

تأثیر ژل آلوئه‌ورا بر کاهش سرمازدگی، پوسیدگی و حفظ ویژگی‌های کیفی میوه انار (*Punica granatum* L.) طی دوره انبارمانی

ساناز مولائی^۱، ولی ربیعی^{۲*}، علی سلیمانی^۳ و فرهنگ رضوی^۳

۱، ۲. دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۵)

چکیده

انار (*Punica granatum* L.) از میوه‌های نیمه‌گرمسیری و حساس به سرمازدگی است، لذا نگهداری آن در سردخانه با محدودیت‌هایی همراه می‌باشد. در این مطالعه تأثیر پوشش ژل آلوئه‌ورا (۰، ۴۰ و ۸۰ درصد) بر سرمازدگی، کیفیت تغذیه‌ای و پوسیدگی میوه انار طی ۹۰ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌برداری جهت سنجش صفات مورد نظر طی سه دوره ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روزه انجام گرفت. نتایج نشان داد تیمار ژل آلوئه‌ورا درصد سرمازدگی و پوسیدگی را به طور معنی‌داری کاهش داد و پس از ۹۰ روز انبارمانی کمترین میزان سرمازدگی (۱۱/۱۶ درصد) و پوسیدگی (۱۸/۶۶ درصد) در میوه‌هایی تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۸۰ درصد مشاهده شد. این تیمار همچنین سطح مالون‌دی‌آلدهید (به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشا)، نشت الکترولیت و کاهش وزن میوه را به خوبی کنترل نموده است. علاوه بر این، تیمار ۸۰ درصد آلوئه‌ورا موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و حفظ میزان اسید آسکوربیک شد. مقادیر بالای فنول کل، فلاونوئید و آنتوسیانین در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا مشاهده شد که در نتیجه فعالیت بالای آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز و فعالیت پایین آنزیم پلی‌فنول اکسیداز بود. در نتیجه، کاربرد ژل آلوئه‌ورا با غلظت ۸۰ درصد، به عنوان یک پوشش طبیعی، می‌تواند و ایمن موجب افزایش تحمل به تنش سرمایی و حفظ خواص کیفی میوه انار در طول دوره انبارمانی شود.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، نشت الکترولیت، مالون‌دی‌آلدهید، فنول کل.

Effect of *Aloe vera* gel on chilling injury, decay and nutritional quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit during cold storage

Sanaz Molaei¹, Vali Rabieci^{2*}, Ali Soleimani² and Farhang Razavi³

1, 2, 3. Ph.D. Candidate, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received: Aug. 19, 2020- Accepted: Nov. 15, 2020)

ABSTRACT

Pomegranate (*punica granatum* L.) is one of the subtropical fruits and sensitive to chilling injury, so preservation of that in cold storage is associated with some limitations. In this study the impacts of *Aloe vera* gel (0, 40 and 80 %) on chilling injury, nutritional quality and decay of pomegranate fruit, during 90 days at 4 °C and 85-90 % relative humidity were evaluated. Sampling to determination of intended criteria were done at 30, 60 and 90 days of cold storage. Results showed that *Aloe vera* gel decreased the chilling injury and decay incidence significantly and the lowest level of chilling injury (11.6 %) and decay incidence (18.66 %) were observed in fruits with 80% of *Aloe vera* gel treatment after 90 days of storage. Also this treatment controlled well the levels of malondialdehyde (as an indicator of membrane lipids peroxidation), electrolyte leakage, and weight loss. Furthermore, 80% of *Aloe vera* gel treatment enhanced the antioxidant capacity and the activity of superoxide dismutase, catalase and ascorbate peroxidase and preserved the ascorbic acid content at higher level. High levels of total phenols, flavonoids, and anthocyanins were observed in *Aloe vera* gel treated pomegranate fruits, as a result of a higher activity of phenylalanine ammonia-lyase and a low activity of polyphenol oxidase. In conclusion, applying of *Aloe vera* gel in 80 % concentration, as a natural cover, could increase cold stress tolerance and preserve nutritional values of pomegranate fruits during the storage period.

Keywords: Antioxidant capacity, electrolyte leakage, malondialdehyde, total phenol.

* Corresponding author E-mail: rabieci@znu.ac.ir

مقدمه

انار (*Punica granatum* L.) یکی از مهم‌ترین میوه‌های بومی ایران با سطح زیرکشت ۹۰۶۰۵ هکتار و میزان تولید ۹۱۷۵۲۹ تن می‌باشد (Anonymous, 2017)، که امروزه کشت آن به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد سرطانی بسیار مورد توجه قرار گرفته و توسعه یافته است (Heber & Bowerman, 2009; Ghasemnezhad *et al.*, 2013). رقم ملس ساوه یکی از مهمترین رقم‌های تجاری ایران است که تقریباً دیررس، دارای طعم ملس و دلپذیر و بذر پوشینه‌های (aril) نیمه سفت می‌باشد. انار متعلق به میوه‌های نیمه گرمسیری بوده و نسبت به سرمازدگی حساس می‌باشد. بنابراین به دلیل ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای بالا استفاده از سردخانه جهت حفظ کیفیت پس از برداشت آن ضروری است. سرمازدگی در انار در صورتی اتفاق می‌افتد که این محصول بیش از دو ماه در دمای زیر ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود (Kader, 2006). علائم سرمازدگی در انار شامل فرورفتگی سطحی (Surface pitting)، اسکالد، پوسیدگی و قهوه‌ای شدن پوست می‌باشد، اما در برخی موارد بسته به دما و طول دوره انبارمانی علائم شدیدی مانند رنگ پریدگی بذر پوشینه‌ها و قهوه‌ای شدن قسمت‌های سفید رنگ مشاهده می‌شود (Schotsmans *et al.*, 2009). یکی دیگر از مشکلات پس از برداشت انار پوسیدگی است که توسط قارچ *Botrytis cinerea* از طریق آسیب‌ها یا زخم‌های کوچک سطح پوست موجب آلودگی میوه می‌گردد و پوسیدگی تاج میوه نیز در اثر آلودگی میوه‌های نابالغ ایجاد می‌شود که به مرور زمان کل میوه بالغ را در بر می‌گیرد (Palou *et al.*, 2007). با توجه به مسائل ذکر شده، محققان روش‌ها و ترکیبات گوناگونی را جهت کاهش سرمازدگی و پوسیدگی میوه انار در طول دوره نگهداری در سردخانه مورد استفاده قرار داده‌اند. برخی از این تیمارها شامل پلی‌آمین‌ها (Mirdehghan *et al.*, 2007)، افزودنی‌های خوراکی و ترکیبات شیمیایی ضد قارچ (Palou *et al.*, 2007)، سالسیلول

کیتوسان (Sayyari *et al.*, 2016) و آرژنین (Babalar *et al.*, 2017) می‌باشد. اخیراً پوشش‌های خوراکی با منشأ گیاهی و ایمن مانند ژل آلونه‌ورا جهت حفظ کیفیت و افزایش عمر پس از برداشت مورد توجه قرار گرفته‌اند (Paladines *et al.*, 2014). پوشش‌ها به عنوان یک مانع نیمه‌نفوذپذیر عمل می‌کنند که انتقال گازها و بخار آب را محدود نموده و از این طریق موجب کاهش میزان تنفس و کاهش وزن می‌گردد (Sogvar *et al.*, 2016; Rasouli *et al.*, 2019). ساختار پوشش‌های گیاهی عموماً شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها می‌باشد (Khorram *et al.*, 2017). ساختار ژل آلونه‌ورا نیز متشکل از پلی‌ساکاریدها، مواد معدنی، قندها، ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی مانند ترکیبات فنولی می‌باشد که موجب کاهش آلودگی‌های قارچی و پوسیدگی در محصولات می‌گردد (Vieira *et al.*, 2016). نتایج مطالعات انجام شده در میوه‌هایی مانند گیلاس (Martinez-Valverde *et al.*, 2006)، انگور (Romero *et al.*, 2005)، شلیل (Ahmed *et al.*, 2009)، پاپایا (Marpudi *et al.*, 2011)، توت‌فرنگی (Sogvar *et al.*, 2016)، بلوبری (Vieira *et al.*, 2016) لیچی (Ali *et al.*, 2019) نشان دهنده تأثیر مثبت پوشش ژل آلونه‌ورا در کاهش تبادلات گازی با محیط، میزان تنفس، میزان قهوه‌ای شدن اکسیداتیو و ازدیاد میکرواورگانیزم‌ها و همچنین جلوگیری از کاهش رطوبت و نرم شدن میوه در طول دوره نگهداری در سردخانه می‌باشد. علاوه بر این، تأثیر ضد قارچی این ترکیب روی پاتوژن‌های مختلف مانند *Botrytis cinerea* به اثبات رسیده است (De Rodriguez *et al.*, 2005). لازم به ذکر است پوشش ژل آلونه‌ورا اکسیداسیون ترکیب‌های فنولی را کاهش داده و از فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز (PPO) و پراکسیداز (POD) جلوگیری می‌کند (Supapvanich *et al.*, 2016; Ali *et al.*, 2019). همچنین در مورد کاربرد ژل آلونه‌ورا روی میوه و بذر پوشینه‌های آماده مصرف انار گزارش‌های متعددی منتشر شده است.

آفتاب سوختگی، ترک خوردگی و آسیب‌های مکانیکی انتخاب شدند. میوه‌های انتخاب شده به طور تصادفی به ۳ گروه دارای ۴۵ میوه سدر هر گروه تقسیم شدند. در مرحله نمونه‌برداری ۵ میوه از هر تکرار و تیمار جهت آنالیز صفات مورد استفاده قرار گرفت. جهت تهیه ژل آلونته‌ورا برگ‌های بالغ گیاه آلونته‌ورا استفاده شد که پس از شستشوی کامل با محلول کلرین ۰/۰۳ درصد، سطح رویی برگ جدا شده هیدروپارانشیم بی‌رنگ استخراج شده و توسط دستگاه مخلوط کن ترکیبی همگن به دست آمد. سپس با استفاده از صافی ذرات فیبری جدا شده و ترکیب به دست آمده به عنوان ژل آلونته‌ورا مورد استفاده قرار گرفت (Sogvar *et al.*, 2016). برای تهیه ژل آلونته‌ورا ۴۰ و ۸۰ درصد نسبت مناسبی آب مقطر اضافه گردید. میوه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در محلول ژل آلونته‌ورا غوطه ور شده و سپس به مدت یک ساعت در محیط با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا خشک شوند. میوه‌های مورد استفاده به عنوان شاهد نیز پس از شستشو به مدت ۱۰ دقیقه در آب مقطر غوطه ور شده و سپس مانند نمونه‌های دیگر جهت خشک شدن در دمای محیط قرار گرفتند. میوه‌های تیمار شده پس از بسته‌بندی برای نگهداری به سردخانه‌ای با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد منتقل گردید. نمونه‌برداری در فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز نگهداری در سردخانه انجام گرفت و قبل از اندازه‌گیری صفات مورد نظر نمونه‌ها سه روز در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (به عنوان عمر قفسه‌ای) قرار گرفتند.

شاخص سرمازدگی (CI)، مقدار نشت الکترولیت (EL) و مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

درصد سرمازدگی در میوه‌های انبارشده براساس مشاهده علائم سرمازدگی مانند قهوه‌ای شدن پوست و لایه‌های سفید رنگ جدا کننده بذر پوشینه‌ها، فرورفتگی سطحی و اسکالده پوست میوه مورد ارزیابی قرار گرفت و با توجه به درجات ۱-۳ (شدت و میزان گستردگی علائم) با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (۱= بین یک تا ۲۵ درصد، ۲= بین ۲۶ تا ۵۰ درصد و ۳= بیش از ۵۱ درصد) (Sayyari *et al.*, 2009).

برای مثال، استفاده از پوشش ژل آلونته‌ورا در چهار غلظت صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد روی میوه انار رقم ملس ساوه سبب کنترل پوسیدگی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تیمار شده در طول ۴ ماه انبارمانی شد (Abolfathi *et al.*, 2016). علاوه بر این تیمار بذر پوشینه‌های تازه انار رقم ملس پوست زرد با غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد پوشش ژل آلونته‌ورا موجب حفظ میزان اسیدآسکوربیک و افزایش معنی‌دار فنول کل در بذر پوشینه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد شد (Taheri *et al.*, 2019).

به نظر می‌رسد کاهش سرمازدگی و افزایش تحمل به تنش سرمایی میوه انار در پاسخ به تیمار ژل آلونته‌ورا می‌تواند به دلیل فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مسیر فنیل پروپانوئید و کاهش سطح نشت الکترولیت و تجمع MDA باشد که نشان دهنده حفظ تمامیت غشای سلولی است. هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر ژل آلونته‌ورا به عنوان یک پوشش خوراکی روی کاهش علائم سرمازدگی، پوسیدگی و حفظ کیفیت میوه انار در طول دوره نگهداری در سردخانه بود.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد گیاهی و انجام تیمار

در این مطالعه میوه‌های انار رقم ملس ساوه در هنگام بلوغ کل با شاخص طعم ۱۶ (Total soluble Solid) = 16 (TSS)/Titration acidity (TA)، در پاییز سال ۱۳۹۶ از درختچه‌هایی با عمر ۱۵ سال از باغ تجاری واقع در شهرستان طارم استان زنجان تهیه شد و پس از بسته‌بندی مناسب در سبدهای پلاستیکی، بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان منتقل گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد که فاکتور اول شامل پوشش‌دهی میوه با ژل آلونته‌ورا در سه سطح (شاهد، ژل آلونته‌ورا ۴۰ درصد و ۸۰ درصد) و فاکتور دوم شامل زمان انبارمانی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز) بود. پس از انتقال، میوه‌های با اندازه تقریباً یکسان عاری از

$$CI = \sum \left(\frac{(\text{value of hedonic scale}) \times (\text{fruit No. with corresponding scale number})}{\text{total fruit No. in the sample} \times 3} \right) \times 100$$

درصدی از میوه که دارای علائم آلودگی است، بیان گردید (Selcuk & Erkan, 2014). کاهش وزن هر میوه براساس وزن اولیه و وزن میوه‌ها در انتهای هر دوره انبارمانی و با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Nanda et al., 2001):

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{(\text{initial FW} - \text{FW after storage}) / \text{initial FW} \times 100}{\text{initial FW} = \text{وزن اولیه میوه}}$$

$$\text{FW after storage} = \text{وزن میوه پس از انبارمانی}$$

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان اسید آسکوربیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برای سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش DPPH ارائه شده توسط Dehghan & Khoshkam (2012) استفاده شد. در این روش که بر پایه حذف رادیکال‌های آزاد ۲،۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیرازیل (DPPH) استوار است، ۱/۹ میلی‌لیتر از محلول DPPH (۰/۱ میلی‌مول در متانول) به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در فضای تاریک قرار گرفته و در نهایت تغییر جذب آن توسط اسپکتروفوتومتر در ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی طبق فرمول زیر محاسبه گردید و به عنوان درصد بازدارندگی DPPH ثبت گردید.

Inhibition of DPPH =

$$\frac{(\text{Abs control} - \text{Abs sample})}{\text{Abs control}} \times 100$$

Abs control: تغییر جذب شاهد

Abs sample: تغییر جذب نمونه

برای ارزیابی میزان اسید آسکوربیک از ماده رنگی ۲،۶-دی‌کلروفنول ایندوفنول استفاده شد (Terada et al., 1978). در این روش ۲ گرم بذر پوشینه با ۶ میلی‌لیتر متاسفریک اسید ۱ درصد (v/v) همگن شده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در ۶۰۰۰×g سانتریفیوژ گردید. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از فاز رویی به ۲ میلی‌لیتر محلول نشانگر اضافه (۵۰ میلی‌گرم ۲،۶-دی‌کلروفنول-

Value of hedonic scale: درجه سرمازدگی

Fruit No, with corresponding scale number

تعداد میوه‌های دارای علائم سرمازدگی

Total fruit No, in the sample: تعداد کل میوه‌های

موجود

جهت اندازه‌گیری نشت الکترولیت روش توصیف شده توسط Mirdehghan et al. (2007) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از پوست هر نمونه شش دیسک با قطر حدود ۱۰ میلی‌متر (۰/۲ ± ۱/۵ گرم) برش داده شده و در ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۴ مولار مانیتول قرار گرفته و پس از ۴ ساعت همزدن توسط شیکر مکانیکی، نشت الکترولیت اولیه توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شده و پس از نگهداری به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه نشت الکترولیت نهایی اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد نشت الکترولیت با فرمول زیر بدست آمد.

$$EL (\%) = \frac{(\text{initial EL} - \text{final EL})}{\text{initial EL}} \times 100$$

initial EL: نشت الکترولیت اولیه
final EL: نشت الکترولیت نهایی

برای اندازه‌گیری MDA از روش تیوباریوتیک اسید استفاده شد (Hodges et al., 1999). ابتدا ۱ گرم از پوست میوه را جدا کرده و به آن ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد تری‌کلرواستیک اسید اضافه کرده و سپس ۰/۵ درصد تیوباریوتیک اسید در تری-کلرواستیک اسید ۱۵ درصد اضافه شده و پس از ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در آب جوش خنک شده و دوباره به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۲۰۰۰×g سانتریفیوژ شده و در نهایت میزان جذب در ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار MDA بر اساس $\mu\text{m kg}^{-1}\text{FW}$ بیان شد.

پوسیدگی و کاهش وزن

پوسیدگی میوه به صورت مشاهده‌ای ارزیابی شد و هر میوه دارای آلودگی قارچی قابل مشاهده به عنوان میوه پوسیده در نظر گرفته شد و میزان پوسیدگی به عنوان

میزان فنول کل، فلاونوئید، آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های PAL و PPO

جهت اندازه‌گیری فنول کل روش ارائه شده توسط Singleton & Rossi (1965) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش معرف فولین سیکالتهو (Folin-ciocalteu) جهت آنالیز و از محلول متانول/آب (۳۰/۷۰ v/v) برای استخراج فنول کل استفاده شد. در نهایت میزان جذب در ۷۲۰ نانومتر ثبت شده و بر اساس mg gallic acid $100g^{-1}$ FW بیان می‌شود. برای تعیین میزان فلاونوئید کل از روش اسپکتروفتومتریک بیان شده توسط Zishen *et al.* (1999) استفاده شد. در نهایت میزان جذب در ۵۱۰ نانومتر ثبت شده و میزان فلاونوئید کل بر اساس mg quercetin (Q) $100g^{-1}$ FW^۱ بیان شد. اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین با استفاده از روش تفاوت pH ارائه شده توسط Giusti & Wrolstad (2001) انجام شد: یک گرم از بافت بذر پوشینه به محلول متانول که شامل HCl یک درصد بود اضافه شده و ده دقیقه در دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس ترکیب مورد نظر به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در $17000 \times g$ سانتریفیوژ شده و در مرحله بعد فاز روئی به دو بافر با pH=1 (محلول ۰/۲ مولار هیدروکلریک اسید-کلرید پتاسیم) و pH=4.5 (محلول ۱ مولار استات اسید-سدیم استات) اضافه شدند. در نهایت میزان جذب در ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر ثبت شده و مقدار آنتوسیانین بر اساس mg $100g^{-1}$ FW بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم PAL براساس روش ارائه شده توسط Nguyen *et al.* (2003) انجام شد. یک گرم از بافت بذر پوشینه با ۲۰ میلی‌لیتر بافر بورات ۵۰ میلی‌مول با اسیدیته ۸/۵ همگن شده و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در $15000 \times g$ سانتریفیوژ گردید. در مرحله بعد ۰/۳ میلی‌لیتر از عصاره آنزیم به اضافه ۰/۷ میلی‌لیتر ال‌فنیل‌آلانین و ۳ میلی‌لیتر بافر بورات به عنوان ترکیب واکنش به مدت ۶ دقیقه در حمام بخار آب ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس جهت پایان واکنش، ۰/۱ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ میلی‌مولار اضافه گردید. در نهایت میزان جذب در ۲۹۰ نانومتر

ایندوفنول به اضافه ۴۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم حل شده در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) شده و میزان جذب در ۵۲۰ نانومتر ثبت گردید. جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مول برای همگن نمودن ۵ گرم بافت بذر پوشینه فریز شده مورد استفاده قرار گرفت. سپس ترکیب همگن به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در $12000 \times g$ سانتریفیوژ شده و در نهایت فاز روئی به عنوان عصاره آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت (Zhang *et al.*, 2013). فعالیت آنزیم SOD با ترکیب ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۲/۹ میلی‌لیتر محلول واکنش (بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷، متیونین ۵ میلی‌مولار، EDTA ۱۰۰ میکرومولار و نیتروبلوتترازولیوم (NBT) ۶۵ میکرومولار و ریبولوتترازولیوم (۰/۱۵ میلی‌مولار) و سپس ترکیب مذکور به مدت ۱۰ دقیقه زیر نور فلورسنت ۴۰ وات قرار گرفته و در پایان میزان جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر جهت کنترل تشکیل بلو فورامازون ثبت گردید. برای تعیین میزان فعالیت آنزیم CAT، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به محلول واکنش (پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ۱۵ میلی‌مولار و بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷) اضافه شده و فعالیت یک واحد آنزیم CAT توسط دستگاه اسپکتروفتومتر براساس کاهش جذب در مدت یک دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر ثبت گردید. فعالیت آنزیم APX نیز با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به ۲/۹ میلی‌لیتر محلول واکنش (آسکوربیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ۱ میلی‌مولار و بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷) اندازه‌گیری شد. یک واحد از فعالیت آنزیم APX به عنوان سطحی از آنزیم که یک میکرومول از آسکوبات را اکسیده نماید تعریف شده و براساس کاهش جذب در طول یک دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر ثبت گردید. در نهایت فعالیت یک واحد از آنزیم SOD بر اساس $U \text{ mg}^{-1} \text{ FW}$ و آنزیم‌های CAT و APX بر اساس $U \text{ mg}^{-1} \text{ FW min}^{-1}$ بیان شد.

پس از پایان انبارمانی بیشترین میزان (۷۲/۲۹ درصد) نشت الکترولیت متعلق به میوه‌های شاهد بود و میوه‌های تیمار شده با ژل آلوتئورا ۸۰ و ۴۰ درصد تقریباً میزان مشابهی (به ترتیب ۶۴/۶۵ و ۶۴/۳۶ درصد) از نشت الکترولیت را نشان دادند. با توجه به شکل ۱ (C) تجمع MDA در طول ۹۰ روز نگهداری در سردخانه روند رو به رشدی را نشان داده است، اما این روند در میوه‌های شاهد شدیدتر بود و در پایان دوره انبارمانی بیشترین ($36/11 \mu\text{m kg}^{-1}$) و کمترین ($25/08 \mu\text{m kg}^{-1}$) مقدار تجمع MDA به ترتیب در میوه‌های شاهد و میوه‌های تیمار شده با ژل آلوتئورا ۸۰ درصد مشاهده شد.

با توجه به نتایج به دست آمده تأثیر مثبت ژل آلوتئورا در کاهش میزان سرمازدگی، نشت الکترولیت و تجمع MDA کاملاً مشهود بود. علائم سرمازدگی مانند اسکالد، پوست‌مردگی سطحی، قهوه‌ای شدن پوست در میوه‌های شاهد و به صورت جزئی در میوه‌های تیمار شده در ۳۰ روز اول نگهداری در سردخانه ظاهر شد و با افزایش طول دوره انبارمانی سرمازدگی نیز روند رو به رشد نشان داد. آسیب به غشای سلولی مهمترین نتیجه سرمازدگی است که منجر به آسیب به ساختار سلولی، افزایش نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Sayyari *et al.*, 2011; Rasouli *et al.*, 2019). میزان تجمع MDA شاخصی برای ارزیابی میزان پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب غشای سلولی است (Luo *et al.*, 2015; Cheng *et al.*, 2011). حفظ ساختار غشای سلولی می‌تواند موجب افزایش تحمل به سرما در میوه‌های انبار شده در دمای پایین شود (Lado *et al.*, 2016). با توجه به مسائل بیان شده در مورد تأثیر پوشش ژل آلوتئورا در کاهش میزان نشت الکترولیت و MDA که نشان دهنده حفظ تمامیت و کاهش آسیب غشای سلولی است و همچنین تأثیر مثبت بر میزان اسیدآسکوربیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، به احتمال زیاد کاهش میزان سرمازدگی در نمونه‌های تیمار شده با ژل آلوتئورا می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ تمامیت غشای سلولی باشد. نتایج مشابهی از تأثیر ژل آلوتئورا بر سرمازدگی، میزان

ثبت شده و بر اساس ($U \text{ mg}^{-1}\text{FW}$) بیان شد. جهت ارزیابی فعالیت آنزیم PPO یک گرم از بافت بذر پوشینه با ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیتته ۷/۸، شامل دو درصد PVP همگن شده و سپس در $14000 \times \text{g}$ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. سپس از مخلوط واکنشی که شامل ۱۰۰ میکرولیتر کاتکول ۱۰۰ میلی‌مولار، ۲۸۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیتته ۶ و ۱۰۰ میکرولیتر فاز رویی بود استفاده شد و در نهایت فعالیت این آنزیم در طول موج ۴۱۰ نانومتر در یک دقیقه اندازه‌گیری شد و بر اساس $U \text{ mg}^{-1}\text{FW min}^{-1}$ بیان گردید (Nguyen *et al.*, 2003).

آنالیز آماری

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ آنالیز شده و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. جهت ترسیم کلیه نمودارها نیز نرم‌افزار Excel مورد استفاده قرار گرفت.

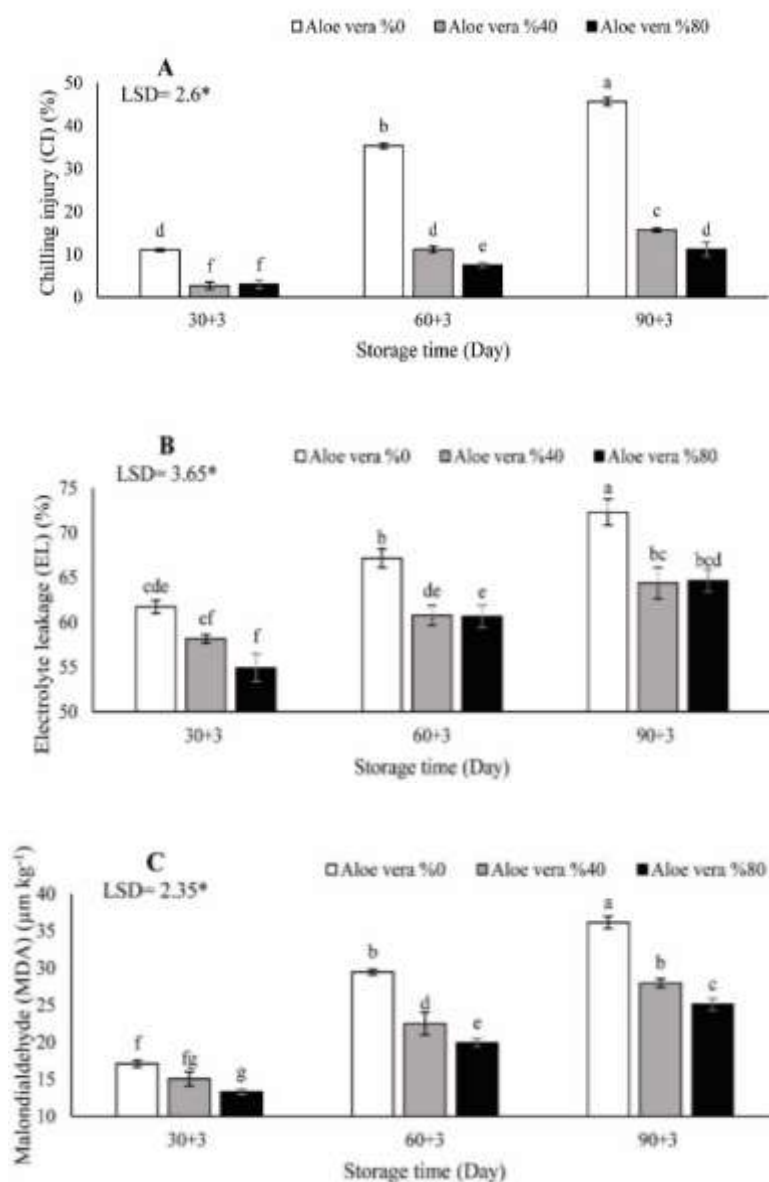
نتایج و بحث

سرمازدگی، نشت الکترولیت و MDA

شکل ۱ (A)، تغییرات میزان سرمازدگی را در طول دوره نگهداری در سردخانه را نشان می‌دهد. میزان سرمازدگی در طول دوره انبارمانی هم در میوه‌های شاهد و هم تیمار شده روند صعودی داشت، اما این روند در میوه‌های شاهد تقریباً سه برابر بیشتر از سرمازدگی در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوتئورا بود. در پایان ۹۰ روز نگهداری در سردخانه و سه روز عمر قفسه‌ای در ۲۰ درجه سانتی‌گراد کمترین درصد سرمازدگی (۱۱/۱۶ درصد) مربوط به میوه‌های تیمار شده با ژل آلوتئورا ۸۰ درصد و بیشترین میزان سرمازدگی (۴۵/۶۶ درصد) در میوه‌های شاهد مشاهده شد. در طول سه ماه نگهداری میوه‌ها یک روند افزایشی در مقدار نشت الکترولیت در تمام میوه‌ها (تیمار شده و شاهد) مشاهده گردید (شکل ۱ (B)).

یکدیگر موجب کاهش علائم سرمازدگی، میزان نشت الکترولیت و MDA در میوه‌های پرتقال انبارشده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸۰ روز شده است. همچنین در میوه انار تیمار شده با واکس و پوشش‌های پلاستیکی میزان نشت الکترولیت کمتری نسبت به میوه‌های شاهد طی ۱۲ هفته انبارمانی در دمای ۳/۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (Safizadeh, 2020).

نشت الکترولیت و MDA روی محصولات مختلف بدست آمده است، برای مثال، در میوه گوجه فرنگی کاربرد پوشش ژل آلوه‌ورا و تیمار حرارتی سبب کاهش سرمازدگی و سطح پایین نشت الکترولیت طی دوره انبارمانی شده است (Purwanto & Hutabarat, 2012) و Rasouli *et al.* (2019) گزارش نموده‌اند که تیمار ژل آلوه‌ورا و سالیسیلیک اسید به تنهایی و در ترکیب با



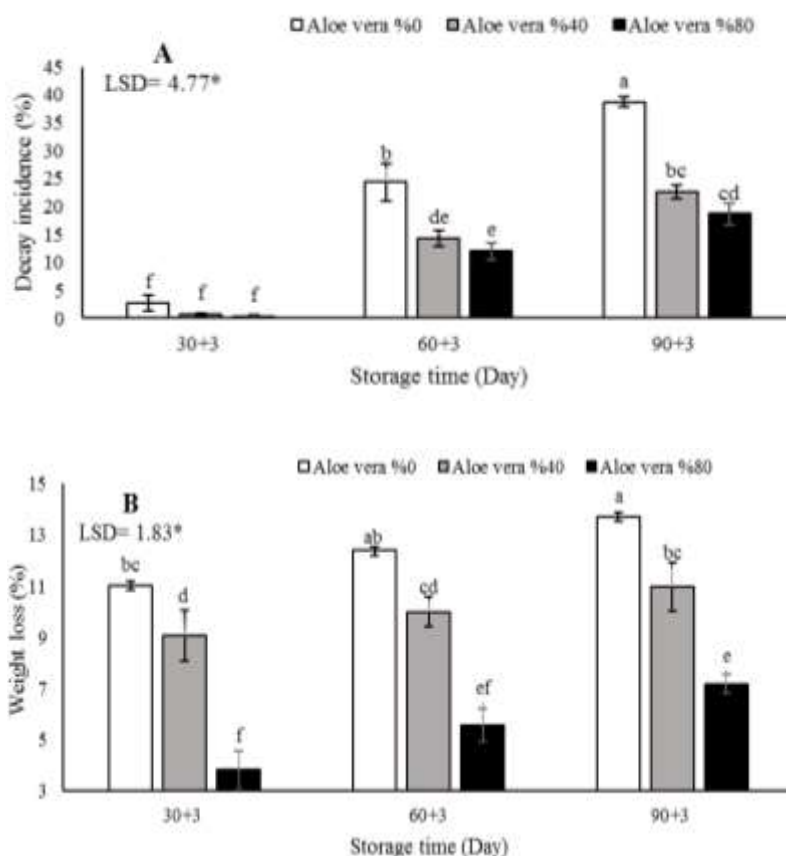
شکل ۱. تغییرات سرمازدگی (CI) (A)، نشت الکترولیت (EL) (B) و مالون‌دی‌آلدئید (MDA) (C) میوه انار در پاسخ به کاربرد پس از برداشت ژل آلوه‌ورا در طول نگهداری به مدت ۹۰ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به اضافه سه روز عمر قفسه‌ای در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد. * نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح $P \leq 0.05$. خطوط عمودی نشانگر خطای استاندارد میانگین‌ها (SE) می‌باشد.

Figure 1. Chilling injury (CI) (A), electrolyte leakage (EL) (B) and malondialdehyde (MDA) (C) variation of pomegranate fruit in response to postharvest application of *Aloe vera* gel during storage at 4°C for 90 days plus three days at 20 °C (simulating shelf life condition). *showing a significant level at $P \leq 0.05$. Values are the mean \pm SE.

پوسیدگی و کاهش وزن همانطور که شکل ۲ (A) نشان می‌دهد میزان پوسیدگی در تمام میوه‌ها به ویژه میوه‌های تیمار شده با در طول ۳۰ روز اول انبارمانی بسیار جزئی بود، اما طی ۶۰ روز پایانی دوره انبارمانی روند افزایشی در میزان پوسیدگی در تمام میوه‌ها مشاهده شد. در پایان دوره انبارمانی بیشترین درصد پوسیدگی ۲۴/۳۳ درصد) متعلق به میوه‌های شاهد بوده و کمترین درصد پوسیدگی (۱۸/۶۶ درصد) مربوط به میوه‌های تیمار شده با ژل آلوه‌ورا ۸۰ درصد بود. آلودگی قارچی، علت اغلب پوسیدگی در میوه‌ها در دوران پس از برداشت می‌باشد دلیل این امر می‌تواند مقاومت بالا در مقابل آلودگی باکتریایی در اثر اسیدیته پایین میوه‌ها باشد (Pitt & Hocking, 1999; Shah & Hashmi, 2020).

پوسیدگی و کاهش وزن

مکانیسم عمل ژل آلوه‌ورا در مقابل پاتوژن‌ها، جلوگیری از جوانه‌زنی هاگ‌ها و رشد میسلیم‌ها است که به دلیل وجود ترکیبات بایواکتیو مانند آلوئین (aleonin) و آلو-امودین (aloe-emodin) می‌باشد (Castillo *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2016; Rasouli *et al.*, 2019). علاوه بر این طبق گزارش Martinez-Romero *et al.* (2006) ساپونین‌ها (saponins)، آکمانان (acemannan) و آنتراکوئین‌ها (anthraquinones) نیز نقش مهمی در فعالیت ضد میکروبی آلوه‌ورا دارند. در مطالعاتی که روی میوه‌های پرتقال و انبه انجام شد نتایج مشابهی در مورد تأثیر ژل آلوه‌ورا در کاهش میزان پوسیدگی در طول دوره نگهداری در سردخانه بدست آمده است (Rasouli *et al.*, 2019; Shah & Hashmi, 2020).



شکل ۲. تغییرات درصد پوسیدگی (A) و کاهش وزن (B) میوه انار در پاسخ به کاربرد پس از برداشت ژل آلوه‌ورا در طول نگهداری به مدت ۹۰ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به اضافه سه روز عمر قفسه‌ای در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد. * نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح $P \leq 0.05$. خطوط عمودی نشانگر خطای استاندارد میانگین‌ها (SE) می‌باشد.

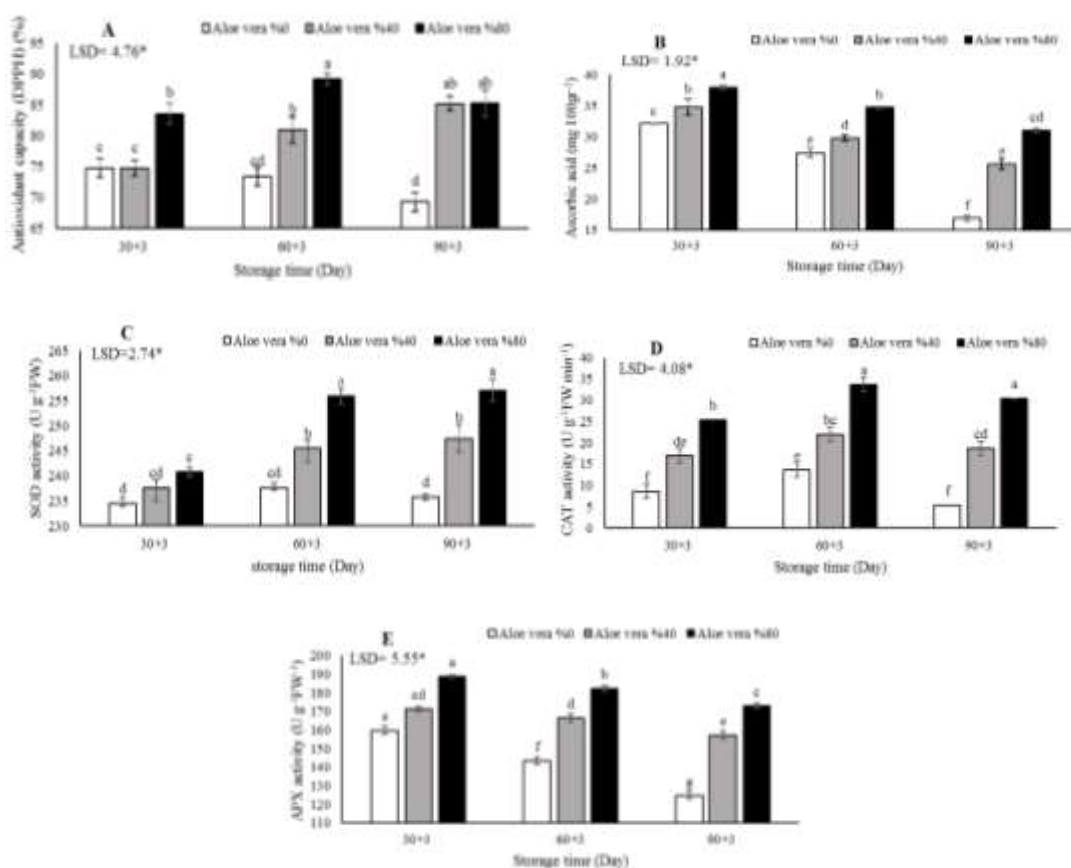
Figure 2. Decay incidence(A) and Weight loss (B) variation of pomegranate fruit in response to postharvest application of *Aloe vera* gel during storage at 4 °C for 90 days plus three days at 20 °C (simulating shelf life condition). *showing a significant level at $P \leq 0.05$. Values are the mean \pm SE.

(B) نشان می‌دهد میزان اسیدآسکوربیک در طول دوره نگهداری در سردخانه با یک روند نزولی در تمام میوه‌ها همراه بوده، اما این روند نزولی در میوه‌های تیمار شده با پوشش ژل آلئوئورا تا حدودی کنترل شده و از کاهش زیاد آن جلوگیری شده است. در پایان دوره انبارمانی بالاترین سطح اسیدآسکوربیک ($31/04 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) متعلق به میوه‌های تحت تیمار ژل آلئوئورا ۸۰ درصد می‌باشد و کمترین میزان ($16/94 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) در میوه‌های شاهد مشاهده شده است. فعالیت آنزیم SOD در میوه‌های تیمار شده طی ۹۰ روز نگهداری در سردخانه روند صعودی داشته، اما فعالیت این آنزیم در میوه‌های شاهد در طول ۶۰ روز اول افزایش و سپس در طول ۳۰ روز پایانی کاهش یافته است. پس از اتمام دوره انبارمانی بالاترین ($U \text{ mg}^{-1}\text{FW}$) سطح فعالیت این آنزیم در میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورا ۸۰ درصد و پایین‌ترین ($U \text{ mg}^{-1}\text{FW}$) سطح فعالیت نیز در میوه‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۳ C). با توجه به شکل ۳ (D)، میزان فعالیت آنزیم CAT طی دو ماه اول نگهداری در انبار در تمام میوه‌ها (شاهد و تیمار شده) افزایش یافته و سپس در طول ماه سوم فعالیت این آنزیم کاهش یافته است، البته میزان کاهش در میوه‌های شاهد محسوس‌تر می‌باشد. پس از سپری شدن ۹۰ روز نگهداری در سردخانه و سه روز عمر قفسه‌ای بیشترین ($U \text{ mg}^{-1}\text{FW min}^{-1}$) و کمترین ($5/25 U \text{ mg}^{-1}\text{FW min}^{-1}$) فعالیت آنزیم CAT به ترتیب به میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورا ۸۰ درصد و میوه‌های شاهد متعلق بود. فعالیت آنزیم APX در طول دوره نگهداری میوه‌ها در سردخانه در تمام میوه‌ها (تیمار شده و شاهد) روند نزولی نشان داده است، اما این روند در میوه‌های شاهد شیب تندتری داشته، به همین دلیل در پایان دوره ۹۰ روزه کمترین ($U \text{ mg}^{-1}\text{FW min}^{-1}$) میزان فعالیت در میوه‌های شاهد و بالاترین ($U \text{ mg}^{-1}\text{FW min}^{-1}$) نیز در میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورا ۸۰ درصد مشاهده شده است (شکل ۳ E).

درصد کاهش وزن در تمام میوه‌ها (تیمار شده و شاهد) در طول ۹۰ روز نگهداری در سردخانه روند افزایشی داشته، اما این روند رو به رشد به طور معنی‌داری در میوه‌های شاهد نسبت به میوه‌های تیمار شده بالا بوده است. با در پایان دوره انبارمانی و پس از سه روز عمر قفسه‌ای کمترین ($5/59$ درصد) و بیشترین ($12/39$ درصد) درصد کاهش وزن به ترتیب در میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورا ۸۰ درصد و شاهد مشاهده شد (شکل ۲ B). کاهش وزن اغلب به دلیل از دست دادن آب در اثر تعرق و کاهش ذخایر کربن به دلیل تنفس رخ می‌دهد (Vogler & Ernst, 1999). مقدار آبی که یک میوه از دست می‌دهد بستگی به شیب فشار آب بین بافت میوه و محیط اطراف دارد. ژل آلئوئورا مانعی فیزیکی بین میوه و محیط اطراف ایجاد می‌کند، که مانع از کاهش رطوبت شده و از دهیدراته شدن و چروکیدگی و خشک شدن پوست میوه‌ها جلوگیری می‌کند (Morillon *et al.*, 2002). در میوه توت‌فرنگی گزارش شده است که تیمار ژل آلئوئورا سبب کنترل کاهش وزن در طول ۱۸ روز نگهداری در دمای یک درجه سانتی‌گراد شده است (Sogvar *et al.*, 2016). در میوه لیچی تیمار شده با پوشش ژل آلئوئورا ۵۰ درصد نیز کاهش وزن در مقایسه با میوه‌های شاهد به طور معنی‌داری در طول دوره ۸ روزه انبارمانی، کمتر بوده است (Ali *et al.*, 2019).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان اسید آسکوربیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

شکل ۳ (A)، تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های انار را در طول ۹۰ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورا (۴۰ و ۸۰ درصد) در طول ۶۰ روز نگهداری در سردخانه افزایش یافته و سپس در طول ۳۰ روز پایانی این صفت در میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورای ۸۰ درصد روند نزولی داشته، اما در میوه‌های تیمار شده با ژل آلئوئورای ۴۰ درصد همچنان روند صعودی بود. در میوه‌های شاهد در تمام طول دوره انبارمانی روند کاهشی در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شد. همانطور که شکل ۳



، آنزیم کاتالاز (C) (SOD)، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (B)، میزان اسید آسکوربیک (A) (DPPH) شکل ۳. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه انار در پاسخ به کاربرد پس از برداشت ژل آلوه‌ورا در طول نگهداری به مدت ۹۰ روز (APX) و آنزیم آسکوربات پراکسیداز (CAT) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به اضافه سه روز عمر قفسه‌ای در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد. * نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح می‌باشد. (SE). خطوط عمودی نشانگر خطای استاندارد میانگین‌ها ≤ 0.05 /P.

Figure 3. Pomegranate antioxidant capacity (DPPH scavenging capacity) (A), ascorbic acid (B), SOD (C), CAT (D) and APX (E) of pomegranate fruit in response to postharvest application of *Aloe vera* gel during storage at 4 °C for 90 days plus three days at 20 °C (simulating shelf life condition). *showing a significant level at $P \leq 0.05$. Values are the mean \pm SE.

سیستم آنتی‌اکسیدانی دارای اجزای آنزیمی و غیر آنزیمی جهت حذف ROSها می‌باشد. سیستم غیر آنزیمی شامل برخی مولکول‌ها مانند گلوکاتایون، ال-آسکوربات، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها و ... می‌باشد که مسئول دریافت الکترون هستند. این مولکول‌ها قابلیت انتقال الکترون به مولکول‌های دیگر را نداشته و به همین دلیل موجب توقف زنجیره واکنش اکسیداتیو می‌شوند. بنابراین اسیدآسکوربیک به عنوان یکی از اجزای غیر آنزیمی سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌تواند در حذف ROSها مشارکت کند (Aghdam *et al.*, 2013). در مطالعه اخیر بالا بودن میزان اسیدآسکوربیک میوه‌های تیمار شده نسبت به میوه‌های شاهد احتمالاً در نتیجه افزایش نسبت فعالیت سیستم آنزیمی گلوکاتایون

طی دوره پس از برداشت افزایش شدت تنفس سبب تحریک فعالیت زنجیره انتقال الکترون جهت تامین انرژی شده که همین امر منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) می‌شود (Shah & Hashmi, 2020). بنابراین میوه‌ها اغلب مکانیسم دفاعی را برای سرکوب ROSها فعال می‌کنند و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی متعاقباً با فعال شدن مسیر فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند (-Palafox Carlos *et al.*, 2012). از طرف دیگر تنش‌های اکسیداتیو مانند دمای پایین موجب افزایش سطوح ROSها شده که همین امر موجب تحریک پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب ساختار غشای سلولی می‌شود. سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان مسئول حذف ROSها بوده که نقش حیاتی در مقابله گیاه با تنش‌های اکسیداتیو دارد.

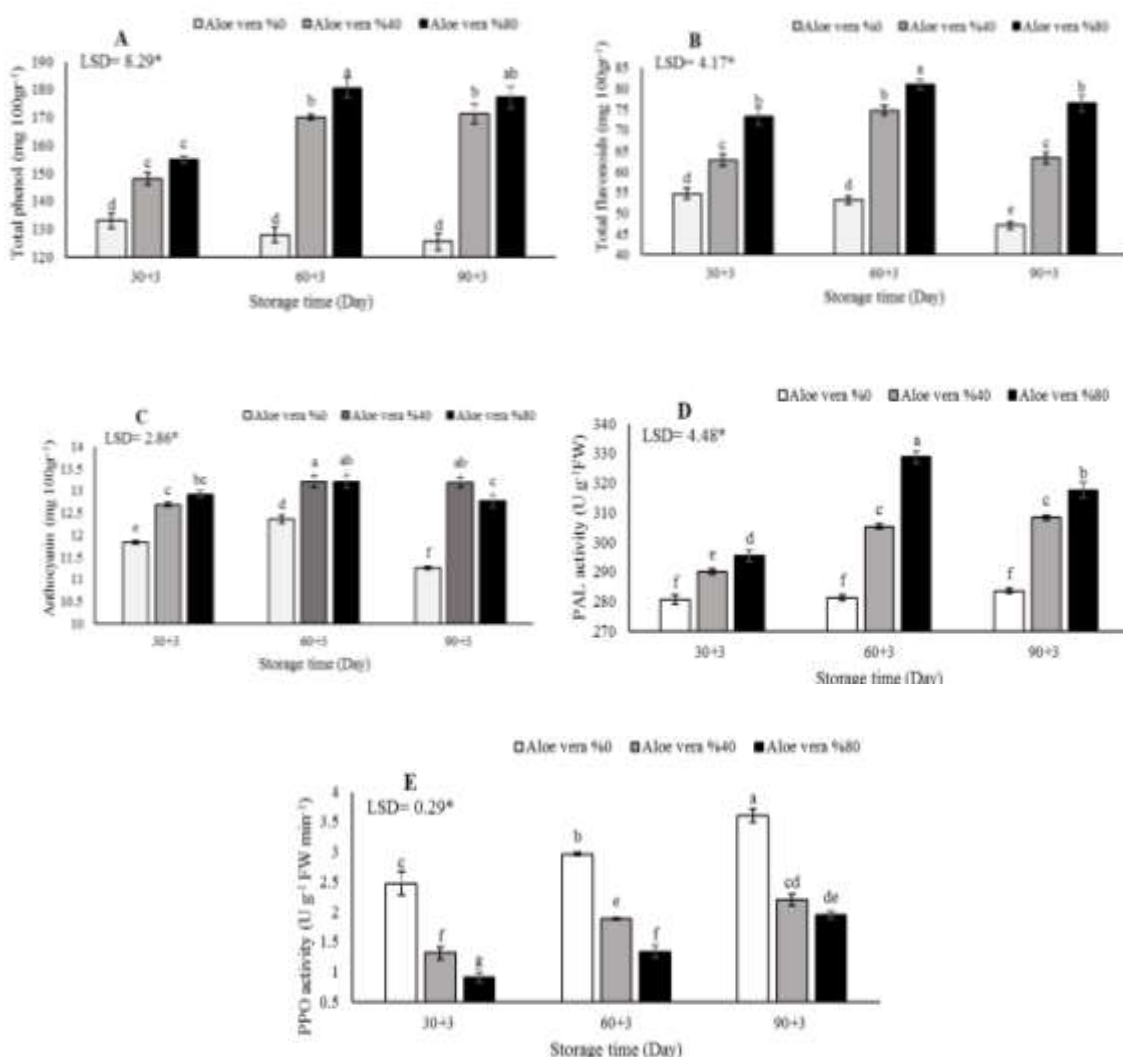
فنول کل، فلاونوئید، آنتوسیانین، آنزیم‌های PAL و PPO

میزان فنول کل در طول ۶۰ روز نگهداری در سردخانه در میوه‌های تیمار شده روند صعودی داشت، سپس در طول ۳۰ روز پایانی انبارمانی روند کاهشی در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۸۰ درصد مشاهده شد، اما در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورای ۴۰ درصد روند صفت همچنان رو به رشد بود. در میوه‌های شاهد نیز در طول ۹۰ روز نگهداری در سردخانه میزان فنول کل کاهش یافت. در پایان دوره انبارمانی بالاترین سطح ($177/17 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) فنول کل در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۸۰ درصد مشاهده شد (شکل ۴ (A)). همانطور که شکل ۴ (B) نشان می‌دهد فلاونوئید کل در میوه‌های تیمار شده (۴۰ و ۸۰ درصد ژل آلوئه‌ورا) در طول ۶۰ دوره نگهداری در سردخانه افزایش یافت و سپس در طول ۳۰ روز پایانی روند کاهشی داشت. با این حال، در میوه‌های شاهد میزان این صفت در تمام طول دوره نگهداری در سردخانه نزولی بود. پس از سپری شدن ۹۰ روز انبارمانی بیشترین ($76/45 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) و کمترین ($47/07 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) میزان فلاونوئید به ترتیب متعلق به میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۸۰ درصد و میوه‌های شاهد بود. با توجه به شکل ۴ (C)، میزان آنتوسیانین در تمام میوه‌ها (تیمار شده و شاهد) در طول ۶۰ روز نگهداری در سردخانه، روند صعودی داشت و سپس در طول ۳۰ روز پایانی میزان آنتوسیانین روند نزولی را نشان داد، اما این روند نزولی در میوه‌های شاهد بسیار چشمگیر بود. پس از پایان ۹۰ روز نگهداری در سردخانه و ۳ روز عمر قفسه‌ای حداکثر ($13/18 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) و حداقل ($11/25 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) میزان آنتوسیانین به ترتیب در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۴۰ درصد و میوه‌های شاهد مشاهده شد. شکل ۴ (D)، تغییرات فعالیت آنزیم PAL را طی دوره سه ماهه انبارمانی نشان می‌دهد. فعالیت این آنزیم در تمام میوه‌ها (شاهد و تیمار شده) طی دوره ۹۰ روزه نگهداری در سردخانه افزایش یافت، تنها در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۸۰ درصد در ۳۰ روز پایانی انبارمانی

ردوکتاز/آسکوربات پراکسیداز و سطح پایین O_2 باشد (Sayyari *et al.*, 2016). اجزای آنزیمی سیستم آنتی‌اکسیدانی که شامل برخی آنزیم‌ها مانند SOD، CAT و APX می‌باشد نقشی بسیار حیاتی در سیستم دفاعی سلولی دارند. این آنزیم‌ها مسئول حذف رادیکال‌های آزاد یا ROSهای درون سلولی تولید شده در گیاهان تحت تنش‌های اکسیداتیو هستند (Wang *et al.*, 2018; Yao *et al.*, 2016). آنزیم SOD مسئول حذف رادیکال‌های سوپراکسید موجود در سلول‌های زیستی تحت تنش و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های O_2 و H_2O_2 بوده، CAT نیز با کاتالیز مولکول‌های H_2O_2 مولکول‌های H_2O و O_2 را تولید می‌نماید. APX نیز با دریافت الکترون از اسیدآسکوربیک توسط چرخه اسیدآسکوربیک/گلوتاتیون سبب تجزیه مولکول‌های H_2O_2 می‌شود (Pan *et al.*, 2019). بنابراین بر اساس نتایج حاصله در مطالعه اخیر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی منجر به کاهش ROSها شده که در نهایت سبب حفظ ساختار دیواره سلولی و کاهش ظهور علائم سرمازدگی می‌گردد. Shah & Hashmi (2020) گزارش نموده‌اند که تیمار میوه انبه با ژل آلوئه‌ورا و کیتوسان به تنهایی و به صورت ترکیبی با هم سبب افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ میزان اسیدآسکوربیک در سطوح بالاتر نسبت به میوه‌های شاهد می‌گردد. در سیب گلاب نیز کاربرد پس از برداشت ژل آلوئه‌ورا به صورت ترکیبی با اسانس آویشن شیرازی سبب حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی طی دوره انبارمانی شده است (Ghazimoghdam *et al.*, 2021). همچنین در میوه لیچی سطوح بالای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان اسیدآسکوربیک و فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT و APX در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا در مقایسه با میوه‌های شاهد در طول دوره انبارمانی مشاهده شده است (Ali *et al.*, 2019; Rasouli *et al.*, 2019). گزارش نموده‌اند که در میوه پرتقال کاربرد تیمارهای ژل آلوئه‌ورا و اسید سالیسیلیک به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر موجب حفظ میزان اسیدآسکوربیک در سطوح بالاتر نسبت به میوه‌های شاهد در طول ۸۰ روز نگهداری در سردخانه شده است.

سردخانه روند رو به رشد داشت، اما افزایش فعالیت این آنزیم در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا کنترل شد و نسبت به میوه‌های شاهد کمتر بود. در پایان دوره سه ماهه نگهداری در سردخانه حداکثر فعالیت این آنزیم مربوط به میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا (۳/۵۹ U mg⁻¹FW min⁻¹) و کمترین (۱/۹۴ U mg⁻¹FW min⁻¹) نیز متعلق به میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا ۸۰ درصد بود (شکل ۴ (E)).

میزان فعالیت این آنزیم کاهش یافت. البته شیب روند افزایشی فعالیت آنزیم PAL در میوه‌های شاهد بسیار خفیف بود. در پایان دوره نگهداری در سردخانه بیشترین (۳۱۷/۵۶ U mg⁻¹FW) فعالیت این آنزیم مربوط به میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌-ورا ۸۰ درصد بود و کمترین (۲۸۳/۵۶ U mg⁻¹FW) سطح فعالیت نیز متعلق به میوه‌های شاهد بود. فعالیت آنزیم PPO در تمام طول دوره نگهداری در



شکل ۴. میزان فنول کل (A)، فلاونوئید (B)، آنتوسیانین (C)، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز (PAL) و آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO) میوه انار در پاسخ به کاربرد پس از برداشت ژل آلوئه‌ورا در طول نگهداری به مدت ۹۰ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به اضافه سه روز عمر قفسه‌ای در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد. * نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح $P \leq 0.05$. خطوط عمودی نشانگر خطای استاندارد میانگین‌ها (SE) می‌باشد.

Figure 4. Total phenol (A), total flavonoids (B), anthocyanin content (C), PAL (D) and PPO (E) enzymes activity of pomegranate fruit in response to postharvest application of *Aloe vera* gel during storage at 4 °C for 90 days plus three days at 20 °C (simulating shelf life condition). *showing a significant level at $P \leq 0.05$. Values are the mean \pm SE.

فنول‌ها یکی از مهمترین اجزای تشکیل‌دهنده سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشند. تغییرات فنول در طول دوره پس از برداشت بستگی به ژنتیک، دما و شرایط محیطی دارد. فلاونوئیدها یکی از مهمترین ترکیبات فنولی هستند که همانطور که اشاره شد یکی از اجزای غیر آنزیمی سیستم آنتی‌اکسیدانی بوده که در سرکوب ROSها نقش حیاتی دارد. از طرف دیگر، فنول‌ها ترکیبات ضد میکروبی هستند که به عنوان اولین پاسخ دفاعی گیاهان در مقابل هجوم میکروارگانیسم‌ها فعالیت می‌کنند. در هنگام حمله پاتوژن‌ها، تجمع فنول‌ها در گیاهان افزایش می‌یابد (Shah & Hashmi, 2020). با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه فعالیت ضدقارچی آلوئه‌ورا می‌تواند به دلیل حضور ترکیبات بیواکتیو و ترکیبات فنولی مانند فلاونوئیدها باشد که در مقابل آلودگی قارچی فعال‌تر از سایر ترکیبات می‌باشد (Sarabia *et al.*, 1999). آنتوسیانین نیز یکی از اجزای ترکیبات فنولی می‌باشد که مسئول ایجاد رنگ قرمز-آبی در بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد و اثرات مثبتی بر سلامتی انسان دارد (Garcia-Alonso *et al.*, 2004). یکی از مهمترین ویژگی‌های بیولوژیکی ترکیبات فنولی و آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Wang *et al.*, 1996). بنابراین حفظ این ترکیبات در سطوح بالاتر در طول دوره انبارمانی و عمر قفسه‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد. افزایش میزان ترکیبات فنولی در طول دوره نگهداری در سردخانه نشان‌دهنده تداوم بیوسنتز مبتنی بر فعالیت بالای آنزیم‌های مسیر سنتز این ترکیبات پس از برداشت می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در مطالعه اخیر نشان‌دهنده فعالیت بالای مسیر فنیل-پروپانویید در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا در طول دوره سه ماه انبارمانی می‌باشد، این مسئله مربوط به فعالیت بالای آنزیم PAL و بالعکس فعالیت پایین آنزیم PPO در میوه‌های تیمار شده در مقایسه با میوه‌های شاهد می‌باشد. با فعالیت آنزیم PAL سنتز ترکیبات فنولی افزایش یافت و در نتیجه آن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالا رفت. همانطور که قبلاً بیان شد، مهمترین نقش ترکیبات فنولی در سرکوب ROSها تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی است (Siboza *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020). بنابراین فعالیت بالای آنزیم PAL و حفظ میزان اسید آسکوربیک در سطوح بالاتر منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های انار تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا شده که در نهایت سبب حفظ ارزش‌های تغذیه‌ای میوه در طول دوره انبارمانی می‌گردد. برخلاف آنزیم PAL، آنزیم PPO بر ترکیبات فنولی تأثیر منفی داشت و در قهوه‌ای شدن میوه‌ها و سبزی‌ها مشارکت می‌کند. در شرایط عادی، آنزیم PPO و ترکیبات فنولی در اجزای مختلف سلولی قرار دارند، اما تحت شرایط تنش‌های اکسیداتیو مانند تنش سرما، به دلیل تجمع بالای ROSها و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها، ساختار غشای سلولی تخریب و تمامیت آن کاهش می‌یابد. همین مسئله سبب رویارویی آنزیم PPO و ترکیبات فنولی شده و ترکیباتی مانند کوئینین (quinine) و شبه کوئینین‌ها (quinine-like) از اکسیداسیون آن‌ها حاصل می‌شود، در نهایت رنگدانه‌های قهوه‌ای که از علائم سرمازدگی هستند، ظاهر می‌گردند (Wang *et al.*, 2019). در مطالعه اخیر نیز فعالیت بالای آنزیم PAL و فعالیت پایین آنزیم PPO در میوه‌های انار تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا، با کاهش ظهور علائم سرمازدگی در طول دوره سه ماهه انبارمانی همراه بود. در میوه انار طی ۱۲۰ روز انبارمانی در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد، میزان فعالیت آنزیم PPO هم در میوه‌های شاهد و هم تیمار شده با تیمار شده با کیتوسان و اسیدهای آلی افزایش یافت، اما این روند صعودی در میوه‌های تیمار شده به طور معنی داری کمتر بود و همین امر سبب حفظ میزان ترکیبات فنولی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و همچنین افزایش مقاومت به سرما شده است (Ehteshami *et al.*, 2020). در میوه لیچی تیمار با ژل آلوئه‌ورا سبب افزایش میزان فنول کل و آنتوسیانین شده و فعالیت آنزیم PPO را در طول دوره انبارمانی کاهش داده است (Ali *et al.*, 2019). در میوه توت فرنگی نیز تیمار ژل آلوئه‌ورا و اسید آسکوربیک سبب افزایش میزان آنتوسیانین و فنول کل در طول دوره نگهداری در سردخانه شده است (Sogvar *et al.*, 2016).

فنول‌ها یکی از مهمترین اجزای تشکیل‌دهنده سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشند. تغییرات فنول در طول دوره پس از برداشت بستگی به ژنتیک، دما و شرایط محیطی دارد. فلاونوئیدها یکی از مهمترین ترکیبات فنولی هستند که همانطور که اشاره شد یکی از اجزای غیر آنزیمی سیستم آنتی‌اکسیدانی بوده که در سرکوب ROSها نقش حیاتی دارد. از طرف دیگر، فنول‌ها ترکیبات ضد میکروبی هستند که به عنوان اولین پاسخ دفاعی گیاهان در مقابل هجوم میکروارگانیسم‌ها فعالیت می‌کنند. در هنگام حمله پاتوژن‌ها، تجمع فنول‌ها در گیاهان افزایش می‌یابد (Shah & Hashmi, 2020). با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه فعالیت ضدقارچی آلوئه‌ورا می‌تواند به دلیل حضور ترکیبات بیواکتیو و ترکیبات فنولی مانند فلاونوئیدها باشد که در مقابل آلودگی قارچی فعال‌تر از سایر ترکیبات می‌باشد (Sarabia *et al.*, 1999). آنتوسیانین نیز یکی از اجزای ترکیبات فنولی می‌باشد که مسئول ایجاد رنگ قرمز-آبی در بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد و اثرات مثبتی بر سلامتی انسان دارد (Garcia-Alonso *et al.*, 2004). یکی از مهمترین ویژگی‌های بیولوژیکی ترکیبات فنولی و آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Wang *et al.*, 1996). بنابراین حفظ این ترکیبات در سطوح بالاتر در طول دوره انبارمانی و عمر قفسه‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد. افزایش میزان ترکیبات فنولی در طول دوره نگهداری در سردخانه نشان‌دهنده تداوم بیوسنتز مبتنی بر فعالیت بالای آنزیم‌های مسیر سنتز این ترکیبات پس از برداشت می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در مطالعه اخیر نشان‌دهنده فعالیت بالای مسیر فنیل-پروپانویید در میوه‌های تیمار شده با ژل آلوئه‌ورا در طول دوره سه ماه انبارمانی می‌باشد، این مسئله مربوط به فعالیت بالای آنزیم PAL و بالعکس فعالیت پایین آنزیم PPO در میوه‌های تیمار شده در مقایسه با میوه‌های شاهد می‌باشد. با فعالیت آنزیم PAL سنتز ترکیبات فنولی افزایش یافت و در نتیجه آن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالا رفت. همانطور که قبلاً بیان شد، مهمترین نقش ترکیبات فنولی در سرکوب ROSها تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی است

نتیجه‌گیری کلی

تیمار پس از برداشت میوه انار با پوشش ژل آلوه‌ورا به طور کلی سبب حفظ ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای میوه انار در طول ۹۰ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به اضافه ۳ روز در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (عمر قفسه‌ای) شد. کاربرد این پوشش موجب کاهش علائم سرمازدگی در میوه‌های تیمار شده گشت که همین مسئله با سطوح پایین میزان MDA و نشت الکترولیت و افزایش فعالیت مسیر فنیل پروپانویید (فعالیت بالای آنزیم PAL و فعالیت پایین آنزیم PPO) و مقادیر بالای ترکیبات فنولی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین همراه بود. از طرف دیگر ظرفیت

آنتی‌اکسیدانی بالا، فعالیت بالای آنزیم‌های SOD، CAT و APX و همچنین سطوح بالاتر میزان اسیدآسکوربیک نیز در میوه‌های تیمار شده مشاهده شد. علاوه بر این، پوشش ژل آلوه‌ورا به عنوان یک مانع فیزیکی عمل کرد و از کاهش وزن میوه‌های تیمار شده طی انبارمانی جلوگیری نمود. همچنین درصد پوسیدگی در میوه‌های تیمار شده با این پوشش در مقایسه با میوه‌های شاهد کمتر بود. به طور کلی، کاربرد ژل آلوه‌ورا در غلظت ۸۰ درصد می‌تواند به عنوان یک پوشش ایمن، طبیعی و دوست‌دار محیط زیست در حفظ کیفیت تغذیه‌ای و افزایش مقاومت به سرما موثر باشد و مورد استفاده قرار بگیرد.

REFERENCIS

- Abolfathi, A., Esna Ashari, M., Azizi, A. & Sayyari, M. (2016). The effect of *Aloe vera* gel coating on storage life and some quality characteristics in pomegranate fruit cv. Malas saveh. In: Proceeding of 9th Congress on Horticultural Science, 24-27 Jan., Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, pp. 1-4. (In Farsi).
- Aghdam, M.S. & Bodbodak, S. (2013). Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. *Scientia Horticulturae*, 156, 73–85.
- Ahmed, M. J., Singh, Z. & Khan A. S. (2009). Postharvest *Aloe vera* gel-coating modulates fruit ripening and quality of 'Arctic Snow' nectarine kept in ambient and cold storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1024–1033.
- Ali, S., Khan, A. S., Nawaz, A., Anjum, M. A., Naz, S., Ejaz, S. & Hussain, S. (2019). *Aloe vera* gel coating delays postharvest browning and maintains quality of harvested litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 157, 110960.
- Anonymous. (2017). *Agriculture Statistic of Iran*. Deputy Planning and Economic, Ministry of Agriculture-Jahad, Iran, Retrieved 11 July 2018 from <http://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj194-95-site.pdf> (In Farsi).
- Babalar, M., Pirzad, F., Sarcheshmeh, M. A. A., Talaie, A. & Lessani, H. (2017). Arginine treatment attenuates chilling injury of pomegranate fruit during cold storage by enhancing antioxidant system activity. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 31–37.
- Castillo, S., Navarro, D., Zapata, P.J., Guillen, F., Valero, D., Serrano, M. & Martinez-Romero, D. (2010). Antifungal efficacy of *Aloe vera* *in vitro* and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality. *Postharvest Biology and Technology*, 57, 183–188.
- Cheng, S., Wei, B., Zhou, Q., Tan, D. & Ji, S. (2015). 1-Methylcyclopropene alleviates chilling injury by regulating energy metabolism and fatty acid content in 'Nanguo' pears. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 130–136.
- Dehghan, G. & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 131, 422–427.
- De Rodriguez, D.J., Hernández-Castillo, D., Rodríguez-García, R. & Angulo-Sánchez, J. L. (2005). Antifungal activity *in vitro* of *Aloe vera* pulp and liquid fraction against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products*, 21, 81–87.
- Ehteshami, S., Abdollahi, F., Ramezani, A., & Dastjerdi, A. M. (2020). Maintenance of quality and bioactive compounds in pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) by combined application of organic acids and chitosan edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 44(9), e13393.
- Garcia-Alonso, M., Rimbach, G., Rivas-Gonzalo, J.C. & De Pascual-Teresa, S. (2004). Antioxidant and cellular activities of anthocyanins and their corresponding vitisins a studies in platelets, monocytes, and human endothelial cells. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 3378–3384.
- Ghasemzhad, M., Zareh, S., Rassa, M. & Hassan-Sajedi, R. (2013). Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 368–374.

14. Ghazimoghadam, M., Selahvarzi, Y. & Abedi, B. (2021). Increasing the shelf life and preserving of the quality of apple fruit 'Golab' using an edible coating of *Aloe vera* gel and essential oil of Shirazi thyme. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(4), 899-911. (In Farsi).
15. Giusti, M. M. & Wrolstad, E. (2001). Anthocyanins: Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. In: E. Wrolstad (Ed), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. (pp. F1.2.1-F1.2.13.) Wiley, New York.
16. Heber, D. & Bowerman, S. (2009). California pomegranates: an ancient fruit is new again. *Nutrition Today*, 44(4), 180-184.
17. Hodges, D. M., Lester, G. E., Munro, K. D. & Toivonen, P. (2004) Oxidative stress: importance for postharvest quality: oxidative stress: postharvest fruits and vegetables. *HortScience.*, 39, 924-929.
18. Kader, A. A. (2006). Postharvest biology and technology of pomegranates. In: N. P. Seeram. R. N. Schulman. & D. Heber (Eds), *Pomegranates, Ancient Roots to Modern Medicine*. (pp.211-218.) CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton.
19. Khorram, F., Ramezani, A. & Hosseini, S. M. H. (2017). Effect of different edible coatings on postharvest quality of 'Kinnow' mandarin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1827-1833.
20. Luo, Z., Chen, C. & Xie, J. (2011). Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of 'Qingnai' plum fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 62, 115-120.
21. Lado, J., Rodrigo, M. J., Lopez-Climent, M., Gomez-Cadenas, A. & Zacarias, L. (2016). Implication of the antioxidant system in chilling injury tolerance in the red peel of grape fruit. *Postharvest Biology Technology*, 111, 214-223.
22. Marpudi, S.L., Abirami, L.S.S., Pushkala, R. & Srividya, N. (2011). Enhancement of storage life and quality maintenance of papaya fruits using *Aloe vera* based antimicrobial coating. *Indian Journal of Biotechnology*, 10, 83-89.
23. Martinez-Romero, D., Albuquerque, N., Valverde, J.M., Guillen, F., Castillo, S., Valero, D. & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 93-100.
24. Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Martinez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J., Serrano, M. & Valero, D. (2007). Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: role of polyamines. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 19-25.
25. Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. & Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Food Science and Nutrition*, 42, 67-89.
26. Nanda, S., Rao, R. & Krishnamurthy, S. (2001). Effects of shrink film wrapping and storage temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. *Postharvest Biology and Technology*, 22, 61-69
27. Nguyen, T. B. T., Ketsa, S. & Van Doorn, W. G. (2003). Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 30, 187-193.
28. Paladines, D., Valero, D., Valverde, J.M., Diaz-Mula, H., Serrano, M. & Martinez-Romero, D. (2014). The addition of rosehip oil improves the beneficial effect of *Aloe vera* gel on delaying ripening and maintaining postharvest quality of several stone fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 23-28.
29. Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M., Gutierrez-Martinez, P., Robles-Sunchez, M. & Gonzalez-Aguilar, G. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7-13.
30. Palou, L., Crisost, C.H. & Garner, D. (2007). Combination of postharvest antifungal chemical treatments and controlled atmosphere storage to control gray mold and improve storability of wonderful pomegranates. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 133-142.
31. Pan, Y., Chen, L., Chen, X., Jia, X., Zhang, j., Ban, Z. & Li, X (2019). Postharvest intermittent heat treatment alleviates chilling injury in cold-stored sweet potato roots through the antioxidant metabolism regulation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14274.
32. Pitt, J. & Hocking, A. D. (1999). *Fungi and food spoilage*. Aspen Publ. Inc., Gaithersburg, Maryland.
33. Purwanto, Y. A., & Hutabarat, O. S. (2012). Effect of heat shock treatment and *Aloe vera* coating to chilling injury symptom in tomato (*Lycopersicon asculantum* Mill.). *Jurnal Keteknik Pertanian*, 26(1), 47-51.
34. Rasouli, M., Saba, M.K. & Ramezani, A. (2019). Inhibitory effect of salicylic acid and *Aloe vera* gel edible coating on microbial load and chilling injury of orange fruit. *Scientia Horticulturae*, 247, 27-34.
35. Safizadeh, M.R. (2021). Effects of shrink film wrapping, wax coating and paper packaging on the quality attributes of pomegranates (*Punica granatum* L.) cvs. 'Eshkafto' and 'Rabbab' during cold storage. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 405-418. (In Farsi).
36. Sarabia, J.E.L., Clares, V.P.L., Clares, R.A.R. & Hernández, V.P. (1999). Actividad antiinflamatoria y cicatrizante del unguento rectal de *Aloe vera* L. (Sábila). *Planta Medica journal*, 4, 106-109.

37. 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, 152-154.
38. Sayyari, M., Castillo, S., Valero, D., Diaz-Mula, H. M. & Serrano, M. (2011). Acetyl salicylic acid alleviates chilling injury and maintains nutritive and bioactive compounds and antioxidant activity during postharvest storage of pomegranates. *Postharvest Biology Technology*, 60, 136-142.
39. Sayyari, M., Aghdam, M. S., Salehi, F. & Ghanbari, F. (2016). Salicyloyl chitosan alleviates chilling injury and maintains antioxidant capacity of pomegranate fruits during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 211, 110-117.
40. Schotsmans, W. C., DeLong, J. M., Larrigaudière, C., Prange, R. K. & Yahia, E. M. (2009). Effects on physiological disorders. In: E. M. Yahia (Ed.), *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. (pp.177-210.) CRC Press.
41. Selcuk, N. & Erkan, M. (2014). Changes in antioxidant activity and postharvest quality of sweet pomegranates cv. Hicrannar under modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 29-36.
42. Siboz, X. I., Bertling, I. & Odindo, A. O. (2014). Salicylic acid and methyl jasmonate improve chilling tolerance in cold-stored lemon fruit (*Citrus limon*). *Journal of Plant Physiology*, 171, 1722-1731
43. Shah, S. & Hashmi, M. S. (2020) Chitosan–*Aloe vera* gel coating delays postharvest decay of mango fruit. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 61 (2), 279-289.
44. Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
45. Sogvar, O.B., Koushesh Saba, M. & Emamifar, A. (2016). *Aloe vera* and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29-35.
46. Supapvanich, S., Mitsang, P., Srinorkham, P., Boonyariththongchai, P. & Wongs-Aree, C. (2016). Effects of fresh *Aloe vera* gel coating on browning alleviation of fresh cut wax apple (*Syzygium samarangense*) fruit cv. Taaptimjaan. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 2844-2850.
47. Taheri, M., Heidari, M. & Zarei, M. (2019). Effects of *Aloe vera* gel and storage duration on some biochemical indices in minimally processed pomegranate fresh arils. *Iranian Journal of Plant Production*, 42 (4), 495-508. (In Farsi).
48. Terada, M., Watanabe, Y., Kunitomo, M. & Hayashi, E. (1978). Differential rapid analysis of ascorbic acid and ascorbic acid 2-sulfate by dinitrophenylhydrazine method. *Analytical Biochemistry*, 84, 604-608.
49. Valverde, J. M., Valero, D., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S. & Serrano, M. (2005) Novel edible coating based on *Aloe vera* gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53, 7807-7813.
50. Vieira, J. M., Flores-López, M. L., de Rodriguez, D. J., Sousa, M. C., Vicente, A. A. & Plant Med Martins, J. T. (2016). Effect of Chitosan-*Aloe vera* coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 88-97.
51. Vogler, B.K. & Ernst, E. (1999). *Aloe vera*: a systematic review of its clinical effectiveness. *British Journal of General Practice*, 49, 823-828.
52. Wang, H., Cao, G. & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44, 701-705.
53. Wang, Q., Ding, T., Zuo, J., Gao, L. & Fan, L. (2016). Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine. *Postharvest Biology Technology*, 112, 114-120.
54. Wang, L., Farooq, S, U., Xie, B., Hu, S., Jin, P. & Zheng, Y. (2019). Biochemical and molecular effects of glycine betaine treatment on membrane fatty acid metabolism in cold stored peaches. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 58-69.
55. Wang, J., Lv, M., He, H., Jiang, Y., Yang, J. & Ji, S. (2020). Glycine betaine alleviated peel browning in cold-stored 'Nanguo' pears during shelf life by regulating phenylpropanoid and soluble sugar metabolisms. *Scientia Horticulturae*, 262, 109100.
56. Yao, W., Xu, T., Farooq, S, U., Jin, P. & Zheng, Y. (2018). Glycine betaine treatment alleviates chilling injury in zucchini fruit (*Cucurbita pepo* L.) by modulating antioxidant enzymes and membrane fatty acid metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 144, 20-28.
57. Zhang, X., Shen, L., Li, F., Meng, D. & Sheng, J. (2013). Amelioration of chilling stress by arginine in tomato fruit: changes in endogenous arginine catabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 106-111.
58. Zhishen, J., Mengcheng, T. & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555-559.