

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

ABSTRACT

In this research, the impact of pre-harvest application of arginine (0, 1, 2, 3 Mm), citric acid (0, 1, 2, 3 Mm), and simultaneous treatment were evaluated on chilling injury of Meykhosh -e-Yazd pomegranate fruit, as the pomegranate fruits were maintained in cold storage at 4 ± 0.5 °C and 85-90% Relative humidity for 120 days. This research was carried out on 10-year-old pomegranate trees of Meykhosh cultivar in a commercial pomegranate orchard located in Ardakan city of Yazd province, in a randomized complete block design with three replications during the years 2020 and 2021. The results indicated that pre-harvest foliar application of arginine and citric acid significantly improved the quality traits of pomegranate fruit. Treatments with arginine and citric acid notably increased vitamin C content (by 20–28%), titratable acidity (by 10%), soluble solids content (by 17–20%), and pH (by 10–15%). Conversely, they significantly reduced electrolyte leakage (by 10–60%) and malondialdehyde content (by 15–20%) compared to the control treatment, which suggests an improvement in cell membrane integrity of the pomegranate fruits. Among the treatments, 2 mM arginine, 3 mM citric acid, and the combination of 2 mM arginine with 3 mM citric acid demonstrated superior effects across most parameters. These findings confirm the effective role of arginine and citric acid in enhancing fruit quality and reducing chilling injury during the storage of pomegranate fruits.

Keywords: Chilling injury, Quality traits, Malondialdehyde, Pomegranate

تأثیر کاربرد قبل از برداشت آرژینین و اسید سیتریک در کاهش آسیب‌های ناشی از سرمازدگی میوه انار 'میخوش یزد' در سردخانه

در این پژوهش تأثیر کاربرد قبل از برداشت آرژینین (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار)، اسید سیتریک (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و ترکیب هم‌زمان آرژینین 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 ۱۰ ساله انار رقم میخوش در یک باغ تجاری 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 آرژینین و اسید سیتریک پیش از برداشت، تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های کیفی میوه انار داشت. تیمارهای آرژینین و اسید سیتریک به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان ویتامین C (بین ۲۰ تا ۲۸ درصد)، اسید قابل تیتراسیون (۱۰ درصد)، مواد جامد محلول (بین ۱۷ تا ۲۰ درصد) و pH (بین ۱۰ تا ۱۵ درصد) شدند. در حالی که، آرژینین و اسید سیتریک موجب کاهش معنی‌دار میزان نشت یونی (بین ۱۰ تا ۶۰ درصد) و مالون‌دی‌آلدئید (بین ۱۵ تا ۲۰ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شدند، که این موضوع می‌تواند ساختار غشای سلولی میوه‌های انار را بهبود بخشند. از میان تیمارهای مورد بررسی، آرژینین ۲ میلی‌مولار، اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار و ترکیب آرژینین ۲ میلی‌مولار و اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار در بسیاری از صفات، نتایج بهتری را نشان دادند. این یافته‌ها نقش مؤثر آرژینین و اسید سیتریک را در بهبود کیفیت و کاهش آسیب‌های ناشی از تنش سرمازدگی در انبارداری میوه انار را تأیید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: تنش سرمازدگی، شاخص‌های کیفی، مالون دی آلدئید، انار

مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum* متعلق به تیره Lythraceae می‌باشد (Graham et al., 2005). منشا و موطن اصلی آن هنوز به طور کامل شناخته نشده است، ولی طبق عقیده‌ی اکثر گیاهشناسان منشاء انار قفقاز، سواحل دریای خزر و بلندی‌های زاگرس است (Ranjbar et al., 2004). ایران با تولید یک میلیون و ۳۱۵ هزار تن و سطح زیر کشت ۹۰ هزار و ۶۵۲ هکتار انار، دارای رتبه سوم جهانی پس از هند و چین می‌باشد. صادرات انار ایران به میزان ۲۱ هزار و ۲۸۵ تن بوده و با توجه به این که ایران یکی از بزرگترین تولیدکننده‌های انار در جهان است، پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای صادرات انار وجود دارد (Agricultural statics, 2023).

میوه‌ی انار منبع مهمی از ترکیبات زیست‌فعال همچون فلاونوئیدها، اسیدهای فنلی و ویتامین C و دارای خصوصیات دارویی بسیاری است که برای سلامتی انسان مورد نیاز است (Zarei et al., 2010). با توجه به سطح زیر کشت بالای انار در کشور و افزایش روز افزون تولید آن، نگهداری و کنترل عوامل موثر در کاهش کیفیت میوه انار طی دوره انبارمانی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Mirdehghan & Rahemi, 2010). انبارمانی میوه‌های انار در دماهای بالا منجر به کاهش وزن زیاد میوه و خشک شدن پوست و آریل، افزایش پوسیدگی قارچی شده و در نهایت کیفیت تغذیه‌ای و بازار پسندی میوه از بین خواهد رفت. به همین دلیل برای غلبه بر این مشکلات استفاده از سردخانه با دماهای پایین و رطوبت بالا ضروری به نظر می‌رسد (Sayyari et al., 2009). با این حال نگهداری میوه‌های انار در دمای پایین سبب ظهور علائم سرمازدگی می‌شود که عمومی‌ترین علائم سرمازدگی در انار ظهور لکه‌های فرورفته در سطح میوه، رنگ پریدگی آریل‌ها، قهوه‌ای شدن پرده‌های سفید رنگی که آریل‌ها را از هم جدا می‌کنند و حساسیت بالا به پوسیدگی قارچی می‌باشند (Artes et al., 1996).

پیشینه تحقیق

تا کنون جهت کاهش خسارت سرمازدگی انار در زمان انبارمانی تیمارهای مختلفی از جمله کاربرد قبل از انبار اسید سالیسیک، متیل جاسمونات، متیل سالیسیلات، اسید اگزالیک (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)، سالیسیک اسید (Sayyari et al., 2009)، تیمار حرارتی (Mirdehghan et al., 2007b) و اتمسفرکنترل شده (Sidhu et al., 2019) استفاده گردیده است و نتایج خوبی به دست آمده است. موضوعی که امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده است استفاده از ترکیبات طبیعی و سازگار با گیاه، طبیعت و انسان در تولید و نگهداری محصول است. از ترکیبات طبیعی مورد استفاده می‌توان به اسیدهای آمینه پرولین، فنیل آلانین و آرژنین و اسیدهای آلی اگزالیک اسید، سالیسیک اسید، سینامیک اسید و اسیدسیتریک اشاره کرد. تنش ناشی از دمای پایین با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) از قبیل سوپر اکسیدها، پراکسید هیدروژن و عامل هیدروکسیل همراه است. برای کاهش یا جلوگیری از آسیب‌های ناشی از مواد سمی تولید شده در دمای پایین، گیاهان مکانیسم‌هایی را در خود ایجاد کرده اند (Raymond et al., 2004). یکی از این مکانیسم‌ها تجمع پرولین، پلی‌آمین‌ها و اکسید نیتریک می‌باشد (Zhang et al., 2013b). با افزایش سطوح پرولین، پلی‌آمین‌ها و اکسید نیتریک، میزان مقاومت به تنش سرمازدگی افزایش پیدا می‌کند (Pirzad, 2017). آرژنین به عنوان یک اسید آمینه علاوه بر بیوسنتز پروتئین‌ها، پیش ماده بیوسنتز پلی‌آمین‌ها، پرولین و اکسید نیتریک 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 چرخه‌ی تری‌کربوکسیلیک اسید در میتوکندری دارد و انرژی سلول‌ها را توسط واکنش‌های اکسیداسیون فسفوریلاسیون تأمین می‌کند (Wills et al., 1981). اسیدسیتریک علاوه بر تأثیر در چرخه‌ی تنفسی بر سایر مسیرهای بیوشیمیایی نیز تأثیرگذار می‌باشد (Da Silva, 2003). این اسید اغلب یک اسید بی‌خطر و امن به حساب می‌آید و می‌تواند به عنوان یک افزودنی غذایی استفاده شود. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که اسیدسیتریک نه تنها رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را در میوه‌ها و سبزی‌ها مهار می‌کند بلکه باعث بهبود

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

روش شناسی پژوهش

این آزمایش به صورت محلولپاشی قبل از برداشت آرژنین و اسید سیتریک و ترکیب آرژنین با اسید سیتریک طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در سه مرحله با فاصله زمانی ۲۰ روز (۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز) قبل از برداشت تجاری میوه‌ها در یکی از باغ‌های تجاری شهرستان اردکان استان یزد و بر روی درختان ۱۰ ساله انار انجام گرفت. غلظت‌های مورد استفاده در این آزمایش آرژنین صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار، اسید سیتریک صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و ترکیب آرژنین با اسید سیتریک 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 قابل تیتراسیون 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. پس از برداشت میوه‌ها 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 انبار انجام شد. در هر مرحله نمونه‌برداری میوه‌ها از انبار خارج و پس از ۷۲ ساعت نگهداری در دمای اتاق شاخص‌های مورد نظر ارزیابی شدند. لازم به ذکر است برای اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدهید، آریل‌ها و پوست‌های جدا شده از هر تیمار در داخل ازت مایع منجمد و در فریزر با دمای -80 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و ارزیابی این صفت در زمان‌های برداشت، ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از انبار انجام شد.

اندازه‌گیری صفات کیفی و بیوشیمیایی

نشت یونی پوست و آریل

برای اندازه‌گیری نشت یونی ۶ تکه پوست مدور با چوب پنبه سوراخ کن از قسمت استوایی ۳ 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 تکان دهنده قرار گرفتند. آنگاه هدایت الکتریکی اولیه محلول موجود در لوله‌ها خوانده شد. سپس لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در فشار ۱ اتمسفر و دمای 120 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 ۳ عدد میوه از هر تکرار با دست جدا و پس از مخلوط کردن ۴ گرم آریل توزین شد و به لوله‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر مانیتول ۰/۴ مولار منتقل شد. در صد نشت یونی با استفاده از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید (Mccollum & McDonad, 1991).

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

میزان مواد جامد محلول، pH، اسید قابل تیتراسیون و مقدار ویتامین C

آریل‌های (دانه‌های خوراکی) ۳ عدد میوه انار مربوط به هر تکرار از تیمارهای مختلف با دست جدا و پس از مخلوط کردن، با آبمیوه‌گیر دستی آبگیری شدند. سپس بلافاصله میزان مواد جامد محلول، pH، اسید قابل تیتراسیون و مقدار ویتامین C 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، ۵ میلی‌لیتر آب میوه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس مقدار pH عصاره های تهیه شده 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 را 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).

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

که در آن TA اسید نمونه بر حسب درصد، V حجم سود مصرفی (میلی‌لیتر)، N نرمالیه سود مصرفی، Y میلی‌لیتر عصاره نمونه و میلی‌اکی‌والان اسیدسیتریک که ۰/۰۶۴ می‌باشد.

اسید آسکوربیک (ویتامین C)

جهت اندازه‌گیری مقدار اسید آسکوربیک (ویتامین C) با استفاده از روش تیتراسیون با ید در یدور پتاسیم و معرف نشاسته انجام شد. ۵ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده میوه با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و دو میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد با محلول ید در یدور پتاسیم ۰/۰۱ نرمال تیترا شد تا رنگ آبی تیره با دوام ظاهر شود. هر میلی‌لیتر از محلول ید ۰/۰۱ نرمال می‌تواند میزان ۰/۸۸ میلی گرم اسید آسکوربیک آب میوه را خنثی کند. بنابراین مقدار ویتامین C میوه از فرمول زیر 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 C بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه و V حجم ید در یدور پتاسیم مصرفی بر حسب میلی‌لیتر می‌باشد.

میزان مالون دی‌آلدئید

برای اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های پودر شده منجمد آرپل و پوست (۳ عدد میوه در هر تکرار مربوط به هر تیمار) را وزن کرده، ۱۰۰۰ میکرولیتر از اسید تری کلرواستیک (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 اسید تیوباربیتوریک (۵/۰ 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 مخلوط به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره در داخل پلیت ریخته شد و با استفاده از دستگاه پلیت ریدر (مدل EON، ساخت شرکت بیوتک، آمریکا) میزان جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر تعیین شد و مقدار مالون دی‌آلدئید با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید (Alexieva et al., 2001).

$$MDA(\mu\text{mol g}^{-1} \text{fw}) = [A_{532} - A_{600}/155] \times 1000 \quad (\text{رابطه ۴})$$

تجزیه آماری داده‌ها:

محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه m5 ۹/۴) انجام شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از روش آزمون LSD در سطح معنی داری ۵ درصد انجام شد. جداول و نمودارها با استفاده از نرم افزارهای Word و Excel رسم شدند.

یافته های پژوهش

مواد جامد محلول

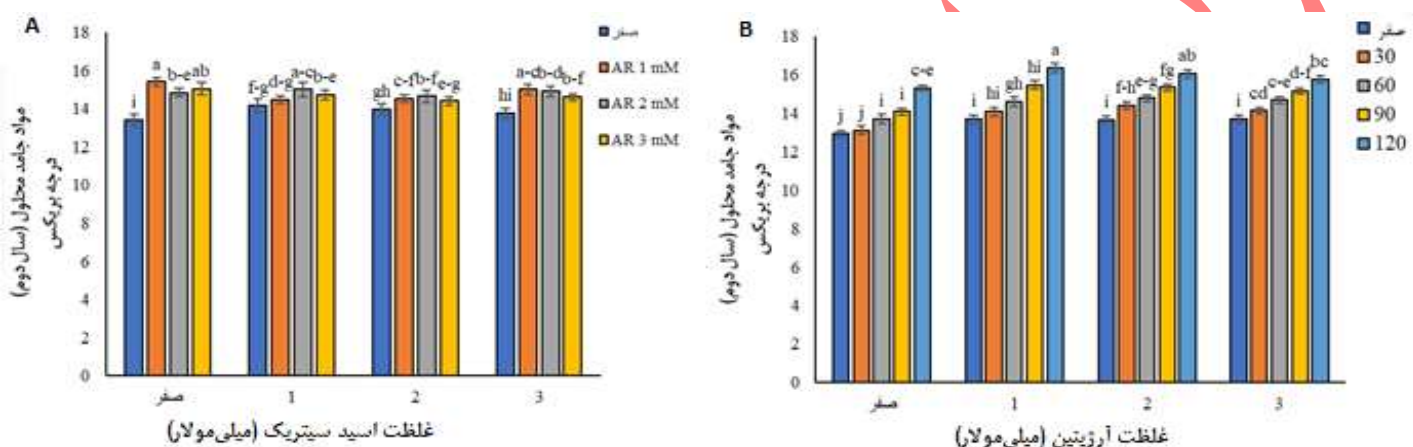
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد در سال اول آزمایش اثرهای اصلی اسیدسیتریک و آرژینین و اثر متقابل سه گانه اسیدسیتریک، آرژینین و زمان در سطح احتمال یک درصد و اثرهای متقابل دوگانه اسیدسیتریک در زمان و همچنین اثرهای متقابل آرژینین در زمان در سطح احتمال پنج درصد بر میزان مواد جامد محلول معنی دار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

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه گانه در سال اول آزمایش نشان داد که میزان مواد جامد محلول در سطوح مختلف آرژینین و اسیدسیتریک در زمان های انبارمانی متفاوت است به طوری در برخی از تیمارها سبب کاهش و در برخی تیمارها سبب افزایش گردید. ولی به طور کلی می توان گفت که با افزایش زمان انبارمانی از روز صفر (زمان برداشت) تا ۱۲۰ روز پس از انبارمانی میزان مواد جامد محلول ۸ درصد افزایش یافت و اعمال تیمارهای آرژینین و اسیدسیتریک به طور متوسط سبب کاهش ۳ و ۲ درصد مواد جامد محلول شد (جدول ۲). در سال دوم آزمایش، اثر متقابل زمان و آرژینین نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی و همچنین افزایش میزان غلظت آرژینین مواد جامد محلول نیز افزایش می یابد (شکل ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس کاربرد پیش از برداشت آرژینین و اسید سیتریک بر صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی میوه انار طی دوره انبارمانی

میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	مواد جامد محلول سال اول	مواد جامد محلول سال دوم	pH میوه سال اول	میوه pH سال دوم	اسید قابل تیتراسیون سال اول	اسید قابل تیتراسیون سال دوم	ویتامین C سال اول	ویتامین C سال دوم
بلوک	۲	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۴۲ ^{**}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{**}	۰/۰۳۴ ^{**}	۰/۰۱۷ ^{**}	۰/۰۱۳ [*]	۰/۰۱۵ [*]
اسید سیتریک	۳	۷/۳۳ ^{**}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۲۰۹ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۲۶ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۰/۰۹۷ [*]
آرژینین	۳	۷/۴۵ ^{**}	۰/۰۲۴ ^{**}	۰/۰۱۴۰ [*]	۰/۰۱۱ ^{**}	۰/۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{**}	۰/۰۱۵ [*]
اسید سیتریک* آرژینین	۹	۵/۸۰ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{**}	۰/۰۱۴۸ ^{**}	۰/۰۰۳ [*]	۰/۰۵۸ [*]	۰/۰۴۸ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۹۱ [*]
زمان	۴	۲/۱۹ ^{ns}	۰/۰۶۹ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{**}	۰/۰۵۵ ^{**}	۰/۰۵۲ ^{**}	۱۶/۹۷ ^{**}	۹/۴۹ ^{**}
اسید سیتریک* زمان	۱۲	۲/۸۰ [*]	۰/۰۴۵ ^{ns}	۰/۰۷۷ [*]	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۹۴ ^{**}	۰/۰۲۶ ^{ns}

آرژنین * زمان	۱۲	۲/۹۰ *	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۷۹ *	۰/۰۸۵ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۵۵ ^{ns}	۰/۰۸۴ **	۰/۰۳۰ ^{ns}
اسید سیتریک * آرژنین * زمان	۳۶	۲/۹۰ **	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۹۲ **	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۱ **	۰/۰۱۴ ^{ns}
خطا	۱۲۰	۱/۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۳۲	۰/۰۴۶
ضریب تغییرات %	-	۱۸/۴۹	۲/۳۹	۹/۴۵	۲/۱۱	۱۶/۶۳	۱۹/۸۳	۶/۰۹	۶/۵۳
ns: عدم معنی داری *: اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ **: اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱ (منبع: یافته‌های تحقیق)									



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه مواد جامد محلول در انار. (A) اثر متقابل دوگانه اسید سیتریک و آرژنین، (B) اثر متقابل دوگانه آرژنین و انبارمانی (منبع: یافته‌های تحقیق).

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

اسید سیتریک (میلی مولار)	آرژنین (میلی مولار)	زمان (روز)	مواد جامد محلول (بریکس)	pH (اسیدیته)	ویتامین C (میلی گرم در صد گرم وزن تازه)	نشست یونی (درصد)	نشست یونی (درصد)	مالون دی آلدئید پست (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)	مالون دی آلدئید پست (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)	مالون دی آلدئید پست (میکرومول بر کیلو گرم وزن تازه)
۱۴/۹۳ n-q	۳/۸۳ b-j	۱۴/۹۳ n-q	۱۴/۹۳ n-q	۳/۸۳ b-j	۱۴/۹۳ n-q	۴۴/۹۱ o-*b	۴۶/۸۸ vw	۳/۶۳ j-p	۲/۰۳ t-v	۲/۲۵ h-m
۱۴/۹۳ n-q	۳/۷۲ a-j	۱۴/۹۳ n-q	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	۱۵/۳۳ l-q	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	۱۴/۹۳ n-q	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	۱۶/۸۶ a-e	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	۱۵/۳ j-q	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

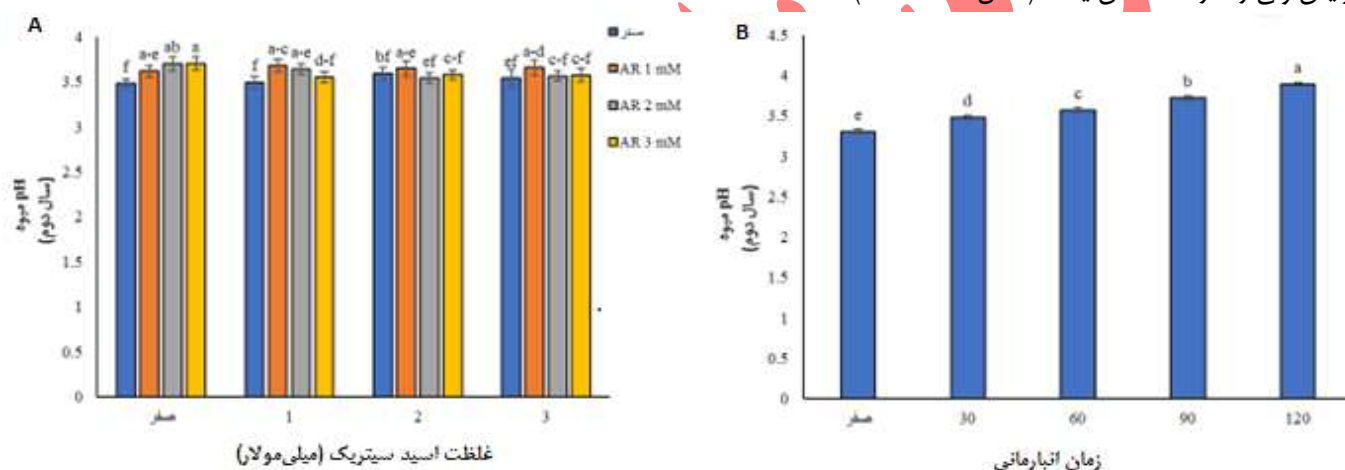
–	–	–	፩፮/፱፱ p-r	፩፩/፲፩ b-p	፱/፱፱ l-n	፮/፲፩ a-j	፲፩/፮ a-m	፮፰	1 mM	mM	
፮/፬፱ i-o	፮/፲፩ g-n	፩/፲ f-i	፲፩/፩፩ f-l	፩፩/፮፱ k-z	፲/፮፱ o-q	፩/፮ a-c	፲፩/፩፱ a-j	፩፰			
–	–	–	፲፲/፩፱ a-i	፩፩/፲፱ a-c	፩/፲፱ r-u	፮/፱፱ a-i	፲፩/፩፱ a-j	፱፰			
፮/፬፩ b-f	፩/፬፱ ab	፩/፲፱ b	፲፲/፮ a-k	፩፲/፩፱ b-l	፩/፩፩ r-v	፩/፬፱ a-h	፲፩/፲፩ a-e	፲፮፰			
፮/፲፲ i-o	፮/፬፱ o-r	፩/፮፱ b-i	፩፮/፲፱ v-y	፩፩/፲፩ y-*b	፲፮/፱ gh	፮/፲ e-j	፲፩/፮፱ j-q	፮፱			
–	–	–	፩፮/፲፱ u	፩፩/፲፱ l-*a	፲፲/፲፱ jk	፮/፱፱ a-i	፲፩/፩፱ h-q	፮፰			
፲/፩፲ d-i	፮/፮፱ l-q	፩/፲፩ e-i	፲፲/፩፱ a-i	፩፲/፮፩ h-x	፲/፮፱ o-q	፩/፮፱ a-d	፲፩/፮፱ a-l	፩፰			
–	–	–	፲፮/፬፱ a-c	፩፩/፩፱ c-q	፩/፲፱ q-u	፮/፱፱ a-i	፲፩/፩፱ h-q	፱፰			
፮/፲፱ b-e	፩/፲፱ a-e	፩/፲፱ b-e	፲፲/፩፱ a-e	፩፮/፮፱ a-f	፩/፮፱ uv	፩ a-i	፲፩/፲፱ a-h	፲፮፰			
፲/፲፱ b-g	፲/፱ p-s	፮/፩፱ l-q	፩፩/፲፱ v-x	፩፱/፲፱ g-v	፲፩/፲፱ cd	፮/፲ e-j	፲፩ m-q	፮፱			
–	–	–	፩፮/፩፱ p-r	፩፩/፲፱ p-*b	፲/፲፱ n-p	፩/፮፱ a-e	፲፩/፲፱ b-n	፮፰			
፮/፲፱ b-e	፮/፩፱ j-p	፩/፩፱ b-g	፲፲/፬፱ b-k	፩፩/፲፱ p-*b	፩/፩፱ s-v	፮/፲፱ a-j	፲፩/፩፱ f-q	፩፰			
–	–	–	፲፲/፲፱ a-d	፩፮/፲፱ a-f	፩/፲፱ s-v	፩ a-i	፲፩/፲፱ d-q	፱፰			
፮/፬፱ b-f	፩/፲፱ a-e	፩/፩፱ b-g	፲፩/፮፱ d-k	፩፲/፲፱ f-u	፩/፲፱ v	፮/፲፱ b-j	፲፩ b-o	፲፮፰			
፲/፲፱ q-t	፲/፲፩ s-u	፮/፲፱ o-t	፩፲/፲፱ v	፲፲/፲፱ v-*b	፲፲/፲፱ a	፮/፲ e-j	፲፩/፲፱ i-q	፮፱			
–	–	–	፩፲/፲፱ m-p	፩፩/፲፱ n-*b	፲/፲፱ n-p	፮/፲፱ c-j	፲፩/፲፱ a-j	፮፰			
፲/፲፱ l-q	፮/፲፱ f-m	፮/፲፱ o-t	፲፩/፲፱ e-l	፩፱/፲፱ g-w	፲/፩፱ p-r	፮/፲፱ a-j	፲፩/፲፱ b-q	፩፰			
–	–	–	፲፱/፲፱ a-h	፩፩/፲፱ j-y	፩/፲፱ s-v	፩ a-i	፲፩/፲፱ b-o	፱፰			
፲/፲፱ k-o	፩/፩፱ a-g	፮/፲፱ n-s	፲፬/፲፱ a-g	፩፲/፲፱ a-l	፩/፲፱ s-v	፮/፲፱ a-j	፲፩/፲፱ a-f	፲፮፰			
፲/፲፱ r-t	፲/፬፱ t-v	፲/፩፱ v-x	፩፮/፬፱ v-*a	፩፲/፲፱ s-*c	፲፮/፲፱ f-i	፮/፩፱ f-j	፲፩/፲፱ m-q	፮፱			
–	–	–	፩፱/፲፱ r-t	፩፩/፲፱ d-r	፲፲/፲፱ j-l	፩/፲፱ a-g	፲፩/፩፱ f-q	፮፰			
፲/፬፱ j-o	፩/፲፱ c-k	፮/፲፱ h-n	፲፲/፲፱ a-k	፩፮/፲፱ e-s	፲/፲፱ p-s	፮/፲፱ a-j	፲፩/፲፱ d-q	፩፰			
–	–	–	፲፬/፲፱ a-f	፩፲/፬፱ b-n	፩/፲፱ r-v	፮/፲፱ a-i	፲፩/፩፱ i-q	፱፰			
፮/፲፱ bc	፩/፲፱ a-d	፩/፲፱ b-d	፲፬/፲፱ a-g	፩፬/፲፱ a-h	፩/፲፱ s-v	፮/፲፱ a-i	፲፩/፲፱ b-p	፲፮፰			
፲/፲፱ i-n	፮/፲፱ r-u	፮/፬፱ p-u	፩፮/፲፱ v-z	፲፱/፲፱ c	፲፩/፩፱ d-f	፮/፲፱ a-j	፲፩/፲፱ n-q	፮፱			
–	–	–	፩፩/፲፱ p-r	፲፱/፲፱ u-*c	፲/፲፱ n-p	፩/፲፱ ab	፲፩ b-o	፮፰			
፲/፩፲ d-i	፮/፲፱ n-q	፮/፩፱ l-q	፲፮/፩፱ i-m	፩፲/፲፱ i-y	፲/፩፱ p-r	፮/፲፱ a-j	፲፩/፲፱ n-q	፩፰			
–	–	–	፲፩/፲፱ b-k	፩፲/፬፱ b-o	፩/፩፱ r-v	፮/፲፱ a-i	፲፩/፲፱ i-q	፱፰			
፲/፲፱ c-g	፩/፲፱ a-c	፩/፲፱ c-i	፲፱/፬፱ a-i	፩፲/፲፱ a-m	፩/፲፱ q-u	፮/፲፱ a-i	፲፩/፲፱ a-g	፲፮፰			
፲/፲፱ r-t	፮/፩፱ k-p	፲/፩፱ t-x	፲፩/፲፱ *ab	፲፲/፲፱ w-*c	፲፩/፩፱ d-f	፮/፲፱ c-j	፲፩/፲፱ o-q	፮፱			
–	–	–	፲፬/፲፱ l-o	፩፩/፲፱ j-x	፲/፲፱ m-o	፩/፲፱ a-f	፲፩/፲፱ j-q	፮፰			
፲/፲፱ f-k	፩/፬፱ e-l	፩/፲፱ c-i	፲፩/፲፱ e-l	፩፲/፬፱ g-u	፲/፬፱ q-t	፩/፲፱ a-g	፲፩/፲፱ b-p	፩፰			
–	–	–	፲፲/፲፱ a-i	፩፮/፲፱ e-t	፩/፲፱ uv	፮/፲፱ a-i	፲፩/፩፱ i-q	፱፰			
፲/፲፱ f-k	፩/፬፱ ab	፮/፲፱ h-n	፲፩/፲፱ c-k	፩፲/፲፱ a-k	፩/፲፱ v	፮/፲፱ a-i	፲፩ b-o	፲፮፰			
፬/፲፱ t	፲/፲፱ v	፲/፲፱ x	፩፬/፲፱ x*a	፲፮/፲፱ *bc	፲፲/፲፱ ab	፮/፲፱ h-j	፲፩/፲፱ d-q	፮፱			
–	–	–	፩፮/፩፱ q-s	፩፮/፩፱ q-*b	፲፮/፲፱ h-j	፮/፲፱ b-j	፲፩/፩፱ i-q	፮፰			
፲/፲፱ n-s	፮/፲፱ n-q	፲/፲፱ q-v	፲፩/፲፱ f-l	፩፲/፩፱ i-y	፩/፩፱ r-v	፮/፲፱ a-j	፲፩/፲፱ c-q	፩፰			

-	-	-	۷۷/۳۵ a-k	۴۹/۴۳ h-w	۶/۴۵ r-v	۳/۷۶ c-j	۱۵/۴ i-q	۹۰	
۲/۸ c-h	۴/۴۲ b-j	۴/۶۶ b-f	۸۰/۲ a-g	۵۸/۶۴ a-j	۵/۲۸ uv	۳/۹۳ a-i	۱۷/۳۳ a	۱۲۰	
۱/۰۸ r-t	۲/۱۸ s-u	۲/۴۶ u-x	۳۹/۷۶ y*b	۵۲/۴۶ e-s	۱۴/۶۶ d-f	۳/۷۳ d-j	۱۵/۳ j-q	صفر	1 mM
-	-	-	۶۴/۱۴ p-r	۴۹/۵ h-w	۱۱/۷۳ jk	۴/۲۶ a-d	۱۴/۸۶ o-q	۳۰	
۲/۱۶ i-m	۴/۱۴ c-k	۲/۵۳ k-p	۷۶/۳۴ d-k	۴۹/۳۲ h-w	۷/۶۱ p-r	۳/۸ c-j	۱۶ b-o	۶۰	
-	-	-	۸۰/۲۳ a-g	۵۳/۴۱ e-r	۶/۴۵ r-v	۳/۹۶ a-i	۱۵/۵۳ h-q	۹۰	
۳/۴ bc	۴/۶۸ a-f	۴/۷۸ bc	۷۹/۰۷ a-i	۶۱/۶۴ a-g	۴/۹۸ v	۴ a-i	۱۵/۴۳ i-q	۱۲۰	CA2 mM
۱/۸۳ l-q	۲/۲۴ s-u	۳/۲۱ o-t	۵۵/۳۶ tu	۴۷/۰۷ j-y	۱۷/۰۱ bc	۳/۹ a-j	۱۵ m-q	صفر	
-	-	-	۵۷/۷۹ s-u	۵۰/۵۳ g-u	۱۲/۳۲ h-j	۳/۳۶ j	۱۵/۵۶ h-q	۳۰	2 mM
۲/۳۷ g-l	۳/۶۶ j-p	۳/۷۵ i-o	۷۴/۱۴ h-l	۳۹/۷۳ t-*c	۸/۲۱ o-q	۳/۸۶ a-j	۱۴/۶۶ q	۶۰	
-	-	-	۷۸/۸ a-i	۵۳/۹۱ e-r	۵/۸۶ s-v	۳/۸۶ a-j	۱۶/۱ b-n	۹۰	
۲/۹ b-g	۴/۸۲ a-d	۴/۲۸ b-i	۸۰/۸۳ a-f	۵۷/۷ a-l	۵/۲۸ uv	۳/۹۳ a-i	۱۶/۵۳ a-i	۱۲۰	
۱/۶۸ m-r	۱/۵۹ uv	۳/۰۵ p-u	۴۱/۴۶ w*a	۴۲/۸۸ r-*b	۱۱/۷۲ i-k	۳/۶ g-j	۱۴/۹ n-q	صفر	
-	-	-	۶۵/۰۴ p-r	۵۰/۷۱ g-u	۹/۳۸ m-o	۳/۴۶ ij	۱۵/۴۳ i-q	۳۰	3 mM
۲/۴۸ f-k	۳/۲۵ m-q	۳/۴۳ m-r	۷۲/۴۹ j-m	۴۵/۴ m-*b	۷/۶۲ p-r	۳/۹۳ a-i	۱۵/۰۳ m-q	۶۰	
-	-	-	۷۸/۶۸ a-i	۶۳/۸۶ a-e	۷/۰۴ q-t	۳/۹۶ a-i	۱۵/۵۳ h-q	۹۰	
۲/۶۳ e-j	۴/۶۷ a-f	۴/۰۱ g-m	۷۷/۹۷ a-j	۵۹/۲۳ a-i	۵/۸۶ s-v	۴/۰۶ a-h	۱۵/۹۳ d-p	۱۲۰	
۰/۸۲ t	۱/۹۳ t-v	۲/۷۳ t-x	۴۴/۱۴ v-y	۳۶/۹۶ x-*c	۱۳/۴۹ f-h	۳/۷۳ d-j	۱۵/۷۳ d-q	صفر	
-	-	-	۶۴/۴۸ p-r	۵۲/۸۴ e-s	۱۲/۳۲ h-j	۴/۴ a	۱۵/۶ g-q	۳۰	صفر mM
۲/۰۹ i-o	۴/۰۹ d-k	۴/۰۶ g-l	۷۴/۱۱ h-l	۵۰/۳۹ g-u	۸/۲۱ o-q	۳/۸۸ a-j	۱۵/۶۳ f-q	۶۰	
-	-	-	۷۹/۴۵ a-h	۵۸/۷۸ a-j	۵/۲۸ uv	۳/۹ a-j	۱۵/۷۶ c-q	۹۰	
۳/۲۸ b-d	۴/۵۸ a-h	۴/۱۸ d-j	۷۹/۲۹ a-h	۶۶/۲۷ a-d	۶/۷۸ q-u	۳/۹۶ a-i	۱۶/۹ a-d	۱۲۰	
۱/۳۵ q-t	۲/۵۹ q-t	۲/۸۵ r-w	۴۱/۰۷ x*a	۴۳/۳۷ r-*b	۱۲/۹ g-i	۳/۹۳ a-i	۱۴/۹ n-q	صفر	
-	-	-	۶۵/۷۹ o-q	۵۷/۰۶ b-n	۱۲/۳۲ h-j	۴/۳ a-c	۱۶ b-o	۳۰	1 mM
۲/۸۶ c-g	۳/۷۷ i-o	۳/۸۶ h-n	۷۵/۱۷ g-l	۵۳/۳۴ e-r	۷/۰۴ q-t	۳/۸۷ a-j	۱۶/۰۳ b-o	۶۰	
-	-	-	۷۸/۵۳ a-i	۴۷/۹۹ h-x	۶/۱۶ r-v	۴/۰۳ a-h	۱۵/۳۶ i-q	۹۰	
۳/۴ bc	۴/۷۲ a-f	۴/۷۸ b-d	۷۸/۵۹ a-i	۶۳/۲ a-f	۵/۸۶ s-v	۳/۹۳ a-i	۱۶/۳۶ a-k	۱۲۰	CA3 mM
۱/۰۱ st	۲/۱۴ s-v	۲/۲۶ wx	۳۴/۸۳ *b	۳۳/۸۸ *a-c	۱۴/۶۶ d-f	۳/۷۳ d-j	۱۴/۷۳ pq	صفر	
-	-	-	۶۳/۵۱ p-r	۵۰/۵۴ g-u	۹/۳۸ m-o	۳/۹۶ a-i	۱۵/۵۶ h-q	۳۰	2 mM
۲/۸۸ c-g	۳/۸۳ h-o	۴/۲۶ c-i	۷۴/۷۸ g-l	۵۲/۳۱ e-s	۸/۲۱ o-q	۳/۹۳ a-i	۱۵/۰۳ m-q	۶۰	
-	-	-	۷۹/۸۵ a-g	۵۱/۴۵ f-t	۶/۷۴ q-u	۳/۹۶ a-i	۱۵/۱۳ l-q	۹۰	
۳/۰۱ b-f	۵/۰۱ ab	۴/۴۴ b-h	۷۹/۸۷ a-g	۴۵/۹۵ l-*a	۵/۶۹ t-v	۳/۹۳ a-i	۱۷ a	۱۲۰	
۱/۵۲ o-s	۱/۹۷ t-v	۲/۳۶ v-x	۳۸/۱۶ z*b	۳۴/۳۲ z-*c	۱۴/۱۷ e-g	۳/۷۶ c-j	۱۵/۱۶ k-q	صفر	
-	-	-	۶۰/۰۸ r-t	۴۵/۱۳ n-*b	۸/۲۱ o-q	۳/۴۶ ij	۱۵/۷۳ d-q	۳۰	3 mM
۲/۱۲ i-o	۳/۸۶ g-n	۳/۵ l-q	۶۶/۵۵ n-q	۳۶/۸ x-*c	۶/۴۵ r-v	۳/۷۶ c-j	۱۵/۶۳ f-q	۶۰	
-	-	-	۷۷/۹۶ a-j	۶۷/۷۷ ab	۶/۴۵ r-v	۳/۸۶ a-j	۱۵/۶۶ e-q	۹۰	
۲/۹۶ b-g	۵/۰۱ ab	۴/۳۴ b-i	۷۸/۰۸ a-i	۶۳/۸۵ a-c	۵/۵۷ t-v	۳/۹ a-j	۱۶/۹۶ a-c	۱۲۰	

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال $p \leq 0.05$ است.

pH میوه

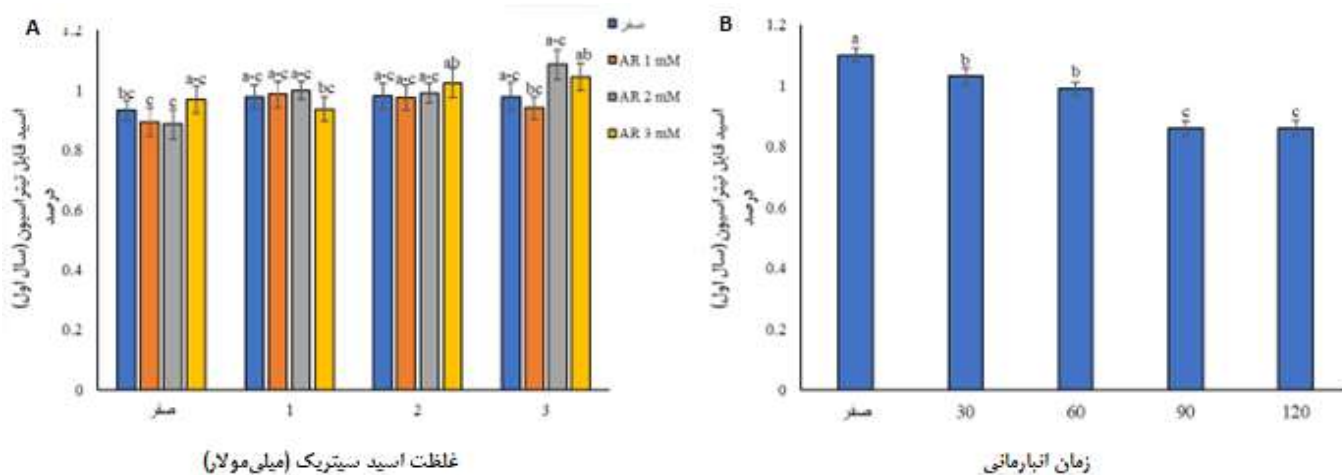
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد در آزمایش سال اول در مقدار pH میوه، اثرهای متقابل سه‌گانه در سطح یک درصد و تأثیر دوگانه تمامی تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در سال دوم آزمایش اثر اصلی آرژنین، اسیدسیتریک و زمان در سطح یک درصد و اثر متقابل دوگانه اسیدسیتریک و آرژنین در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرهای سه‌گانه نشان داد در سال اول بیشترین مقدار pH میوه با میانگین ۴/۴ مربوط به تیمار ۳ میلی‌مولار اسیدسیتریک به همراه غلظت صفر آرژنین در روز ۳۰ ام انبارمانی بود و کمترین آن با میانگین ۳/۳۶ مربوط به تیمار ۲ میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با ۲ میلی‌مولار آرژنین و ۳۰ روز پس از شروع انبارمانی به‌دست آمد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی تا روز ۳۰ ام pH میوه در اکثر تیمارها افزایش یافت و سپس روند کاهشی پیدا کرد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین در سال دوم آزمایش نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی pH میوه افزایش یافت به‌طوری که در روز ۱۲۰ انبارمانی pH میوه برابر با ۳/۸۹ بود که نسبت به زمان شروع انبارمانی (روز صفر) ۱۵ درصد افزایش یافت. مقایسه میانگین اثرهای دوگانه اسیدسیتریک و آرژنین نشان داد که در سطح صفر اسیدسیتریک با افزایش غلظت آرژنین میزان pH میوه افزایش یافت. ولی در سطوح ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار اسیدسیتریک در ابتدا افزایش ولی رفته‌رفته کاهش یافت (شکل ۲-B، A-۲).



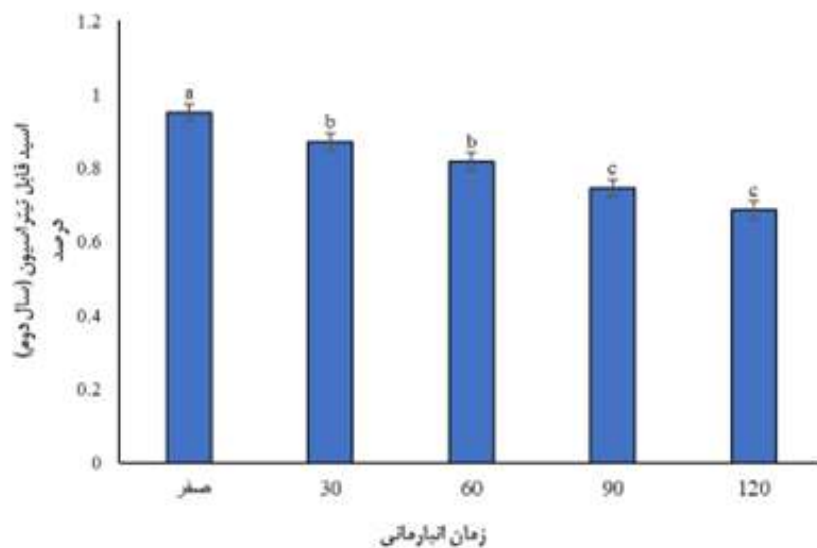
شکل ۲. مقایسه میانگین pH میوه در سال دوم آزمایش در انار. (A) اثر متقابل اسید سیتریک و آرژنین اثر اصلی مدت زمان انبارمانی (منبع: یافته‌های تحقیق).

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 آرژنین 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 آرژنین نشان داد که بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به تیمار ۳ میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با ۲ میلی‌مولار آرژنین و کمترین آن در تیمار صفر میلی‌مولار اسیدسیتریک همراه با ۲ میلی‌مولار آرژنین مشاهده شد (شکل ۳-B، A-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 آرژنین تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (شکل ۴).



شکل ۳. مقایسه میانگین اسید قابل تیتراسیون در سال اول آزمایش در انار. (A) اثر متقابل اسید سیتریک و آرژینین (B) اثر اصلی مدت زمان انبارمانی (منبع: یافته‌های تحقیق).

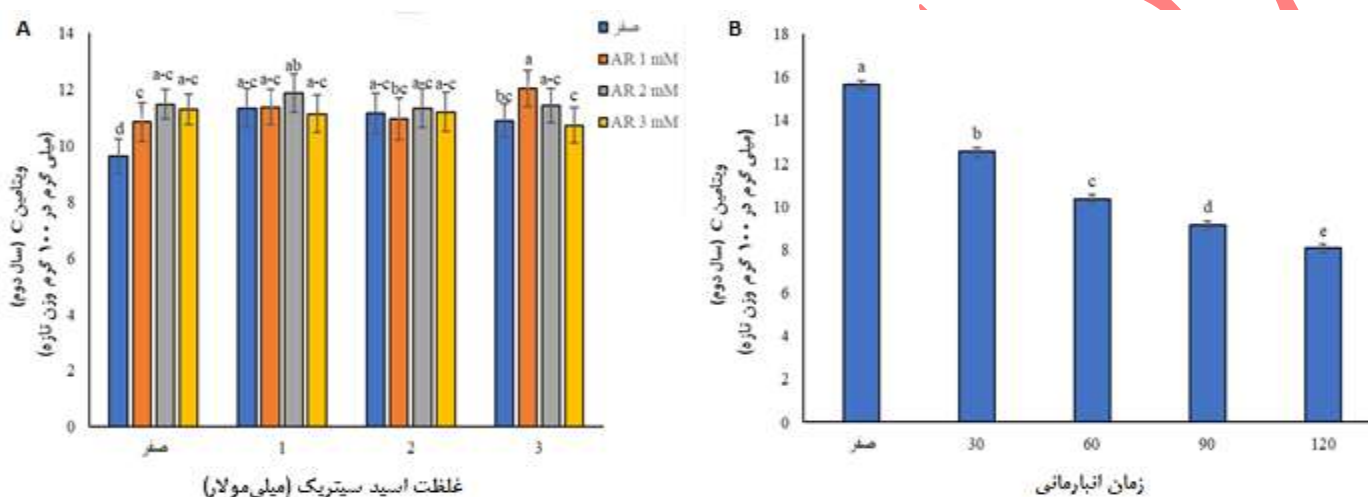


شکل ۴. مقایسه میانگین مدت زمان انبارمانی اسید قابل تیتراسیون در سال دوم آزمایش در انار (منبع: یافته‌های تحقیق).

ویتامین C

نتایج حاصل از تجزیه واریانس محتوای ویتامین C نشان داد که در سال اول آزمایش اثرهای متقابل سه‌گانه 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 C با میانگین ۱۸/۷۷ میلی گرم در ۱۰۰ گرم مربوط به تیمار ۱ میلی مولار اسیدسیتریک و بدون آرژنین در شروع انبارمانی (روز صفر) بود و کمترین محتوای این صفت با میانگین ۴/۹۸ میلی گرم در ۱۰۰ گرم در تیمار ۱ میلی مولار اسیدسیتریک همراه با ۳ میلی مولار آرژنین در پایان مدت انبارمانی (روز ۱۲۰) مشاهده گردید. در پایان مدت انبارمانی بین تیمارهای ۳ میلی مولار آرژنین و بدون اسیدسیتریک و ۲ میلی مولار اسیدسیتریک و ۱ میلی مولار آرژنین تفاوت معنی داری مشاهده نشد و این دو نیز کمترین محتوای ویتامین C را داشتند. با افزایش مدت انبارمانی محتوای ویتامین C کاهش یافت ولی با افزودن اسیدسیتریک و آرژنین افزایش در مقدار این صفت مشاهده شد (جدول ۲). در سال دوم آزمایش نیز با افزایش مدت انبارمانی محتوای ویتامین C کاهش یافت به طوری که در روز ۱۲۰ انبارمانی نسبت به روز صفر، ۵۰ درصد کاهش مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش بین اسیدسیتریک و آرژنین نشان داد که بیشترین محتوای این صفت مربوط به تیمار ۳ میلی مولار اسیدسیتریک همراه با ۱ میلی مولار آرژنین و کمترین این صفت مربوط به شاهد بود (شکل ۵-B، ۵-A).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ویتامین C در سال دوم آزمایش بر میوه انار (A) اثر متقابل اسید سیتریک و آرژنین (B) اثر اصلی مدت انبارمانی (منبع: یافته‌های تحقیق).

نشت یونی

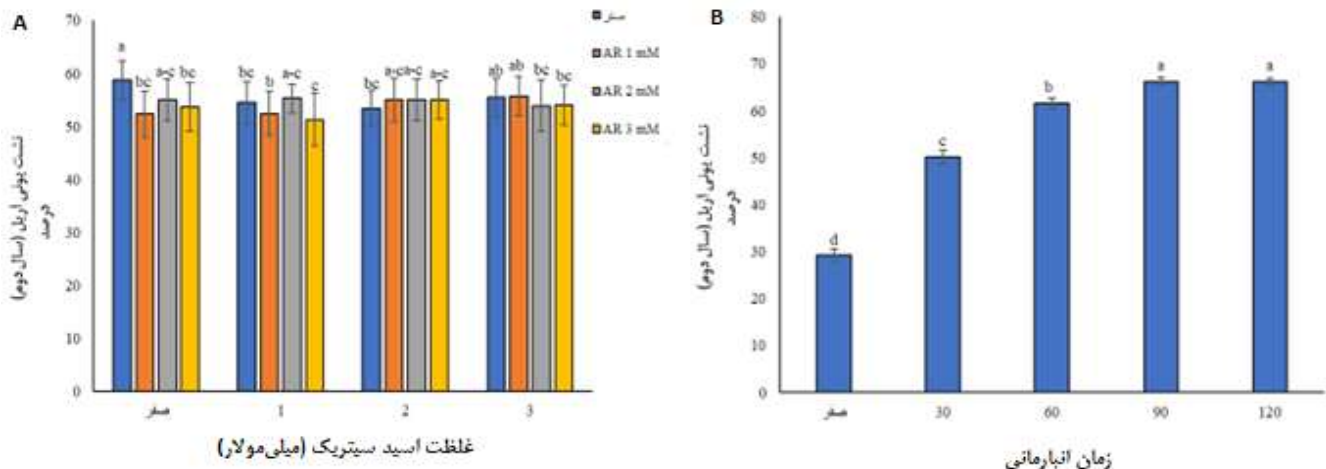
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشت یونی پوست در تحقیق سال اول نشان داد که اثرهای اصلی زمان در سطح ۵ درصد معنی دار بود و در سال دوم اثرهای متقابل سه گانه در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین مدت زمان انبارمانی نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی، نشت یونی پوست رو به افزایش است به طوری که در روز ۱۲۰ انبارمانی نسبت به شروع انبارمانی (روز صفر) ۶۹ درصد افزایش مشاهده شد. اگر چه بین سطوح مختلف آرژنین تفاوت اندکی برای این صفت مشاهده گردید ولی از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری وجود داشت به طوری که بیشترین نشت یونی پوست مربوط به ۲ میلی مولار آرژنین و کمترین آن مربوط به تیمار ۱ میلی مولار آرژنین بود (شکل ۶-B، ۶-A). نتایج مقایسه میانگین در سال دوم آزمایش نشان داد که بیشترین میزان نشت یونی با میانگین ۸۲/۷۱ درصد مربوط به غلظت صفر آرژنین و غلظت صفر اسید سیتریک (شاهد) در روز ۱۲۰ انبارمانی بود و کمترین آن با میانگین ۳۴/۸۳ درصد مربوط به تیمار ۳ میلی مولار اسیدسیتریک همراه با ۲ میلی مولار آرژنین در روز صفر انبارمانی بدست آمد. اعمال اسیدسیتریک یا آرژنین سبب کاهش نشت یونی گردید به طوری که اسیدسیتریک و آرژنین به ترتیب سبب کاهش ۳ و ۴ درصدی این صفت گردید (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشت یونی آوریل در سال اول آزمایش نشان داد که اثر متقابل سه گانه و اثر متقابل دوگانه آرژنین و زمان در سطح ۵ درصد و اثرهای اصلی زمان و اسیدسیتریک در سطح یک درصد معنی دار و در سال دوم آزمایش تمامی تیمارها (اثرهای اصلی، اثرهای دوگانه و اثرهای سه گانه) در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه گانه سال اول آزمایش نشان داد که بیشترین نشت یونی آوریل با میانگین ۶۹/۳۳ درصد مربوط به غلظت صفر آرژنین و غلظت صفر اسید سیتریک (شاهد) در روز ۱۲۰ انبار مانی بود و کمترین آن با میانگین ۲۹/۷۲ درصد مربوط به تیمار ۱ میلی مولار اسیدسیتریک همراه با ۲ میلی مولار آرژنین و صفر روز انبار مانی مشاهده گردید. نتایج نشان داد که نشت یونی آوریل با افزایش مدت زمان انبار مانی روند رو افزایشی داشت که با اعمال تیمار اسیدسیتریک و آرژنین این روند کمتر گردید (جدول ۲). در سال دوم آزمایش نیز مانند سال اول آزمایش اسیدسیتریک و آرژنین سبب کاهش نشت یونی و مدت زمان انبار مانی سبب افزایش نشت یونی آوریل گردید (شکل A-۷، B-۷).

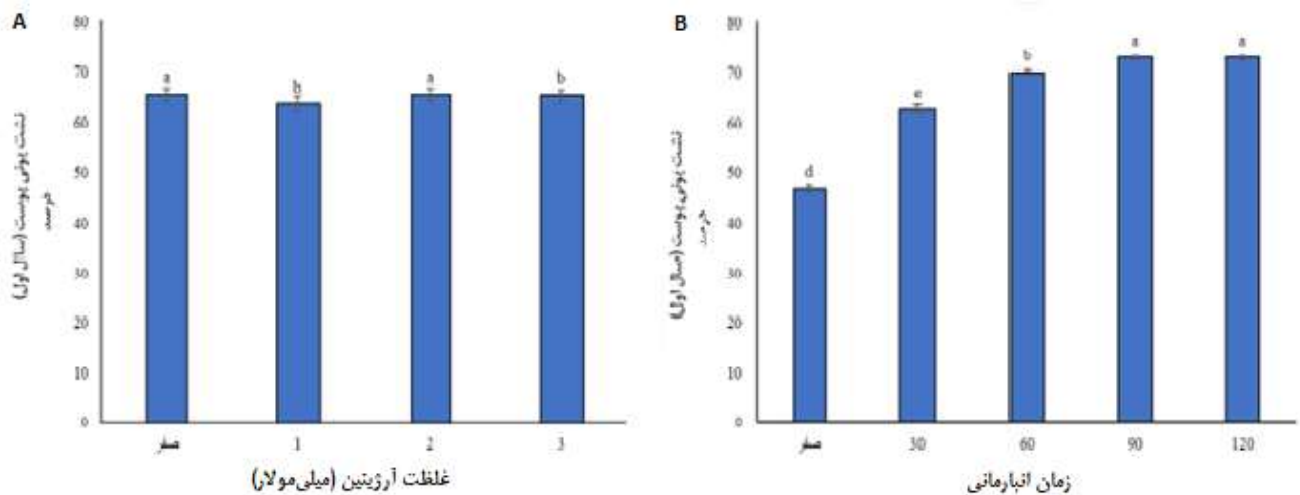
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس کاربرد پیش از برداشت آرژنین و اسید سیتریک بر صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی میوه انار طی دوره انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		نشت یونی پوست سال اول	نشت یونی پوست سال دوم	نشت یونی آوریل سال اول	نشت یونی آوریل سال دوم	مالون دی آلدئید آوریل سال اول	مالون دی آلدئید آوریل سال دوم	مالون دی آلدئید پوست سال اول	مالون دی آلدئید پوست سال دوم
بلوک	۲	۰/۰۲۸ ns	۰/۵۷ *	۱۲۳/۰۴ ns	۰/۱۷ *	۰/۲۷ ns	۰/۰۵۸ *	۰/۰۵۴ *	۰/۰۰۸ ns
اسید سیتریک	۳	۰/۱۶ ns	۰/۸۰ ns	۱۴۷/۴۶ **	۰/۲۷ **	۳/۵۴ **	۰/۰۱۳ ns	۴/۹۰ **	۰/۱۲ **
آرژنین	۳	۰/۲۷ *	۰/۵۷ **	۳۰۱/۳۹ ns	۰/۹۶ **	۰/۵۰ *	۰/۱۷ **	۰/۲۲ ns	۰/۰۲۵ ns
اسید سیتریک * آرژنین	۹	۰/۰۵۲ ns	۰/۳۹ *	۸۳/۰۷ ns	۰/۱۳ **	۱/۳۰ **	۰/۰۳۲ **	۰/۵۸ **	۰/۰۵۱ **
زمان	۴	۲۵/۰۳ **	۴۹/۲۷ **	۲۵۶۵/۲۸ **	۴۹/۱۶ **	۲۷/۳۳ **	۰/۸۲ **	۲۸/۸۵ **	۵/۹۹ **
اسید سیتریک * زمان	۱۲	۰/۰۷۸ ns	۰/۱۷ ns	۷۲/۱۸ ns	۰/۱۱ **	۰/۴۹ **	۰/۰۱۴ ns	۰/۵۴ **	۰/۰۲۹ ns
آرژنین * زمان	۱۲	۰/۰۶۸ ns	۱۳۳/۹۱ *	۱۳۳/۹۱ *	۰/۱۴ **	۰/۸۶ **	۰/۰۴۰ **	۰/۶۴ **	۰/۰۵۸ **
اسید سیتریک * آرژنین * زمان	۳۶	۰/۱۰ ns	۰/۲۲ **	۸۷/۹۸ *	۰/۱۵ **	۰/۳۱ **	۰/۰۱۳ ns	۰/۵۴ **	۰/۰۳۱ *
خطا	۱۲۰	۳/۹۵	۰/۱۴	۵۸/۲۲	۰/۰۴۸	۰/۱۴	۰/۰۱۲	۰/۱۳۶	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات %	-	۳/۵۴	۴/۶۲	۱۵/۰۵	۶/۰۵	۱۶/۱۰	۷/۷۷	۹/۸۴	۶/۹۶

ns: عدم معنی داری *: اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ **: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ (منبع: یافته‌های تحقیق).



شکل ۶. مقایسه میانگین نشت یونی آریل در سال دوم آزمایش در انار. (A) اثر متقابل اسید سیتریک و آرژینین، (B) اثر اصلی مدت زمان انبارمانی (منبع: یافته‌های تحقیق).

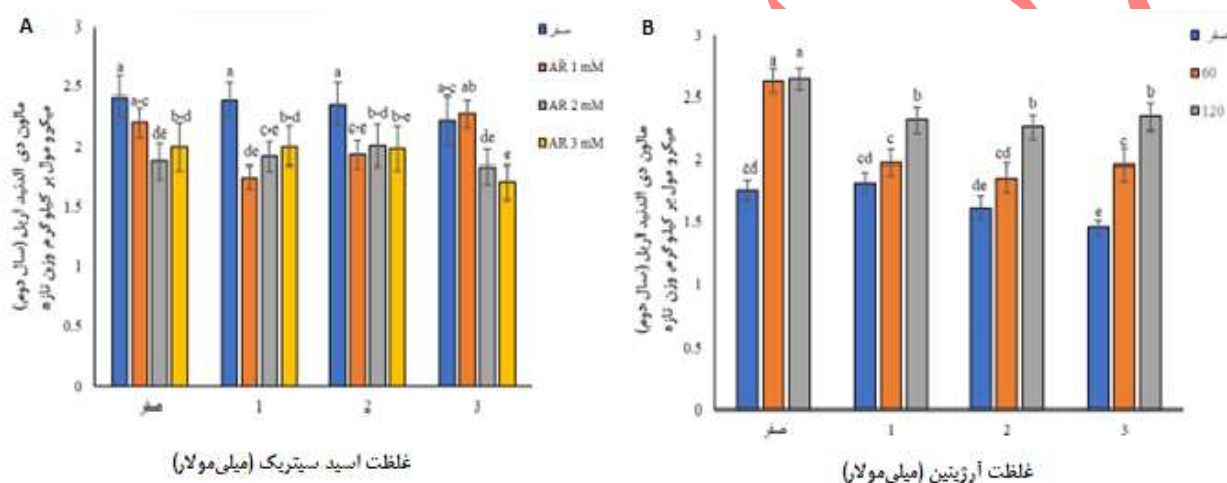


شکل ۷. مقایسه میانگین نشت یونی پوست در سال اول آزمایش در انار. (A) اثر اصلی آرژینین، (B) اثر اصلی مدت انبارمانی (منبع: یافته‌های تحقیق).

مالون دی آلدئید

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مالون دی آلدئید در این تحقیق نشان داد که اثرهای متقابل سه گانه در پوست و آریل برای سال اول و همچنین در سال دوم برای پوست معنی دار بود و مالون دی آلدئید در سال دوم برای اثرهای متقابل دو گانه آرژینین و زمان و اثرهای متقابل دو گانه اسیدسیتریک و آرژینین در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین مالون دی آلدئید در سال اول در پوست و آریل نشان داد که بیشترین محتوای مالون دی آلدئید مربوط به غلظت صفر آرژینین و اسید سیتریک (شاهد) و ۱۲۰ روز انبارمانی و کمترین آن مربوط به تیمار ۲ میلی مولار اسیدسیتریک، بدون آرژینین و در روز صفر انبارمانی مشاهده گردید. اعمال تیمار اسیدسیتریک سبب کاهش ۱۹ درصد و تیمار آرژینین سبب کاهش ۱۶ درصدی محتوای مالون دی آلدئید گردید (جدول ۲). در سال دوم تحقیق محتوای این صفت در پوست با اعمال تیمار اسیدسیتریک در سطح ۲ میلی مولار بیشترین کاهش را از خود نشان داد به طوری که سبب کاهش ۱۲ درصد گردید. با افزودن آرژینین میزان این صفت در پوست کاهش یافت، به طور میانگین

سبب کاهش ۵ درصدی مالون دی آلدئید نسبت به گردید. به هنگام اعمال همزمان اسیدسیتریک و آرژینین نتایج متفاوتی به دست آمد به طوری که در سطح ۲ میلی مولار اسیدسیتریک و تمامی سطوح آرژینین کاهش میزان مالون دی آلدئید مشاهده شد ولی در سایر تیمارها اثر همکنش بین این دو تیمار سبب افزایش این صفت گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل آریل در سال دوم نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی میزان مالون دی آلدئید به میزان ۳۴ درصد افزایش ولی با اعمال تیمار آرژینین کاهش ۱۱ درصدی این صفت مشاهده شد. همچنین اثر متقابل اسید سیتریک و آرژینین نیز نشان داد که با افزایش همزمان سطوح هر دو تیمار میزان مالون دی آلدئید به شدت کاهش می یابد به طوری که در سطح اسید سیتریک ۳ میلی مولار همراه با آرژینین ۳ میلی مولار نسبت شاهد ۳۰ درصد کاهش داشت (شکل ۸).



شکل ۸. مقایسه میانگین محتوای مالون دی آلدئید آریل سال دوم آزمایش در انار. (A) اثر متقابل اسید سیتریک و آرژینین، (B) اثر متقابل آرژینین و زمان (منبع: یافته‌های تحقیق).

بحث

افزایش مواد جامد محلول در مدت انبارمانی ممکن است مربوط به کاهش آب میوه و یا شکسته شدن پلی ساکاریدهای دیواره سلولی و تبدیل آنها به ترکیبات ساده تر و قندهای محلول باشد (Wills et al., 1980). نتایج این پژوهش با نتایج به دست آمده در انار (Rastegari et al., 2013) و موز (Khanbarad et al., 2012) که گزارش کردند مواد جامد محلول در مدت انبارمانی افزایش یافت همسو بود. هر عاملی که از شکستن دیواره‌های سلولی جلوگیری کند و یا آن را کاهش دهد باعث جلوگیری از افزایش غیرعادی TSS خواهد شد. براساس گزارش های Ayala-Zavala et al (2007), Alizadeh Dashghapo et al (2008) کاهش محتوای مواد جامد محلول و تغییرات مشاهده شده در pH و اسیدهای کل میوه‌های توت‌فرنگی به دلیل شکستن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتینی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیه قندها به واحدهای کوچکتر (سازنده) در طی فرآیند تنفس می‌باشد. Bekran et al (2018) با مطالعه اثر پوشش‌های حاوی نانو سیلیکات 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 بر روی قارچ دکمه‌ای با تیمار آرژینین گزارش کردند، کمترین مقدار افزایش و تغییرات در میزان مواد جامد محلول در قارچ‌های تیمار شده با آرژینین مشاهده شد که با یافته‌های پژوهش می‌گردد همخوانی دارد.

اسیدهای آلی موجود در میوه به عنوان سوبسترای واکنش‌های آنزیمی تنفس به کار می‌روند. در طی دوره انبارمانی به علت فرایند تنفس و تجزیه اسیدهای آلی، pH عصاره میوه افزایش می‌یابد. بیشتر اسیدهای آلی متابولیت‌های ثانویه هستند که در نتیجه چرخه اسیدسیتریک به وجود می‌آیند و در طی تنفس مصرف می‌شوند. به همین دلیل pH با افزایش مدت انبارمانی افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده 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 فرایندهای متابولیکی سلول، از کاهش اسیدهای آلی جلوگیری می‌کند که در بلند مدت باعث حفظ اسیدهای آلی و کاهش pH آب میوه انار می‌گردد (Pirzad, 2017). در مطالعه‌ای بررسی انبارمانی میوه آلو نشان دادند که تیمار اسیدسالیسیلیک میزان افزایش pH آب میوه نسبت به نمونه‌های شاهد را کاهش داد که مغایر با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر است. این اثر ممکن است به دلیل تأخیر فرایندهای تجزیه‌ای 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 سوخت و ساز طی اکسایش اسیدها در چرخه کربس مصرف می‌شوند (Run et al., 2008). هر عاملی که باعث کاهش میزان تنفس و تولید اتیلن گردد، به واسطه 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 روی انار رقم واندرفول 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 بر روی هلو انجام دادند گزارش کردند، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در طول انبارداری کاهش یافت ولی استفاده از تیمارهای آرژنین و اسید سیتریک موجب کاهش کمتر میزان اسیدیته نسبت به شاهد شد. به نظر می‌رسد اعمال تیمار اسیدسیتریک و آرژنین باعث کندی متابولیسم و فرایندهای تنفسی و پیری محصول می‌شود و می‌تواند سرعت تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون را در طول انبارداری کاهش داده یا به تأخیر بیندازد.

ویتامین C (آسکوربیک اسید) یکی از ترکیبات اصلی تشکیل دهنده سیستم آنتی‌اکسیدانی محسوب می‌گردد که می‌تواند به طور مستقیم سبب از بین رفتن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شده و مقادیر آن توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تنظیم می‌گردد. ویتامین C در میوه نه تنها مسئول از بین بردن ROS می‌باشد، بلکه به عنوان دهنده الکترون به آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) در چرخه آسکوربات-گلوتاتیون (ASC-GSH) جهت تجزیه هیدروژن پراکسید نقش دارد (Wang et al., 2013). از این رو در دوره انبارمانی میزان ویتامین C به دلیل مصرف آن به عنوان دهنده الکترون به اکسیدان‌ها جهت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد کاهش می‌یابد (Smimoff, 1995). در این پژوهش مقدار ویتامین C در همه تیمارها کاهش پیدا کرد ولی این کاهش در میوه‌های شاهد در مقایسه با میوه‌های تیمار شده بیشتر بود. به نظر می‌رسد مقادیر بالای ویتامین C در میوه‌های تیمار شده با آرژنین و اسید سیتریک به دلیل کاهش فعالیت آنزیم آسکوربیک اسید اکسیداز و افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) باشد. یافته‌های این قسمت با نتایج (Liu et al., 2016) که میوه چری مویا را با اسید سیتریک تیمار کردند و همچنین نتایج (Shu et al., 2020) که میوه توت فرنگی 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 بسزایی در افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و افزایش نشت یونی غشا دارد (Perez- Gago et al., 2006). از این رو تیمار با آرژنین و اسیدسیتریک با ممانعت از عمل اتیلن، از افزایش اکسیداسیون سلول و به دنبال آن آسیب غشای سلول جلوگیری می‌کند. در واقع 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 شده است که ترکیب و مقدار لیپیدهای غشا در طول انبار سرد تغییر می‌کند و مقدار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع و همچنین نسبت اسید چرب غیراشباع به اشباع کاهش می‌یابد در حالی که 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 بررسی تیمار متیل جاسمونات و آرژینین نشان داد که در هر دو سال آزمایش با گذشت مدت زمان انبارمانی میزان نشت یونی در همه تیمارها افزایش یافت ولی در زمان برداشت و طول دوره انبارمانی کمترین نشت یونی مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار آرژینین و بیشترین آن مربوط به شاهد بود؛ که با نتایج ما مطابقت داشت (Babalara et al., 2018).

Zhang et al (2010) گزارش دادند که در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با آرژینین میزان نشت یونی و تجمع مالون‌دی آلدئید طی مدت انبارمانی به شدت کاهش یافت. آنها بیان کردند که یکپارچگی غشای سلولی میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با آرژینین ممکن است ناشی از افزایش در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و APX باشد که با از بین بردن ROS از خسارت اکسید شدن غشایی جلوگیری به عمل می‌آورد. همچنین Sheng et al (2016) گزارش کردند که تیمارهای آرژینین و متیل جاسمونات از طریق کاهش نشت یونی و MDA میزان قهوه‌ای شدن پوست میوه‌های انار که در دماهای پایین اتفاق می‌افتد را کاهش دادند. تیمارهای آرژینین و متیل جاسمونات نه تنها منجر به کاهش تمایل تغییر غشایی قسمت پوست میوه از حالت مایع به حالت جامد ژل مانند شدند، بلکه این تیمارها 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

به کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مدت انبارمانی، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژی میوه انار تغییر می‌کند که منجر به کاهش کیفیت، بازارپسندی و تقاضای خرید آن توسط مشتری می‌گردد. استفاده از تیمارهای آرژینین و اسید سیتریک نسبت به شاهد موجب بهبود صفات مورد اندازه‌گیری شد. از بین تیمارهای مختلف تیمار آرژینین ۲ میلی‌مولار، اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار و تیمار ترکیبی آرژینین ۲ میلی‌مولار و اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار در بیشتر صفات نتایج بهتری نشان دادند. تیمارهای آرژینین و اسید سیتریک با کاهش میزان نشت یونی و مالون دی آلدئید، سبب کاهش قهوه‌ای شدن پوست و حفظ غشای سیتوپلاسمی میوه انار شدند. همچنین میوه‌های انار تیمار شده با آرژینین و اسید سیتریک و بر همکنش آنها میزان ویتامین C و اسیدیت قابل تیتراسیون بیشتر و مواد جامد محلول و پی‌اچ کمتری در مقایسه با میوه‌های شاهد داشتند. کنترل عوامل موثر بر کاهش کیفیت میوه انار در مرحله پس از برداشت، از اهمیت بالایی برخوردار است. پس می‌توان با کاربرد تیمارهای مختلف از جمله آرژینین و اسید سیتریک که مواد طبیعی بوده و آثار مخربی بر میوه نمی‌گذارند، ضایعات میوه انار را در مرحله پس از برداشت کاهش و عمر انبارمانی انار را افزایش داد.

منابع

آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۲). وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات
احمدی، کریم؛ حاتمی، فرشاد، حسین پور، ربابه؛ عبدشاه، هلداد و عبادزاده، حمیدرضا. (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی. چاپ یکم. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.
الحج العلی، فارس. (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد آرژینین و اسید سیتریک بر فیزیولوژی پس از برداشت و سرمازدگی میوه هلو ارقام آلبرتا (زودرس و دیررس). رساله دکتری. به راهنمایی محمد علی عسکری سرچشمه. تهران: دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.

بکران، عاطفه؛ سیفی، اسماعیل و وارسته، فریال. (۱۳۹۷). مطالعه اثر پوشش های حاوی نانوسیلیکات بر انبارمانی انار رقم ملس ساوه. مجله علوم غذایی و تغذیه ای، ۱۶ (۱)، ۴۹-۶۰.

پیرزاد، فرهاد (۱۳۹۶). تأثیر تیمارهای قبل و پس از برداشت آرژنین و متیل جاسمونات بر سرمازدگی پس از برداشت و کیفیت تغذیه ای میوه انار رقم ملس ساوه. رساله دکتری. به راهنمایی مصباح بابالار. تهران: دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.

جلیلی مرندي، ر. (۱۳۹۱). فیزیولوژی بعد از برداشت. (جابه جایی و نگهداری میوه، سبزی و گیاهان زینتی). انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. ۲۷۶ ص.

داشقاوی علیزاده، محبوب (۱۳۸۷). اثرات کلرید کلسیم و پوتریسین برون زاد روی کیفیت و عمر انباری دو رقم هلو (*Prunus persica*. L) "جی. اچ. هیل" و "مخملی". پایان نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی محمد جواد سلیمانی. همدان: دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی.

رستگاری، حمیده؛ تهرانی فر، علی؛ نعمتی، سید حسین و وظیفه شناس، محمدرضا (۱۳۹۲). کاربرد اسید سالیسیلیک قبل از برداشت میوه بر خصوصیات پس از برداشت انار و نگهداری در انبار سرد. نشریه علوم باغبانی، ۲۸ (۳)، ۳۶۰-۳۶۸.

میردهقان، سید حسین. و راحمی، مجید. (۱۳۸۹). تعیین زمان ایجاد خسارت سرمازدگی میوه انار (*Punica granatum* L.) در طول نگهداری در سردخانه. مجله علوم باغبانی ایران، ۴۱ (۱)، ۱۱-۱۸.

ویلس، ران؛ مک گلاسون، باری؛ گراهام، داگ و جویس، داریل. (۱۳۸۷). فیزیولوژی پس از برداشت. ترجمه مجید راحمی. شیراز: موسسه انتشارات دانشگاه شیراز. ۴۳۷ ص.

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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, *J. Biol. Sci.* 3, 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.
- 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. Technol.* 22: 61-69.
- Perez-Gago, M. B., Serra, M., and 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., & Shahrabaki, H. (2004). Manual of planting, Growing and harvesting pomegranate. *Agriculture Education Press, Tehran, Iran*, 148 pp.
- 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. *Environ Sci Pollut 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. Translator Rahemi majid. Shiraz (In persian).
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M., and 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(March), 111253.
- Sidhu, H.S., Díaz-Pérez, J.C., & Maclean, D.(2019). Controlled atmosphere storage for pomegranates (*Punica granatum* L.): benefits over regular air storage. *Hort Science*, 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., and 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*, 123-126.
- Zahan, M. I., Karim, M., Imran, S., Hunter, C. T., Islam, S., Mia, A., Hannan, A., & Rhaman, 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.
- 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. *Jornal 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.

Intruduction

Low-temperature storage is the most important postharvest strategy to preserve horticultural crops, contributing to extend the shelf life and maintain the nutraceutical quality. Pomegranate fruit with high economic value, endemic to subtropical climates, is highly vulnerable to chilling injury (CI), which limits the usage of low temperature storage. great efforts have been made by researchers to attenuate its chilling injury during low temperature storage by exerting postharvest strategy such as polyamines, salicyloyl chitosan, modified atmosphere packaging, 1-methylcyclopropene and heat treatment. An issue that has attracted a lot of attention today is the use of natural compounds that are compatible with plants, nature and humans in the production and maintenance of products. Amino acids such as proline, phenylalanine and arginine and organic acids such as oxalic acid, salicylic acid, cinnamic acid and citric acid are natural compounds of interest. Arginine is an essential amino acid and is crucial to enhance tolerance of horticultural commodities to chilling stress by biosynthesizing signaling molecules such as polyamines, nitric oxide, proline and agmatine. Citric acid is a weak organic acid that is used as an antioxidant to improve the yield and quality of fruits. Citric acid has various applications in plant metabolism, one of which is to

neutralize free radicals. Citrate produced in the citric acid metabolism is a precursor for the production of arginine, proline and thiamine.

Material and methods

This study was carried out as a factorial in a randomized complete block design and three replications over two successive years on 10-year-old pomegranate trees of the Meykhosh variety in one of the commercial gardens of Ardakan, Yazd. The foliar application of arginine and citric acid treatments and simultaneous application of arginine and citric acid were done at three different times at 20 d interval before commercial harvest. Treatments included arginine (0, 1, 2, 3 mM), citric acid (0, 1, 2, 3, mM), and simultaneous treatment of arginine and citric acid (concentrations of 1 mM arginine with 1, 2 and 3 mM citric acid, 2 mM arginine with 1, 2 and 3 mM citric acid and 3 mM arginine with 1, 2 and 3 mM citric acid.). At commercial harvest, fruits were harvested and transported to the cold storage And stored at 4 ± 0.5 °C (85–90% RH) for 120 d.

Biochemical indices measured were as follows: total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TA), Ph, vitamin C (ascorbic acid), aril and peel electrolyte leakage (EL) , aril and peel malondialdehyde (MDA)

Result and discution

The results of means comparison showed that TSS content was increased during storage, but the increase rate was lower in treated fruits. The increase of TSS during the storage period may be related to the reduction of fruit juice or the breakdown of cell wall polysaccharides and their conversion into simpler compounds and soluble sugars. Arginine and citric acid treatments prevent the reduction of organic acids and the increased of TSS by reducing respiration and ethylene production. The result showed vit c decreased during the storage period but citric acid and arginine treatments prevent the reduction of organic acids by reducing respiration and reducing the speed of cell metabolic processes. Based on the obtained results During the storage period, the pH of the fruit extract increased due to the process of respiration and decomposition of organic acids but citric acid and arginine treatments maintained the pH level and prevented its increase during the storage period. TA content was decreased during storage, but the decrease rate was lower in treated fruitsTA. The concentration of organic acids has a positive correlation with TA. It seems that treatments such as citric acid and arginine slow down the metabolism and respiration process and can reduce or delay the rate of TA changes during storage. MDA and EL was increased during storage but citric acid and arginine treatments prevent the increasion of MDA and EL. It seems that treatments prevented the peroxidation of membrane fatty acids of pomegranate fruits by active oxygen radicals and lipoxygenase enzyme. In general, the results of this research showed that the use of citric acid and arginine improved the traits compared to the control treatment, The treatments of arginine 2 mM, citric acid 3 mM and combined treatment of arginine 2 mM and citric acid3mM had significantly less chilling injury than control fruits

Conclusion

The results of this research showed that during storage, the biochemical and physiological characteristics of pomegranate fruit change, which leads to a decrease in quality, as well as marketability and a decrease in its purchase by customers. The use of different treatments, including arginine and citric acid, which are natural substances, prevented these changes to a significant extent.