامترهای میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی، مقادیر پیش‌بینی برآورد می‌گردد. پس از برازش هر توزیع، مقادیر نظری با داده‌های واقعی مقایسه و با استفاده از معیارهای آماری (نظیر مجموع مربعات خطا)، مناسب‌ترین توزیع برای پیش‌بینی سرمای زودرس پاییزه و دیررس بهاره انتخاب شد. در نهایت، بر اساس توزیع برتر و با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴، تاریخ وقوع اولین و آخرین سرمای سنگین و نیز احتمالات خسارت در مراحل مختلف فنولوژیک درخت انار محاسبه گردید.

۳. یافته‌های پژوهش

با استفاده از داده‌های روزانه دمای حداقل در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ و به کارگیری نرم‌افزار SMADA، توزیع‌های احتمال لوگ‌پیرسون تیپ ۳ و لوگ‌نرمال به عنوان مناسب‌ترین برازش‌ها برای داده‌های سرمازدگی در شهرستان کاشان انتخاب شدند. بر این اساس، مراحل فنولوژیک درخت انار از خواب زمستانه تا ریزش برگ مورد ارزیابی قرار گرفت و احتمال وقوع خسارت سرمازدگی در هر مرحله محاسبه

گردید. نتایج نشان داد که با توجه به گرمایش نسبی و جابجایی تقویم سرمازدگی در دهه‌های اخیر، مراحل حساس بهاره مانند شکوفایی غنچه و ظهور غنچه‌های گل با تأخیر ۷ تا ۱۰ روزه نسبت به دوره پیشین (۱۹۹۰-۲۰۱۶) مواجه شده‌اند. همچنین احتمال خسارت در مرحله جوانه خواب زمستانی کاهش یافته، در حالی که در مراحل میوه جوان و رسیدن میوه افزایش نسبی داشته است. براساس معادله زیر روش تعیین مراحل فنولوژیک درخت انار مشخص می‌شود.

$$N = \frac{A}{T-B} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

N مدت زمان بین دو مرحله فنولوژیک (بر حسب روز)، A مجموع درجه حرارت‌های موثر لازم برای تکمیل مرحله ی مورد نظر، B صفر پایه ی محصول و T درجه حرارت متوسط محیط.

$$N = \frac{61}{19.4-12} = 8.24 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

جدول ۱، مراحل مختلف فنولوژیک درخت انار با احتمالات متفاوتی در معرض خسارت سرمازدگی قرار دارند. به ترتیب زمانی، مرحله‌ی جوانه در خواب زمستانی (۸ دی‌ماه) با احتمال ۵/۷٪، شکوفایی غنچه (۱۵ فروردین) با احتمال ۳/۴۲٪، نوک قرمز (۲۱ فروردین) با احتمال تقریبی ۷/۰٪، جوانه‌زنی برگ‌های اولیه (۲۷ فروردین) با احتمال تقریبی ۷/۰٪، جدایی برگ (۱ اردیبهشت) با احتمال تقریبی ۴/۰٪، رشد برگ (۱۳ اردیبهشت) با احتمال تقریبی ۴/۱٪، عریض‌شدن گره‌های داخلی (۲ خرداد) با احتمال تقریبی ۵/۱۴٪، ظهور غنچه‌های گل (۲ خرداد) با احتمال ۸/۳۶٪، کاسه‌ی گل متورم (۱۲ خرداد) با احتمال تقریبی ۲/۱٪، بازشدن کاسه‌ی گل (۱۵ خرداد) با احتمال تقریبی ۳۵/۰٪، گل باز (۲۱ خرداد) با احتمال تقریبی ۷/۰٪، پایین افتادن گلبرگ‌ها (۲۳ خرداد) با احتمال تقریبی ۲/۰٪، محل قرارگیری میوه (۳ تیر) با احتمال تقریبی ۱/۱٪، میوه جوان (۱۰ تیر) با احتمال ۵/۲۵٪، رشد میوه (۲۰ تیر) با احتمال ۹/۱۳٪، ظهور جوانه‌ی دوم (۲۰ مهر) با احتمال تقریبی ۵/۵٪، رسیدن میوه (۲۵ مهر) با احتمال ۷/۶۸٪ و در نهایت ریزش برگ (۲۲ آذر) با احتمال تقریبی ۹/۶٪ برآورد شده است.

جدول ۱: تعیین درصد مراحل فنولوژیک درخت انار و تاریخ در ماه

تاریخ در ماه	تعیین مراحل فنولوژیک درخت انار	Duration days	Fleckinger code	مرحله رشد	ردیف
۸ دی ماه ^۱	۸/۲۴	۶۱	A	جوانه در خواب زمستانی	۱
۸ فروردین ماه	۱/۴۸	۱۱	B	شکوفایی غنچه	۲
۱۴ فروردین ماه	۰/۸۱	۶	C	نوک قرمز	۳
۲۰ فروردین ماه	۰/۸۱	۶	D	جوانه زدن برگ‌های	۴
۲۴ فروردین ماه	۰/۵	۴	D2	جدایی برگ	۵
۶ اردیبهشت ماه	۱/۶۲	۱۲	D3	رشد برگ	۶
۲۶ اردیبهشت ماه	۱۶/۰۸	۱۱۹	D4	عریض شدن گره‌های	۷
۲۹ اردیبهشت ماه	۰/۴۰	۳	E	ظهور غنچه‌های گل	۸
۹ خرداد ماه	۱/۴۸	۱۱	E2	کأسه گل متورم	۹
۱۲ خرداد ماه	۰/۴۰	۳	E3	بازشدن کاسه گل	۱۰
۱۸ خرداد ماه	۰/۸۱	۶	F	گل باز	۱۱
۲۰ خرداد ماه	۰/۲۷	۲	G	پایین افتادن گلبرگ‌ها	۱۲
۲۸ خرداد ماه	۱/۳۵	۱۰	H	محل قرار گرفتن میوه	۱۳
۴ تیر ماه	۲/۲۹	۱۷	I	میوه جوان	۱۴
۱۴ تیر ماه	۱۲/۱۶	۹۰	J	رشد میوه	۱۵
۱۳ مهر ماه	۶/۰۸	۴۵	K	ظهور جوانه دوم	۱۶
۲۰ مهرماه	۴/۷۲	۳۵	L	رسیدن میوه	۱۷
۱۶ آذر	۷/۷۰	۵۷	M	افتادن برگ	۱۸

جدول ۲، مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیر مورد مطالعه (احتمالاً دمای حداقل) را برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال ارائه می‌دهد. با افزایش دوره بازگشت، مقدار محاسبه‌شده به طور منظم افزایش می‌یابد؛ به طوری که برای دوره بازگشت ۲ ساله مقدار ۱۸,۳۷ و برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله مقدار ۵۵ برآورد شده است. میانگین داده‌ها ۱۹,۴۱۵ است که با مقدار دوره بازگشت ۲ ساله (۱۸,۳۷) همخوانی نزدیکی دارد. چولگی منفی بسیار ناچیز (۰,۰۴-) نشان‌دهنده‌ی تقارن تقریبی توزیع

است. نکته مهم، عدم تطابق میان ستون دوره بازگشت و عدم احتمال در سطر مربوط به ۳ سال است (عدم احتمال ۰,۵ معادل دوره بازگشت ۲ سال است) که احتمالاً خطای نگارشی دارد. با این وجود، روند کلی حاکی از آن است که رویدادهای نادر با دوره بازگشت بالا (مانند ۱۰۰ یا ۲۰۰ سال) مقادیری بیش از ۲,۵ تا ۲,۸ برابر میانگین دارند که بیانگر ریسک شدید و ناگهانی برای باغات انار است.

^۱ آغاز شکوفایی غنچه درخت انار از ۸ فروردین ماه در شهرستان کاشان شروع می‌شود، ۶۱ روز قبل از آغاز شکوفایی غنچه، زمان اتمام جوانه در خواب زمستانی ۸ دی ماه است

جدول ۲: نتایج پیش بینی توزیع آنالیز داده ها لوگ پیرسون تیپ ۳

انحراف استاندارد	مقدار محاسبه شده	دوره بازگشت	عدم احتمال وقوع
۳۶.۲۵	۵۵	۲۰۰	۰.۹۹
۲۸.۱۱	۵۲.۰۷	۱۰۰	۰.۹۹
۲۰.۵	۴۸.۵۳	۵۰	۰.۹۸
۱۳.۷۴	۴۴.۲۷	۲۵	۰.۹۶
۷.۱۸	۳۷.۱۹	۱۰	۰.۹
۵.۳۴	۳۰.۴	۵	۰.۸
۵.۱۷	۲۴.۲۷	۳	۰.۶۶
۴.۶۵	۱۸.۳۷	۲	۰.۵

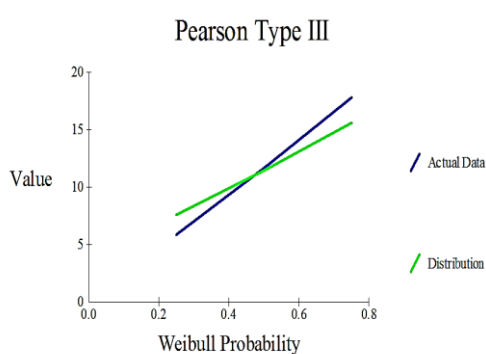
First Moment (mean) = 19.4150

Second Moment = 1.102e02

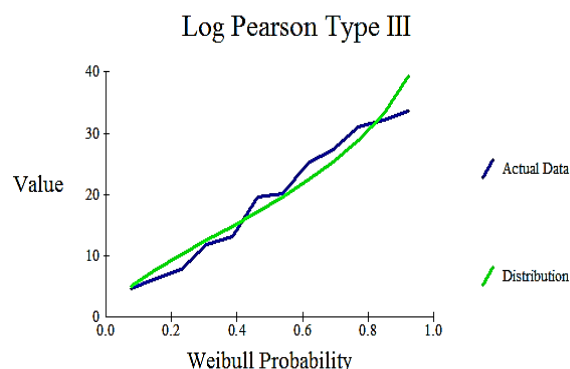
Skew = -4.014e-02

(توزیع) و نقاط آبی (داده‌ها) وجود دارد. در دنباله بالایی (احتمال بیش از ۹/۰، مربوط به سرمای نادر با دوره بازگشت بالا)، داده‌ها افت ناگهانی دارند که نشانه کاهش فراوانی سرمازدگی‌های سنگین در دهه اخیر است. این الگو با گرمایش منطقه کاشان هماهنگ است.

در نمودار ۱، برازش توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ با داده‌های واقعی نمایش داده شده است. با توجه به تغییرات اقلیمی چکیده (افزایش دما و جابجایی تقویم)، مشاهده می‌شود که در محدوده احتمال ۲/۰ تا ۸/۰ (مربوط به رویدادهای با تکرار متوسط مانند سرمای دو ساله)، انطباق خوبی بین خط سبز



نمودار ۲: برازش توزیع پیرسون تیپ ۳ با داده ها



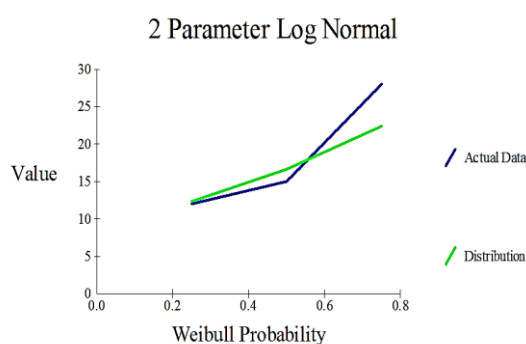
نمودار ۱: برازش توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ با داده ها

دیررس بهاره) مقدار پیش‌بینی توزیع کمتر از واقعیت است. با توجه به چکیده که احتمال خسارت شکوفایی غنچه را ۳/۴۲٪ در ۱۵ فروردین گزارش کرده، این توزیع نمی‌تواند جابجایی ۷-۱۰ روزه تقویم را به درستی منعکس کند.

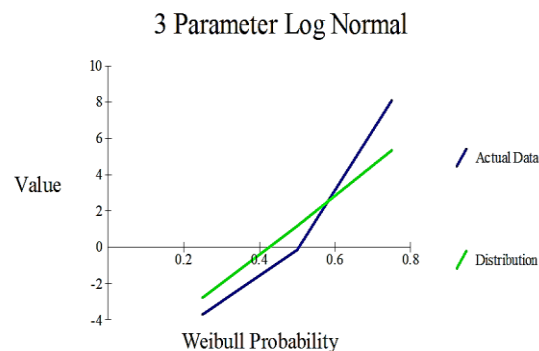
نمودار ۲، پیرسون تیپ ۳ برازش ضعیف‌تری نسبت به لوگ پیرسون نشان می‌دهد. در محدوده احتمال ۲/۰ تا ۷/۰، اختلاف بین توزیع و داده‌های واقعی قابل توجه است؛ به ویژه در احتمال ۵/۰ (مرتبط با دوره بازگشت ۲ ساله برای سرمای

نمودار ۳، مقایسه مقادیر توزیع لوگ‌نرمال سه پارامتری با داده‌های واقعی در سه سطح احتمال (۴/۰، ۶/۰، ۸/۰) است. در احتمال ۴/۰ (مربوط به سرمای ضعیف)، اختلاف ۱ واحد

(۵/۱- در مقابل ۵/۲-) دیده می‌شود. در احتمال ۸/۰ (نزدیک به رویدادهای نادر)، اختلاف به حدود ۳ واحد می‌رسد. این توزیع خطای پیش‌بینی را در دنباله بالا افزایش می‌دهد.



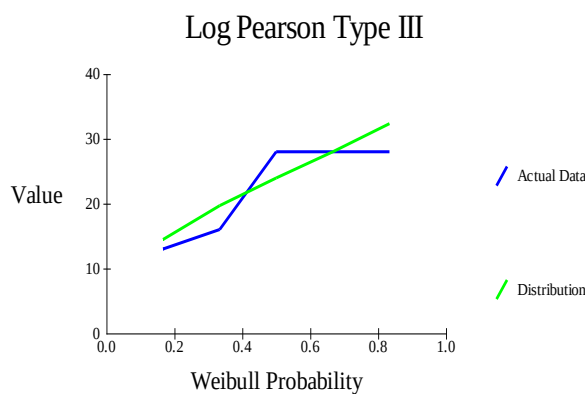
نمودار ۴: برازش توزیع لوگ نرمال ۲ پارامتری با داده‌ها



نمودار ۳: برازش توزیع لوگ نرمال ۳ پارامتری با داده‌ها

انتهایی (کمتر از ۰۵/۰ و بیشتر از ۹۵/۰) انحراف دیده می‌شود. این توزیع بهترین ابزار برای محاسبه دوره بازگشت و تاریخ‌های بحرانی محسوب می‌شود. بنابراین توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳ به عنوان توزیع برتر برای تحلیل سرمایه‌گذاری انارستان‌های کاشان در بازه ۱۹۹۰-۲۰۲۴ انتخاب می‌گردد.

در نمودار ۴، منحنی توزیع لوگ‌نرمال دوپارامتری به طور سیستماتیک بالاتر از داده‌های واقعی در همه احتمالات (به جز نقطه‌ای در ۳/۰) قرار دارد. این اختلاف در احتمال ۸/۰ به حدود ۱۰ واحد می‌رسد که نشانه برازش بسیار ضعیف است. این نمودار نمای واضح‌تری از برازش لوگ‌پیرسون تیپ ۳ با داده‌های کاشان است. در محدوده احتمال ۱/۰ تا ۹/۰، دو خط بسیار نزدیک به هم حرکت می‌کنند و تنها در امتدادهای



نمودار ۵: برازش توزیع لوگ پیرسون ۳ پارامتری با داده‌ها

به ویژه در محدوده‌ی احتمال ۲/۰ تا ۸/۰ که متناظر با رویدادهای با تکرار متوسط تا نسبتاً بالا (مانند سرمای دیررس بهاره با دوره بازگشت ۲ تا ۲۵ سال) است. توزیع پیرسون تیپ

مقایسه‌ی همزمان تمام نمودارهای ارائه‌شده نشان می‌دهد که توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳ (نمودارهای ۱ و ۵) به مراتب برازش بهتری با داده‌های واقعی سرمایه‌گذاری در شهرستان کاشان دارد،

۳ و لوگ نرمال دو و سه پارامتری همگی در دنباله‌های بالایی (احتمال بیش از ۸/۰) و پایینی (کمتر از ۲/۰) خطای قابل توجهی نشان می‌دهند و توانایی شبیه‌سازی جابجایی تقویم سرمازدگی ناشی از گرمایش نسبی را ندارند. بنابراین، برای محاسبه‌ی دقیق دوره‌های بازگشت، تاریخ اولین و آخرین سرمای سنگین (مطابق چکیده که به ترتیب حدود ۱۰ آذر و ۲۵ دی تعیین شده) و همچنین احتمال خسارت در مراحل فنولوژیک حساس انار (شکوفایی غنچه با ۳/۴۲٪ احتمال در ۱۵ فروردین)، توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳ به عنوان مناسب‌ترین مدل آماری انتخاب می‌گردد.

۴. نتیجه‌گیری

شهرستان کاشان با اقلیمی خشک و بیابانی، علی‌رغم تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و خشک، پتانسیل مناسبی برای کشت انار دارد؛ با این حال تنش‌های محیطی نظیر خشکسالی و سرمازدگی از چالش‌های اصلی آن به شمار می‌روند. بر پایه داده‌های دمایی بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴، روند افزایشی محسوسی در میانگین دمای سالانه مشاهده شده

است. بر اساس یافته‌ها، آغاز شکوفایی غنچه درخت انار در مقایسه با دوره‌های قبل، حدود ۷ روز دیرتر و در تاریخ ۱۵ فروردین رخ می‌دهد، در حالی که پایان دوره خواب زمستانی همچون گذشته در ۸ دی است و زمان برداشت میوه به ۲۵ مهر منتقل شده است. با توجه به این تغییرات، بهترین بازه زمانی برای کاشت درخت انار در کاشان بر اساس تقویم اقلیمی به‌روز، محدوده ۱۵ تا ۲۶ فروردین تعیین می‌گردد. تحلیل توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳ برای سرمای زودرس پاییزه نشان می‌دهد که با احتمال ۵۰ درصد (دوره بازگشت ۲ ساله)، اولین سرمای سنگین در ۷۰ روز پس از آغاز پاییز (حدود ۱۰ آذر) اتفاق می‌افتد. همچنین سرمای دیررس بهاره با توزیع لوگ‌نرمال، آخرین سرمای سنگین را با همین احتمال در ۱۰۵ روز پس از شروع پاییز (حدود ۲۵ دی) تعیین می‌کند. برای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر (۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵ و ۳ ساله)، به ترتیب احتمال وقوع سرماهای زودرس و دیررس محاسبه شده است که بیانگر خطرات نادر اما شدید برای باغات انار می‌باشند.

5. References

- Alafchian, A., & Ghayoor, H. (2013). Investigation of frost and freezing stress effects on almond yield and control methods. Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Hazards, Tehran, Kharazmi University.
- Bandonas, A., Georg, J.C., & Gerxer, J.F. (1978). Techniques of frost prediction and method of frost and cold protection. WMO Technical Note, 157, 160.
- Bazgir, S., Mohammadi, H., Sharifi, L., & Soleimani, N. (2016). Analysis of frost and freezing risk for horticultural products in West Azerbaijan. *Journal of Hazard Knowledge*, 3(4), 365-378.
<https://doi.org/10.22059/JHSCI.2016.62371>
- Cai, C., et al. (2006). Seasonal variation in the development of chilling injury in 'O' Henry peaches. *Scientia Horticulturae*, 110, 79-83.
- Carpiro, J.M. (1961). A rational approach to the mapping of freeze dates. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 42, 703-714.
- Chen, P., Li, P.H., & Weiser, C.J. (1975). Induction of frost hardiness in red-osier dogwood stems by water stress. *HortScience*, 10, 372-374.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.10.4.372>
- Climatic Profile of Isfahan Province. (2015). Isfahan Meteorological Office.
- Crawford, T.V. (1965). Frost protection with machines and heaters. *Agricultural Meteorology*, 6(28), 81-87.
- Fajr Isfahan Agricultural Company Portal. (2017). Pomegranate cultivation guidelines. Available at:
- Feizizadeh, B., & Dalirian Kikanloo, M. (2017). Application of object-oriented processing techniques and GIS spatial analysis in micro-zoning and frost risk assessment in orchard lands east of Lake Urmia for the insurance industry [Master's thesis, University of Tabriz].
- east of Lake Urmia for the insurance industry [Master's thesis, University of Tabriz].
- Ghasemi Solokluei, A.A., Arshadi, E., & Tabatabaei, S.Z. (2011). Investigation of cold resistance in some Iranian pomegranate cultivars. Proceedings of the National Pomegranate Conference, Ferdows, Ferdows Pomegranate Research Center.
- Halabian, A.H., Jabali, M., & Yazdi, M. (2012). Investigation of frost and temporal probability of spring and autumn frosts for agricultural and horticultural crops: A case study of Yazd-Nasrabad. Proceedings of the 1st National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development, Tehran.
- Industry, Mining and Trade Organization of Kashan.
- Isfahan Agricultural Jihad Organization.
- Isfahan Province Meteorological Office.
- Karimi, J., & Jamalnejad, M. (2011). Evaluation of climatic potentials for pomegranate cultivation in Isfahan Province using GIS. Proceedings of the 1st National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management, Tehran, University of Tehran.
- Karimi, M., Omid, M., Moradi, Gh., & Zolfaghari, M. (2015). Investigation of the occurrence of frosts and agricultural freezings in Markazi Province. Proceedings of the 4th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, Mehr Arvand Institute of Higher Education.
- Khokhar, K.M., Hadley, P., & Pearson, S. (2007). Effect of cold temperature durations of onion sets in store on the incidence of bolting, bulbing and seed yield. *Scientia Horticulturae*, 112, 16-22.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.038>

- cultivar). *Journal of Research and Construction*, 20(2), 43-49.
- Rodrigo, J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees - Morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85, 155-173. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00150-8)
- Sameshima, R., et al. (2007). Mapping of first-frost-day and risk of frost damage on soybeans. *Journal of Agricultural Meteorology*, 63(1). <https://doi.org/10.2480/agrmet.63.25>
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., & Peter, C.H. (2003). Trends of springtime frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 74, 41-51. [DOI 10.1007/s00704-002-0704-6](https://doi.org/10.1007/s00704-002-0704-6)
- Shakeri, M. (2005). Investigation of the effects of early autumn frost on pomegranate trees. *Proceedings of the Applied Scientific Conference on Frost Control Methods*, Yazd, Agricultural Jihad Organization of Yazd Province.
- Siyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Alizadeh, H., & Asgari, M.A. (2009). Effect of salicylic acid on frost resistance and phenylalanine ammonia-lyase enzyme activity in pomegranate fruit (Malas Saveh cultivar) during storage. *Iranian Journal of Horticultural Science (Iranian Agricultural Sciences)*, 40(3), 21-28.
- Sobhani, B., Salahi, B., Hajbargpour, G., & Einollahzadeh, N. (2014). Statistical analysis of frost and freezing on horticultural products in Meshkinshahr.
- Thom, H.C., & Shaw, R.H. (1985). Climatological analysis of freeze dates for Iowa. *Monthly Weather Review*, 86, 27. [DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086<0251:CAOFDF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086<0251:CAOFDF>2.0.CO;2)
- Khosravi, M., Safarzaei, N., & Armesh, M. (2015). Synoptic analysis of winter frosts in Sistan region (Case study: January 2008 frost). *Journal of Geography and Planning*, 52, 113-140.
- Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stress, freezing and high temperature stress (Vol. 497). New York: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-445501-6.50016-6>
- Mazidi, A., Mozaffari, Gh., & Salari, H. (2011). Investigation and analysis of frost in Eghlid County orchards.
- Mazidi, A., Sarai, M.H., & Dastjerdi, F. (2011). Investigation and analysis of climate impact on pomegranate product in Yazd County.
- Mehrshahi, D., Omidvar, K., & Khajehei, A. (2011). Investigation and analysis of frost on horticultural products in Bahabad County (with emphasis on pistachio, pomegranate, and almond products)
- Meteorological Research Department of Kashan County. (2014). Climatic profile of Isfahan Province. Isfahan Meteorological Office.
- Mirdehghan, S.H., & Rahemi, M. (2002). Reduction of frost damage in pomegranate fruit through intermittent heating. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 10.
- Mirdehghan, S.H., & Rahemi, M. (2010). Determining the time of frost damage occurrence in pomegranate fruit during cold storage. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41.
- Ranjbar, H., Zolfaghari Nasab, R., Ghasemnejad, M., & Sorkhosh, A. (2007). Effect of methyl jasmonate on inducing frost resistance in pomegranate fruit (Malas Saveh