Plant Production Technology/ Volume 26/ Issue 1/ Pages 29-45/ Spring and Summer 2026
https://doi.org/10.22084/ppt.2026.31496.2170

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Increasing the Post-Harvest Shelf Life and Quality of Pears (*Pyrus communis* cv. Louise bonne) Fruit with the Application of Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and the Combination of Pelargonium Essential Oil- Cucurbita pepo Oil

Alavi Siahposh[1], N., Sayyari[2*], M. and Azizi[3], A.

1. Former Msc Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2 Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*: Corresponding Author Email: m.sayyari@basu.ac.ir

Received: 2025/08/29 Accepted: 2026/02/28

Introduction
Pear fruits is an ascending fruits with high ethylene production rate, high softening speed and sensitive to physical and physiological defects as well as water loss. These characteristics limit the transportation and marketing of pear fruit from farms to distant markets as well as their storage in cold storage. Since pears are highly perishable after harvesting, it is necessary to develop suitable solutions to increase the shelf life of pears after harvesting, in order to use them in all seasons of the year. One of the the strategies is using natural products such as hexanal and others products to extend pear fruits storability.
Hexanal is a volatile natural substance, which is produced in plants through the lipoxygenase pathway and can play an important role in defense against natural spoilage caused by fungi. Hexanal is known as a safe substance for human health. This substance can inhibit the activity of the phospholipase enzyme, which plays an essential role in membrane destruction, and prolongs the life after harvesting of agricultural products. Various researches have shown that the use of hexanal alone or in some special formulations preserves the quality and increases the shelf life of fruits and vegetables The enhanced freshness formulation (EFF) is an inhibitor of membrane destruction, which contains hexanal and antioxidant compounds. Geraniol and alpha-tocopherol, which are naturally present in geranium essential oil and paper pumpkin seed oil, are the main compunds of EFF with hexanal. Essential oils are a group of natural monoterpene compounds used in the control of post-harvest diseases, which dissolve in water in a very small amount and have anti-pathogenic effects. The fragrant geranium plant is one of the medicinal plants that contains essential oil containing geraniol, citronellol, tripeneol and alcohols. Paper seed pumpkin is also a herbaceous, annual plant belonging to the gourd family. Its seed contains 41-59% oil, which contains valuable substances such as vitamin E, phytosterol and protochlorophyll.
The use of natural and organic compounds in the production and maintenance of agricultural products, in addition to the production of products free of dangerous and harmful chemicals, will also increase its nutritional and medicinal value. So that, the purpose of this research was to investigate the effect of some natural compounds such as hexanal on some quantitative and qualitative characteristics of Louise bonne cultivar.

Materials and Methods
The research was carried out to investigate the effect of hexanal, enhanced freshness formulation (EFF) and the combination of pelargonium essential oil plus *cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO) on some quantitative and qualitative characteristics of pear fruit (*Pyrus communis* cv. Louise bonne) during cold storage. After applying treatments, the pear fruits were transferred to the cold storage (0±1˚C) and at six different times (including 0 (start of storage), 15 days, 30 days, 45 days, 60 days, and 75 days after the start of storage), some of their quantitative and qualitative characteristics such as texture firmness, titratable acidity, soluble solid content, Ascorbic acid, Total phenolic compound, antioxidant activity and color indices were measured.

Results and Discussion
The evaluations carried out during different storage periods showed that pear fruit's quantitative and qualitative characteristics decreased significantly during cold storage. The results showed that after 75 days of storage of pear fruit, texture firmness, titratable acidity, soluble solid content, Ascorbic acid, Total phenolic compound, and antioxidant activity were 18.86, 32.04, 9.81, respectively 33.52, 34.13 and 31.10% respectively, but the pH of fruit juice increased. Also, color indices L*, a*, b*, and total color changes (ΔE) increased significantly during cold storage. The application of hexanal, EFF, and the combination of pelargonium essential oil- cucurbita pepo oil did not have a significant effect

on the color indices L*, a*, b* as well as the total color changes (ΔE), but the quantity and quality of pear fruit significantly increased. Compared to the hexanal and combination of pelargonium essential oil- cucurbita pepo oil treatments, EFF had a more significant effect on improving the quantitative and qualitative characteristics of pear fruit. The EFF increased the tissue firmness, Ascorbic acid, Total phenolic compound, and antioxidant activity by 8.14, 8.18, 12.31, and 18.69%, respectively.

Conclusion
According to the results of the present study, using the EFF to improve the quality and increase the shelf life post-harvesting the fruit is recommended.

Keywords: Antioxidant activity, Ascorbic acid, Color indices, Shelf life, Total phenolic compound.

Citations: Alavi Siahposh, N., Sayyari, M. and Azizi, A.. (2026). Increasing the Post-Harvest Shelf Life and Quality of Pears (Pyrus communis cv. Louise bonne) Fruit with the Application of Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and the Combination of Pelargonium Essential Oil- Cucurbita pepo Oil. *Plant Production Technology*, 26(1), 29-45.
https://doi.org/10.22084/ppt.2026.31496.2170

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و ششم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۲۹-۴۵/ بهار و تابستان ۱۴۰۵

https://doi.org/10.22084/ppt.2026.31496.2170

افزایش ماندگاری و کیفیت میوه گلابی (*Pyrus communis* cv. Louise bonne) با کاربرد هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن‌کدوی تخمه کاغذی

Increasing the Post-Harvest Shelf Life and Quality of Pears (*Pyrus communis* cv. Louise bonne) Fruit with the Application of Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and the Combination of Pelargonium Essential Oil- Cucurbita pepo Oil

نسترن علوی سیاه‌پوش[۱]، محمد سیاری[۲*] و علی عزیزی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۹

(مقاله پژوهشی)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر تیمارهای هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه (EFF) و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن‌کدوی تخمه کاغذی (PGEO+CPO) بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گلابی رقم لوئیزبن طی نگهداری در دمای پایین، صورت گرفت. بعد از اعمال تیمارها، میوه‌ها به سردخانه (دمای ۱±۰) منتقل و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی آن‌ها در شش زمان مختلف (شامل روز شروع انبارمانی، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ روز بعد از شروع انبار)، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گلابی رقم لوئیزبن در طول انبار سرد با کاهش معنی‌داری مواجه شدند و پس از گذشت ۷۵ روز، سفتی بافت، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، اسید اسکوربیک، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی به‌ترتیب به میزان ۱۸/۸۶، ۳۲/۰۴، ۹/۸۱، ۳۳/۵۲، ۳۴/۱۳ و ۳۱/۱۰ درصد کاهش یافته و میزان pH آب میوه افزایش پیدا کرد. همچنین شاخص‌های رنگ L*، a* و b* و تغییرات رنگ کل (ΔE) تحت تأثیر زمان انبار افزایش یافت. استفاده از تیمارهای هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه (EFF) و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن‌کدوی تخمه کاغذی (PGEO+CPO) EFF و PGEO+CPO بر شاخص‌های رنگ تأثیر معنی‌داری نداشتند ولی به‌صورت قابل‌توجهی برخی شاخص‌های کیفی میوه را بهبود دادند. در مقایسه با تیمارهای هگزانال و PGEO+CPO ، تیمار EFF تأثیر بیشتری بر بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوه داشت. EFF میزان سفتی بافت، اسید اسکوربیک، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به‌ترتیب به میزان ۸/۱۴، ۸/۱۸، ۱۲/۳۱ و ۱۸/۶۹ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از EFF برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری پس از برداشت میوه گلابی رقم لوئیزبن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید اسکوربیک، شاخص‌های رنگ، عمر انباری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل.

ارجاع به مقاله: علوی سیاه‌پوش، ن.، سیاری، م.، عزیزی، ع. (۱۴۰۵). افزایش ماندگاری و کیفیت میوه گلابی (Pyrus communis cv. Louise bonne) با کاربرد هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن‌کدوی تخمه کاغذی، *مجله فنآوری تولیدات گیاهی*، ۲۶(۱)، ۲۹-۴۵.

https://doi.org/ 10.22084/ppt.2026.31496.2170/

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱ **شاپا چاپی:** ۲۴۷۶-۶۳۲۱

۱. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

*: نویسنده مسئول Email: m.sayyari@basu.ac.ir

۱. مقدمه

گلابی (*Pyrus communis* L.) یکی از میوه‌های مهم در سراسر جهان محسوب می‌شود که ارزش غذایی بالایی داشته و منبع غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی مختلف می‌باشد. همچنین به دلیل داشتن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالا و ترکیبات متنوع گیاهی منحصربه‌فرد، خواص دارویی متعددی دارد. افزون بر این، گلابی pH خون را در بدن انسان حفظ می‌کند و دارای خواص ضدالتهاب، ضد عفونی کننده، ضد باکتری، ضد دیابت، آرام‌بخش و تب‌بر است (Akagić *et al.*, 2022; Parle and Arzoo, 2016).

در طول دوره انبار محصولات باغی از جمله گلابی، تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌افتد که منجر به از بین رفتن برخی از مواد تشکیل‌دهنده آنها می‌گردد. ازجمله اساسی‌ترین علل تغییرات می‌تواند آلودگی میکروبی، قهوه‌ای شدن آنزیمی، کاهش سفتی، ایجاد طعم بد و تغییر شکل فیزیکی باشد. کیفیت و ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی مانند از دست دادن آب، قهوه‌ای شدن آنزیمی و زوال بافت کاهش می‌یابد. میوه گلابی در اواسط تابستان بالغ شده و تغییرات سریع فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی منجر به کاهش ماندگاری پس از برداشت آن می‌گردد (Nath *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2025). سایر تغییرات نرم‌شدن نظیر کاهش سفتی، کاهش تورژسانس سلولی و تخریب دیواره سلولی مهم‌ترین علائم کاهش کیفیت و عمر پس از برداشت هستند که می‌توان با راهبردهایی از جمله کاربرد برخی از ترکیبات طبیعی با آنها مقابله کرد (Akagić *et al.*, 2022).

فرمولاسیون حفظ تازگی[1] محصول ازجمله ترکیبات طبیعی است که به عنوان بازدارنده قوی تخریب غشاء عمل کرده و حاوی هگزانال و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله ژرانیول وآلفا توکوفرول است که به صورت طبیعی در اسانس گیاه شمعدانی معطر و روغن کدوی تخمه کاغذی وجود دارند (Mthembu *et al.*, 2024; Sharma *et al.*, 2010). اسانس‌ها نیز دسته‌ای از ترکیبات طبیعی مونوترپنی مورد استفاده در کنترل بیماری‌های پس از برداشت هستند که به میزان بسیار کم در آب حل شده و اثرات ضد پاتوژنی دارند (Kalia *et al.*, 2019). گیاه شمعدانی معطر یکی ازگیاهان دارویی بوده که دارای اسانس حاوی ژرانیول، سیترونلول و ترپینئول[2] و الکل‌ها می‌باشد (Lis-Balchin, 2002). کدوی تخمه کاغذی نیز گیاهی علفی، یکساله و متعلق به تیره کدوئیان است که دانه آن حاوی ۴۱ تا ۵۹ درصد روغن و مواد ارزشمندی نظیر ویتامینE، فیتوسترول و پروتوکلروفیل می‌باشد (Haiyan *et al.*, 2007).

استفاده از ترکیبات طبیعی و آلی در تولید و نگهداری محصولات کشاورزی، افزون بر تولید محصول عاری از مواد شیمیایی خطرناک و مضر، باعث افزایش ارزش غذایی و دارویی آن نیز خواهد شد (Singh *et al.*, 2019). هگزانال یک ماده طبیعی فرار است،که از طریق آنزیم لیپواکسیژناز درگیاهان ایجاد شده و می‌تواند برای دفاع علیه فساد طبیعی ناشی از قارچ‌ها نقش مهمی داشته باشد (Sharma *et al.*, 2023; Spotts *et al.*, 2007). هگزانال به‌عنوان یک ماده بی‌خطر برای سلامتی انسان شناخته شده است. این ماده می‌تواند فعالیت آنزیم فسفولیپاز را که در تخریب غشاء نقش اساسی دارد را مهار و سبب طولانی‌تر شدن عمر پس از برداشت محصولات کشاورزی گردد (Cheema *et al.*, 2014). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که کاربرد هگزانال به تنهایی یا در برخی از فرمولاسیون‌های ویژه، موجب حفظ کیفیت و افزایش عمر انباری میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردد (Cheema *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2010).

گلابی میوه‌ای فرازگرا با تولید اتیلن زیاد، سرعت نرم شدن بالا و حساس به عیوب آسیب‌های فیزیکی و فیزیولوژیکی و هدررفت آب می‌باشد. این ویژگی‌ها، حمل و نقل و بازاریابی میوه گلابی از باغ‌ها و مراکز تولید به بازارهای دور و همچنین نگهداری آن‌ها در سردخانه را محدود می‌کنند (Singh *et al.*, 2019). برای جلوگیری از افت کیفیت میوه گلابی طی حمل و نقل و نگهداری در انبار می‌توان از کاربرد برخی ترکیبات طبیعی همانند هگزانال (Cheema *et al.*, 2014)، اسانس‌ها و فرمولاسیون‌های حاوی مواد آلی (Mthembu *et al.*, 2024) بهره برد که خواص مفید آنها در منابع مرور شده گزارش شده است. از آن‌جایی که در مرحله برداشت و نیز پس از برداشت، گلابی قابلیت فسادپذیری بالایی دارد، توسعه راهکارهای

1. Enhanced Freshness Formulation (EFF)

2. Geraniol, Citronellol and Terpineol

مناسب جهت افزایش ماندگاری پس از برداشت میوه گلابی، به منظور استفاده در تمام فصول سال ضروری می‌باشد، لذا هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر برخی ترکیبات طبیعی همانند هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و اسانس شمعدانی معطر- روغن‌کدوی تخمه کاغذی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گلابی رقم لوئیزبن بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثرات هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و اسانس شمعدانی معطر- روغن‌کدوی تخمه کاغذی (به صورت ترکیبی) بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گلابی رقم لوئیزبن (*Pyrus communis* cv. Louise bonne) طی هفتاد و پنج روز انبارداری، در سردخانه و آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام پذیرفت. میوه‌های گلابی رقم لوئیزبن در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی (براساس تجربه باغداران محلی، ۱۸۳ روز پس از گلدهی بلوغ در این رقم اتفاق می‌افتد و مناسب برداشت به‌منظور نگهداری در انبار با دمای پایین است) از یکی از باغ‌های شهرستان رزن استان همدان برداشت، بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و پس از حذف میوه‌های آلوده و آسیب‌دیده، براساس اندازه یکنواخت انتخاب و تیمار شدند. تیمارهای آزمایش شامل ۱- شاهد (میوه‌های تیمار شده با حلال)، ۲- هگزانال، ۳- فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ٤- ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی بود. بعد از اعمال تیمارها، میوه‌های گلابی به سردخانه (دمای ۰±۱) منتقل و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی آن‌ها در شش زمان مختلف (شامل روز صفر (شروع انبارداری)، ۱۵، ۳۰، ٤۵، ٦۰ و ۷۵ روز بعد از شروع انبارداری) مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای تهیه محلول‌های تیمار، ابتدا محلول ذخیره آن‌ها ساخته شد. محلول ذخیره هگزانال شامل ۱ میلی‌لیتر هگزانال و ۰/۵ میلی‌لیتر توئین ۲۰ بود که در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول (۱۰ درصد) حل شد. محلول ذخیره فرمولاسیون حفظ تازگی میوه از ترکیب ۱ میلی‌لیتر هگزانال، ۱ گرم آسکوربیک اسید، ۰/۵ میلی‌لیتر اسانس شمعدانی معطر، ۵ میلی‌لیتر روغن‌کدوی تخمه کاغذی حاصل گردید که در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول (۱۰ درصد) حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر توئین ۲۰ حل شد. همچنین برای به دست آوردن محلول ذخیره اسانس شمعدانی معطر و روغن‌کدوی تخمه کاغذی، ۲ میلی‌لیتر اسانس شمعدانی معطر و ۵ میلی‌لیتر روغن‌کدوی تخمه کاغذی با ۰/۵ میلی‌لیتر توئین ۲۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول (۱۰ درصد) حل گردید.

برای اعمال تیمارها، محلول‌های پایه[1] با ۵ لیتر آب مقطر رقیق شده و میوه‌ها به مدت ۲/۵ دقیقه در دمای ۱± ۲۵ درجه سلسیوس در آنها غوطه‌ورشدند. سپس، میوه‌ها در دمای اتاق خشک و به شش میوه در هر تکرار درون ظروف پلاستیکی یک‌بار مصرف منفذدار بسته‌بندی و به سردخانه با دمای ۰±۱ درجه سلسیوس منتقل شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌ها

درصد کاهش وزن

برای محاسبه کاهش وزن،گلابی‌های هر تکرار قبل از ورود به انبار(شروع انبارداری) و در دوره‌های خروج از انبار (۱۵، ۳۰، ٤۵، ٦۰ و ۷۵ روز) توسط ترازوی دیجیتال توزین و درصد کاهش وزن با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 = وزن میوه قبل از انبار، W_2 = وزن میوه در مرحله انبارداری موردنظر.

سفتی، pH و مواد جامد محلول کل

سفتی بافت با استفاده از دستگاه نفوذسنج (ویگنر[2]، ایتالیا)، با پروبی به قطر سه میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. سفتی بافت براساس بیش‌ترین نیروی لازم برای نفوذ پروب در میوه بر حسب نیوتن بیان شد. میزان pH و مواد جامد محلول آب میوه نیز به ترتیب با استفاده از دستگاه pH متر (متروهم مدل ۳۳۲۰) و رفراکتومتر دستی (آتاگو[3]- N1، ژاپن) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس (دمای اتاق) تعیین گردید.

اسیدیته قابل تیتراسیون

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون کل میوه با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. برای این منظور، پس از آب گیری

1. Stock
2. Wigner
3. Atago N1, Japan

از بافت میوه، میزان ۲ میلی‌لیتر آب میوه با آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد و پس از همگن شدن، با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH نهایی ۸/۱±۰/۱ تیتر گردید. اسیدیته قابل تیتراسیون با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید و مقدار عددی آن برحسب اسید تارتاریک به عنوان اسید غالب گلابی بیان شد:

$$\text{اسیدیته قابل تیتراسیون (٪)} = \frac{V1 \times N \times (meq.wt.) \times 100}{V2 \times 1000}$$

V_1= حجم سود مصرفی برای تیتراسیون بر حسب میلی‌لیتر، N= نرمالیته سود مصرفی (۰/۱ نرمال)، meq.wt= میلی اکی‌والان اسید تارتاریک (۷۵/۰۵) و V_2= حجم نمونه آب میوه برحسب میلی‌لیتر.

اسید اسکوربیک

برای اندازه‌گیری اسید اسکوربیک، از روش تیتراسیون با استفاده از دی کلروفنل ایندوفنل در طی دو مرحله استخراج و سنجش انجام گرفت. طبق این روش ابتدا ۲/۵ گرم از هر نمونه با ۵ میلی‌لیتر متافسفریک ۱ درصد حاوی EDTA در هاون چینی کوبیده شد. محلول به‌دست‌آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. برای اندازه‌گیری اسید اسکوربیک، ۵ میلی‌لیتر از رو شناور عصاره برداشته و ۵ میلی‌لیتر متافسفریک ۱ درصد حاوی EDTA به آن اضافه گردید. سپس تیتراسیون با معرف دی کلروفنل ایندوفنل ۰/۰۲۵ درصد دارای بی‌کربنات سدیم انجام شد تا رنگ صورتی کم‌رنگ ظاهر شد و به‌مدت ۱۵ ثانیه پایدار ماند. در نهایت حجم معرف مصرفی ثبت و براساس فرمول زیر مقدار اسید اسکوربیک محاسبه گردید (Singh *et al.*, 2019):

مقدار ماده / (V × T) = (Mg/100g) میزان اسید اسکوربیک (۱۰۰ × گیاهی)

V= حجم مصرفی معرف جهت تیتراسیون محلول حاوی یک میلی‌گرم اسید اسکوربیک، T= میلی اکی‌والان اسید اسکوربیک.

محتوای فنل کل

برای استخراج فنل کل ابتدا ۱/۲۵ گرم نمونه همراه با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد حاوی ۲ میلی‌مولار سدیم فلوراید، مخلوط شده و در هاون چینی کوبیده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۷ دقیقه در ۱۰۰۰۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. برای اندازه‌گیری فنل کل، ۵۰ میکرولیتر روشناور استخراج شده با ۱/۲۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتئو[1] و ۲۵۰ میکرولیتر بافر سدیم فسفات (۵۰ میلی‌مولار با پی اچ ۷/۸) به‌مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر قرار گرفتند و ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۷/۵ درصد) به آن اضافه گردید. محلول دوباره شیکر شده و به مدت ۵ دقیقه در داخل بن ماری با دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل UV- 1280، شیمادزو[2]، ژاپن)، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد و با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید، مقدار فنل کل بر اساس میلی‌گرم در وزن تازه میوه بیان شد (Akagić *et al.*, 2022).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های‌گلابی با استفاده از روش سنجش درصد مهارکنندگی DPPH (۲ و ۲ دی فنیل پیکریل هیدرازیل) با اندکی تغییر انجام گردید (Eberhardt *et al.*, 2000). برای این منظور، به ۱۰۰ میکرولیتر از روشناور عصاره آماده شده برای سنجش میزان فنل کل، ۲۰۰۰ میکرولیتر DPPH افزوده گردید و نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک روی شیکر با ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. در نهایت جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV- 1280، شیمادزو، ژاپن) در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید. از متانول ۸۵ درصد برای صفر کردن دستگاه استفاده شد. جذب محلول DPPH خالص نیز به‌عنوان کنترل در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد.

برای تهیه ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول DPPH، ۴/۸ میلی‌گرم از این ماده در محیط تاریک و زیر هود با متانول ۸۵ درصد به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. درصد فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

ظرفیت آنتی اکسیدانی (٪) = (۱ – (AO ÷ AI)) × ۱۰۰

AO= جذب نمونه، AI= جذب DPPH.

1. Follin Ciocalteo
2. Shimadzu

شاخص‌های رنگ

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر رنگ میوه‌های گلابی از روش پردازش تصویر استفاده شد. به این منظور از نمونه‌های میوه توسط دستگاه اسکنر اچ پی مدل HPscanjet G2410 تصویربرداری شد. سپس تصاویر گرفته شده توسط نرم‌افزار Image J (software version 1/42e.USA) و برنامه آن با استفاده از Color-space-converter از فضای رنگی RGB به L* a* b* تبدیل گردید. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل L* (۰= سیاه و ۱۰۰= سفید)، a* (a- = سبزی، a+ = قرمزی)، b* (b- = آبی و b+ = زرد) و ΔE (اختلاف رنگ کل) بود. شاخص‌های L*، a* و b* توسط نرم‌افزار Image J مشخص و اختلاف رنگ کل (ΔE) نیز از طریق فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

آنالیز آماری

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار فاکتور در ۳ تکرار صورت گرفت. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/٤) انجام گرفت و میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس در (جدول ۱) آورده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، دوره انباری بر روی کلیه صفات مورد اندازه گیری اثر معنی داری در سطح ۱ درصد گذاشته است. اثر تیمارها بر شاخص های رنگی معنی دار نبوده و اثر آن بر بقیه صفات غیر از مواد جامد محلول در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است. برهمکنش اثر ۲ فاکتور مورد مطاله تنها بر میزان کاهش وزن در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است (جدول ۱).

کاهش وزن

براساس نتایج مقایسه میانگین، کاهش وزن میوه گلابی در طول دوره انبارداری در طی ۷۵ روز، به صورت معنی‌داری افزایشی بود و بیش‌ترین میزان کاهش وزن در روز ۷۵ (با ٦/۳۹ درصد کاهش) و کم‌ترین میزان کاهش وزن در روز ۱۵ (با ۳/۸۳ درصد کاهش) پس از شروع انبارداری مشاهده گردید (جدول ۲). کاربرد هر سه تیمار هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی از کاهش وزن میوه در طول دوره انبارداری در مقایسه با شاهد جلوگیری کردند. کم‌ترین درصد کاهش وزن میوه با ۳/۷۷ درصد کاهش مربوط به فرمولاسیون حفظ تازگی میوه بود که با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین میوه‌های تیمار شده با هگزانال و ترکیب اسانس و روغن به ترتیب با کاهش وزن ٤/۲۹ و ٤/۰٤ درصدی مواجه شدند که کاهش وزن کم‌تری را در مقایسه با شاهد (٤/۵۲ درصد) نشان دادند (جدول ۳).

در پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها، هدررفت ذخایر کربن ناشی از تنفس و نیز از دست رفتن آب توسط تعرق سبب کاهش وزن محصول می‌شود. این هدررفت آب می‌تواند باعث پژمردگی و چروکیدگی محصول شود که قابلیت عرضه به بازار را کاهش می‌دهد. از دست دادن آب در سبزیجات و میوه‌ها دلیل اصلی زوال محصول در پس از برداشت است و باعث ضررهای اقتصادی می‌شود. کاهش وزن عمدتاً به‌دلیل تعرق و هدررفت آب از سطح محصول در پس از برداشت می‌باشد که منجر به پژمردگی و از بین رفتن کیفیت ظاهری می‌گردد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز و پراکسیده شدن لیپید از دلایل کاهش آب در پس از برداشت محصول هستند (Maalekuu *et al.*, 2006) . از دست دادن رطوبت و تبادلات گازی میوه به طور معمول به وسیله پوست بیرونی کنترل می‌شود. پوشش‌ها می‌توانند به کاهش این فرآیند کمک کنند؛ زیرا با ایجاد مانع روی پوست از خروج رطوبت جلوگیری کرده و با کاهش نسبت تنفس باعث کاهش اکسیژن می‌گردد. افزون بر این، تیمار فرمولاسیون حفظ میوه در میوه هلو موجب کاهش وزن کم‌تر در مقایسه با شاهد شدند (Ranjan *et al.*, 2020).

Table 1: The analysis of variance of treatments and storage duration on qualitative characteristics of pear fruits cv. Louise bonne.

S.O.V	DF	MS											
		Weight Loss	TSS	TA	Ascorbic acid	Firmness	pH	Total phenolics compounds	Antioxidant Activity	L*	a*	b*	ΔE
Storage duration (SD)	5	60.05**	2.66**	0.033**	304.4**	14.59**	0.93**	320**	383.5**	284.6**	38.17**	270.6**	83.27**
Treatments (T)	3	1.87**	0.74*	0.018**	64.2**	3.27**	0.64**	64.85**	177.1**	1.62^{ns}	0.07 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.4 ^{ns}
SD × T	15	0.14*	0.11^{ns}	0.0001^{ns}	2.15^{ns}	0.16^{ns}	0.019^{ns}	2.93^{ns}	2.74^{ns}	2.76^{ns}	0.05^{ns}	2.21 ^{ns}	0.45 ^{ns}
Error	48	0.07	0.195	0.0002	4.18	0.22	0.029	4.43	4.5	8.8	0.06	4.87	0.42
C.V	-	6.51	3.21	4.9	6.27	3.62	3.9	6.07	5.69	5.24	5.1	4.5	4.7

** , * and ns respectively indicate significance at 5%, 1% level and non-significance with Tukey's test

Table 2: The effects of storage duration on weight loss (WL), total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA) and Ascorbic acid of pear fruits cv. Louise bonne.

Ascorbic acid (mg. $100g^{-1}$)	(%) TA	(%) TSS	(%) Weight Loss	Storage Duration (Days)
39.88a	0.413a	13.15d	–	0
35.96b	0.391b	13.42cd	3.83e	15
33.61c	0.365c	13.59c	4.15d	30
31.33d	0.329d	13.78bc	5.1c	45
29.18e	0.295e	14.11ab	5.47b	60
25.66f	0.280f	14.44a	6.39a	75

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

مواد جامد محلول

میزان مواد جامد محلول میوه گلابی در طول دوره‌های مختلف انبارداری به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول با ۱٤/٤٤ درصد بریکس مربوط به روز ۷۵ بود که با روز ٦۰ (۱٤/۱۱ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۱). پایین‌ترین میزان مواد جامد محلول مربوط به روز شروع انبارداری بود (۱۳/۱۵ بریکس) که با روز ۱۵ (۱۳/٤۲ بریکس) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۱). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارهای فرمولاسیون حفظ میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی باعث کاهش میزان مواد جامد محلول شدند ولی تیمار هگزانال تأثیر معنی‌داری بر میزان آن نداشت. بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول با ۱٤/۰۲ بریکس مربوط به تیمار شاهد بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار هگزانال (۱۳/۷۸ بریکس) نداشت.کم‌ترین میزان مواد جامد محلول مربوط به تیمار فرمولاسیون حفظ تازگی میوه مشاهده شد که با تیمار ترکیبی اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۲).

Table 3. The effects of different treatments (Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and *Pelargonium graveolens* essential oil and *Cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO)) on weight loss (WL), total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA) and Ascorbic acid of pear fruits cv. Louise bonne.

Ascorbic acid ($mg100g^{-1}$)	(%) TA	(%) TSS	(%) Weight Loss	Treatments
30.45b	0.307c	14.02a	4.52a	Control
31.65b	0.331b	13.78ab	4.29b	Hexanal
34.56a	0.37a	13.54b	3.77d	EFF
33.76a	0.373a	13.66b	4.04c	PGEO+CPO

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

مواد جامد محلول شامل مواد معدنی مانند نمک‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، آهن، فسفر، ید و مواد آلی شامل کربوهیدرات‌ها هستند که به‌صورت مواد جامد محلول در داخل میوه وجود دارند و از آن‌جا که درصد قند نسبت به سایر مواد بیش‌تر است، لذا درصد مواد جامد محلول را معمولاً به درصد قند میوه نسبت می‌دهند. افزایش مواد جامد محلول مربوط به کاهش آب میوه است که به نوبه خود باعث افزایش مواد جامد محلول می‌شود. همچنین تنفس و پیری میوه باعث شکسته شدن پلی‌ساکاریدها و تبدیل آن‌ها به ترکیبات ساده‌تر و افزایش مواد جامد محلول می‌شوند. نتایج حاصل ازیک پژوهش روی میوه سیب نشان داد که تیمار هگزانال موجب کاهش معنی‌دار مواد جامد محلول میوه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد شد، که نتایج پژوهش حاضر با گزارش‌هی فوق هم‌خوانی دارد (DeBrouwer *et al*., 2020).

اسیدیته قابل تیتراسیون

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که انبارداری موجب کاهش معنی‌دار اسیدیته قابل تیتراسیون میوه گلابی گردید. بیش‌ترین

اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان شروع انبارداری (۰/٤۱۲ درصد) و کم‌ترین نیز پس از ۷۵ روز انبارداری (۰/۲۸۰ درصد) مشاهده شد (جدول ۱). افزون بر این، نتایج نشان داد که از بین تیمارهای هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی، فقط هگزانال بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه گلابی تأثیر گذاشت و باعث کاهش معنی‌دار آن (۲۲/۲۲ درصد کاهش) شد. میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمارهای شاهد، هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی به‌ترتیب ۰/۳۰۷ ،۰/۳۳۱ ،۰/۳۷ و ۰/۳۷۳ درصد بود (جدول ۲).

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده کیفیت در پس از برداشت گلابی، کاهش سرعت از دست دادن اسید میوه می‌باشد. اسیدهای آلی در آب میوه علاوه بر ایجاد عطر و طعم، در پایداری آن‌ها، ارزش تغذیه‌ای، بهبود کیفیت و پذیرش مصرف کننده نقش مهمی دارند. این ترکیبات در بعضی از بافت‌ها به مقدار زیاد وجود دارند و به‌عنوان منبع انرژی مصرف می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در پس از برداشت و در طول نگهداری، مقدار اسیدیته‌کاهش می‌یابد (Fawole and Opara, 2013). مقدار اسیدهای آلی پس از برداشت در میوه‌های فرازگرا به سرعت کاهش می‌یابد. سرعت این کاهش در میوه‌های نافرازگرا کم‌تر است. کاهش اسیدیته هنگام رسیدن میوه به علت شرکت اسید به‌عنوان سوبسترا در تنفس و تبدیل آن به قند می‌باشد. این کاهش در تمام میوه‌ها، غیر از آناناس و موز وجود دارد (Kramer *et al*., 1989). سرعت بالای کاهش اسیدهای آلی در میوه شاهد نسبت به میوه‌های تیمار شده، احتمالا به‌دلیل بالا بودن سرعت تنفس و تولید اتیلن بیش‌تر در آن‌ها می باشد که منجر به مصرف اسید آلی می‌گردد. در دوره آخر انبارداری میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار شاهد بالاتر بود که این افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در روز ۷۵ ممکن است به علت ترشح میکروارگانیسم‌ها و یا ناشی از فعالیت مخمرها و تولید مواد اسیدی باشد. گیل و همکاران (۲۰۱٦) با کاربرد قبل از برداشت فرمولاسیون حفظ تازگی میوه در میوه گواوا رقم الله‌آباد گزارش کردند که میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در طول انبارداری کاهش پیدا کرد، اما سرعت این کاهش در میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون حفظ تازگی میوه کم‌تر بودکه علت احتمالی آن، کاهش سرعت تنفس و تاخیر در رسیدن گردید (Gill *et al*., 2016).

اسید اسکوربیک

نتایج نشان دادکه میزان اسید اسکوربیک میوه گلابی در طول دوره‌های مختلف انبارداری روند کاهشی داشت و با افزایش دوره انبار میزان اسید اسکوربیک میوه گلابی به میزان بیش‌تری کاهش پیدا می‌کرد. بیش‌ترین میزان کاهش اسید اسکوربیک مربوط به روزهای ٤۵ و ٦۰ و ۷۵ انبار بود (به‌ترتیب با ۳۱/۳۳، ۲۹/۱۸ و ۲۵/٦٦ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه). بیش‌ترین میزان اسید اسکوربیک با ۳۹/۸۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه در شروع انبارداری و کم‌ترین نیز با ۲۵/٦٦ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه در روز ۷۵ بعد از شروع دوره انبارداری مشاهده گردید (جدول ۱). تیمار هگزانال تأثیر معنی‌داری بر میزان اسید اسکوربیک میوه گلابی نداشت ولی تیمارهای ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی و فرمولاسیون حفظ تازگی میوه، میزان اسید اسکوربیک را به صورت معنی‌داری افزایش دادند (به ترتیب با ۳۳/۷٦ و ۳٤/۵٦ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر). بیش‌ترین میزان اسید اسکوربیک در فرمولاسیون حفظ تازگی میوه، و کم‌ترین نیز درتیمار شاهد (به‌ترتیب با ۳٤/۵٦ و ۳۰/٤۵ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۲).

محتوای اسید اسکوربیک میوه‌ها و سبزی‌ها می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل مختلفی ازجمله تفاوت ژنوتیپی، شرایط آب و هوایی قبل از برداشت، بلوغ، زمان برداشت و روش‌های نگهداری پس از برداشت قرار گیرد. همچنین در بین ویتامین های مختلف، اسید اسکوربیک کم‌ترین پایداری را دارد و به آسانی در طی فرآیند نگهداری تخریب می‌شود و به‌دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه است. نتایج به‌دست‌آمده توسط جین سی و همکاران(۲۰۱۷)، روی میوه انبه نشان داد تیمار فرمولاسیون حفظ تازگی میوه موجب افزایش اسید اسکوربیک در مقایسه با شاهد گردید (Jincy *et al*., 2017) که نتایج پژوهش حاضر نیز با آن مطابقت داشت.

سفتی بافت میوه

میزان سفتی بافت میوه‌های گلابی رقم لوئیزبن در طول دوره انبار به صورت معنی‌داری با کاهش مواجه شدند. همچنین تیمارهای هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی، میزان سفتی بافت میوه‌های گلابی را افزایش دادند. براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان سفتی بافت میوه در شروع انبارداری همراه با تیمارهای فرمولاسیون حفظ تازگی میوه، ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی، هگزانال و بدون تیمار (به‌ترتیب با ۱۴/۷۳، ۱۴/۶۸، ۱۴/۶۲ و ۱۴/۳۱ نیوتن) مشاهده گردید (شکل ۱). افزون بر این کم‌ترین میزان سفتی بافت در روز ۷۵ پس از شروع انبارداری و تیمارهای شاهد و هگزانال (به‌ترتیب با ۱۱/۱۰ و ۱۱/۸۷) مشاهده شد (شکل ۱).

سفتی بافت یک فاکتور تعیین‌کننده کیفیت میوه می‌باشد و در تعیین بلوغ میوه استفاده می‌گردد. همچنین سفتی بافت یکی از شاخص‌های مهم میوه در افزایش عمر انبارمانی، فرآوری و بازارپسندی محصول به‌حساب می‌آید. حفظ سفتی گلابی می‌تواند به کاهش کم‌تر وزن مرتبط باشد.

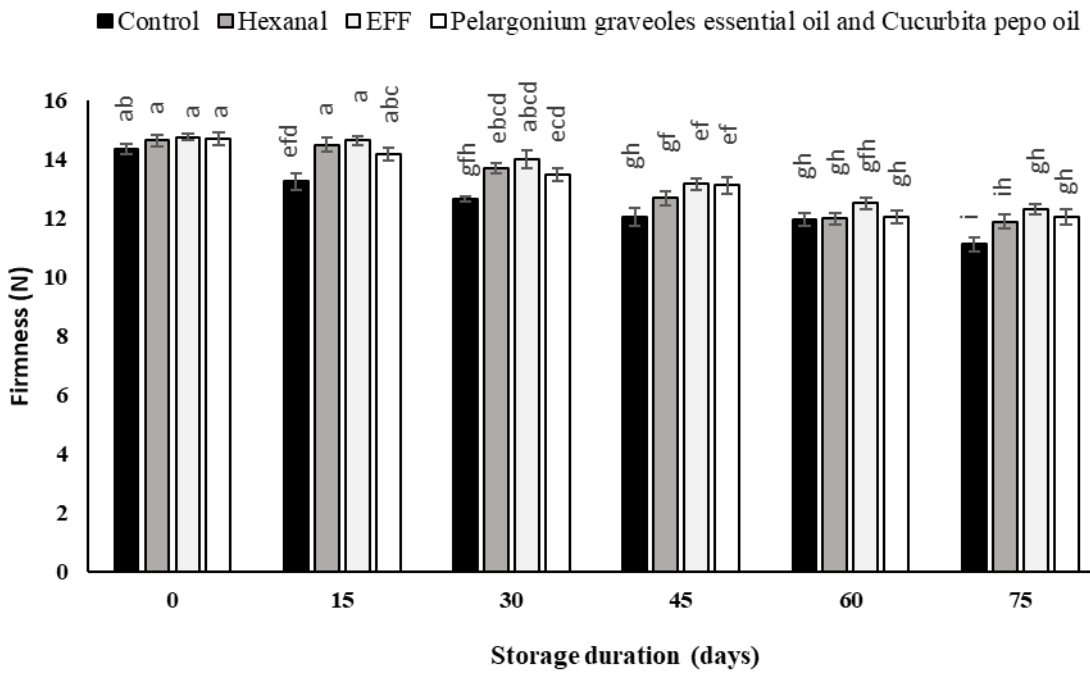


Fig 1. The effects of different treatments (Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and *Pelargonium graveolens* essential oil and *Cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO)) on firmness of pear fruits cv. Louise bonne during cold storage.

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

pH آب میوه

میزان pH آب میوه گلابی در طول دوره انبار به‌صورت معنی‌داری با افزایش مواجه شد. همچنین میزان pH آب میوه تحت تأثیر تیمارهای مختلف هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی کاهش پیدا کرد. براساس نتایج پژوهش حاضر، کم‌ترین میزان pH آب میوه در روز صفر انبارداری و تیمارهای فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی (به‌ترتیب با ۳/۷۸ و ۳/۷۸) و بیش‌ترین نیز در روز ۷۵ انبارداری و تیمارهای شاهد و هگزانال (به‌ترتیب با ۴/۷۸ و ۴/۷۷) مشاهده گردید (شکل ۲).

کاهش اسیدها در طول انبارداری در برخی از میوه‌ها منجر به افزایش pH می‌شود ولی این افزایش در اکثر میوه‌ها متفاوت می‌باشد (Perkins-Veazie *et al.*, 2008). pH نشان‌دهنده میزان غلظت یون هیدروژن در آب میوه است و طعم اسیدی آن را

تعیین می‌کند. تغییر pH ممکن است به تغییر اسیدیته قابل تیتراسیون در طی رسیدن میوه یا کاهش میزان اسید در اثر تبدیل به قندها و استفاده‌های دیگر در فرآیندهای متابولیسمی در طی دوره انبارداری مرتبط باشد. عدم افزایش pH در میوه های تیمار شده، شاید بدلیل اثر تیمارها در کندی رسیدن و جلوگیری از تجزیه اسیدهای آلی و کاهش میزان تنفس باشد که سبب شده است در همه زمان ها، میوه‌های تیمار شده نسبت به میوه‌های شاهد از pH کمتری برخوردار باشند.

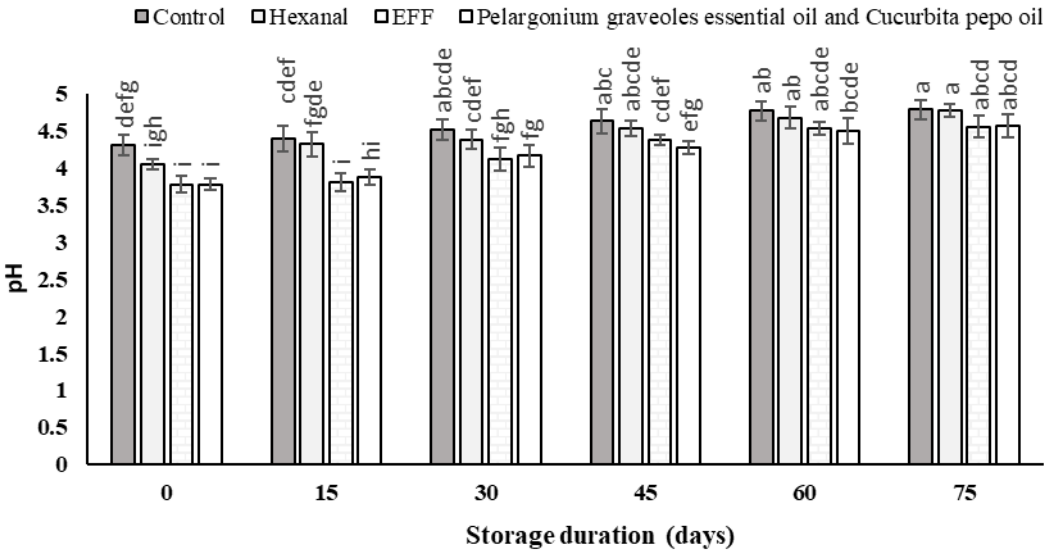


Fig 2. The effects of different treatments (Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and *Pelargonium graveoles* essential oil and *Cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO)) on pH of pear fruits cv. Louise bonne during cold storage.
The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

محتوای فنل کل

میزان فنل کل در میوه گلابی طول دوره‌های مختلف انبارداری کاهش یافت. همچنین تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی به‌صورت قابل توجهی میزان فنل کل را افزایش دادند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان فنل کل در اعمال تیمارهای فرمولاسیون حفظ تازگی میوه، شاهد، ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی و هگزانال در روز شروع انبارداری (به‌ترتیب با ٤٢/٨٠، ٤٢/٥٠، ٤٢/٣٠ و ٤٢/٢٥ میلی‌گرم اسید گالیک در ١٠٠ گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ٣). افزون بر این،کم‌ترین میزان فنل کل در اعمال تیمارهای شاهد، هگزانال، ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی و فرمولاسیون حفظ تازگی میوه در روز ٧٥ انبارداری (به‌ترتیب با ٢٦/١٥، ٢٧/٠٦، ٢٧/١٦ و ٢٩/٤٨ میلی‌گرم اسید گالیک در ١٠٠ گرم وزن تر) مشاهده گردید (شکل ٣).

ترکیبات فنلی انتشار وسیعی در گیاهان دارند و فعالیت بیولوژیک متنوع این ترکیبات ازجمله خاصیت آنتی اکسیدانی، آنتی میکروبی و ضدالتهاب بودن آن‌ها گزارش شده است. ترکیبات فنلی با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی رادیکالی می‌توانند تأثیر مهمی در نگهداری محصولات غذایی و حفظ سلامت انسان داشته باشند. یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش ترکیبات فنلی، اکسیداسیون آنزیمی آن‌ها است که باعث کاهش کیفیت میوه نیز می شود. آسیب اکسیداتیو فرآیندی است، که در نتیجه فعالیت آنزیم‌هایی مانند پلی فنل اکسیداز صورت گرفته و باعث اکسید شدن فنل‌ها و ایجاد رنگ قهوه‌ای می‌شود. پوشش‌های خوراکی حفاظی را روی سطح محصول ایجاد می‌کنند که منجر به کاهش اکسیژن اطراف محصول و افزایش دی‌اکسیدکربن و در نتیجه باعث تاخیر در رسیدن و کاهش سرعت پیری می‌گردند. کاهش اکسیژن اطراف میوه، میزان دسترسی آنزیم پلی فنل اکسیداز به اکسیژن و در نتیجه میزان اکسیداسیون را کاهش می‌دهد. در پژوهشی یافت شد که پلی فنل اکسیداز و پلی فنلاز در اندام‌های مختلف گیاهی

وجود دارند و سبب می‌شوند که بافت میوه آسیب و فنل کل میوه کاهش یابد (Altunkaya and Gökmen, 2008). پژوهش‌های مختلف روی میوه گواوا (Gill *et al.*, 2016) و میوه سیب (Sharma *et al.*, 2010) گزارش کردند که کاربرد فرمولاسیون حفظ تازگی میوه موجب افزایش ترکیبات فنلی می‌شود که نتایج این پژوهش با آنها مطابقت دارد.

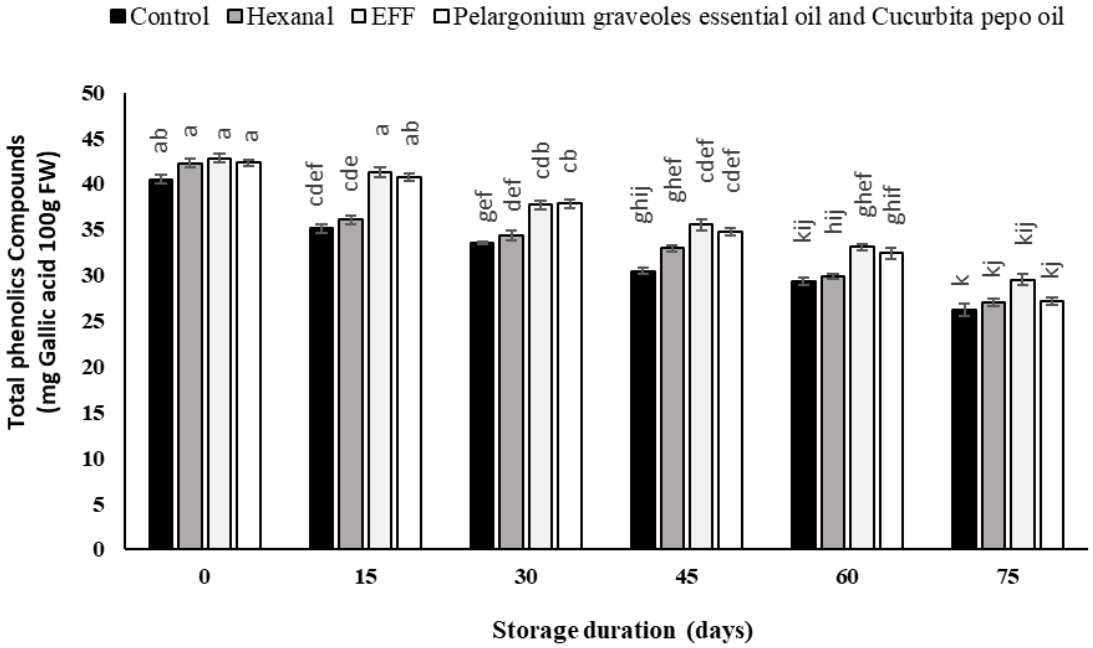


Fig 3. The effects of different treatments (Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and *Pelargonium graveoles* essential oil and *Cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO)) on total phenolics compounds (TPC) of pear fruits cv. Louise bonne during cold storage.

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج نشان داد که دوره‌های مختلف انبارداری باعث کاهش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گلابی شدند. همچنین تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی به صورت چشمگیری میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه گلابی را افزایش دادند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی در اعمال تیمارهای ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن تخمه‌کدوی‌کاغذی و فرمولاسیون حفظ تازگی میوه در روز ۱۵ انبارداری (به‌ترتیب با ٤٦/٦٣ و ٤٤/٩٦ درصد) مشاهده شد (شکل ٤). افزون بر این،کم‌ترین میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی با ٢٦/٨٤ و ٢٨/٤٤ درصد به ترتیب در تیمار شاهد در روز ٧٥ و ٦٠ انبارداری مشاهده گردید (شکل ٤).

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با افزایش مدت‌زمان انبار، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. مشخص شده است که میزان آنتی‌اکسیدان در دمای بالا نسبت به دمای پایین بیش‌تر است. کم شدن فعالیت‌آنتی‌اکسیدانی ممکن است به علت تنش‌های پس‌از برداشت و یا دمای پایین انبار باشد (Torregrosa *et al.*, 2020). نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج پژوهش جین سی و همکاران روی میوه انبه (Jincy *et al.*, 2017)که نشان داد تیمار فرمولاسیون حفظ تازگی میوه موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید، مطابقت دارد.

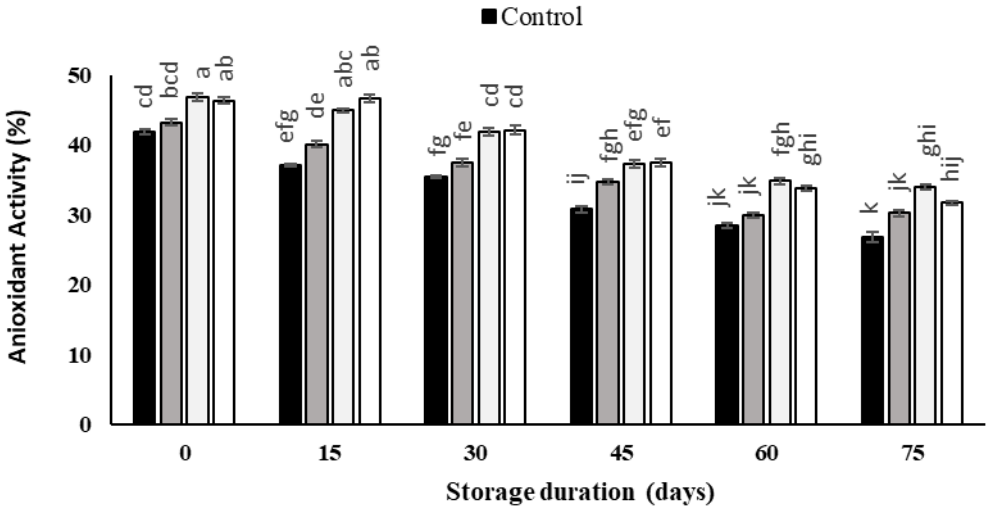


Fig 4. The effects of different treatments (Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and *Pelargonium graveoles* essential oil and *Cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO)) on antioxidant activity (AA) of pear fruits cv. Louise bonne during cold storage.

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

شاخص رنگ L*

براساس نتایج مقایسه میانگین، شاخص رنگ L* میوه گلابی در طول دوره انبارداری در طی ۷۵ روز، به‌صورت معنی‌داری با افزایش مواجه شد. بیش‌ترین میزان شاخص رنگ L* در روز ۷۵ دوره انبارداری (۶۳/۹۷) و کم‌ترین میزان نیز در روز شروع انبارداری (۵۱/۴۳) مشاهده گردید (جدول ٤). کاربرد هر سه تیمار هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص رنگ L* در طول دوره انبارداری در مقایسه با شاهد نداشتند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص رنگ L* به‌ترتیب با ۵۷/۱۸ و ۵٦/٤۸ در فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و شاهد مشاهده گردید (جدول ٥).

Table 4. The effects of storage duration on color indices of pear fruits cv. Louise bonne

ΔE	b*	a*	L*	Storage Duration (Days)
10.21e	44.26e	-7.62e	51.43e	0
10.96d	45.29de	-5.99d	53.29de	15
13.29c	46.49d	-4.51c	54.49cd	30
15.78b	48.65c	-4.17b	56.65c	45
15.5b	53.51b	-3.14a	61.34b	60
16.39a	56.06a	-2.98a	63.98a	75

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

Table 5. The effects of different treatments (Hexanal, Enhanced Freshness Formulation (EFF) and *Pelargonium graveolens* essential oil and *Cucurbita pepo* oil (PGEO+CPO)) on color indices of pear fruits cv. Louise bonne.

ΔE	b*	a*	L*	Treatment
13.51a	48.82a	-4.67a	56.47a	Control
13.65a	48.98a	-4.71a	56.82a	Hexanal
13.71a	49.35a	-4.82a	57.18a	EFF
13.88a	49.03a	-4.73a	56.98a	PGEO+CPO

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (p<0.05).

شاخص رنگ a*

شاخص رنگ a* میوه گلابی به‌صورت قابل‌توجهی در طول دوره انبارداری، افزایش پیدا کرد. میزان شاخص رنگ a* در روزهای ۷۵ و ۶۰ طول دوره انبار به میزان ۲/۹۸- و ۳/۱۴- با بیش‌ترین افزایش مواجه گردید. بیش‌ترین میزان شاخص رنگ a* در روز ۷۵ دوره انبارداری (۲/۹۸-) و کم‌ترین میزان نیز در روز شروع انبارداری (۷/۶۲-) مشاهده گردید (جدول ٤). کاربرد هر سه تیمار هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص رنگ a* در طول دوره انبارداری در مقایسه با شاهد نداشتند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص رنگ a* به‌ترتیب با ٤/٦٧- و ٤/٨٢- در شاهد و فرمولاسیون حفظ تازگی میوه مشاهده گردید (جدول ٥).

شاخص رنگ b*

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقدار شاخص b* میوه گلابی در طول دوره‌های مختلف انبارداری با افزایش مواجه گردید. بیش‌ترین مقدار شاخص رنگ b* مربوط به روز ۷۵ بعد از شروع انبارداری (٥٦/٠٦) و کم‌ترین نیز مربوط به روز شروع انبارداری (٤٤/٢٦) بود (جدول ٤). کاربرد تیمارهای مختلف هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص رنگ b* در طول دوره انبارداری در مقایسه با شاهد نداشتند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص رنگ b* به‌ترتیب با ٤٩/٣٥ و ٤٨/٨٢ به‌ترتیب در فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و شاهد مشاهده گردید (جدول ٥).

تغییرات رنگ کل (ΔE)

تغییرات رنگ کل (ΔE) میوه گلابی در طول دوره انبارداری در طی ۷۵ روز، به صورت معنی‌داری با افزایش مواجه شد. بیش‌ترین میزان تغییرات رنگ کل (ΔE) در روز ۷۵ دوره انبارداری (١٦/٣٩) و کم‌ترین میزان نیز در روز شروع انبارداری (١٠/٢١) مشاهده گردید (جدول ٤). نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات رنگ کل (ΔE) در طول دوره انبارداری در مقایسه با شاهد نداشتند. تغییرات رنگ کل (ΔE) در شاهد، هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی به‌ترتیب با ١٣/٥١، ١٣/٦٤، ١٣/٧١ و ١٣/٨٨ بود (جدول ٥).

امروزه از پارامترهای رنگ‌سنجی L*، a* و b* جهت اندازه‌گیری تغییر رنگ نمونه استفاده می‌شود. فضای رنگی L*، a* و b* یک استاندارد جهانی برای اندازه‌گیری رنگ است که در سال ١٩٦٧ توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی پذیرفته شد. به‌منظور انجام یک ارزیابی دقیق از سطح نمونه و کنترل کیفیت آن، داشتن اطلاعات تصویری از تمام نقاط سطح آن ضروری است. از فضاهای رنگی و مقادیر عددی جهت ایجاد بیان و مشخص نمودن رنگ در فضای دو بعدی یا سه بعدی استفاده می‌شود. با توجه به نوع کاربرد از فضاهای رنگی مختلفی نظیر RGB و Lab استفاده می‌گردد، که در این میان Lab وسعت بیش‌تری نسبت به بقیه فضاها ایجاد می‌کند (León *et al.*, 2006). شارما و همکاران (۲۰۱۰)، گزارش کردند که میوه‌های گیلاس تیمار شده با فرمولاسیون حفظ تازگی میوه حاوی هگزانال، شاخص رنگ بالاتری را نشان دادند. اثر فرمولاسیون حفظ تازگی میوه بر میوه گیلاس (Sharma *et al.*, 2010) و خوشه‌های انگور (Kaur et al., 2019) نشان داد که مقادیر شاخص رنگ در میوه‌های تیمار شده افزایش یافت، که نتایج حاصل از این پژوهش با این گزارش مغایرت دارد. همچنین هماهنگ با نتایج پژوهش حاضر، چیما و همکاران (٢٠١٤) گزارش کردند که شاخص‌های رنگ گوجه فرنگی گلخانه‌ای، تحت تأثیر تیمار فرمولاسیون حفظ تازگی میوه قرار نگرفت (Cheema *et al.*, 2014).

۴. نتیجه‌گیری

کمیت و کیفیت میوه گلابی رقم لوئیزبن طی دوره انبار سرد به صورت چشمگیری با کاهش مواجه گردید. استفاده از تیمارهای هگزانال، فرمولاسیون حفظ تازگی میوه و ترکیب اسانس شمعدانی معطر- روغن کدوی تخمه کاغذی باعث بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گلابی نظیر کاهش وزن،

سفتی بافت، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، اسید اسکوربیک، pH، فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی دوره انبار شدند. افزون بر این، شاخص‌های رنگ *L، *a، *b و همچنین تغییرات رنگ کل (ΔE) تحت تأثیر تیمارهای پژوهش قرار نگرفتند. در بین تیمارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر، تیمار فرمولاسیون حفظ تازگی میوه تأثیر بهتری بر شاخص‌های پس از برداشت میوه گلابی رقم لوئیزبن نشان داد و به صورت قابل‌توجهی ماندگاری پس از برداشت این میوه را افزایش داد.

۵. منابع

Akagić, A., Oras, A., Gaši, F., Meland, M., Drkenda, P., Memić, S., Spaho, N., Žuljević, S.O., Jerković, I., Musić, O. and Hudina, M. 2022. A Comparative Study of Ten Pear (*Pyrus communis* L.) Cultivars in relation to the content of sugars, organic acids, and polyphenol compounds. Foods 11, 3031. https://doi.org/10.3390/foods11193031

Altunkaya, A. and Gökmen, V. 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce *(Lactuca sativa*). Food Chem. 107, 1173–1179. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.046

Cheema, A., Padmanabhan, P., Amer, A., Parry, M.J., Lim, L.T., Subramanian, J. and Paliyath, G. 2018. Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (*Capsicum annum* L.). Postharvest Biol. Technol. 136, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.006

Cheema, A., Padmanabhan, P., Subramanian, J., Blom, T. and Paliyath, G. 2014. Improving quality of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by pre- and postharvest applications of hexanal-containing formulations. Postharvest Biol. Technol. 95, 13–19. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.012

DeBrouwer, E. J., Sriskantharajah, K., El Kayal, W., Sullivan, J.A., Paliyath, G. and Subramanian, J. 2020. Pre-harvest hexanal spray reduces bitter pit and enhances post-harvest quality in 'Honeycrisp' apples (*Malus domestica* Borkh.). Sci. Hortic. (Amsterdam). 273, 109610. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109610

Eberhardt, M. V., Lee, C. Y. and Liu, R. H. 2000. Antioxidant activity of fresh apples. Nature 405, 903–904. https://doi.org/10.1038/35016151

Fawole, O. A. and Opara, U.L. 2013. Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. Ind. Crops Prod. 47, 300–309. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.028

Gill, K. S., Dhaliwal, H. S., Mahajan, B. V. C., Paliyath, G. and Boora, R. S. 2016. Enhancing postharvest shelf life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda by pre-harvest application of hexanal containing aqueous formulation. Postharvest Biol. Technol. 112, 224–232. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.010

Haiyan, Z., Bedgood, D. R., Bishop, A. G., Prenzler, P. D. and Robards, K. 2007. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils. Food Chem. 100, 1544–1551. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.039

Jincy, M., Djanaguiraman, M., Jeyakumar, P., Subramanian, K. S., Jayasankar, S. and Paliyath, G. 2017. Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidant enzymes activity. Sci. Hortic. (Amsterdam). 218, 316–325. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.026

Kalia, V.C., Patel, S.K.S., Kang, Y.C., Lee, J.K., 2019. Quorum sensing inhibitors as antipathogens: biotechnological Kaur applications. Biotechnol. Adv. 37, 68–90. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.006

Kaur, S., Arora, N. K., Gill, K. B. S., Sharma, S. and Gill, M. I. S. 2019. Hexanal formulation reduces rachis browning and postharvest losses in table grapes cv. 'Flame Seedless.' Sci. Hortic. (Amsterdam). 248, 265–273. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.011

Kramer, M., Sheehy, R. E. and Hiatt, W. R. 1989. Progress towards the genetic engineering of tomato fruit softening. Trends Biotechnol. 7, 191–194. https://doi.org/10.1016/0167-7799(89)90098-X

León, K., Mery, D., Pedreschi, F. and León, J. 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. Food Res. Int. 39, 1084–1091. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006

Lis-Balchin, M. 2002. Geranium and Pelargonium, Geranium and Pelargonium. https://doi.org/10.1201/9780203216538

Maalekuu, K., Elkind, Y., Leikin-Frenkel, A., Lurie, S. and Fallik, E. 2006. The relationship between water loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage. Postharvest Biol. Technol. 42, 248–255. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.06.012

Mthembu, S. S. L., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z. and Mditshwa, A. 2024. Corrigendum: Mechanism of enhanced freshness formulation in optimizing antioxidant retention of gold kiwifruit (*Actinidia chinensis*) harvested at two maturity stages (Frontiers in Sustainable Food Systems, (2023), 7, (1286677), 10.3389/fsufs.2023.1286677). Front. Sustain. Food Syst. 8, 1371078. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1371078

Nath, A., Deka, B. C., Singh, A., Patel, R. K., Paul, D., Misra, L. K. and Ojha, H. 2012. Extension of shelf life of pear fruits using different packaging materials. J. Food Sci. Technol. 49, 556–563. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0305-4

Parle, M. A. 2016. Why Is Pear So Dear. Int. J. Res. Ayurveda Pharm. 7, 108–113. https://doi.org/10.7897/2277-4343.07139

Perkins-Veazie, P., Collins, J. K. and Howard, L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet

radiation. Postharvest Biol. Technol. 47, 280–285. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.002

Ranjan, S., Chandrasekaran, R., Paliyath, G., Lim, L. T. and Subramanian, J. 2020. Effect of hexanal loaded electrospun fiber in fruit packaging to enhance the post harvest quality of peach. Food Packag. Shelf Life 23, 100447. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100447

Sharma, A., Bons, H. K., Jawandha, S. K. and Chung, S. W. 2023. Hexanal Application Extends Shelf-life and Maintains Quality of 'Umran' Indian Jujube Fruit by Regulating Sharma Antioxidant Activities During Cold Storage. Erwerbs-Obstbau 66, 203–214. https://doi.org/10.1007/s10341-023-00963-z

Sharma, M., Jacob, J. K., Subramanian, J. and Paliyath, G. 2010. Hexanal and 1-MCP treatments for enhancing the shelf life and quality of sweet cherry (*Prunus avium* L.). Sci. Hortic. (Amsterdam). 125, 239–247. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.020

Singh, V., Jawandha, S. K., Gill, P. P. S. and Gill, M. S. 2019. Suppression of fruit softening and extension of shelf life of pear by putrescine application. Sci. Hortic. (Amsterdam). 256, 108623. https://doi.org/10.1016/j.scienta. 2019.108623

Spotts, R. A., Sholberg, P. L., Randall, P., Serdani, M. and Chen, P. M. 2007. Effects of 1-MCP and hexanal on decay of d'Anjou pear fruit in long-term cold storage. Postharvest Biol. Technol. 44, 101–106. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.003

Torregrosa, L., Echeverria, G., Illa, J. and Giné-Bordonaba, J. 2020. Emission of VOCs and quality evolution in response to repeated oxygen pull downs on 'Conference' pears during long-term cold storage. Postharvest Biol. Technol. 170, 111322. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111322

Wang, H., Li, Y., Wassie, M., Muhammad, M., Bai, S. and Shi, H. 2025. The effect of 1-methylcyclopropene on the shelf life of sand pear fruits. Lwt 218, 117530. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117530