



The effect of pre-harvest application of arginine and citric acid on reducing chilling injury in 'Meykhosh-e-Yazd' pomegranate fruit during cold storage

Zahra Sefidkouhi¹ , Mohammadali Askari Sarcheshmeh² ✉, Mesbah babalar³ ,
Seyd Alireza Salami⁴ , Esmail Sadeghi⁵

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. Iran. zahra.sefidkouhi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. Iran. Email: askari@ut.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. Iran. Email: mbabalar@ut.ac.ir
4. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. Iran. Email: asalami@ut.ac.ir
5. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. Iran. Email: Esmail_sadeghi@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	In this study, the effect of preharvest application of arginine (0, 1, 2 and 3 mM), citric acid (0, 1, 2 and 3 mM), and their combined application on reducing chilling injury in 'Meykhosh-e-Yazd' pomegranate fruit was evaluated during cold storage at 4 ± 0.5 °C and 85–90% relative humidity for 120 days. The experiment was conducted on 10-year-old Meykhosh pomegranate trees in a commercial orchard located in Ardakan, Yazd Province, Iran, using a randomized complete block design with three replications during the 2020 and 2021 growing seasons. The results showed that preharvest foliar application of arginine and citric acid had a significant effect on the qualitative attributes of pomegranate fruit. Arginine and citric acid treatments significantly increased vitamin C content (by 20–28%), titratable acidity (by 10%), total soluble solids (by 17–20%), and pH (by 10–15%). Conversely, arginine and citric acid significantly reduced electrolyte leakage (by 10–60%) and malondialdehyde content (by 15–20%) compared with the control, which may indicate an improvement in the integrity of fruit cell membranes. Among the treatments, 2 mM arginine, 3 mM citric acid, and the combination of 2 mM arginine + 3 mM citric acid showed better results for many of the evaluated traits. These findings confirm the beneficial role of arginine and citric acid in improving fruit quality and reducing chilling injury during storage of pomegranate fruit.
Article history: Received: 7 August 2024 Received in revised form: 2 February 2025 Accepted: 2 February 2025 Published online: Summer 2025	
Keywords: <i>Chilling injury, Quality traits, Malondialdehyde, Pomegranate.</i>	

Cite this article: Sefidkouhi, Z., Askari Sarcheshmeh, M., Babalar, M., Salami, S. A. & Sadeghi, E. (2025). The effect of pre-harvest application of arginine and citric acid on reducing chilling injury in 'Meykhosh-e-Yazd' pomegranate fruit during cold storage. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (2), 379-399. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380488.2198>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380488.2198>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Low-temperature storage is a critical postharvest strategy for preserving horticultural crops, effectively extending shelf life and maintaining nutraceutical quality. Pomegranate (*Punica granatum* L.), a fruit of high economic value endemic to subtropical climates, is highly susceptible to chilling injury (CI), which restricts the feasibility of cold storage. Extensive research has been conducted to mitigate CI using postharvest applications, including polyamines, salicyloyl chitosan, modified atmosphere packaging, 1-methylcyclopropene, and heat treatments. Recently, there has been growing interest in utilizing natural, eco-friendly compounds that are safe for both human consumption and the environment. Specifically, amino acids such as proline, phenylalanine, and arginine, alongside organic acids like oxalic, salicylic, cinnamic, and citric acid, have emerged as promising agents. Arginine, an essential amino acid, enhances tolerance to chilling stress by facilitating the biosynthesis of signaling molecules, such as polyamines, nitric oxide, proline, and agmatine. Citric acid, a weak organic acid, functions as an antioxidant that improves fruit yield and quality by neutralizing free radicals and serving as a precursor for the metabolic synthesis of arginine, proline, and thiamine.

Materials and Methods

This study was conducted as a factorial experiment in a randomized complete block design (RCBD) with three replications over two successive years. The experiment utilized 10-year-old pomegranate trees (cv. 'Meykhosh') located in a commercial orchard in Ardakan, Yazd, Iran. Foliar applications of arginine and citric acid (alone and in combination) were performed at three stages, at 20-day intervals prior to commercial harvest. The treatments included arginine (0, 1, 2, and 3 mM), citric acid (0, 1, 2, and 3 mM), and their combinations (Arg 1 mM + 1, 2, 3 mM CA; Arg 2 mM + 1, 2, 3 mM CA; and Arg 3 mM + 1, 2, 3 mM CA). Upon commercial maturity, fruits were harvested, transported to cold storage, and maintained at 4 ± 0.5 °C (85–90% RH) for 120 days. Biochemical indices, including total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TA), pH, vitamin C (ascorbic acid), electrolyte leakage (EL) of arils and peel, and malondialdehyde (MDA) content of arils and peel, were evaluated.

Results and Discussion

Results indicated that while TSS content increased throughout the storage period, this increase was significantly suppressed in treated fruits. This rise in TSS during storage is likely attributed to fruit water loss or the breakdown of cell wall polysaccharides into simpler soluble sugars. Arginine and citric acid treatments attenuated this increase by reducing respiration rates and ethylene production. Similarly, vitamin C content declined during storage; however, the treatments mitigated this reduction by slowing metabolic processes. The pH of the fruit extract increased over time due to the respiration-driven degradation of organic acids; conversely, the applied treatments effectively maintained lower pH levels. TA content decreased throughout storage, with treated fruits exhibiting a slower rate of decline, highlighting a positive correlation between organic acid retention and treatment efficacy. Furthermore, MDA levels and EL increased during storage indicative of membrane damage but were significantly suppressed by the treatments. It appears these compounds inhibited lipid peroxidation of the cell membranes by neutralizing reactive oxygen species (ROS) and inhibiting lipoxygenase activity. Overall, arginine (2 mM), citric acid (3 mM), and their combination (Arg 2 mM + CA 3 mM) significantly reduced chilling injury compared to the control group.

Conclusion

The results demonstrate that postharvest biochemical and physiological degradation significantly diminishes the quality and marketability of pomegranate fruit during storage. The application of natural compounds, specifically arginine and citric acid, effectively preserved fruit quality by mitigating chilling injury and delaying senescence. These findings suggest that such treatments represent a sustainable and practical approach to enhancing the postharvest storage life of pomegranates.

Author Contributions

Zahra Sefidkouhi conceived and performed the experiments, and analyzed the data. M.A. Askari-Sarcheshmeh and M. Babalar supervised the research and provided scientific guidance. S.A. Salami acted as an advisor and provided expert feedback. E. Sadeghi assisted in the laboratory analyses. Zahra Sefidkouhi wrote the first draft of the manuscript. All authors contributed to the interpretation of the results, provided critical feedback, and reviewed and approved the final version of the manuscript.

Data Availability Statement

The authors declare that all the data supporting the findings of this research are available within the article.

Acknowledgment

This paper is published as a part of a PhD Thesis supported by the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. The authors are thankful to the University of Tehran for providing the necessary facilities and supports.

Ethical considerations

This article does not contain any studies involving human and animal subjects.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



تأثیر کاربرد قبل از برداشت آرژنین و اسیدسیتریک در کاهش آسیب‌های ناشی از سرمازدگی میوه انار 'میخوش یزد' در سردخانه

زهره سفیدکوهی^۱ | محمد علی عسکری سرچشمه^۲ | مصباح بابالار^۳ | سید علیرضا سلامی^۴ | اسماعیل صادقی^۵

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. zahra.sefidkouhi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. askari@ut.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. mbabalar@ut.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. asalami@ut.ac.ir

۵. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Esmail_sadeghi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴ تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: تنش سرمازدگی، شاخص‌های کیفی، مالون‌دی‌آلدئید، انار.	در این پژوهش تأثیر کاربرد قبل از برداشت آرژنین (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار)، اسیدسیتریک (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و ترکیب هم‌زمان آرژنین با اسیدسیتریک در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش سرمازدگی میوه انار رقم میخوش یزد در شرایط انبار 4 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد به مدت ۱۲۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیق روی درختان ده‌ساله انار رقم میخوش در یک باغ تجاری انار واقع در شهرستان اردکان استان یزد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و در طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی آرژنین و اسیدسیتریک قبل از برداشت، تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های کیفی میوه انار داشت. تیمارهای آرژنین و اسیدسیتریک به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان ویتامین ث (بین ۲۰ تا ۲۸ درصد)، اسید قابل‌تیتراسیون (۱۰ درصد)، مواد جامد محلول (بین ۱۷ تا ۲۰ درصد) و (pH) بین ۱۰ تا ۱۵ درصد شدند؛ درحالی‌که آرژنین و اسیدسیتریک موجب کاهش معنی‌دار میزان نشت یونی (بین ۱۰ تا ۶۰ درصد) و مالون‌دی‌آلدئید (بین ۱۵ تا ۲۰ درصد) درمقایسه با تیمار شاهد شدند که این موضوع می‌تواند ساختار غشای سلولی میوه‌های انار را بهبود بخشد. از میان تیمارهای مورد بررسی، آرژنین ۲ میلی‌مولار، اسیدسیتریک ۳ میلی‌مولار و ترکیب آرژنین ۲ میلی‌مولار و اسیدسیتریک ۳ میلی‌مولار در بسیاری از صفات، نتایج بهتری را نشان دادند. این یافته‌ها نقش مؤثر آرژنین و اسیدسیتریک را در بهبود کیفیت و کاهش آسیب‌های ناشی از تنش سرمازدگی در انبارداری میوه انار تأیید می‌کند.

استناد: سفیدکوهی، زهره؛ عسکری سرچشمه، محمدعلی؛ بابالار، مصباح؛ سلامی، سیدعلیرضا و صادقی، اسماعیل (۱۴۰۴). برهم‌کنش سیلیکات سدیم، باکتری حل‌کننده سیلیکات و انگل‌سس بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشدی بادمجان. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۲)، ۳۷۹-۳۹۹. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380488.2198>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380488.2198>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum* متعلق به تیره Lythraceae می‌باشد (Graham et al., 2005). منشأ و موطن اصلی آن هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، ولی طبق عقیده اکثر گیاه‌شناسان، قفقاز، سواحل دریای خزر و بلندی‌های زاگرس پنداشته می‌شود (Ranjbar et al., 2004). ایران با تولید یک میلیون و ۳۱۵ هزار تن و سطح زیرکشت ۹۰ هزار و ۶۵۲ هکتار انار، دارای رتبه سوم جهانی پس از هند و چین می‌باشد. صادرات انار ایران به‌میزان ۲۱ هزار و ۲۸۵ تن بوده و باتوجه‌به این‌که ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های انار در جهان است، ظرفیت فوق‌العاده‌ای برای صادرات انار وجود دارد (Agricultural statics, 2023).

میوه انار منبع مهمی از ترکیبات زیست‌فعال چون فلاونوئیدها، اسیدهای فنلی و ویتامین ث بوده و دارای خصوصیات دارویی متعددی است که برای سلامتی انسان موردنیاز است (Zarei et al., 2010). باتوجه‌به سطح زیرکشت بالای انار در کشور و افزایش روز افزون تولید آن، نگهداری و کنترل عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت میوه در دوره انبارمانی از اهمیت بالایی برخوردار است (Mirdehghan & Rahemi, 2010). انبارمانی میوه‌های انار در دماهای بالا منجر به کاهش وزن میوه و خشک شدن پوست و آریل، افزایش پوسیدگی قارچی شده و درنهایت، کیفیت تغذیه‌ای و بازارپسندی میوه از بین خواهد رفت. جهت غلبه بر این آسیب‌ها، استفاده از سردخانه با دماهای پایین و رطوبت بالا ضروری به‌نظر می‌رسد (Sayyari et al., 2009). اما درخصوص این شرایط هم، نگهداری میوه‌های انار در دمای پایین سبب ظهور علائم سرمازدگی می‌شود که عمومی‌ترین آن، ظهور لکه‌های فرورفته در سطح میوه، رنگ‌پریدگی آریل‌ها، قهوه‌ای شدن پرده‌های سفید رنگی که آریل‌ها را از هم جدا می‌کنند و حساسیت بالا به پوسیدگی قارچی است (Artes et al., 1996).

پیشینه تحقیق

جهت کاهش خسارت سرمازدگی انار در دوره انبارمانی تیمارهای مختلفی ازجمله کاربرد قبل از انبار اسیدسالیسیک، متیل‌جاسمونات، متیل‌سالیسیلات، اسیدازگلیک (Sayyari et al., 2009)، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (Mirdehghan et al., 2007b)، پوشش‌های نازک روی میوه‌ها (Nanda et al., 2001)، گرمادهی متناوب (Artes et al., 2000)، پلی‌آمین‌ها (Mirdehghan et al., 2007a)، تیمار حرارتی (Mirdehghan et al., 2007b) و اتمسفرکنترل‌شده (Sidhu et al., 2019) استفاده می‌شود و نتایج خوبی نیز به‌دنبال داشته. موضوعی که امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده، استفاده از ترکیبات طبیعی و سازگار با گیاه، طبیعت و انسان در تولید و نگهداری محصول است. از ترکیبات طبیعی مورداستفاده می‌توان به اسیدهای آمینه پرولین، فنیل‌آلانین و آرژنین و اسیدهای آلی اگزالیک‌اسید، سالیسیک‌اسید، سینامیک‌اسید و اسیدسیتریک اشاره کرد. تنش ناشی از دمای پایین با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ازقبیل سوپراکسیدها، پراکسیدهایروژن و عامل هیدروکسیل همراه است. برای کاهش یا جلوگیری از آسیب‌های ناشی از مواد سمی تولیدشده در دمای پایین، گیاهان مکانیسم‌هایی را در خود ایجاد کرده‌اند (Raymond et al., 2004) که یکی از آن‌ها، تجمع پرولین، پلی‌آمین‌ها و اکسیدنیتریک می‌باشد (Zhang et al., 2013b). با افزایش سطوح پرولین، پلی‌آمین‌ها و اکسیدنیتریک، میزان مقاومت به تنش سرمازدگی افزایش پیدا می‌کند (Pirzad, 2017). آرژنین به‌عنوان یک اسیدآمینه، علاوه‌بر بیوسنتز پروتئین‌ها، پیش‌ماده بیوسنتز پلی‌آمین‌ها، پرولین و اکسیدنیتریک نیز می‌باشد. بنابراین تیمار گیاهان با آرژنین می‌تواند آسیب سرمازدگی محصولات را طی انبارمانی در دمای پایین کاهش دهد (Zhang et al., 2013a). اسیدسیتریک یک اسید آلی ۶ کربنه است که نقش اساسی در چرخه تری‌کربوکسیلیک‌اسید در میتوکندری دارد و انرژی سلول‌ها را توسط واکنش‌های اکسیداسیون فسفوریلاسیون تأمین می‌کند (Wills et al., 1981). اسیدسیتریک علاوه‌بر تأثیر در چرخه تنفسی، بر سایر مسیرهای بیوشیمیایی نیز تأثیرگذار می‌باشد (Da silva, 2003). این اسید اغلب یک اسید بی‌خطر و ایمن به‌حساب می‌آید و می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی غذایی استفاده شود. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که اسیدسیتریک نه‌تنها رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را در میوه‌ها و سبزی‌ها مهار می‌کند بلکه

باعث بهبود مقاومت به بیماری در سبزی‌ها نیز می‌شود. اسیدسیتریک همچنین می‌تواند از قهوه‌ای شدن و بیماری میوه از طریق کاهش تنفس میوه‌های پس‌از برداشت جلوگیری کند و باعث افزایش سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی شود (Rasham et al, 2017). از طرف دیگر، سیتراتی که در مسیر متابولیسم اسیدسیتریک تولید می‌شود از طریق فعالیت آنزیم‌های مختلف سبب تولید گلوتامات شده که خود گلوتامات در بیوسنتز اسیدهای آمینه مانند آرژنین، پرولین و تیامین شرکت می‌کند (Zahan et al., 2021).

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش به صورت محلول‌پاشی قبل‌از برداشت آرژنین و اسیدسیتریک و ترکیب آرژنین با اسیدسیتریک طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در سه مرحله با فاصله زمانی ۲۰ روز (۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز) قبل‌از برداشت تجاری میوه‌ها در یکی از باغ‌های تجاری شهرستان اردکان استان یزد و روی درختان ده‌ساله انار انجام گرفت. غلظت‌های مورد استفاده، آرژنین صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار، اسیدسیتریک صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و ترکیب آرژنین با اسیدسیتریک بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار (هر درخت یک تکرار) اجرا شد. میوه‌ها در زمان رسیدن تجاری (حداکثر اسید قابل‌تیتراسیون ۲-۱/۵ درصد و حداقل مواد جامد محلول ۱۵-۱۷ درصد) برداشت شد و برای هر تیمار ۱۵ عدد میوه در نظر گرفته شد. میوه‌ها پس از برداشت در مرحله بلوغ تجاری، بلافاصله به سردخانه گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل و در دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد انبار شدند. ارزیابی صفات در زمان‌های برداشت، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از انبارمانی انجام شد. در هر مرحله نمونه‌برداری، میوه‌ها از انبار خارج شده و پس از ۷۲ ساعت نگهداری در دمای اتاق، شاخص‌های مورد نظر ارزیابی گشتند. لازم‌به‌ذکر است برای اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید، آریل‌ها و پوست‌های جدا شده از هر تیمار داخل ازت مایع منجمد و در فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و ارزیابی این صفت در زمان‌های برداشت، ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از انبارمانی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات کیفی و بیوشیمیایی

نشت یونی پوست و آریل

برای اندازه‌گیری نشت یونی شش تکه پوست مدور با چوب‌پنبه‌سوراخ‌کن از قسمت استوایی سه عدد میوه از هر تکرار برداشته شد. نمونه‌های جدا شده به لوله‌هایی حاوی ۲۵ میلی‌لیتر مانیتول ۰/۴ مولار منتقل شدند. لوله‌ها به مدت چهار ساعت و به صورت افقی روی دستگاه تکان‌دهنده قرار گرفتند؛ آنگاه هدایت الکتریکی اولیه محلول موجود در لوله‌ها خوانده شد. سپس لوله‌ها به مدت بیست دقیقه در فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شده و به مدت یک شب در دمای اتاق نگهداری شدند. روز بعد هدایت الکتریکی کل محلول اندازه‌گیری گردید. روش یاد شده برای اندازه‌گیری نشت یونی آریل‌ها نیز استفاده شد. بدین ترتیب که آریل‌های سه عدد میوه از هر تکرار با دست جدا و پس از مخلوط کردن چهار گرم آریل، توزین شد و به لوله‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر مانیتول ۰/۴ مولار منتقل شد. درصد نشت یونی با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید (Mccollum & McDonad, 1991).

رابطه ۱) $100 \times (\text{هدایت الکتریکی کل} / \text{هدایت الکتریکی اولیه}) = \text{درصد نشت یونی}$

میزان مواد جامد محلول، pH، اسید قابل‌تیتراسیون و مقدار ویتامین ث

آریل‌های (دانه‌های خوراکی) سه عدد میوه انار مربوط به هر تکرار از تیمارهای مختلف با دست جدا و پس از مخلوط کردن، با آب میوه‌گیر دستی آبگیری شدند. بلافاصله میزان مواد جامد محلول، pH، اسید قابل‌تیتراسیون و مقدار ویتامین ث اندازه‌گیری گردید.

میزان مواد جامد محلول

مواد جامد محلول با قرار دادن چند قطره عصاره میوه روی صفحه دستگاه رفاکتومتر دستی (آتاگو، ژاپن) اندازه‌گیری شد.

pH آب میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون

برای اندازه‌گیری pH، پنج میلی‌لیتر آب میوه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس مقدار pH عصاره‌های تهیه‌شده توسط دستگاه pH متر مدل جینوی ۳۳۲ اندازه‌گیری شد و با عمل تیتراسیون عصاره مذکور با سود ۰/۱ نرمال، درصد اسید قابل تیتراسیون (TA) هر نمونه اندازه‌گیری شد (عمل تیتراسیون را تا زمانی که pH متر عددی بین ۸/۱ تا ۸/۳ نشان دهد ادامه داده) و میزان سود مصرفی یادداشت شد و سپس اسید قابل تیتراسیون با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Sayyari et al., 2009) که در آن، TA اسید نمونه (درصد)، V حجم سود مصرفی (میلی‌لیتر)، N نرمالیه سود مصرفی، Y مقدار عصاره نمونه (میلی‌لیتر) و میلی‌اکی‌والان اسیدسیتریک که ۰/۰۶۴ می‌باشد.

$$TA = (V \times N \times \text{Meq CA} / Y) \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

جهت اندازه‌گیری مقدار اسید آسکوربیک (ویتامین ث) با استفاده از روش تیتراسیون با یدرپتاسیم و معرف نشاسته انجام شد. پنج میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده میوه بیست میلی‌لیتر آب مقطر و دو میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد با محلول یدرپتاسیم ۰/۰۱ نرمال تیترا شد تا رنگ آبی تیره با دوام ظاهر شود. هر میلی‌لیتر از محلول یدرپتاسیم ۰/۰۱ می‌تواند میزان ۰/۸۸ میلی‌گرم اسید آسکوربیک آب میوه را خنثی کند. بنابراین مقدار ویتامین ث میوه از رابطه ۳ محاسبه شد (Sayyari et al., 2009):

$$C = 0/88 \times v/5 \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در فرمول فوق C میزان ویتامین ث برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه و V حجم یدرپتاسیم مصرفی برحسب میلی‌لیتر می‌باشد.

میزان مالون‌دی‌آلدئید

برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های پودر شده منجمد آرپل و پوست (سه عدد میوه در هر تکرار مربوط به هر تیمار) را وزن کرده، ۱۰۰۰ میکرولیتر از اسیدتری‌کلرواستیک (TCA) ۰/۱ درصد به آن اضافه کرده سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه) گردید. در مرحله بعد، به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره فوق ۱۰۰۰ میکرولیتر TCA ۲۰ درصد حاوی اسیدتیوباربیتریک (۵ درصد TBA) اضافه شد. سپس این مخلوط در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و بلافاصله در یخ، سرد شد و دوباره به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره داخل پلیت ریخته شد و با استفاده از دستگاه پلیتریدر (مدل EON ساخت شرکت بیوتک، آمریکا) میزان جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر تعیین شد و مقدار مالون‌دی‌آلدئید با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید (Alexieva et al., 2001).

$$MDA(\mu\text{mol g}^{-1} \text{fw}) = [A532 - A600/155] \times 1000 \quad (\text{رابطه ۴})$$

تجزیه آماری داده‌ها

محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴ m۵) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد. جداول و نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای Word و Excel رسم شدند.

یافته‌های پژوهش

مواد جامد محلول

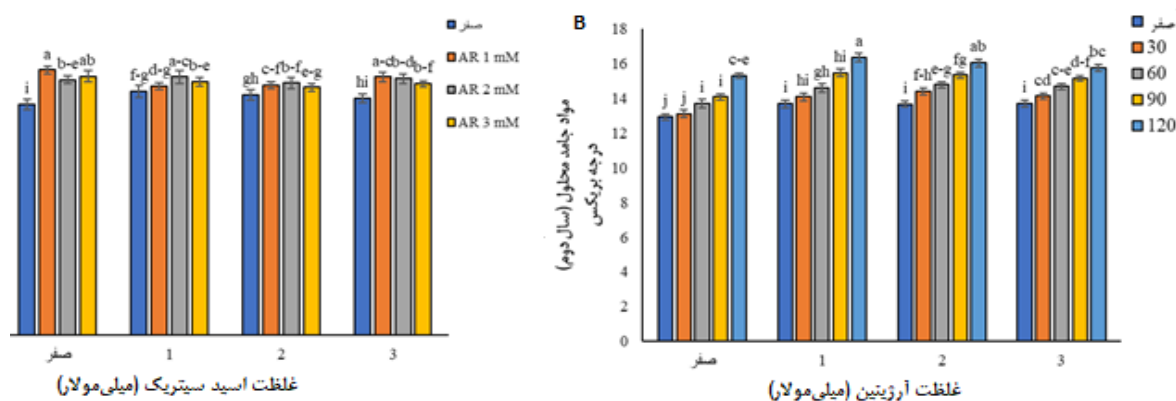
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد در سال اول آزمایش، اثرهای اصلی اسیدسیتریک و آرژنین و اثر متقابل سه گانه اسیدسیتریک، آرژنین و زمان در سطح احتمال یک درصد و اثرهای متقابل دوگانه اسیدسیتریک در زمان و همچنین اثرهای متقابل آرژنین در زمان در سطح احتمال پنج درصد بر میزان مواد جامد محلول معنی‌دار بود. در سال دوم آزمایش اثر اصلی آرژنین و اثر متقابل دوگانه اسیدسیتریک و آرژنین در سطح یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل دوگانه آرژنین و زمان در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه گانه در سال اول آزمایش نشان داد که میزان مواد جامد محلول در سطوح مختلف آرژنین و اسیدسیتریک در زمان‌های انبارمانی متفاوت است به طوری که در برخی از تیمارها سبب کاهش و در برخی از تیمارها سبب افزایش گردید. ولی به طور کلی می‌توان گفت که با افزایش زمان انبارمانی از روز صفر (زمان برداشت) تا ۱۲۰ روز پس از انبارمانی میزان مواد جامد محلول هشت درصد افزایش یافت و اعمال تیمارهای آرژنین و اسیدسیتریک به طور متوسط سبب کاهش دو و سه درصد مواد جامد محلول شد (جدول ۲). در سال دوم آزمایش، اثر متقابل زمان و آرژنین نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی و افزایش میزان غلظت آرژنین مواد جامد محلول نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس کاربرد پیش‌از برداشت آرژنین و اسیدسیتریک بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی میوه انار طی دوره انبارمانی

میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	مواد جامد محلول سال اول	مواد جامد محلول سال دوم	میوه pH سال اول	میوه pH سال دوم	اسید قابل تیتراسیون سال اول	اسید قابل تیتراسیون سال دوم	ویتامین ث سال اول	ویتامین ث سال دوم
بلوک	۲	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۴۲ ^{**}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{**}	۰/۰۳۴ ^{**}	۰/۰۱۷ ^{**}	۰/۰۱۳ [*]	۰/۰۵۰/۱ [*]
اسیدسیتریک	۳	۷/۳۳ ^{**}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۲۰۹ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۲۶ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۰/۰۹۷۰/۱ [*]
آرژنین	۳	۷/۴۵ ^{**}	۰/۰۲۴ ^{**}	۰/۰۱۴۰ [*]	۰/۰۱۱ ^{**}	۰/۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{**}	۰/۰۱۵ [*]
اسیدسیتریک* آرژنین	۹	۵/۸۰ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{**}	۰/۰۱۴۸ ^{**}	۰/۰۰۳ [*]	۰/۰۵۸ [*]	۰/۰۴۸ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۹۱۰/۱ [*]
زمان	۴	۲/۱۹ ^{ns}	۰/۰۶۹ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{**}	۰/۰۵۵ ^{**}	۰/۰۵۲ ^{**}	۱۶/۹۷ ^{**}	۹ ^{**} ۴۹/۱ ^{**}
اسیدسیتریک* زمان	۱۲	۲/۸۰ [*]	۰/۰۴۵ ^{ns}	۰/۰۷۷ [*]	۲۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۹۴ ^{**}	۱۶/۰۲ ^{ns}
آرژنین* زمان	۱۲	۲/۹۰ [*]	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۷۹ [*]	۰/۰۸۵ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۵۵ ^{ns}	۰/۰۸۴ ^{**}	۱۶/۰۳۰ ^{ns}
اسیدسیتریک* آرژنین* زمان	۳۶	۲/۹۰ ^{**}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۹۲ ^{**}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{**}	۰/۰۱۶ ^{ns}
خطا	۱۲۰	۱/۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۳۲	۶۰/۰۴
ضریب تغییرات %	-	۸/۴۹۱	۲/۳۹	۹/۴۵	۲/۱۱	۱۶/۶۳	۱۹/۸۳	۶/۰۹	۵۳۶/۱

ns: عدم معنی‌داری *: اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ **: اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۱. اثر متقابل غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و آرژینین (A) و اثر متقابل غلظت‌های مختلف آرژینین و زمان‌های مختلف انبارمانی (B) بر میزان مواد جامد محلول میوه انار رقم میخوش در سال دوم آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سه گانه اسیدستریک، آرژنین و زمان انبارمانی بر برخی از صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی میوه انار (منبع: یافته‌های تحقیق).

اسیدسیتریک (میلی مولار)	آرژینین (میلی مولار)	زمان (روز)	مواد جامد محلول سال اول (بریکس)	pH آریل سال اول (اسیدیته)	ویتامین ث آریل سال اول (میلی گرم در صدگرم وزن تازه)	نشست یونی آریل سال اول (درصد)	نشست یونی پوست سال دوم (درصد)	مالون دی‌الندید پوست سال اول (میکرومول بر کیلوگرم وزن تازه)	مالون دی‌الندید پوست سال دوم (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)	مالون دی‌الندید آریل سال اول (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)
صفر	یک	صفر	۱۴/۹۳ n-q	۳/۸۳ b-j	۱۴/۱ e-g	۴۴/۹۱ o-b	۴۶/۸۸ v-w	۲/۶۳ j-p	۲/۰۲ t-v	۲/۲۵ h-m
			۱۴/۹۳ n-q	۳/۷۲ a-j	۱۱/۷۷ i-k	۵۴/۰۶ e-r	۷۱/۹۴ k-n	-	-	-
			۱۵/۳۳ l-q	۳/۸۶ a-j	۱۰/۶۴ k-m	۵۳/۶۷ e-r	۷۹/۲۵ a-h	۴/۸۷ b	۴/۴۶ b-i	۳/۴۹ b
			۱۴/۹۳ n-q	۳/۷۶ c-j	۶/۱۶ r-v	۵۲/۱۲ e-s	۸۲/۳۱ ab	-	-	-
			۱۶/۸۶ a-e	۳/۹ a-j	۵/۵۷ t-v	۶۹/۳۳ a	۸۲/۷۱ a	۵/۶ a	۵/۳۵ a	۴/۲۲ a
			۱۵/۳ j-q	۳/۷۳ d-j	۱۵/۰۹ de	۴۸/۵۶ h-x	۴۲/۸۶ v-z	۲/۸۲ s-w	۲/۱۲ t-v	۱/۳۸ p-t
			۱۶/۲ a-m	۳/۸۶ a-j	۹/۹۷ l-n	۵۵/۸۶ b-p	۶۳/۹۷ p-r	-	-	-
			۱۶/۴۳ a-j	۴/۳ a-c	۸/۲۱ o-q	۴۶/۲۱ k-z	۷۵/۶۶ f-l	۴/۱ f-i	۳/۸۵ g-n	۲/۰۹ i-o
			۱۶/۴۳ a-j	۳/۹۳ a-i	۶/۷۴ r-u	۶۶/۷۹ a-c	۷۸/۶۳ a-i	-	-	-
			۱۶/۸۶ a-e	۴/۰۳ a-h	۶/۴۵ r-v	۵۷/۶۱ b-l	۷۷/۲ a-k	۴/۸۷ b	۵/۰۴ ab	۳/۰۶ b-f
صفر	یک	صفر	۱۵/۳ j-q	۳/۷ e-j	۱۲/۹ gh	۳۵/۷۶ y-b	۴۳/۸۲ v-y	۴/۳۲ b-i	۳/۰۷ o-r	۲/۱۱ i-o
			۱۵/۵ h-q	۳/۹۳ a-i	۱۱/۱۴ j-k	۴۵/۸۷ l-a	۵۲/۸۷ u	-	-	-
			۱۶/۳۳ a-l	۴/۲۷ a-d	۸/۲۱ o-q	۴۸/۳۶ h-x	۷۸/۵۳ a-i	۴/۱۶ e-i	۳/۳۱ l-q	۲/۶۸ d-i
			۱۵/۵۳ h-q	۳/۹۳ a-i	۶/۷۴ q-u	۵۵/۵۹ c-q	۸۲/۰۷ a-c	-	-	-
			۱۶/۷ a-h	۴ a-i	۵/۲۸ uv	۴۳/۲۳ a-f	۸۱/۴۳ a-e	۴/۷۱ b-e	۴/۷۷ a-e	۳/۲۱ b-e
			۱۵ m-q	۳/۷ e-j	۱۵/۸۴ cd	۴۹/۹۷ g-v	۴۵/۸۱ v-x	۲/۴۹ l-q	۲/۹ p-s	۲/۹۴ b-g
			۱۶/۱ b-n	۴/۲۳ a-e	۸/۸ n-p	۴۴/۱۵ p-b	۶۳/۶۳ p-r	-	-	-
			۱۵/۶۳ f-q	۳/۸۶ a-j	۶/۴۵ s-v	۴۴/۸۳ p-b	۷۷/۰۲ b-k	۴/۵ b-g	۳/۶۶ j-p	۳/۱۳ b-e
			۱۵/۷۳ d-q	۴ a-i	۵/۸۶ s-v	۶۳/۲۸ a-f	۸۱/۷ a-d	-	-	-
			۱۶ b-o	۳/۸۳ b-j	۴/۹۸ v	۵۱/۲۷ f-u	۷۶/۳۱ d-k	۴/۴۷ b-g	۴/۷۶ a-e	۳/۰۱ b-f
صفر	صفر	صفر	۱۵/۳۶ i-q	۳/۷ e-j	۱۸/۷۷ a	۳۷/۹۹ v-b	۴۷/۱۶ v	۳/۲۴ o-t	۲/۲۶ s-u	۱/۳۴ q-t
			۱۶/۴ a-j	۳/۷۶ c-j	۸/۸ n-p	۴۵/۳ n-b	۶۸/۳ m-p	-	-	-
			۱۵/۸۳ b-q	۳/۸۷ a-j	۷/۶۳ p-r	۴۹/۷ g-w	۷۶/۱ e-l	۳/۲۴ o-t	۳/۹۹ f-m	۱/۸۶ l-q
			۱۵/۹۶ b-o	۴ a-i	۵/۸ s-v	۴۶/۷۴ j-y	۷۹/۲۳ a-h	-	-	-
			۱۶/۸۳ a-f	۳/۹ a-j	۵/۸۶ s-v	۵۷/۷۷ a-l	۸۰/۳۱ a-g	۳/۲۵ n-s	۴/۶۲ a-g	۱/۹۷ k-o
			۱۵/۱ m-q	۳/۶۶ f-j	۱۳/۱۶ f-i	۴۱/۲ s-c	۴۲/۰۶ v-a	۲/۴۵ v-x	۲/۰۷ t-v	۱/۱۹ r-t
			۱۵/۶۳ f-q	۴/۱ a-g	۱۱/۱۴ j-l	۵۴/۴ d-r	۵۹/۹۷ r-t	-	-	-
			۱۵/۷۳ d-q	۳/۹ a-j	۷/۳۷ p-s	۵۳/۱۷ e-s	۷۷/۳۳ a-k	۳/۸۶ h-n	۴/۲۱ c-k	۲/۰۶ j-o
			۱۵/۴۶ i-q	۳/۹۳ a-i	۶/۱۶ r-v	۵۷/۰۳ b-n	۸۰/۹ a-f	-	-	-
			۱۵/۹۳ b-p	۳/۹۳ a-i	۵/۸۶ s-v	۶۰/۰۵ a-h	۸۰/۲۶ a-g	۴/۷۸ b-d	۴/۸۴ a-d	۳/۴ bc
صفر	دو	صفر	۱۴/۹۳ n-q	۳/۷ a-j	۱۴/۶۶ d-f	۲۹/۷۲ c	۴۲/۵۷ v-z	۳/۰۵ p-u	۲/۲۳ r-u	۲/۱۴ i-n
			۱۶ b-o	۴/۳۶ ab	۸/۸ n-p	۳۹/۳۳ u-b	۶۴/۲۵ p-r	-	-	-
			۱۴/۹۶ n-q	۳/۹ a-j	۷/۶ p-r	۴۷/۲۵ i-y	۷۳/۶۷ i-m	۳/۴۷ l-q	۳/۱۴ n-q	۲/۶۸ d-i
			۶۰							

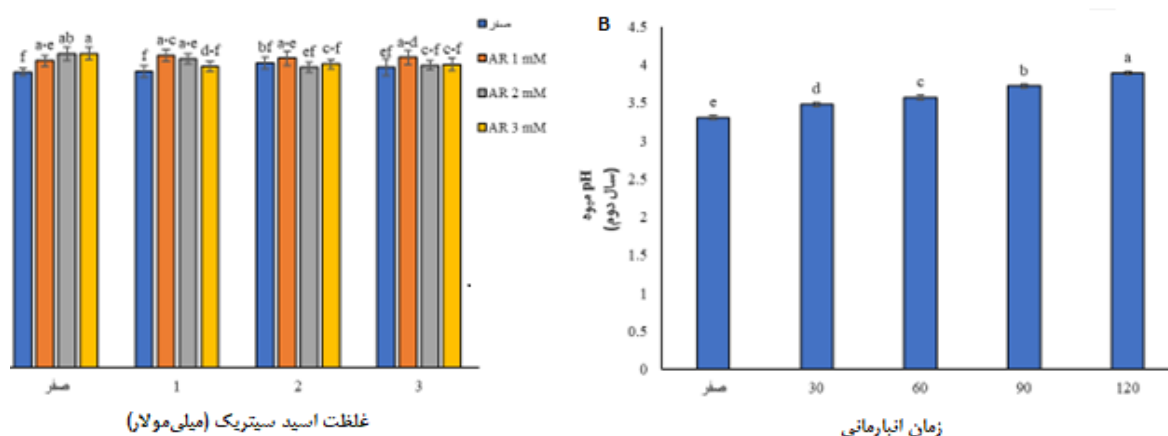
جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سه گانه اسیدسیتریک، آرژنین و زمان انبارمانی بر برخی از صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی میوه انار (منبع: یافته‌های تحقیق).

اسیدسیتریک (میلی مولار)	آرژنین (میلی مولار)	زمان (روز)	مواد جامد محلول سال اول (بریکس)	pH آریل سال اول (اسیدیته)	ویتامین ث آریل سال اول (میلی گرم در صدگرم وزن تازه)	نشت یونی آریل سال اول (درصد)	نشت یونی پوست سال دوم (درصد)	مالون دی‌آلدنید پوست سال اول (میکرومول بر کیلوگرم وزن تازه)	مالون دی‌آلدنید پوست سال دوم (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)	مالون دی‌آلدنید آریل سال اول (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)
		۹۰	۱۵/۳۶ i -q	۳/۹۳ a-i	۶/۴۵ r-v	۵۷/۰۲ b-o	۷۶/۸۶ b-k	-	-	۲/۸۸ c-g
		۱۲۰	۱۶/۸ a-g	۳/۹۶ a-i	۶/۸۲ q-u	۴۷ a-mb	۷۹/۰۳ a-i	۴/۸۶ a-c	۴/۲۵ c-i	۱/۲۲ r-t
		صفر	۱۴/۸۳ o-q	۳/۸ c-j	۱۴/۶۶ d-f	۳۷/۷ w-c	۳۶/۵۱ ab	۳/۵۶ k-p	۲/۶۶ t-x	
		۳۰	۱۵/۲۶ j -q	۴/۲ a-f	۹/۳۸ m-o	۴۶/۸۸ j -x	۷۰/۵۹ l-o	-	-	۲/۴۹ f-k
سه		۶۰	۱۵/۹۳ b-p	۴/۱ a-g	۷/۰۴ q-t	۵۱/۰۵ g-u	۷۵/۹۱ e-l	۴/۰۳ e-l	۴/۲۴ c-i	
		۹۰	۱۵/۴۶ i -q	۳/۹۳ a-i	۵/۲۸ uv	۵۲/۵۵ e-t	۷۸/۱۳ a-i	-	-	۲/۴۸ f-k
		۱۲۰	۱۶ b-o	۳/۹۳ a-i	۴/۹۸ v	۵۸/۲۳ a-k	۷۶/۶۱ c-k	۵/۰۱ ab	۳/۸۶ h-n	
		صفر	۱۵/۷۳ d-q	۲/۵۲ h-j	۱۷/۶ ab	۳۳/۵۷ bc	۴۰/۵۱ x-a	۱/۴ v	۲/۱۵ x	-/۷۷ t
		۳۰	۱۵/۴۶ i -q	۲/۸۳ b-j	۱۲/۳۲ h-j	۴۳/۶۵ q-b	۶۲/۶۵ q-s	-	-	۱/۵۴ n-s
صفر		۶۰	۱۵/۷۶ c-q	۳/۸۶ a-j	۶/۴۵ r-v	۴۷/۶۶ i -y	۷۵/۷۹ f-l	۳/۱۱ n-q	۲/۹۲ q-v	
		۹۰	۱۵/۴ i -q	۳/۷۶ c-j	۶/۴۵ r-v	۴۹/۴۳ h-w	۷۷/۳۵ a-k	-	-	-
		۱۲۰	۱۷/۳۳ a	۳/۹۳ a-i	۵/۲۸ uv	۵۸/۶۴ a-j	۸۰/۲ a-g	۴/۴۲ b-j	۴/۶۶ b-f	۲/۸ c-h
		صفر	۱۵/۳ j -q	۳/۷۳ d-j	۱۴/۶۶ d-f	۵۲/۴۶ e-s	۳۹/۷۶ y-b	۲/۱۸ s-u	۲/۴۶ u-x	۱/۰۸ r-t
		۳۰	۱۴/۸۶ o-q	۴/۲۶ a-d	۱۱/۷۳ j k	۴۹/۵ h-w	۶۴/۱۴ p-r	-	-	-
یک		۶۰	۱۶ b-o	۳/۸ c-j	۷/۶۱ p-r	۴۹/۲۲ h-w	۷۶/۳۴ d-k	۴/۱۴ c-k	۳/۵۲ k-p	۲/۱۶ i-m
		۹۰	۱۵/۵۳ h-q	۳/۹۶ a-i	۶/۴۵ r-v	۵۲/۴۱ e-r	۸۰/۲۳ a-g	-	-	-
		۱۲۰	۱۵/۴۳ i -q	۴ a-i	۴/۹۸ v	۶۱/۶۴ a-g	۷۹/۰۷ a-i	۴/۶۸ a-f	۴/۷۸ bc	۳/۴ bc
دو		صفر	۱۵ m-q	۳/۹ a-j	۱۷/۰۱ bc	۴۷/۰۷ j -y	۵۵/۳۶ t u	۲/۲۱ o-t	۳/۲۱ o-t	۱/۸۳ l-q
		۳۰	۱۵/۵۶ h-q	۳/۳۶ j	۱۲/۳۲ h-j	۵۰/۵۳ g-u	۵۷/۷۹ s-u	-	-	-
	دو	۶۰	۱۴/۶۶ q	۳/۸۶ a-j	۸/۲۱ o-q	۳۹/۷۳ t-c	۷۴/۱۴ h-l	۳/۶۶ j -p	۳/۷۵ i -o	۲/۳۷ g-l
		۹۰	۱۶/۱ b-n	۳/۸۶ a-j	۵/۸۶ s-v	۵۲/۹۱ e-r	۸۰/۸۸ a-i	-	-	-
		۱۲۰	۱۶/۵۳ a-i	۳/۹۳ a-i	۵/۲۸ uv	۵۷/۷ a-l	۸۰/۸۳ a-f	۴/۸۲ a-d	۴/۲۸ b-i	۲/۹ b-g
		صفر	۱۴/۹ n-q	۳/۶ g-j	۱۱/۷۲ i -k	۴۲/۸۸ r-b	۴۱/۴۶ w-a	۱/۵۹ uv	۳/۰۵ p-u	۱/۶۸ m-r
		۳۰	۱۵/۴۳ i -q	۳/۴۶ i j	۹/۲۸ m-o	۵۰/۷۱ g-u	۶۵/۰۴ p-r	-	-	-
سه		۶۰	۱۵/۰۳ m-q	۳/۹۳ a-i	۷/۶۲ p-r	۴۵/۴ m-b	۷۲/۴۹ j -m	۳/۲۵ m-q	۳/۴۳ m-r	۲/۴۸ f-k
		۹۰	۱۵/۵۳ h-q	۳/۹۶ a-i	۷/۰۴ q-t	۶۲/۸۶ a-e	۷۸/۶۸ a-i	-	-	-
		۱۲۰	۱۵/۹۳ d-p	۴/۰۶ a-h	۵/۸۶ s-v	۵۹/۲۳ a-i	۷۷/۹۷ a-j	۴/۶۷ a-f	۴/۰۱ g-m	۲/۶۳ e-j
		صفر	۱۵/۷۳ d-q	۳/۷۳ d-j	۱۳/۴۹ f-h	۳۶/۹۶ x-c	۴۴/۱۴ v-y	۱/۹۳ t-v	۲/۷۳ t-x	-/۸۲ t
		۳۰	۱۵/۶ g-q	۴/۴ a	۱۲/۳۲ h-j	۵۲/۸۴ e-s	۶۴/۴۸ p-r	-	-	-
صفر		۶۰	۱۵/۶۳ f-q	۳/۸۸ a-j	۸/۲۱ o-q	۵۰/۳۹ g-u	۷۴/۱۱ h-l	۴/۰۹ d-k	۴/۰۶ g-l	۲/۰۹ i-o
		۹۰	۱۵/۷۶ c-q	۳/۹ a-j	۵/۲۸ uv	۵۸/۷۸ a-j	۷۹/۴۵ a-h	-	-	-
		۱۲۰	۱۶/۹ a-d	۳/۹۶ a-i	۶/۷۸ q-u	۶۶/۲۷ a-d	۷۹/۲۹ a-h	۴/۵۸ a-h	۴/۱۸ d-j	۳/۲۸ b-d
		صفر	۱۴/۹ n-q	۳/۹۳ a-i	۱۲/۹ g-i	۴۳/۳۷ r-b	۴۱/۰۷ x-a	۲/۵۹ q-t	۲/۸۵ r-w	۱/۳۵ q-t
		۳۰	۱۶ b-o	۴/۳ a-c	۱۲/۳۲ h-j	۵۷/۰۶ b-n	۶۵/۷۹ o-q	-	-	-
یک		۶۰	۱۶/۰۳ b-o	۳/۸۷ a-j	۷/۰۴ q-t	۵۲/۳۴ e-r	۷۵/۱۷ g-l	۳/۷۷ i -o	۳/۸۶ h-n	۲/۸۶ c-g
		۹۰	۱۵/۴۶ i -q	۴/۰۳ a-h	۶/۱۶ r-v	۴۷/۹۹ h-x	۷۸/۵۳ a-i	-	-	-
		۱۲۰	۱۶/۳۶ a-k	۳/۹۳ a-i	۵/۸۶ s-v	۶۳/۲ a-f	۷۸/۵۹ a-i	۴/۷۲ a-f	۴/۷۸ b-d	۳/۴ bc
		صفر	۱۴/۷۳ pq	۳/۷۳ d-j	۱۴/۶۶ d-f	۳۳/۸۸ a-c	۳۴/۸۳ b	۲/۱۴ s-v	۲/۲۶ w-x	۱/۰۱ st
سه		۳۰	۱۵/۵۶ h-q	۳/۹۶ a-i	۹/۲۸ m-o	۵۰/۵۴ g-u	۶۲/۵۱ p-r	-	-	-
	دو	۶۰	۱۵/۰۳ m-q	۳/۹۳ a-i	۸/۲۱ o-q	۵۲/۳۱ e-s	۷۴/۷۸ g-l	۳/۸۳ h-o	۴/۲۶ c-i	۲/۸۸ c-g
		۹۰	۱۵/۱۳ l-q	۳/۹۶ a-i	۶/۷۴ q-u	۵۱/۴۵ f-t	۷۹/۸۵ a-g	-	-	-
		۱۲۰	۱۷ a	۳/۹۳ a-i	۵/۶۹ t-v	۴۵/۹۵ l-a	۷۹/۸۷ a-g	۵/۰۱ ab	۴/۴۴ b-h	۳/۰۱ b-f
		صفر	۱۵/۱۶ k-q	۳/۷۶ c-j	۱۴/۱۷ e-g	۳۴/۳۲ z-c	۳۸/۱۶ z-b	۱/۹۷ t-v	۲/۳۶ v-x	۱/۵۲ o-s
		۳۰	۱۵/۷۳ d-q	۳/۴۶ i j	۸/۲۱ o-q	۴۵/۱۳ n-b	۶۰/۰۸ r-t	-	-	-
سه		۶۰	۱۵/۶۳ f-q	۳/۷۶ c-j	۶/۴۵ r-v	۳۶/۸ x-c	۶۶/۵۵ n-q	۳/۸۶ g-n	۳/۵ l-q	۲/۱۲ i-o
		۹۰	۱۵/۶۶ e-q	۳/۸۶ a-j	۶/۴۵ r-v	۶۷/۷۷ ab	۷۷/۹۶ a-j	-	-	-
		۱۲۰	۱۶/۹۶ a-c	۳/۹ a-j	۵/۵۷ t-v	۶۲/۸۵ a-c	۷۸/۰۸ a-i	۵/۰۱ ab	۴/۳۴ b-i	۲/۹۶ b-g

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰.۰۵ $P \leq$ است.

pH میوه

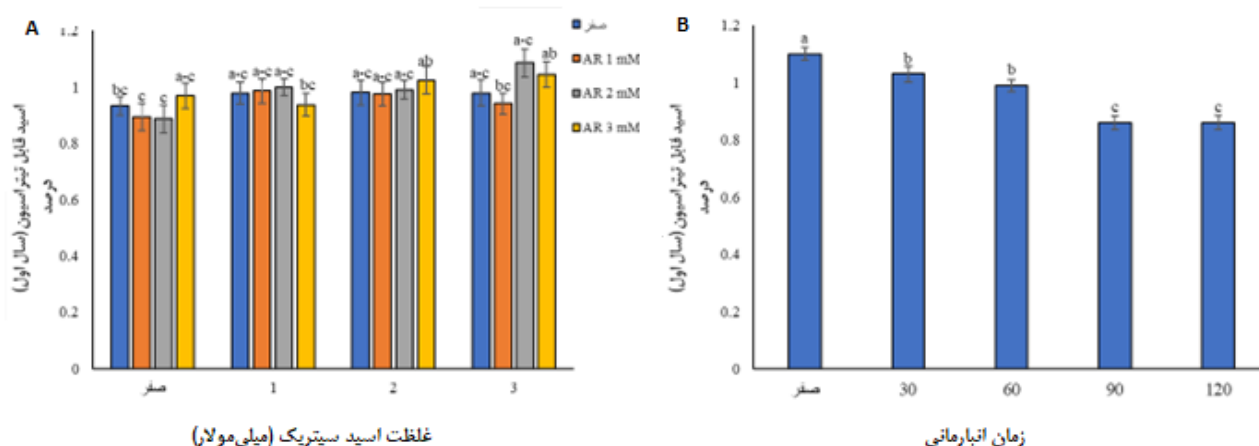
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد در آزمایش سال اول در مقدار pH میوه، اثرهای متقابل سه‌گانه در سطح یک درصد و تأثیر دوگانه تمامی تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در سال دوم آزمایش اثر اصلی آرژینین، اسیدسیتریک و زمان در سطح یک درصد و اثر متقابل دوگانه اسیدسیتریک و آرژینین در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرهای سه‌گانه نشان داد در سال اول بیشترین مقدار pH میوه با میانگین ۴/۴ مربوط به تیمار سه میلی‌مولار اسیدسیتریک به همراه غلظت صفر آرژینین در روز سی‌ام انبارمانی بود و کمترین آن با میانگین ۳/۳۶ مربوط به تیمار دو میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با دو میلی‌مولار آرژینین و سی روز پس از شروع انبارمانی به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی تا روز سی‌ام، pH میوه در اکثر تیمارها افزایش یافته و سپس روند کاهشی پیدا کرده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین در سال دوم آزمایش نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی pH میوه افزایش یافت به طوری که در صدویستمین روز انبارمانی pH میوه برابر با ۳/۸۹ بود که نسبت به زمان شروع انبارمانی (روز صفر) ۱۵ درصد افزایش داشته است. مقایسه میانگین اثرهای دوگانه اسیدسیتریک و آرژینین نشان داد که در سطح صفر اسیدسیتریک با افزایش غلظت آرژینین میزان pH میوه افزایش یافت؛ ولی در سطوح ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار اسیدسیتریک در ابتدا افزایش ولی رفته‌رفته کاهش یافت (شکل ۲-۲، ۲-۳).



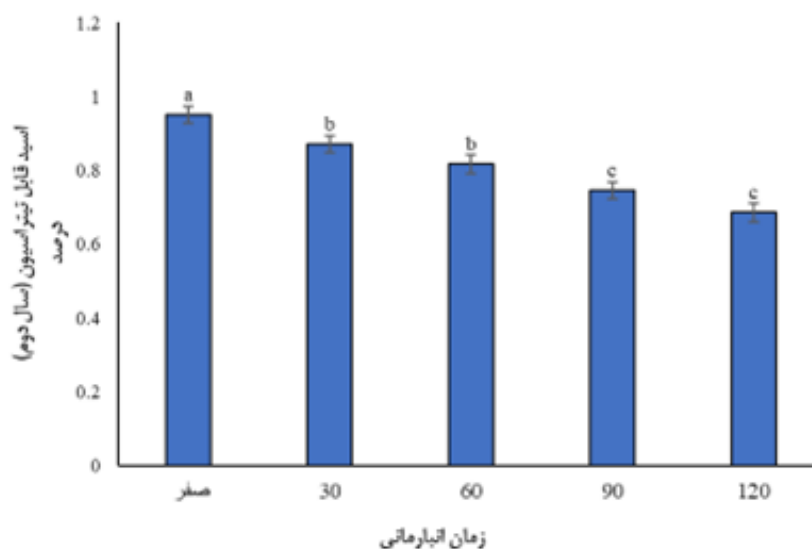
شکل ۲. اثر متقابل غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و آرژینین (A) و اثر زمان‌های مختلف انبارمانی (B) بر میزان pH میوه انار رقم میخوش در سال دوم آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اسیدیته قابل تیتراسیون نشان داد که در سال اول تحقیق اثر اصلی زمان و اثر متقابل دوگانه اسیدسیتریک و آرژینین در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما در سال دوم، فقط اثر اصلی زمان در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی اسید قابل تیتراسیون به شدت کاهش یافت به طوری که در روز صفر انبارمانی، برابر با ۱/۱ و ۱۲۰ روز بعد از انبارمانی، برابر با ۰/۸ بود که حدود ۲۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اثر متقابل اسیدسیتریک و آرژینین نشان داد که بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به تیمار سه میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با دو میلی‌مولار آرژینین و کمترین آن، در تیمار صفر میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با دو میلی‌مولار آرژینین مشاهده شد (شکل ۳-۲، ۳-۳). در سال دوم آزمایش نیز با افزایش مدت انبارمانی اسید قابل تیتراسیون کاهش معنی‌داری نشان داد به طوری که میزان این کاهش برابر با ۲۸ درصد بود. تیمارهای اسیدسیتریک و آرژینین تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (شکل ۴).



شکل ۳. اثر متقابل غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و آرژینین (A) و اثر زمان‌های مختلف انبارمانی (B) بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه انار رقم میخوش در سال اول آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

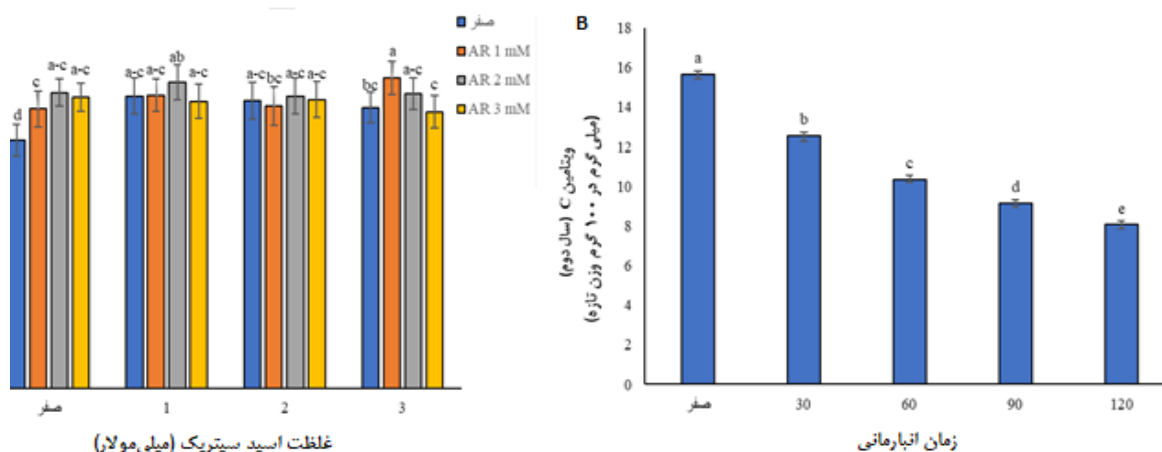


شکل ۴. اثر زمان‌های مختلف انبارمانی بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه انار رقم میخوش در سال دوم آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

ویتامین ث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس محتوای ویتامین ث نشان داد که در سال اول آزمایش اثرهای متقابل سه گانه اسیدسیتریک، آرژینین و زمان، در سطح یک درصد و در سال دوم آزمایش اثر اصلی زمان در سطح یک درصد و اثرهای متقابل آرژینین و اسیدسیتریک و همچنین اثرهای اصلی آرژینین و اسیدسیتریک در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین این صفت در سال اول آزمایش نشان داد که بیشترین محتوای ویتامین ث با میانگین ۱۸/۷۷ میلی گرم در صد گرم مربوط به تیمار یک میلی مولار اسیدسیتریک و بدون آرژینین در شروع انبارمانی (روز صفر) بود و کمترین محتوای این صفت با میانگین ۴/۹۸ میلی گرم در صد گرم در تیمار یک میلی مولار اسیدسیتریک همراه با سه میلی مولار آرژینین در پایان مدت انبارمانی (روز ۱۲۰) مشاهده گردید. در پایان مدت انبارمانی بین تیمارهای سه میلی مولار آرژینین و بدون اسیدسیتریک و دو میلی مولار اسیدسیتریک و یک میلی مولار آرژینین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و این دو نیز کمترین محتوای ویتامین ث را داشتند. با افزایش مدت انبارمانی محتوای ویتامین ث کاهش یافت ولی با افزودن اسیدسیتریک و آرژینین افزایش در مقدار

این صفت مشاهده شد (جدول ۲). در سال دوم آزمایش نیز با افزایش مدت انبارمانی محتوای ویتامین ث کاهش یافت به‌طوری‌که در روز ۱۲۰ انبارمانی نسبت به روز صفر، ۵۰ درصد کاهش مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش اسیدسیتریک و آرژینین نشان داد که بیشترین محتوای این صفت مربوط به تیمار سه میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با یک میلی‌مولار آرژینین و کمترین این صفت مربوط به شاهد بود (شکل ۵-A, B).

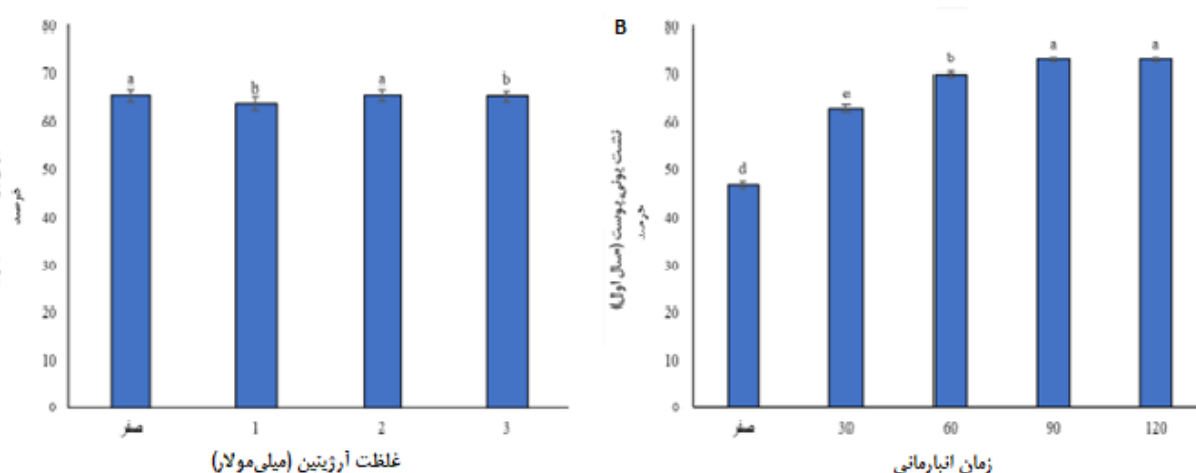


شکل ۵. اثر متقابل غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و آرژینین (A) و اثر زمان‌های مختلف انبارمانی (B) بر میزان ویتامین C میوه انار رقم میخوش در سال دوم آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

نشت یونی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشت یونی پوست در تحقیق سال اول نشان داد که اثرهای اصلی زمان در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و در سال دوم اثرهای متقابل سه‌گانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین مدت زمان انبارمانی نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی، نشت یونی پوست روبه‌افزایش است به‌طوری‌که در روز ۱۲۰ انبارمانی نسبت به روز صفر، ۶۹ درصد افزایش مشاهده شد. اگرچه بین سطوح مختلف آرژینین تفاوت اندکی در این صفت مشاهده گردید ولی از نظر آماری، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت به‌طوری‌که بیشترین نشت یونی پوست مربوط به تیمار دو میلی‌مولار آرژینین و کمترین آن مربوط به تیمار یک میلی‌مولار آرژینین بود (شکل ۶-A, B). نتایج مقایسه میانگین در سال دوم آزمایش نشان داد که بیشترین میزان نشت یونی با میانگین ۸۲/۷۱ درصد مربوط به غلظت صفر آرژینین و غلظت صفر اسیدسیتریک (شاهد) در روز ۱۲۰ انبارمانی بود و کمترین آن با میانگین ۳۴/۸۳ درصد مربوط به تیمار سه میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با دو میلی‌مولار آرژینین در روز صفر انبارمانی به‌دست آمد. اعمال اسیدسیتریک یا آرژینین سبب کاهش نشت یونی گردید به‌طوری‌که اسیدسیتریک و آرژینین به‌ترتیب سبب کاهش سه و چهار درصدی این صفت گردیدند (جدول ۲).

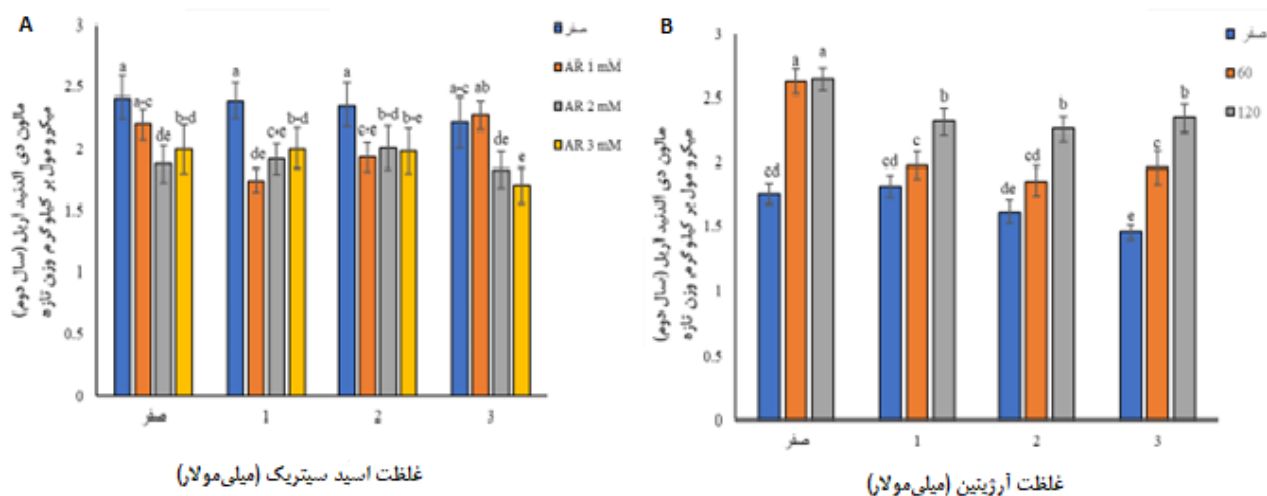
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشت یونی آریل در سال اول آزمایش نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه و اثر متقابل دوگانه آرژینین و زمان در سطح پنج درصد و اثرهای اصلی زمان و اسیدسیتریک در سطح یک درصد معنی‌دار و در سال دوم آزمایش، تمامی تیمارها (اثرهای اصلی، اثرهای دوگانه و اثرهای سه‌گانه) در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه‌گانه سال اول آزمایش نشان داد که بیشترین نشت یونی آریل با میانگین ۶۹/۳۳ درصد مربوط به غلظت صفر آرژینین و غلظت صفر اسید سیتریک (شاهد) در روز ۱۲۰ انبارمانی بود و کمترین آن با میانگین ۲۹/۷۲ درصد، مربوط به تیمار یک میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با دو میلی‌مولار آرژینین و روز صفر انبارمانی مشاهده گردید. نتایج نشان داد که نشت یونی آریل با افزایش مدت زمان انبارمانی روند روبه‌افزایشی داشت که با اعمال تیمار اسیدسیتریک و آرژینین،



شکل ۷. اثر غلظت‌های مختلف آرژینین (A) و اثر زمان‌های مختلف انبارمانی (B) بر میزان نشت یونی پوست میوه انار رقم میخوش در سال اول آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

مالون‌دی‌آلدئید

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مالون‌دی‌آلدئید در این تحقیق نشان داد که اثرهای متقابل سه‌گانه در پوست و آریل در سال اول و سال دوم برای پوست معنی‌دار بود و مالون‌دی‌آلدئید در سال دوم برای اثرهای متقابل دوگانه آرژینین و زمان و اثرهای متقابل دوگانه اسیدسیتریک و آرژینین در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین مالون‌دی‌آلدئید در سال اول در پوست و آریل نشان داد که بیشترین محتوای مالون‌دی‌آلدئید مربوط به غلظت صفر آرژینین و اسیدسیتریک (شاهد) و ۱۲۰ روز انبارمانی و کمترین آن، مربوط به تیمار دو میلی‌مولار اسیدسیتریک بدون آرژینین و در روز صفر انبارمانی مشاهده گردید. اعمال تیمار اسیدسیتریک سبب کاهش ۱۹ درصدی و تیمار آرژینین سبب کاهش ۱۶ درصدی محتوای مالون‌دی‌آلدئید گردید (جدول ۲). در سال دوم تحقیق، محتوای این صفت در پوست با اعمال تیمار اسیدسیتریک در سطح دو میلی‌مولار، بیشترین کاهش را معادل ۱۲ درصد نشان داد. با افزودن آرژینین میزان این صفت در پوست کاهش یافت و به‌طور میانگین سبب کاهش پنج درصدی مالون‌دی‌آلدئید گردید. هنگام اعمال هم‌زمان اسیدسیتریک و آرژینین نتایج متفاوتی به‌دست آمد به‌طوری‌که در سطح دو میلی‌مولار اسیدسیتریک و تمامی سطوح آرژینین کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید مشاهده شد ولی در سایر تیمارها اثر برهم‌کنش بین این دو تیمار سبب افزایش صفت مذکور گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل آریل در سال دوم نشان داد که با افزایش مدت‌زمان انبارمانی، مالون‌دی‌آلدئید به‌میزان ۳۴ درصد افزایش داشته ولی با اعمال تیمار آرژینین کاهش ۱۱ درصدی این صفت مشاهده شد. همچنین اثر متقابل اسیدسیتریک و آرژینین نشان داد که با افزایش هم‌زمان سطوح هر دو تیمار، میزان مالون‌دی‌آلدئید به‌شدت کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در سطح اسیدسیتریک سه میلی‌مولار همراه با آرژینین سه میلی‌مولار، نسبت شاهد ۳۰ درصد کاهش داشت (شکل ۸).



شکل ۸. اثر متقابل غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و آرژنین (A) و اثر متقابل غلظت‌های مختلف آرژنین و زمان‌های مختلف انبارمانی (B) بر میزان مالون دی آلدئید آریل‌های میوه انار رقم میخوش در سال دوم آزمایش (منبع: یافته‌های تحقیق).

بحث

افزایش مواد جامد محلول در مدت‌زمان انبارمانی ممکن است مربوط به کاهش آب میوه و یا شکسته شدن پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و تبدیل آنها به ترکیبات ساده‌تر و قندهای محلول باشد (Wills *et al.*, 1980). نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده در انار (Rastegari *et al.*, 2013) و موز (Khanbarad *et al.*, 2012) که گزارش کردند مواد جامد محلول در مدت‌زمان انبارمانی افزایش داشته، همسو بوده است. هر عاملی که از شکستن دیواره‌های سلولی جلوگیری کند یا آن را کاهش دهد، باعث جلوگیری از افزایش غیرعادی TSS خواهد شد. براساس گزارش‌های Ayala-Zavala *et al.* (2007)، Alizadeh Dashghapo *et al.* (2008) کاهش محتوای مواد جامد محلول و تغییرات مشاهده‌شده در pH و اسیدهای کل میوه‌های توت‌فرنگی به‌دلیل شکستن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتینی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیه قندها به واحدهای کوچک‌تر (سازنده) طی فرآیند تنفس می‌باشد. Bekran *et al.* (2018) با مطالعه اثر پوشش‌های حاوی نانوسیلیکات بر انبارمانی انار رقم ملس ساوه گزارش کردند که مواد جامد محلول با گذشت زمان و چهار ماه انبارمانی کاهش یافت که با نتایج ما مطابقت نداشت. همچنین Jiang *et al.* (2012) در پژوهشی روی قارچ دکمه‌ای با تیمار آرژنین گزارش کردند که کمترین مقدار افزایش و تغییرات در میزان مواد جامد محلول در قارچ‌های تیمار شده با آرژنین مشاهده شد که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

اسیدهای آلی موجود در میوه به‌عنوان سوبسترای واکنش‌های آنزیمی تنفس به‌کار می‌روند. طی دوره انبارمانی به‌علت فرآیند تنفس و تجزیه اسیدهای آلی، pH عصاره میوه افزایش می‌یابد. بیشتر اسیدهای آلی متابولیت‌های ثانویه هستند که در نتیجه چرخه اسیدسیتریک به‌وجود می‌آیند و طی تنفس مصرف می‌شوند. به‌همین دلیل pH با افزایش مدت انبارمانی افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش با نتایج Kaviya (2019) روی میوه انار مبنی بر افزایش pH در طول انبارمانی هم‌خوانی دارد. می‌توان گفت تیمارهای اسیدسیتریک و آرژنین با کاهش تنفس و کاهش سرعت فرآیندهای متابولیک سلول، از کاهش اسیدهای آلی جلوگیری می‌کند که در بلندمدت باعث حفظ اسیدهای آلی و کاهش pH آب میوه انار می‌گردد (Pirzad, 2017). در مطالعه‌ای دیگر، بررسی انبارمانی میوه آلو نشان داد که تیمار اسیدسالیسیلیک میزان افزایش pH آب میوه را نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش داد که مغایر با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر است. این اثر ممکن است به‌دلیل تأخیر فرآیندهای تجزیه‌ای بوده باشد (Davarynegad *et al.*, 2015).

غلظت اسیدهای آلی با اسیدیته قابل تیتراسیون هم‌بستگی مثبتی دارند که یک فاکتور مهم در کیفیت میوه است. اسیدهای آلی، یک منبع ذخیره مهم برای میوه‌ها هستند که در هنگام رسیدن با افزایش سوخت‌وساز طی اکسایش اسیدها در چرخه کربس مصرف می‌شوند (Run et al., 2008). هر عاملی که باعث کاهش میزان تنفس و تولید اتیلن گردد، به‌واسطه کاهش مصرف قندها، می‌تواند نقش مهمی در حفظ اسیدهای آلی و جلوگیری از کاهش آن‌ها بازی کند (Jalili-Marandi, 2012). نتایج حاصل از تحقیقات Shaarawi et al. (2017) بر انار رقم واندر فول نشان داد که در مدت ۱۲۰ روز انبارمانی، میزان اسیدیته کاهش یافت که با نتایج ما مطابقت دارد. Alali et al. (2022) با پژوهشی که روی هلو انجام دادند گزارش کردند که میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان انبارداری کاهش یافت ولی استفاده از تیمارهای آرژنین و اسیدسیتریک موجب کاهش کمتر میزان اسیدیته نسبت به شاهد شد. به‌نظر می‌رسد اعمال تیمار اسیدسیتریک و آرژنین باعث کندی متابولیسم و فرآیندهای تنفسی و پیری محصول می‌شود و می‌تواند سرعت تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون را طی انبارداری کاهش داده یا به تأخیر بیندازد.

ویتامین ث (اسیدآسکوربیک) یکی از ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده سیستم آنتی‌اکسیدانی محسوب می‌گردد که می‌تواند به‌طورمستقیم سبب از بین رفتن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شود و مقادیر آن توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تنظیم می‌گردد. ویتامین ث در میوه نه تنها مسئول از بین بردن ROS می‌باشد، بلکه به‌عنوان دهنده الکترون به آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (APX) در چرخه آسکوربات-گلوتاتیون (ASC-GSH) جهت تجزیه هیدروژن‌پراکسید نقش دارد (Wang et al., 2013). از این‌رو، میزان ویتامین ث در دوره انبارمانی به‌دلیل مصرف آن به‌عنوان دهنده الکترون به اکسیدان‌ها جهت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد کاهش می‌یابد (Smimoff, 1995). در این پژوهش، مقدار ویتامین ث در همه تیمارها کاهش پیدا کرد ولی این کاهش در میوه‌های شاهد در مقایسه با میوه‌های تیمار شده بیشتر بود. به‌نظر می‌رسد مقادیر بالای ویتامین ث در میوه‌های تیمار شده با آرژنین و اسیدسیتریک به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم آسکوربیک‌اسیداکسیداز و افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (APX) باشد. یافته‌های این قسمت با نتایج Liu et al., 2016 که میوه چری‌مویا را با اسیدسیتریک تیمار کردند، همچنین نتایج Shu et al., 2020 که میوه توت‌فرنگی را با آرژنین تیمار کرده بودند مطابقت دارد. اندازه‌گیری میزان نشت یونی در پوست و آریل انار یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی پایداری غشای سلولی است (Sayyari et al., 2009). اتیلن نقش به‌سزایی در افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و افزایش نشت یونی غشا دارد (Perez-Gago et al., 2006). از این‌رو، تیمار با آرژنین و اسیدسیتریک با ممانعت از عمل اتیلن، از افزایش اکسیداسیون سلول و به‌دنبال آن، آسیب غشای سلول جلوگیری می‌کند. درواقع، دمای کم موجب تغییر در فاز لیپیدهای غشای سلول از فاز مایع به فاز ژل جامد می‌شود که منجر به افزایش نفوذپذیری غشا و تراوش یون‌ها می‌گردد (Bertling et al., 2009). در میوه انار نشان داده شد که ترکیب و مقدار لیپیدهای غشا طی انبارمانی سرد تغییر می‌کند و مقدار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع و همچنین نسبت اسید چرب غیراشباع به اشباع کاهش می‌یابد درحالی‌که اعمال تیمارهای مؤثر در کاهش نشت یونی از کاهش مقدار اسیدهای چرب ممانعت نموده و نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع را بالاتر نگه می‌دارد و بدین طریق استحکام و ساختار غشا را حفظ می‌نماید. در مطالعه‌ای دیگر، بررسی تیمار متیل‌جاسمونات و آرژنین نشان داد که در هر دو سال آزمایش، با گذشت مدت‌زمان انبارمانی، میزان نشت یونی در همه تیمارها افزایش یافت ولی در زمان برداشت و طول دوره انبارمانی کمترین نشت یونی مربوط به تیمار یک میلی‌مولار آرژنین و بیشترین آن مربوط به شاهد بود؛ که با نتایج ما مطابقت داشت (Babalar et al., 2018).

Zhang et al. (2010) گزارش داده‌اند که در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با آرژنین میزان نشت یونی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید طی مدت انبارمانی به‌شدت کاهش یافت و بیان کردند که ممکن است یکپارچگی غشای سلولی میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با آرژنین ناشی از افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و APX باشد که با از بین بردن ROS، از خسارت اکسیدشدن غشایی جلوگیری به‌عمل می‌آورد. همچنین Sheng et al. (2016) گزارش کردند

که تیمارهای آرژنین و متیل جاسمونات از طریق کاهش نشت یونی و MDA، میزان قهوه‌ای شدن پوست میوه‌های انار را که در دماهای پایین اتفاق می‌افتد، کاهش داده‌اند. تیمارهای آرژنین و متیل جاسمونات نه تنها منجر به کاهش تمایل تغییرغشایی قسمت پوست میوه از حالت مایع به حالت جامد ژل مانند شدند، بلکه میزان تنش اکسیداتیو را کاهش داده و از پراکسیده شدن اسیدهای چرب غشا قسمت پوست میوه‌های انار توسط ROS و آنزیم لیپوکسیژناز جلوگیری کردند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج کلی این پژوهش نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک میوه انار تغییر می‌کند که منجر به کاهش کیفیت، بازارپسندی و تقاضای خرید آن توسط مشتری می‌گردد. استفاده از تیمارهای آرژنین و اسیدسیتریک نسبت به شاهد موجب بهبود صفات مورد اندازه‌گیری شد. از بین تیمارهای مختلف، تیمار آرژنین دو میلی مولار، اسید سیتریک سه میلی مولار و تیمار ترکیبی آرژنین دو میلی مولار و اسید سیتریک سه میلی مولار در اغلب صفات، نتایج بهتری نشان دادند. تیمارهای آرژنین و اسیدسیتریک با کاهش میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید، سبب کاهش قهوه‌ای شدن پوست و حفظ غشای سیتوپلاسمی میوه انار شدند. همچنین میوه‌های انار تیمار شده با آرژنین و اسیدسیتریک و برهم‌کنش آنها، میزان ویتامین ث و اسیدیتیه قابل‌تیتراسیون بیشتر و مواد جامد محلول و pH کمتری در مقایسه با میوه‌های شاهد داشتند. کنترل عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت میوه انار در مرحله پس‌از برداشت، از اهمیت بالایی برخوردار است. پس می‌توان با کاربرد تیمارهای مختلف از جمله آرژنین و اسیدسیتریک که متشکل از مواد طبیعی بوده و آثار مخربی بر میوه نمی‌گذارند، ضایعات میوه انار را در مرحله پس‌از برداشت کاهش داده و بر عمر انبارمانی انار افزود.

منابع

- آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۲). وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- احمدی، کریم؛ حاتمی، فرشاد؛ حسین‌پور، ربابه؛ عبدشاه، هلدا و عبادزاده، حمیدرضا. (۱۴۰۲). *آمارنامه کشاورزی*. چاپ یکم. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.
- الحج‌العلی، فارس. (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد آرژنین و اسیدسیتریک بر فیزیولوژی پس‌از برداشت و سرمازدگی میوه هلو/ارقام آلبرتا (زودرس و دیررس). رساله دکتری به‌راهنمایی محمدعلی عسکری سرچشمه. تهران: دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- بکران، عاطفه؛ سیفی، اسماعیل و وارسته، فریال. (۱۳۹۷). مطالعه اثر پوشش‌های حاوی نانوسیلیکات بر انبارمانی انار رقم ملس ساوه. *مجله علوم غذایی و تغذیه‌ای*، ۱۶(۱): ۴۹-۶۰.
- پیرزاد، فرهاد. (۱۳۹۶). تأثیر تیمارهای قبل و پس‌از برداشت آرژنین و متیل جاسمونات بر سرمازدگی پس‌از برداشت و کیفیت تغذیه‌ای میوه انار رقم ملس ساوه. رساله دکتری به‌راهنمایی مصباح بابالار. تهران: دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- جلیلی مرنندی، رسول. (۱۳۹۱). فیزیولوژی بعد از برداشت. (جابه‌جایی و نگهداری میوه، سبزی و گیاهان زینتی). ارومیه: انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه.
- داشقاوی عزیززاده، محبوب. (۱۳۸۷). اثرات کلریدکلسیم و پوتریسین برون‌زاد روی کیفیت و عمر انباری دو رقم هلو (*Prunus . L persica*) جی. اچ. هیل و "مخملی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به‌راهنمایی محمدجواد سلیمانی. همدان: دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی.
- رستگاری، حمیده؛ تهرانی‌فر، علی؛ نعمتی، سیدحسین و وظیفه‌شناس، محمدرضا. (۱۳۹۲). کاربرد اسیدسالیسیلیک قبل از برداشت میوه بر خصوصیات پس‌از برداشت انار و نگهداری در انبار سرد. *علوم باغبانی ایران*، ۲۸(۳): ۳۶۰-۳۶۸.
- میردهقان، سیدحسین و راحمی، مجید. (۱۳۸۹). تعیین زمان ایجاد خسارت سرمازدگی میوه انار (*Punica granatum L.*) در طول نگهداری در سردخانه. *علوم باغبانی ایران*، ۴۱(۱): ۱۱-۱۸.
- ویلس، ران؛ مک‌گلاسون، باری؛ گراهام، داگ و جویس، داریل. (۱۳۸۷). فیزیولوژی پس‌از برداشت. ترجمه مجید راحمی. شیراز: مؤسسه انتشارات دانشگاه شیراز.

REFERENCES

- Agricultural statics. (2021). Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. [In Persian]
- Alexieva, V.; Sergiev, I.; Mapelli, S. & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24(12): 1337-1344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.01030.x>
- Alhaj-Alali, F. (2022). *The effect of arginine and citric acid application on post-harvest physiology and chilling injury of peach fruit Alberta cultivars (Early and late ripening)*. Ph.D. Thesis, Adviser: Sarcheshmeh, A. M. A. Tehran: University of Tehran, Faculty of agriculture. [In Persian]
- Artés, F.; Marín, J. G., & Martínez, J. A. (1996). Controlled atmosphere storage of pomegranate. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 203(1): 33-37.
- Artés, F.; Villaescusa, R., & Tudela, J. A. (2000). Modified atmosphere packaging of pomegranate. *Journal of food science*, 65(7): 1112-1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10248.x>
- Ayala-Zavala, J. F.; Wang, S. Y.; Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2007). High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology*, 45(2): 166-173. <https://doi.org/10.1007/s12161-007-0112-2>
- Babalar, M.; Pirzad, F.; Sarcheshmeh, M. A. A.; Talaei, A., & Lessani, H. (2018). Arginine treatment attenuates chilling injury of pomegranate fruit during cold storage by enhancing antioxidant system activity. *Postharvest Biology and Technology*, 137: 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.postharv.2018.03.009>
- Bekran, A.; Seifi, E & Varasteh, F. (2019). A Study on the Effect of Nanosilicate-Based Coatings on Storage Life of Pomegranate Cultivar Malas-E-Saveh. *Journal of Food Technology & Nutrition*, 16(1): 49-60. [In Persian]
- Bertling, I.; Tesfay, S. Z.; Bower, J. P., & Kaluwa, K. (2009). Effect of postharvest application of silicon on 'Hass' avocado fruit. *South African Avocado Growers Association*, 32: 53-56.
- Dashghapou-Alizadeh, M. (2008). *Effects of exogenous calcium chloride and putrescine on the quality and shelf life of two peach cultivars (Prunus persica. L) G. H.H & Makhmali*. M. C. Thesis, Adviser: Soleimani, M. J. Hamedan: University of Hamedan, Faculty of agriculture. [In Persian]
- Da Silva, J.A.T. (2003). The cut flower, postharvest considerations. *Biological Sciences*, 3(4): 406-442. <https://doi.org/10.3923/jbs.2003.406.442>
- Davarynejad, G. H.; Zarei, M.; Nasrabadi, M. E. & Ardakani, E. (2015). Effects of salicylic acid and putrescine on storability, quality attributes and antioxidant activity of plum cv. 'Santa Rosa'. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4): 2053-2062.
- Graham, S. A.; Hall, J.; Sytsma, K. & Shi, S. H. (2005). Phylogenetic analysis of the Lythraceae based on four gene regions and morphology. *International Journal of Plant Sciences*, 166(6): 995-1017. <https://doi.org/10.1086/426892>
- Juang, T., Feng, & Li, J. (2012). Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage. *Food Chemistry*, 131(3): 780-786.
- Kaviya, S. (2019). Rapid naked eye detection of arginine by pomegranate peel extract stabilized gold nanoparticles. *Journal of King Saud University-Science*, 31(4): 864-868.
- Khanbarad, S. C.; Thorat, I. D.; Mohapatra, D.; Sutar, R. F., & Joshi, D. C. (2012). Effect of temperature and period of storage on physical, biochemical and textural properties of banana during ripening. *Journal of Dairying Foods & Home Sciences*, 31(3).
- McCollum, T. G., & McDonald, R. E. (1991). Electrolyte leakage, respiration, and ethylene production as indices of chilling injury in grape fruit. *HortScience*, 26(9): 1191-1192.
- Liu, K.; Liu, J.; Li, H.; Yuan, C.; Zhong, J. & Chen, Y. (2016). Influence of postharvest citric acid and chitosan coating treatment on ripening attributes and expression of cell wall related genes in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. *Scientia horticulturae*, 198: 1-11.

- Mirdehghan, S. H.; Rahemi, M.; Castillo, S.; Martinez-Romero, D.; Serrano, M. & Valero, D. (2007a). Pre-storage application of polyamines by pressure or immersion improves shelf-life of pomegranate stored at chilling temperature by increasing endogenous polyamine levels. *Postharvest Biology and Technology*, 44: 26-33.
- Mirdehghan, S. H.; Rahemi, M.; Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Valverde, J. M.; Zapata, P. J.; Serrano, M. & Valero, D. (2007b). Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: role of polyamines. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1): 19-25.
- Mirdehghan, S. H. & Rahemi, M. (2010). Determination of Time of Chilling Injury in Occurrence Pomegranate Fruit (*Punica granatum* L.) During Cold Storage. *Journal of Horticultural Science*, 41(1): 11-18. [In Persian]
- Nanda, S.; Rao D.V.S. & Krishnamurthy, S. (2001). Effects of shrink film wrapping and storage temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv Ganesh. *Postharvest Biol. Technology*, 22: 61-69.
- Perez-Gago, M. B.; Serra, M. & Del Rio, M. A. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1): 84-92.
- Pirzad, F. (2017). *Effect of pre and postharvest treatments of arginine and methyl jasmonate on postharvest chilling injury and nutritional quality of pomegranate cv malas saveh*. Ph.D. Thesis, Adviser: Babalar, M. Tehran: University of Tehran, Faculty of agriculture. [In Persian]
- Prevc, T.; Šegatin, N.; Ulrih, N. P. & Cigić, B. (2013). DPPH assay of vegetable oils and model antioxidants in protic and aprotic solvents. *Talanta*, 109: 13-19.
- Ranjbar, A.; Asadi, Y.; Hoseininia, M.A. & Shahrbabaki, H. (2004). *Manual of planting, Growing and harvesting pomegranate*. Agriculture Education Press, Tehran, Iran. [In Persian]
- Rasham, S.; Mujahid, F.; Rashid, S.; Shafaqat, A.; Rizwan, M.; Tauqeer, H. M. & Bukhari, S. A. H. (2017). Citric acid enhanced the antioxidant defense system and chromium uptake by *Lemna minor* L. grown in hydroponics under Cr stress. *Environmental Science Poll Res.*
- Rastegari, H.; Tehranifar, A.; Nemati, S. H. & Vazifehshenas, M. R. (2013). Effect of Pre-Harvest Application of Salicylic Acid on Post Harvest Characteristics of Pomegranate Fruit and Storage in Cold Store. *Journal of Horticultural Science*, 28(30): 360-368. [In Persian]
- Raymond, W.M.; Wang, Y.; Smith, D.L.; Gross, K.C. & Tian, M. (2004). MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Plant Science*, 166: 711-719.
- Run, V.; Bari, M. G.; Graham, D. & Daril, J. (2008). *Post harvest physiology book*. Translated in Persian by Rahemi Majid. Shiraz [In Persian]
- Sayyari, M.; Babalar, M.; Kalantari, S.; Serrano, M. & Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Postharvest biology and technology*, 53(3): 152-154.
- Shaarawi, S. A. & Nagy, K. S. (2017). Effect of Modified Atmosphere Packaging on Fruit Quality of "Wonderful" Pomegranate under Cold Storage Conditions. *Middle East Journal*, 6(2): 495-505.
- Sheng, L.; Zhou, X.; Liu, Z. Y.; Wang, J. W.; Zhou, Q.; Wang, L. & Ji, S. J. (2016). Changed activities of enzymes crucial to membrane lipid metabolism accompany pericarp browning in 'Nanguo' pears during refrigeration and subsequent shelf life at room temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 117: 1-8.
- Shu, P.; Min, D.; Ai, W.; Li, J.; Zhou, J.; Li, Z.; Zhang, X.; Shi, Z.; Sun, Y.; Jiang, Y.; Li, F.; Li, X. & Guo, Y. (2020).
- L-Arginine treatment attenuates postharvest decay and maintains quality of strawberry fruit by promoting nitric oxide synthase pathway. *Postharvest Biology and Technology*, 168: 111253.
- Sidhu, H.S.; Díaz-Pérez, J.C. & Maclean, D. (2019). Controlled atmosphere storage for pomegranates (*Punica granatum* L.): benefits over regular air storage. *HortScience*, 54: 1061-1066.
- Smimoff, N. (1995). Antioxidant system and plant response to the environment. In: Smimoff, N.

- (Ed.), *Environment and Plant Metabolism*. Bios Scientific Publisher, Oxford, United Kingdom: 217-243.
- Wills, R. B. H.; Bambridge, P. A. & Scott, K. J. (1980). Use of flesh firmness and other objective tests to determine consumer acceptability of delicious apples. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 20(103): 252-256.
- Wills, R. B. H.; Lee, T. H.; Graham, D.; McGlasson, W. B. & Hall, E. G. (1981). *An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. New South Wales University Press Limited, Australia.
- Zahan, M. I.; Karim, M.; Imran, S.; Hunter, C. T.; Islam, S.; Mia, A.; Hannan, A. & Rahman, M. S. (2021). Citric acid-mediated abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13): 7235.
- Zarei, M.; Azizi, M. & Bashiri-Sadr, Z. (2010). Studies on physico-chemical properties and bioactive compounds of six pomegranate cultivars grown in Iran. *Journal of Food Technology*; 8: 112–117. [In Persian]
- Zhang, X.; Shen, L.; Li, F.; Meng, D. & Sheng, J. (2010). Up-regulating arginase contributes to amelioration of chilling stress and the antioxidant system in cherry tomato fruits. *Journal of the Science of food and Agriculture*, 90: 2195-2202.
- Zhang, X.; Shen, L.; Li, F.; Meng, D. & Sheng, J. (2013a). Hot air treatment-induced arginine catabolism is associated with elevated polyamines and proline levels and alleviates chilling injury in postharvest tomato fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(13): 3245-3251.
- Zhang, X.; Shen, L.; Li, F.; Meng, D. & Sheng, J. (2013b). Arginase induction by heat treatment contributes to amelioration of chilling injury and activation of antioxidant enzymes in tomato fruit. *Postharvest biology and technology*, 79: 1-8.