کاربرد قبل و پس از برداشت نیتریک اکسید و ۱-متیل سیکلوپروپان (1-MCP) بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی پسته تازه رقم فندقی

محمد مؤمنی[۱]، بهرام عابدی[۲*]، حامد کاوه[۳]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

چکیده

جهت بررسی اثر متیل سیکلوپروپان (methyl cyclopropane, 1-MCP) و نیتریک اکسید (nitric oxide, NO) بر ماندگاری پسته، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور و چهار تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل زمان اعمال تیمار در سه سطح (بیست روز قبل از برداشت، بلافاصله بعد از برداشت، قبل و پس از برداشت) و فاکتور دوم شامل تیمار متیل سیکلوپروپان و نیتریک‌اکسید (به ترتیب یک و پنج میکرومول بر لیتر) بود. نتایج نشان داد که با کاربرد متیل سیکلوپروپان در زمان قبل و پس از برداشت، وزن میوه نسبت به شاهد ۲۰ درصد کاهش کمتری را نشان داد. اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان باعث افزایش سفتی میوه نسبت به تیمار شاهد و همچنین تیمار نیتریک اکسید گردید. به طوری‌که تیمار متیل سیکلوپروپان موجب افزایش ۴۸ درصدی نسبت به شاهد و ۱۲ درصدی در مقایسه با نیتریک اکسید شد. نتایج نشان داد درصد سفتی میوه در تیمار قبل و پس از برداشت، ۱۴ درصد نسبت به تیمار قبل از برداشت بیشتر بود. همچنین در میوه‌های تیمار شده، میزان کربوهیدرات محلول در تیمار متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۲۰ و ۱۶ درصدی را نشان داد. میزان فنل کل در کاربرد قبل و پس از برداشت تیمار نیتریک اکسید در انتهای مدت انبارداری، ۳۰ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود. نتایج نشان داد کاربرد متیل سیکلوپروپان قبل و پس از برداشت باعث حفظ سفتی میوه، کربوهیدرات محلول و همچنین موجب جلوگیری از افزایش عدد اسیدی و کاهش وزن میوه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید، پس از برداشت، عدد اسیدی، نیتریک اکسید

[۱] دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
[۲] استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
[*] نویسنده مسئول: abedy@um.ac.ir
[۳] استادیار، دانشگاه تربت حیدریه، ایران

مقدمه

پسته با نام علمی *Pistacia vera* L. از خانواده آناکاردیاسه و یکی از متداول‌ترین درختان خشکبار در جهان می‌باشد (Ferguson & Haviland, 2016). ایران یکی از مهمترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان پسته در جهان است. به دلیل ارزش بالای تغذیه‌ای، میزان ارزآوری این محصول از ۵۰۰۰ دلار به ازای هر تن در بازار جهانی، تجاوز کرده است (Faostat, 2016). صادرات پسته تازه ارزش افزوده بیشتری نسبت به پسته خشک شده دارد و همچنین پسته تازه از طعم مطلوب‌تری نسبت به پسته خشک برخوردار است (Nazoori *et al.*, 2018)، اما پسته تازه عمر انبارداری پایینی دارد و از سوی دیگر خشک‌کردن پسته تازه سبب کاهش ارزش غذایی آن می‌شود (Esmaeilpour & Shakerardekani, 2018). افزایش عمر نگهداری پسته علاوه بر وضعیت انبارمانی و نوع بسته‌بندی آن به شرایط قبل از برداشت نیز بستگی دارد (Esmaeilpour & Shakerardekani, 2018). ترک‌خوردگی پوسته نرم، جدا شدن پوست نرم از پوست استخوانی هنگام برداشت، حمل و نقل و همچنین نرم‌شدگی پوست نرم در دوره انبارداری از مشکلات عمده پس از برداشت پسته تازه است. تماس میوه با اتیلن یکی از دلایل افزایش پوسیدگی و فسادپذیری میوه در حین بازاررسانی است (Knee, 2002). در واقع اتیلن تسریع کننده‌ی فعالیت عوامل ایجاد پوسیدگی در میوه است (Gao *et al.*, 2018; Rasouli *et al.*, 2016). بنابراین مواد جاذب اتیلن یا ضد عمل اتیلن می‌توانند کیفیت بالاتر، کاهش ضایعات و افزایش عمر انبارمانی پسته تازه را فراهم سازند (Gao *et al.*, 2018; Knee, 2002; Rasouli *et al.*, 2016).

تمام سیکلوپروپان‌ها بازدارنده‌ی عمل اتیلن می‌باشند. در این میان ۱- متیل سیکلوپروپان (1-MCP) یکی از بهترین ترکیبات سیکلوپروپانی است (Leatherwood *et al.*, 2016). متیل سیکلوپروپان به عنوان یک ماده جدید ممانعت‌کننده از اثر اتیلن، در غلظت‌های خیلی کم مصرف شده و اثر منفی بر سلامت انسان و محیط زیست ندارد. 1-MCP گیرنده‌های اتیلن موجود در سیتوپلاسم سلول‌ها را به‌طور دائمی اشغال کرده، در نتیجه عمل اتیلن را غیر فعال می‌کند و از این طریق، کلیه فرآیندهای مرتبط با رسیدن میوه حتی تولید اتیلن را کاهش می‌دهد (Leatherwood *et al.*, 2016، Balogh *et al.*, 2005). این ترکیب همچنین باعث کاهش تولید اتیلن از طریق کنترل سیستم بازسازی اتیلن و ساخت خودبه‌خودی آن نیز می‌شود (Leatherwood *et al.*, 2016; Watkins, 2006). ۱- متیل سیکلوپروپان از فعالیت آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز اتیلن مانند ای‌سی‌سی اکسیداز (Amino carb cyclopropane oxylate oxidase) و ای‌سی‌سی سنتاز ۱- aminocyclopropane-1-carboxylate synthase) و

تجمع امآرانای مرتبط با آن‌ها نیز جلوگیری به‌عمل می‌آورد (Xie *et al.*, 2017). 1-MCP از تخریب کلروفیل و تغییرات رنگ نیز در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی جلوگیری می‌کند. مثلاً تخریب کلروفیل را در سیب، گلابی، آووکادو و موز به تأخیر انداخته (Lv *et al.*, 2020; Xie *et al.*, 2017) و تأثیر مثبت آن بر حفظ میزان اسیدهای آلی و تأخیر در کاهش آسکوربیک اسید در بیشتر محصولات باغبانی به تأیید رسیده است (Watkins, 2006). از طرفی نیتریک اکسید (NO) یک رادیکال آزاد گازی شکل بسیار فعال است که نقشی حیاتی و مهمی را در تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی و رشد و نمو گیاه ایفا می‌کند. اخیراً کاربرد غلظت‌های کم گاز نیتریک اکسید به منظور افزایش عمر انباری برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها، موثر گزارش شده است (Palma *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2016). کاربرد پس از برداشت نیتریک اکسید جهت کنترل پوسیدگی‌های ناشی از قارچ‌های بیماری‌زا مورد توجه قرار گرفته و مشخص شده که نیتریک اکسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی و کنترل رادیکال‌های آزاد، در مقاومت گیاه نقش مهمی دارد (Lai *et al.*, 2011; Saba & Moradi, 2017; Zhou *et al.*, 2016). تحقیق روی بررسی تأثیر نیتریک اکسید بر کاهش واکنش‌های آنزیمی (قهوه‌ای شدن) پسته تازه نشان داد که کاربرد ۱۵ میکرومولار سدیم نیتروپروساید (به عنوان دهنده نیتریک اکسید)، در کاهش قهوه‌ای شدن پوست پسته تازه و افزایش عمر نگهداری و حفظ کیفیت آن پس از برداشت بسیار موثر است (Gheysarbigi *et al.*, 2020). وجود مقادیر کم اتیلن در محیط هوای انبارها سبب تسریع رسیدن میوه‌ها می‌شود و واکنش‌های مضری مانند افزایش طعم تلخ، نرم شدن و پیری زودرس را به همراه دارد (Schlüter & Crawford, 2001). طی چند سال اخیر، یافتن روش‌هایی برای به حداقل رساندن مصرف ترکیبات مضر و در عین حال حفظ میوه و سبزی در انبارها در شرایط مناسب مورد توجه قرار گرفته است که عبارتند از: تهویه هوای انبار، استفاده از جذب‌کننده‌های اتیلن مانند پرمنگنات پتاسیم، اتمسفر کم‌فشار و اوزون که البته هر یک از این راه‌ها مشکلاتی به همراه دارند. کاربرد ۱-متیل سیکلوپروپان یکی از آخرین روش‌ها در این زمینه است (Daly & Schluter, 2001; El Blidi *et al.*, 1993). با توجه به مطالب گفته شده این پژوهش با هدف بررسی تیمار 1-MCP و نیتریک اکسید قبل و پس از برداشت بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی پسته تازه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور و چهار تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام گرفت. فاکتور اول شامل زمان اعمال تیمار

در سه سطح (بیست روز قبل از برداشت، بلافاصله پس از برداشت، قبل و پس از برداشت) و فاکتور دوم شامل آب مقطر به عنوان شاهد، تیمار متیل سیکلوپروپان با غلظت یک میکرومول بر لیتر و نیتریک اکسید با غلظت پنج میکرومول بر لیتر بود. میوه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه از خوشه جدا شده و پس از توزین درون کارتن بسته‌بندی و در دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. پسته‌ها در ۴ تکرار و هر تکرار شامل ۱۰۰ گرم پسته بود که در فاصله‌های زمانی ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس از آغاز انبارداری ویژگی‌هایی همانند میزان کاهش وزن، سفتی پوسته خارجی، عدد اسیدی، میزان پراکسید، میزان کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و فسفر اندازه‌گیری شدند.

نمونه‌های برداشت شده پس از انتقال به آزمایشگاه و نیز به فواصل معین در طول نگهداری در انبار سرد وزن شدند. اندازه‌گیری میزان کاهش وزن با اندازه‌گیری مجموع وزن میوه‌های هر تکرار در زمان برداشت (W_1) و پس از بیرون آوردن از انبار در هر دوره (W_2) و اختلاف بین این دو وزن صورت گرفت. این کار با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد. سپس این اختلاف بر وزن اولیه تقسیم و در ۱۰۰ ضرب و درصد کاهش وزن اندازه‌گیری گردید (Naglaa & Serry, 2010).

$$\text{درصد کاهش وزن} = (W_1-W_2)/W_1 \times 100$$

W_1: وزن اولیه، W_2: وزن ثانویه

اندازه‌گیری سفتی بافت میوه توسط دستگاه سفتی‌سنج (مدل OSK-I-۱۰۵۷۶) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری سفتی بافت، تعداد ده عدد پسته از هر تکرار انتخاب و با استفاده از سفتی‌سنج اندازه‌گیری شد. این‌کار با استفاده از سفتی‌سنج نوک تیز ۱۱ میلی‌متری (سرهرمی) انجام گرفت و به بافت فشار آورده شد. میزان فشاری که در اثر سفتی بافت به نوک سفتی‌سنج وارد آمد، از روی صفحه دستگاه قرائت و بر حسب کیلوگرم نیرو بیان شد (Pongener *et al.*, 2011).

از روش تیتراسیون همراه با اندازه‌گیری pH عصاره، برای تعیین میزان اسیدهای آلی قابل اندازه‌گیری استفاده شد. برای ارزیابی عدد اسیدی، وزن معینی از اسید اولئیک در ۲۵ سی‌سی الکل اتیلیک ۹۵ درصد حل کرده و اسید آزاد موجود در آن با شناساگر فنول فتالئین و یک محلول قلیایی هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیتر شد و سپس از روی وزن نمونه و نتایج به دست آمده از تیتراسیون توسط رابطه زیر عدد اسیدی بر حسب میلی‌گرم اسید اولئیک در ۱۰۰ گرم روغن محاسبه گردید (Parvane, 1998).

$$C=(N\times V\times E)/D\times 100$$

در این فرمول، C میزان اسید آلی عصاره بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره، N نرمالیته سود مصرفی، V حجم سود مصرفی، E والانس گرم اسید آلی غالب و D حجم نمونه بر اساس میلی‌لیتر است.

به منظور اندازه‌گیری پراکسید، ۲۵ میلی‌لیتر حلال پراکسید (مخلوط اسید استیک و کلروفرم به نسبت ۳ به ۲) به ۵ گرم از روغن استخراج شده اضافه شد. پس از گذشت پنج دقیقه، ۱ میلی‌لیتر محلول یدور پتاسیم اشباع به آن اضافه گردید. مخلوط به مدت یک دقیقه در جای تاریک قرار داده شد و سپس ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر و چند قطره معرف ۱ درصد به آن اضافه گردید و عمل عیارسنجی تا از بین رفتن رنگ آبی محلول با استفاده از محلول تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال و عدد پراکسید بر حسب میلی اکی والان در کیلوگرم توسط رابطه زیر محاسبه شد (Moghaddam *et al.*, 2009)

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{\text{نرمالیته سولفات سدیم} \times \text{میزان مصرفی تیوسولفات سدیم}}{\text{وزن نمونه (گرم)}} \times ۱۰۰۰$$

اندازه‌گیری میزان قندهای ساده محلول با استفاده از روش اسید سولفوریک و فنل (Dubois *et al.*, 1956) در طی مراحل زیر انجام شد.

نمونه گیاهی به طور تصادفی از هر واحد آزمایشی برداشت شد و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید. پس از پودر کردن آن‌ها و عبور از مش ۳۰، ۰/۱ گرم به صورت تصادفی جدا و جهت انجام آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. ۴ میلی‌لیتر پترولیوم اتر به نمونه اضافه شد و نمونه‌ها ۱ دقیقه ورتکس شدند تا کلروفیل نمونه‌ها جدا شود. لوله‌های حاوی محلول به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۵۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند و پس از آن محلول رویی دور ریخته شد. مجدداً ۴ میلی‌لیتر پترولیوم اتر به هر نمونه اضافه گردید و مراحل فوق تکرار شد. به لوله‌های حاوی محلول، ۵ میلی‌متر اتانول ۸۰٪ افزوده شد و لوله‌ها ورتکس شدند. سپس لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۵۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفته و پس از آن محلول رویی به لوله دیگری منتقل شد. مجدداً ۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ به لوله‌های حاوی نمونه گیاهی افزوده گردید و عملیات ذکر شده در بند قبلی تکرار شد. از محلول فوق ۱ میلی‌لیتر برداشته شد و ۱ میلی‌لیتر فنل ۵٪ به آن اضافه گردید. سپس سریعاً ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک افزوده شد و نمونه‌ها ورتکس شدند. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرار گرفتند. اعداد در معادله به‌دست آمده از منحنی استاندارد، که از غلظت‌های مختلف گلوکز تهیه شده بود، قرار گرفتند و میزان قند موجود در هر نمونه بر حسب میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به‌دست آمد.

اندازه‌گیری پرولین بر اساس روش Bates *et al.* (۱۹۷۵) انجام شد. برای استخراج پرولین از اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد استفاده شد. بدین منظور مقداری اسید به هر یک از نمونه‌ها در داخل هاون چینی اضافه گردید و پس از سابیده شدن، مخلوط حاصل به

لوله‌های آزمایش منتقل و با استفاده از اسید سولفوسالیسیلیک به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسید. لوله‌های آزمایش حاوی نمونه به مدت ۲۰ دقیقه در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول رویی به لوله‌های آزمایش جدید منتقل شد و به ترتیب به آن ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین که به عنوان معرف پرولین در واکنش ایفای نقش می‌کند و نیز ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص اضافه گردید. پس از مخلوط شدن، لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برای انجام واکنش قرار گرفتند. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب گرم، به منظور خاتمه واکنش، نمونه‌ها بلافاصله به بستر یخی منتقل شدند. سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌های آزمایش اضافه شد و برای جدا شدن دو فاز، نمونه‌ها به خوبی مخلوط گردید. در نهایت میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-160A) و در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت پرولین بر اساس نمودار استاندارد تعیین شده و با استفاده از فرمول زیر بر حسب میکرومول در گرم وزن تر نمونه بیان شد (Bates *et al.*, 1975).

پرولین (میلی‌مول بر گرم وزن‌تر) = [(µg proline/ml×ml toluene)/115.5]/[g samples/5]

اندازه‌گیری فسفر با روش اسپکتروفتومتری انجام گرفت (Chu *et al.*, 2020). اندازه‌گیری میزان کلروفیل فلوروسنس با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورسنس مدل hansatech انجام شد. میزان فنل TPC (total polyphenol content) بر اساس روش Singleton *et al.* (۱۹۹۹) اندازه‌گیری گردید. حجم میوه با استفاده از روش غوطه‌ور کردن در آب به دست آمد (Nissi *et al.*, 2021). آنالیز آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت (Anon., 2004) و برای مقایسه میانگین صفات مورد نظر از آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۰) استفاده گردید.

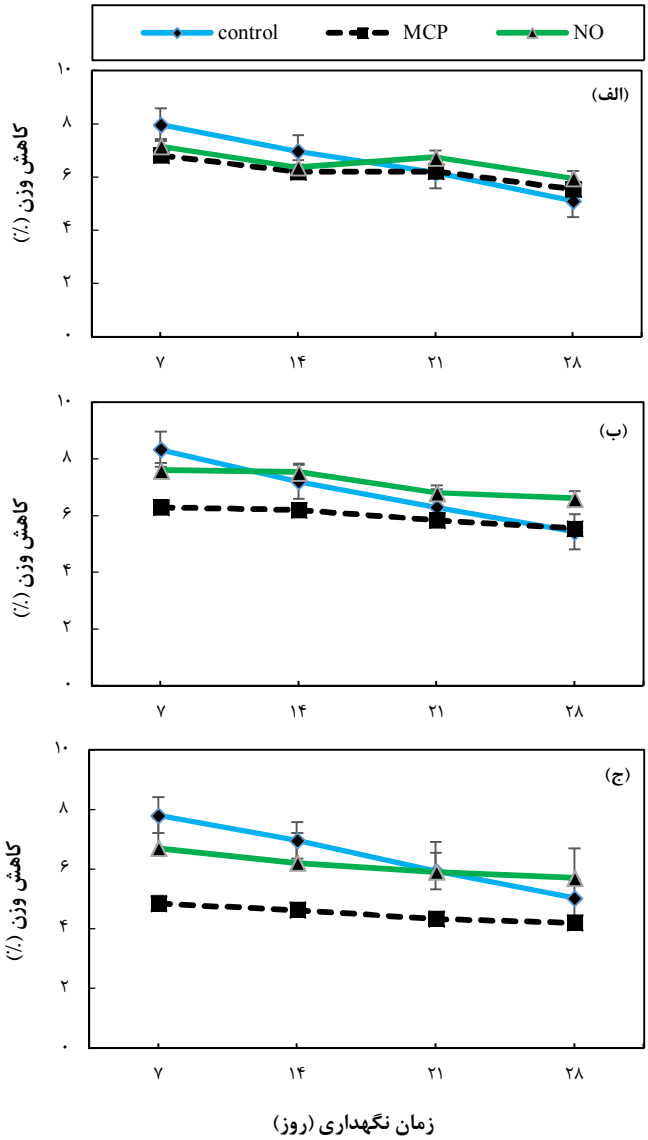
نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان در هر سه زمان اعمال شده باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه در مدت انبارداری گردید. این در حالی است که تیمار شاهد در روز بیست و هشتم انبارداری، کاهش ۵۵ درصدی را نسبت به روز هفتم نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که در زمان اعمال تیمار قبل و پس از برداشت، میوه‌ها کاهش وزن کمتری را نسبت به سایر تیمارها نشان دادند. همچنین اعمال تیمار نیتریک اکسید باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه در پسته شد (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که زمان اعمال تیمار تأثیر معنی‌داری بر سفتی میوه نداشت، در

حالی‌که اعمال تیمار بر روی سفتی بافت میوه معنی‌دار بود. (جدول ۱). نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اعمال تیمار قبل و پس از برداشت باعث افزایش سفتی میوه نسبت به دو زمان دیگر گردید. به طوری‌که در اعمال تیمار قبل و پس از برداشت، سفتی میوه نسبت به اعمال تیمار قبل از برداشت ۱۴ درصد افزایش نشان می‌دهد.

میزان پراکسید و پرولین در زمان‌های مختلف اعمال تیمار تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که میزان قندهای محلول کل در زمان اعمال تیمار قبل و پس از برداشت تفاوت معنی‌داری با تیمار قبل از برداشت داشت. به‌طوری‌که اعمال تیمار قبل و پس از برداشت باعث افزایش ۷ درصد قند محلول در مقایسه



شکل ۱- میزان کاهش وزن محصول در طی انبارداری در تیمارهای متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید اعمال شده (الف: اعمال تیمار قبل از برداشت، ب: اعمال تیمار پس از برداشت، ج: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت).

با قبل از برداشت گردیده است. میزان فسفر در سه زمان اعمال شده، اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). کاهش وزن محصولات کشاورزی خصوصاً پسته با افزایش دوره نگهداری و افزایش دما قبلا گزارش شده است (Nissi *et al.*, 2021). مهمترین ناهنجاری که باعث کاهش کیفیت و در نهایت پژمردگی فرآورده‌ها می‌شود، کاهش وزن به واسطه تبخیر از سطح فراورده است (Galindo *et al.*, 2004). در این پژوهش، پسته‌های تیمارشده در مدت انبارداری کاهش وزن کمتری را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان دادند. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که کاهش در میزان هدررفت وزن میوه‌های تیمارشده به دلیل کاهش سنتز اتیلن، مقاومت، تثبیت و حفظ سیالیت غشاء است (Woods, 1990).

به‌نظر می‌رسد تیمار پسته با متیل سیکلوپروپان، با کندکردن سرعت تنفس و همچنین

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر زمان کاربرد تیمارهای مختلف و تیمار بر صفات اندازه‌گیری‌شده پسته.

		میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	سفتی	فسفر	پراکسید	پرولین	قند محلول	فلورسانس	حجم
زمان کاربرد تیمار	۲	۰/۳۰۳ ns	۲/۵۲**	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۴ns	۰/۵۴۴*	۰/۰۰۵۹ns	۱/۸۹*
تیمار	۲	۲/۰۴**	۰/۶۴ ns	۰/۱۷۲***	۰/۰۰۵۸ns	۵/۶***	۰/۰۱۱۱*	۲/۳۱*
زمان کاربرد* تیمار	۴	۰/۲۴۹ns	۰/۱۲ ns	۰/۰۲۶۳ns	۰/۰۰۸*	۰/۱۰۲ns	۰/۰۰۶۰ns	۱/۷۱*
خطا	۱۴	۰/۰۸۹۶	۰/۲۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۰/۱۴۴	۰/۰۰۳۴	۰/۴۸۴۸
درصد ضریب تغییرات		۱۱/۲۵	۱۷/۵	۱۷/۳۹	۱۵/۱	۵/۲۱	۸/۱۴	۱۸/۸

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار، *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر زمان اعمال تیمار (۱: اعمال تیمار قبل از برداشت، ۲: اعمال تیمار پس از برداشت، ۳: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت) بر پارامترهای اندازه‌گیری شده.

زمان اعمال تیمار	سفتی (kg نیرو)	میزان پراکسید (me/kg)	پرولین (µg/g)	کربوهیدرات (%)	فسفر (mg)	فلورسانس	حجم (cm^3)
۱	۲/۵۳۳b	۰/۷۰۹a	۰/۳۶۴a	۷/۰۲b	۰/۴۳۰a	۰/۶۹۵a	۳/۱۶b
۲	۲/۵۸ab	۰/۶۷۲a	۰/۳۲۹a	۷/۳۳ab	۰/۳۷۶a	۰/۶۹۱a	۴/۰۰a
۳	۲/۸۷a	۰/۶۶۶a	۰/۳۶۸a	۷/۵۱a	۰/۴۰۲a	۰/۶۸a	۳/۹a
LSD	۰/۲۹۹	۰/۱۱۸	۰/۰۵۳	۰/۳۷۹	۰/۰۷۵۷	۰/۰۵۶	۰/۳۲۸

*در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

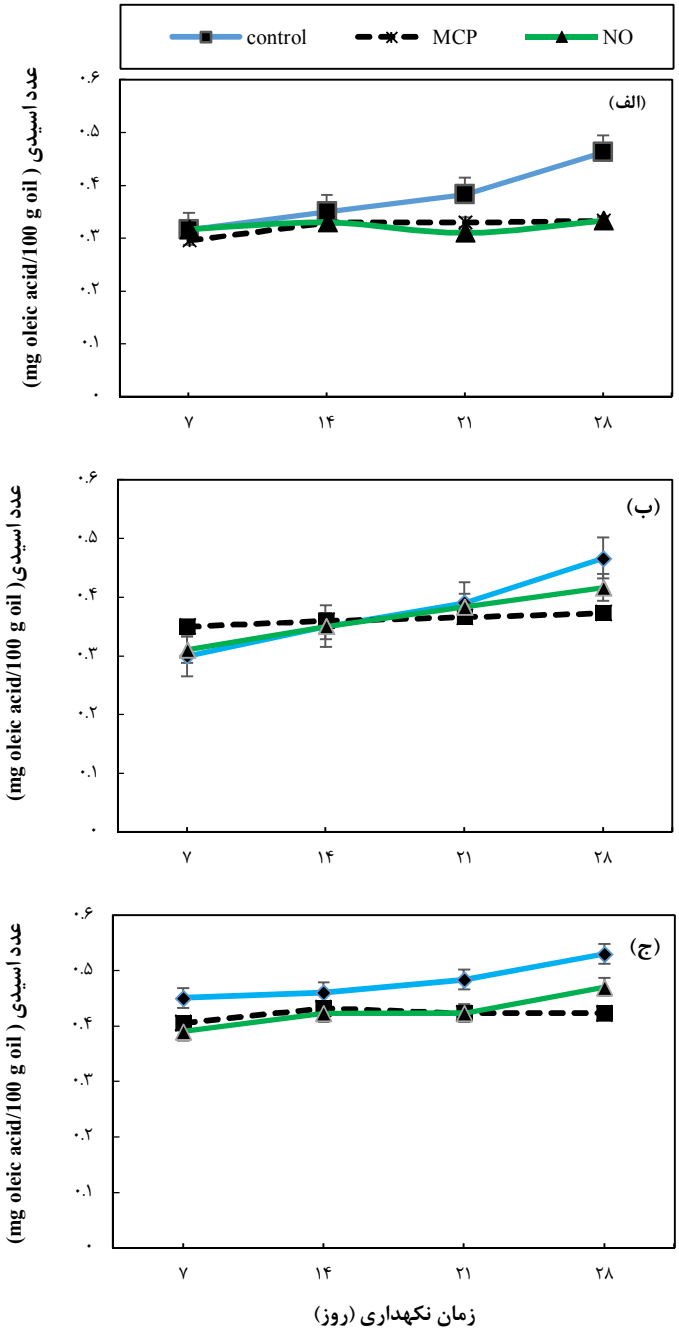
فرآیندهای مرتبط با رسیدن میوه، باعث کاهش مناسب سرعت کم شدن اسیدهای آلی میوه (در اثر تبدیل شدن به قندها) شده باشد (Shakerardekani & Karim, 2013).

نتایج این پژوهش نشان داد که با گذشت زمان انبارداری، عدد اسیدی میوه افزایش پیدا می‌کند. همچنین اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید باعث جلوگیری از افزایش عدد اسیدی میوه در زمان انبارداری گردید. این نتایج نشان داد که بهترین زمان اعمال تیمار برای جلوگیری از افزایش عدد اسیدی میوه، در زمان قبل از برداشت می‌باشد (شکل ۲). اسیدهای چرب آزاد (عدد اسیدی) توسط هیدرولیز چربی‌ها به وجود می‌آیند. افزایش عدد اسیدی (اسیدهای چرب آزاد) بیانگر پدیده هیدرولیز در روغن پسته است. آنزیم لیپاز، اسیدهای چرب را از چربی جدا کرده و اسیدهای چرب آزاد تولید می‌کند و این اسیدهای چرب آزادشده می‌توانند سوبسترای واکنش‌های اکسیداسیون چربی باشند (Koyuncu *et al.*, 2005). یکی از واکنش‌هایی که در طول انبارداری موجب افت کیفیت محصول می‌گردد، سازوکار اکسایشی و تشکیل پراکسیدها می‌باشد. متیل سیکلوپروپان یکی از ترکیباتی است که به‌عنوان پاداکسنده عمل می‌کند. بالا بودن عدد اسیدی میوه یکی از نشانه‌های کاهش کیفیت میوه است و بنابر نتایج، کاربرد متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید باعث حفظ کیفیت میوه شده است (Ramalho & Jorge, 2006).

نتایج نشان می‌دهد که اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان باعث حفظ سفتی میوه در مقایسه با تیمار شاهد و همچنین تیمار نیتریک اکسید گردیده است. به‌طوری‌که سفتی بافت میوه در تیمار متیل سیکلوپروپان، ۴۸ درصد در مقایسه با شاهد و ۱۲ درصد در مقایسه با نیتریک اکسید بیشتر بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد تیمار نیتریک اکسید در مقایسه با شاهد باعث حفظ سفتی میوه می‌گردد (جدول ۳).

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که میزان پراکسید در تیمار متیل سیکلوپروپان در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد ولی نیتریک اکسید تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداده است. همچنین میزان کربوهیدرات محلول در تیمار متیل سیکلوپروپان تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. به‌طوری که افزایش ۲۰ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد داشت. میزان کربوهیدرات در تیمار نیتریک اکسید نسبت به شاهد افزایش ۱۶ درصدی را نشان داد (جدول ۳). بنابر نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، در مدت انبارداری تغییر در میزان کاهش وزن، سفتی، پراکسید و کربوهیدرات‌های محلول در میوه‌های تیمارشده نسبت به شاهد به تأخیر افتادند. یکی از عامل‌های اصلی در تعیین زوال میوه‌ها در دوره‌ی پس از برداشت، میزان نرم شدن میوه‌ها در این دوره است که می‌تواند سبب

کاهش مدت انبارداری محصول شود (Brummell & Harpster, 2001). بالا بودن میزان عدد اسیدی یکی از نشانه‌های کاهش کیفیت روغن است و بنابر این نتایج به نظر



شکل۲- نمودار رابطه بین عدد اسیدی و تیمارهای مختلف در طول مدت انبارداری (الف: اعمال تیمار قبل از برداشت، ب: اعمال تیمار پس از برداشت، ج: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت).

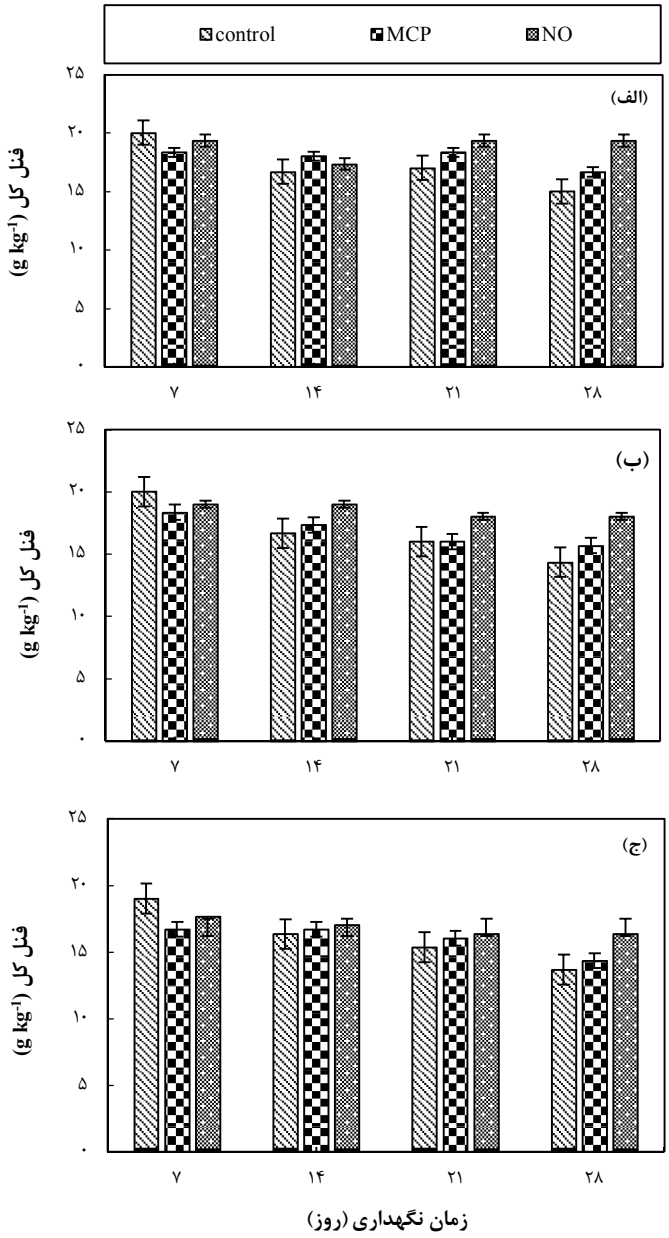
جدول۳- مقایسه میانگین اثر تیمار بر پارامترهای اندازه‌گیری شده.

تیمار	سفتی (kg نیرو)	میزان پراکسید (me/kg)	پرولین (µg/g)	کربوهیدرات (%)	فسفر (mg)	فلورسانس	حجم (cm^3)
شاهد	۲/۱۵c	۰/۷۹۶a	۰/۳۲۴a	۶/۴۲c	۰/۳۸۸a	۰/۷۱۴a	۳/۱۶b
متیل سیکلوپروپان	۲/۷۴b	۰/۵۲۸b	۰/۳۷۱a	۷/۹۶a	۰/۳۷۳a	۰/۶۴۹b	۴/۰۰a
نیتریک اکسید	۳/۰۹۴a	۰/۷۲۲a	۰/۳۶۶a	۷/۴۸b	۰/۴۴۷a	۰/۷۰ab	۳/۹a
LSD	۰/۲۹۹	۰/۱۱۸	۰/۰۵۳	۰/۳۷۹	۰/۰۷۵	۰/۰۲۶	۰/۳۲

*در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

می‌رسد کاربرد متیل سیکلوپروپان باعث حفظ کیفیت روغن شده است. کاهش سفتی بافت یکی از نتایج مستقیم افزایش تجمع اتیلن در محیط نگهداری میوه‌ها و تسریع روند پیری آن‌ها است.گزارش‌هایی مبنی بر کاهش میزان اتیلن در استفاده از متیل سیکلوپروپان و در نتیجه جلوگیری از نرم شدن میوه وجود دارد (Sisler & Serek, 2003; Wills & Ku, 2002). گاز اتیلن توسط اکثر میوه‌ها و سبزی‌های فرازگرا تولید می‌شود و در نقش یک هورمون گیاهی، کار تنظیم و یا تحریک برخی فرایندهای گیاهی مانند کنترل تنفس، بازشدن گل‌ها، رسیدن میوه‌ها و ریزش برگ‌ها را انجام می‌دهد (El Blidi *et al.*, 1993). در تحقیقی دیگر بیان شد که نیتریک اکسید می‌تواند تولید سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داده و در نتیجه تولید اتیلن را کم کند. همچنین گزارش کردند، نیتریک اکسید می‌تواند تنفس میوه را کاهش دهد (Kang *et al.*, 2016). برخی پژوهشگران دیگر نیز گزارش نمودند که تیمار 1-MCP و نیتریک اکسید با تاخیر در نرم شدن میوه باعث کاهش سنتز اتیلن و افزایش تنفس شدند (Steelheart *et al.*, 2019).

نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان باعث حفظ ترکیبات فنلی می‌گردد ولی اعمال تیمار نیتریک اکسید نتایج بهتری داشته و موجب جلوگیری از تجزیه فنل در پسته می‌شود (شکل ۳). به نظر می‌رسد که NO اعمال شده می‌تواند مانع فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز (polyphenol oxidase, PPO) و پراکسیداز (peroxidase, POD) شود و در نتیجه باعث تخریب کمتر ترکیبات فنلی می‌گردد. میزان بالای ترکیبات فنلی در میوه‌های تیمار شده با نیتریک اکسید این مطلب را تأیید می‌کند. همچنین تخریب پلی‌فنول‌ها با از بین رفتن یکپارچگی غشا سلولی مرتبط است (Gao *et al.*, 2018). مطالعات نشان می‌دهد که ترکیبات فنلی اکسید شده می‌توانند مقدار زیادی از قندهای ساده را از دیواره سلول‌های



شکل ۳- تغییرات فنل کل در تیمارهای مختلف و زمان اعمال تیمار در طول مدت انبارداری (الف : اعمال تیمار قبل از برداشت، ب: اعمال تیمار پس از برداشت، ج: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت)

گیاهی آزاد کنند. در نتیجه اکسیژن هوا به شدت با آن واکنش نشان داده و باعث افزایش قهوه‌ای شدن میوه‌های تازه می‌شود (Gheysarbigi *et al.*, 2020; Rasouli *et al.*, 2016). در شرایط تنش، میزان کلروفیل فلورسانس افزایش می‌یابد. در این پژوهش استفاده از تیمارهای متیل سیکلوپروپان و همچنین نیتریک اکسید در مقایسه با تیمار شاهد باعث کاهش میزان کلروفیل فلورسانس شد. قبلاً پژوهشگران گزارش

کرده‌اند که تنش موجب افزایش میزان کلروفیل فلورسانس می‌گردد (Banks., 2018; Hniličková *et al.*, 2017, Liu *et al.*, 2019)

نتیجه‌گیری کلی

با طولانی شدن مدت نگهداری پسته، ویژگی‌های ظاهری و شیمیایی این فرآورده تازه تغییر می‌کند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، نگهداری پسته به صورت تازه هر چند نگرانی‌هایی نسبت به پسته خشک دارد ولی با داشتن شرایط بهینه و اعمال تیمارهای مناسب امکان‌پذیر است. کاربرد تیمارهای متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید موجب افزایش عمر پس از برداشت، حفظ کیفیت و افزایش انبارمانی پسته می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که متیل سیکلوپروپان نسبت به نیتریک اکسید تأثیر بهتری در افزایش عمر پس از برداشت پسته دارد. براساس نتایج به‌دست آمده، تکرار این تیمارها قبل و بعد از برداشت نسبت به تیمارهایی که تنها در یک مرحله اعمال می‌گردند تأثیر بهتری بر افزایش عمر پس از برداشت محصول پسته خواهد داشت.

منابع

1. Anon. (2004). SAS/STAT® 9.1 User's guide: SAS Institute Inc Cary, NC, US.
2. Balogh, A, Koncz, T, Tisza, V, Kiss, E, & Heszky, L. (2005). The effect of 1-MCP on the expression of several ripening-related genes in strawberries. *HortScience, 40*(7), 2088-2090.
3. Banks, JM. (2018). Chlorophyll fluorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes. *Environmental and experimental botany, 155*, 118-127.
4. Bates, LS, Woldren, RP, & Teare, ID. (1975). Rapid deterrmination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.
5. Brummell, DA, & Harpster, MH. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Cell Walls*, 311-340.
6. Chu, Q, Zhang, L, Zhou, J, Yuan, L, Chen, F, Zhang, F, Feng, G, & Rengel, Z. (2020). Soil plant-available phosphorus levels and maize genotypes determine the phosphorus acquisition efficiency and contribution of mycorrhizal pathway. *Plant and Soil, 449*(1), 357-371.
7. Daly, J, & Schluter, A. (2001). EthylBloc™—an industry perspective. *Perishablse Handling Quarterly*, 5-7.
8. Dubois, M, Gilles, KA, Hamilton, JK, Rebers, PT, & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry, 28*(3), 350-356..
9. El Blidi, A, Rigal, L, Malmary, G, Molinier, J, & Torres, L. (1993). Ethylene removal for

10. Esmaeilpour, A, & Shakerardekani, A. (2018). Effects of early harvest times on nut quality and physiological characteristics of pistachio (*Pistacia vera*) trees. *Fruits, 73*(2), 110-117.
11. Faostat, FAO. (2016). Food and agriculture organization of the united nations, 2010.
12. Ferguson, L, & Haviland, D. (2016). Pistachio production manual. UCANR Publications.
13. Galindo, FG, Herppich, W, Gekas, V, & Sjöholm, I. (2004). Factors affecting quality and postharvest properties of vegetables: Integration of water relations and metabolism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44*(3), 139-154.
14. Gao, H, Zeng, Q, Ren, Z, Li, P, & Xu, X. (2018). Effect of exogenous γ-aminobutyric acid treatment on the enzymatic browning of fresh-cut potato during storage. *Journal of Food Science and Technology, 55*(12), 5035-5044.
15. Gheysarbigi, S, Mirdehghan, SH, Ghasemnezhad, M, & Nazoori, F. (2020). The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reactions of in-package fresh pistachios (*Pistacia vera* L.). *Postharvest Biology and Technology, 159*, 110998.
16. Hniličková, H, Hnilička, F, Martinkova, J, & Kraus, K. (2017). Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. *Plant, Soil and Environment, 63*(8), 362-367.
17. Kang, R, Zhang, L, Jiang, L, Yu, M, Ma, R, & Yu, Z. (2016). Effect of postharvest nitric oxide treatment on the proteome of peach fruit during ripening. *Postharvest Biology and Technology, 112*, 277-289.
18. Knee, M. (2002). Fruit Quality and Its Biological Basis. CRC Press.
19. Koyuncu, MA, Islam, A, & Küçük, M. (2005). Fat and fatty acid composition of hazelnut kernels in vacuum packages during storage. *Grasasy Aceites, 56*(4), 263-266.
20. Lai, T, Li, B, Qin, G, & Tian, S. (2011). Oxidative damage involves in the inhibitory effect of nitric oxide on spore germination of Penicillium expansum. *Current Microbiology, 62*(1), 229-234.
21. Leatherwood, WR, Dole, JM, Bergmann, BA, & Faust, JE. (2016). 1-Methylcyclopropene improves ethylene tolerance of unrooted herbaceous cuttings but delays adventitious root development in Angelonia, Calibrachoa, Impatiens, Portulaca, Sutera, and Verbena cultivars. *Hortscience, 51*(2), 164-170.
22. Liu, B, Liang, J, Tang, G, Wang, X, Liu, F, & Zhao, D. (2019). Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of Juglans rootstocks. *Scientia Horticulturae, 250*, 230-235.
23. Lv, J, Zhang, M, Bai, L, Han, X, Ge, Y, Wang, W, & Li, J. (2020). Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the expression of genes involved in the chlorophyll degradation pathway of apple fruit during storage. *Food Chemistry, 308*, 125707.

long term conservation of fruits and vegetables. *Food Quality and Preference, 4*(3), 119-126.

24. Moghaddam, TM, Razavi, SMA, Malekzadegan, F, & Shakerardekani, A. (2009). Chemical composition and rheological characterization of pistachio green hull's marmalade. *Journal of Texture studies, 40*(4), 390-405.

25. Naglaa, K, & Serry, H. (2010). some modified atmoshere packaging treatment reduce chiling injury and maintain postharvest quality of washington navel orange. *Journal of Horticulture Science, 2*, 108-113.

26. Nazoori, F, Shafei, R, & Mirdehghan, SH. (2018). The effect of antioxidant compounds and polymer coatings on the quality and shelf life of fresh Ahmad Aaghaei pistachio. *Pistachio and Health Journal, 1*(4), 21-31.

27. Nissi, FG, Lakshmi, ML, Swami, DV, Rajashekaram, T, Salomi, DR, & Krishna, UK. (2021). Effect of antitranspirants on growth and fruit parameters of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Pharma Innovation Journal, 10*(5), 577-581.

28. Palma, JM, Freschi, L, Rodríguez-Ruiz, M, González-Gordo, S, & Corpas, FJ. (2019). Nitric oxide in the physiology and quality of fleshy fruits. *Journal of Experimental Botany, 70*(17), 4405-4417.

29. Parvane, V. (1998). Quality control and food material chemical analyzes .Tehran University Press.

30. Pongener, A, Mahajan, BVC, & Singh, H. (2011). Effect of different packaging films on storage life and quality of peach fruits under cold storage conditions. *Indian Journal of Horticulture, 68*(2), 240-245.

31. Ramalho, VC, & Jorge, N. (2006). Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química Nova*, 755-760.

32. Rasouli, H, Farzaei, MH, Mansouri, K, Mohammadzadeh, S, & Khodarahmi, R. (2016). Plant cell cancer: may natural phenolic compounds prevent onset and development of plant cell malignancy? A literature review. *Molecules, 21*(9), 1104.

33. Saba, MK, & Moradi, S. (2017). Sodium nitroprusside (SNP) spray to maintain fruit quality and alleviate postharvest chilling injury of peach fruit. *Scientia Horticulturae, 216*, 193-199.

34. Schlüter, U, & Crawford, RM. (2001). Long-term anoxia tolerance in leaves of *Acorus calamus* L. and *Iris pseudacorus* L. *Journal of Experimental Botany*, *52*(364), 2213-2225.

35. Shakerardekani, A, & Karim, R. (2013). Effect of different types of plastic packaging films on the moisture and aflatoxin contents of pistachio nuts during storage. *Journal of Food Science and Technology, 50*(2), 409-411.

36. Singleton, VL, Orthofer, R, & Lamuela-Raventós, RM. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology, 299*, 152-178.

37. Sisler, EC, & Serek, M. (2003). Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology, 5*(5), 473-480.

38. Steelheart, C, Alegre, ML, Bahima, JV, Senn, ME, Simontacchi, M, Bartoli, CG, &

Grozeff, GEG. (2019). Nitric oxide improves the effect of 1-methylcyclopropene extending the tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) fruit postharvest life. *Scientia Horticulturae, 255*, 193-201.

39. Watkins, CB. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances, 24 (4)* , 389-409.

40. Wills, RBH, & Ku, VVV. (2002). Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology, 26*(1), 85-90.

41. Woods, JL. (1990). Moisture loss from fruits and vegetables. *Postharvest News and Information, 1*(3), 195-199.

42. Xie, X, Fang, C, & Wang, Y. (2017). Inhibition of ethylene biosynthesis and perception by 1-methylcyclopropene and its consequences on chlorophyll catabolism and storage quality of 'Bosc'pears *Journal of the American Society for Horticultural Science, 142*(2), 92-100.

43. Zhou, Y, Li, S, & Zeng, K. (2016). Exogenous nitric oxide-induced postharvest disease resistance in citrus fruit to Colletotrichum gloeosporioides. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 96*(2), 505-512.

The Investigation of the Effect of 1-MCP and NO Before- and Post-harvest on Maintaining Quality and Extending Storability of Fresh Pistachio

Abstract

In order to investigate the effect of methyl cyclopropane (1-MCP) and nitric oxide (NO) on extending storability pistachio, an experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with two factors and four replications. The first factor included treatment application time at three levels (twenty days before harvest, immediately after harvest, before and after harvest) and the second factor included methyl cyclopropane and nitric oxide treatment (1 and 5 (µmol/L), respectively). The results showed that application of methyl cyclopropane in before and after fruit harvesting time cause 20% decreases in fruit weight loss in compare to control. Also the results show that the treatment of methyl cyclopropane and nitric oxide prevents the increase of fruit acidity during storage time. The treatment of methyl cyclopropane increased fruit firmness in compare to control and NO, 48 and 12% respectively. However, experiment show that before and after harvest, the firmness of the fruit increased by 14% compared to the pre-harvest treatment. The results suggested that methyl cyclopropane treatment increased fruit firmness compared to control and nitric oxide treatment, so that methyl cyclopropane treatment increased fruit firmness 48% compared to control and 12% compared to nitric oxide. The results revealed that the amount of soluble carbohydrates in methyl cyclopropane treatment showed a 20% increase compared to the control. Also, carbohydrates in nitric oxide treatment showed a 16% increase compared to the control. The application of nitric oxide treatment before and after harvesting the total phenol at the end of storage was 30% higher than the control. In general, the results show that the application of 1-MCP before and after harvest maintains fruit firmness, soluble carbohydrates and also prevents the increase of acidity and weight loss of fruit.

Keywords: Acidity, Nitric oxide, Peroxide, Postharvest