کاربرد قبل و پس ازبرداشت نیتریک اکسید و ۱- متیل سیکلو پروپان **(1-MCP)** بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبار مانی پسته تازه رقم فندقی

**چکیده**

به منظور بررسی اثر متیل سیکلو پروپان و نیتریک اکسید (1-MCP , NO) بر ماندگاری پسته اين آزمايش به صورت فاکتوريل در قالب طرح پايه کاملاً تصادفي 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 کاربرد 1-MCP باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه در مدت انبارداری می‌گردد به طوری‌که در کاربرد1-MCP در زمان قبل و پس از برداشت وزن میوه در مقایسه با شاهد20 درصد کاهش کمتری را نشان داده است. همچنین اعمال تیمار 1-MCP و NO باعث جلوگیری از افزایش عدد اسیدی میوه در زمان انبارداری می‌گردد. اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان باعث افزایش سفتی میوه در مقایسه با تیمار شاهد و همچنین تیمار نیتریک اکسید گردیده است به طوری‌که تیمار متیل سیکلوپروپان موجب افزایش 48 درصدی در مقایسه با شاهد و 12 درصدی در مقایسه با نیتریک اکسید گردیده است. نتایج نشان داد در زمان قبل و پس از برداشت 14 درصد سفتی بیشتری نسبت به تیمار قبل از برداشت داشتند. در میوه‌های تیمار شده همچنین میزان کربوهیدرات محلول در تیمار متیل سیکلوپروپان و NO در مقایسه با شاهد به ترتیب افزایش 20 و 16 درصدی را نشان داد. میزان فنل کل در کاربرد قبل و پس از برداشت تیمار NO در انتهای مدت انبارداری30 درصد نسبت به شاهد بیشتر بوده است. به طور کلی نتایج حاصل نشان داد کاربرد 1-MCP قبل و پس از برداشت باعث حفظ سفتی میوه، کربوهیدرات محلول و همچنین موجب جلوگیری از افزایش عدد اسیدی و کاهش وزن میوه می‌گردد.

**کلمات کلیدی**: پس از برداشت، نیتریک اکسید، پراکسید، عدد اسیدی

**مقدمه**

پسته با نام علمی *Pistacia vera* L. از خانواده آناکاردیاسه یکی از متداولترین درختان خشکبار در جهان می‌باشد ([Ferguson & Haviland, 2016](#_ENREF_12)). 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 & Production, 2016](#_ENREF_11)). صادرات پسته تازه ارزش افزوده بیشتری نسبت به پسته خشک شده دارد و همچنین از طعم مطلوب‌تری برخوردار است ([Nazoori *et al.*, 2018](#_ENREF_26)) اما پسته تازه عمر انبارداری پایینی دارد و از سوی دیگر خشک‌کردن پسته تازه سبب کاهش ارزش غذایی آن می‌شود([Esmaeilpour & Shakerardekani, 2018](#_ENREF_10)). افزایش عمر نگهداري پسته علاوه بر وضعیت انبارمانی و نوع بسته‌بندی آن به شرایط قبل از برداشت بستگی دارد ([Esmaeilpour & Shakerardekani, 2018](#_ENREF_10)) . ترک خوردگی پوسته نرم، جدا شدن پوست نرم از پوست استخوانی هنگام برداشت، حمل و نقل و همچنین نرم شدگی پوست نرم در دوره انبارداری از مشکلات عمده پس از برداشت پسته تازه است. تماس میوه با اتیلن یکی از دلایل افزایش پوسیدگی و فسادپذیري میـوه در حین بازاررسانی است ([Knee, 2002](#_ENREF_18)). در واقع اتیلن تسریع‌ کنندة فعالیت عوامل ایجاد پوسیدگی در میوه است ([Gao *et al.*, 2018](#_ENREF_14); [Rasouli *et al.*, 2016](#_ENREF_32)). 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](#_ENREF_14); [Rasouli *et al.*, 2016](#_ENREF_32)) ([Knee, 2002](#_ENREF_18)).

تمام سيكلوپروپان‌ها بازدارنده‌ي عمل اتيلن مي‌باشند. در اين ميان ۱- متیل سیکلوپروپان 1-MCP))يكي از بهترين تركيبات سيكلوپروپاني مي‌باشد([Leatherwood *et al.*, 2016](#_ENREF_21)) . متيل سيكلوپروپان به عنوان يك ماده جديد ممانعت كننده از اثر اتيلن، در غلظت‌هـاي خيلـي كـم مصرف شده و اثر منفي بر سلامت انسان و محيط زيست ندارد. 1-MCP گیرنده‌های اتیلن موجــود در سیتوپلاسم سلول‌ها را به‌طور دائمی اشغال کرده، در نتیجه عمل اتیلن را غیر فعال کرده و از این طریـق، کلیـه فرآینـدهاي مـرتبط بـا رسیدن میوه حتی تولیـد اتیلن را کـاهش می‌دهد ([Leatherwood *et al.*, 2016](#_ENREF_21)) ([Balogh *et al.*, 2005](#_ENREF_2)). همچنین باعـث کاهش تولید اتیلن از طریق کنترل سیستم بازسـازي اتیلن و سـاخت خودبه‌خودي آن نیز می‌شود ([Leatherwood *et al.*, 2016](#_ENREF_21); [Watkins, 2006](#_ENREF_38)). این ترکیب از فعالیت آنزیم‌هاي مرتبط با بیوسـنتز اتیلن ماننـد اي سـی سـی اکسـیداز(ACC oxidas ) و اي سی سی سنتاز (ACC synthase) و تجمـع ام آر ان اي مرتبط با آن‌ها نیز جلوگیري به‌عمل می‌آورد ([Xie *et al.*, 2017](#_ENREF_38)). 1-MCP از تخریب کلروفیل و تغییرات رنگ نیـز در طیـف گسترده‌اي از گونه‌هـاي گیـاهی جلـوگیري کـرده است. مثلا تخریب کلروفیل را در سیب، گلابی، آووکادو و موز به تاخیر انداخته ([Lv *et al.*, 2020](#_ENREF_23); [Xie *et al.*, 2017](#_ENREF_41)) و تاثیر مثبت آن بر حفظ میزان اسیدهاي آلی و تاخیر در کاهش آسکوربیک اسید در بیشتر محصولات باغبانی بـه تایید رسیده است ([Watkins, 2006](#_ENREF_38)). از طرفی نیتریک اکسید (NO) یـک رادیکال آزاد گازی شکل بسیار فعال است کـه نقشی حیاتی و مهمی را در تنظیم فعالیت‍‌های فیزیولوژیکی و رشد و نمو گیاه ایفا می‌کند. اخیرا کاربرد غلظت‌های کم گاز نیتریک اکسید به منظور افزایش عمر انباری برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها موثر گزارش شده است ([Palma *et al.*, 2019](#_ENREF_28); [Zhou *et al.*, 2016](#_ENREF_42)). 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](#_ENREF_20); [Saba & Moradi, 2017](#_ENREF_33); [Zhou *et al.*, 2016](#_ENREF_42)). قیصربیگی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تاثیر نیتریک اکسید بر کاهش واکنش‌های آنزیمی (قهوه‌ای شدن) پسته تازه بیان کردند 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](#_ENREF_15)). وجود مقادیر کم اتیلن در محیط هواي انبارها سبب تسریع رسیدن میوه‌ها می‌شود و واکنش‌هاي مضری مانند افزایش طعم تلخ، نرم شدن و پیری زودرس را به همراه دارد (Schluter, 2001). طی چند سال اخیر یافتن روش‌هایی براي به حداقل رساندن مصرف ترکیبات مضر و در عین حال حفظ میوه و سبزي ها در انبارها در شرایط مناسب مورد توجه قرار گرفته است که عبارتند از: تهویه هواي انبار، استفاده از جذب کننده‌های اتیلن مانند پرمنگنات پتاسیم، اتمسفر کم‌فشار و اوزون که البته هر یک از این راه‌ها مشکلاتی به همراه دارند. کاربرد 1- متیل سیکلوپروپان (MCP- 1 ) یکی از آخرین روش‌ها در این زمینه است ([Daly & Schluter, 2001](#_ENREF_7); [El Blidi *et al.*, 1993](#_ENREF_9)). با توجه به مطالب گفته شده این پژوهش با هدف بررسی تیمار1-MCP و نیتریک اکسید قبل و پس از برداشت بـر حفظ کیفیت و افزایش عمـر انبارمانی پسته تازه انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها**

اين آزمايش به صورت فاکتوريل در قالب طرح پايه کاملاً تصادفي با دو فاکتور و چهار تکرار در دانشکده کشاورزي دانشگاه فردوسی مشهد در سال 1399-1398 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 غلطت 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 1±4 درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. پسته‌ها در 4 تکرار و هر تکرار شامل 100 گرم پسته بوده است که در فاصله‌های زمانی 7 ،14 و 21 روز پس از آغاز انبارداری ویژگی‌هایی همانند میزان کاهش وزن، سفتی پوسته خارجی، عدد اسیدی، میزان پراکسید، میزان کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و فسفر اندازه گیری شدند.

نمونه‌هاي برداشت شده پس از انتقال به آزمايشگاه و نيز به فواصل معين در طول نگهداري در انبار سرد وزن شدند. اندازه‌گيري ميزان کاهش وزن با اندازه‌گيري مجموع وزن میوه های هر تکرار در زمان برداشت (W1) و پس از بيرون آوردن از انبار در هر دوره (W2) و اختلاف بين اين دو وزن صورت گرفت. اين کار با استفاده از يک ترازوي ديجيتال با دقت 001/0 گرم انجام شد. سپس اين اختلاف بر وزن اوليه تقسيم و در 100 ضرب شد و درصد کاهش وزن اندازه گيري شد ([Naglaa & Serry, 2010](#_ENREF_25)).

 (W1-W2)/W1\*100 = درصد کاهش وزن

W1 : وزن اوليه ، W2 : وزن ثانويه

اندازه‌گيري سفتي بافت میوه توسط دستگاه سفتي سنج (مدل10576-OSK-I) صورت گرفت. براي اندازه‌گيري سفتي بافت، تعداد ده عدد پسته از هر تکرار انتخاب و با استفاده از سفتي سنج اندازه‌گيري شد. این‌کار با استفاده از نوک تيز 11 ميلي‌متري (سرهرمي) اين دستگاه به بافت فشار آورده شد. ميزان فشاري که در اثر سفتي بافت به نوک سفتي سنج وارد آمد از روي صفحه دستگاه قرائت و بر حسب کیلوگرم نیرو بیان شد ([Pongener *et al.*, 2011](#_ENREF_30)).

از روش تيتراسيون همراه با اندازه‌گيري پ هاش عصاره، براي تعيين ميزان اسيدهاي آلي قابل اندازه‌گيري استفاده شد. برای ارزیابی عدد اسیدی وزن معینی از اسید اولئیک در 25 سی سی الکل اتیلیک 95 درصد حل کرده و اسید آزاد موجود در آن با شناساگر فنول فتالئین و یک محلول قلیایی هیدروکسید سدیم 1/0 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 در100 گرم روغن محاسبه گردید ([Parvane, 1998](#_ENREF_29)).

 C=(N\*V\*E)/D\*100

در اين فرمول، C ميزان اسيد آلي عصاره بر حسب ميلي‌گرم در 100 ميلي‌ليتر عصاره، N نرماليته سود مصرفي، V حجم سود مصرفي، E والانس گرم اسيد آلي غالب و D حجم نمونه بر اساس ميلي‌ليتر است.

به منظور اندازه‌گیری پراکسید 25 میلی‌لیتر حلال پراکسید (مخلوط اسید استیک و کلروفرم به نسبت 3 به 2) به 5 گرم از روغن استخراج شده اضافه شد و پس از گذشت پنج دقیقه 1 میلی‌لیتر محلول یدور پتاسیم اشباع به آن اضافه شد. مخلوط به مدت یک دقیقه در جای تاریک قرار داده شد و در مرحله بعد 25 میلی لیتر آب مقطر و چند قطره معرف 1 درصد به آن اضافه شد و عمل عیارسنجی را تا از بین رفتن رنگ آبی محلول عیارسنجی با استفاده از محلول تیوسولفات سدیم1/0 نرمال ادامه داده و عدد پراکسید بر حسب میلی اکی والان در کیلوگرم توسط رابطه زیر محاسبه گردید ([Moghaddam *et al.*, 2009](#_ENREF_24))

 عدد پراکسید= $\frac{ سدیم تیوسولفات مصرفی میزان\*سدیم سولفات نرمالیته\*1000}{\left(گرم\right)نمونه وزن}$

اندازه‌گيري ميزان قندهاي ساده محلول با استفاده از روش اسيد سولفوريک و فنل ([Dubios *et al.*, 1956](#_ENREF_8)) در طي مراحل زير انجام شد:

از هر واحد آزمايشي نمونه گياهي به طور تصادفي گرفته شد و در آون با دماي 70 درجه سانتي‌گراد به مدت 48 ساعت خشک گرديد. پس از پودر کردن آن‌ها و عبور از مش 30، 1/0 گرم به صورت تصادفي جدا و جهت انجام آزمايش مورد استفاده قرار گرفت. 4 ميلي‌ليتر پتروليوم اتر به نمونه اضافه شد و نمونه‌ها 1 دقيقه ورتکس شدند تا کلروفيل نمونه‌ها جدا شود. لوله‌هاي حاوي محلول به مدت 20 دقيقه در سانتريفيوژ 5000 دور در دقيقه قرار گرفتند و پس از آن محلول رويي دور ريخته شد. مجدداً 4 ميلي‌ليتر پتروليوم اتر به هر نمونه اضافه گرديد و مراحل فوق تکرار شد. به لوله‌هاي حاوي محلول، 5 ميلي‌متر اتانول 80% افزوده شد و لوله‌ها ورتکس شدند، سپس لوله‌ها به مدت 20 دقيقه در سانتريفيوژ 5000 دور در دقيقه قرار گرفته و پس از آن محلول رويي به لوله ديگري منتقل شد. مجدداً 5 ميلي‌ليتر اتانول 80% به لوله‌هاي حاوي نمونه گياهي افزوده گرديد و عمليات ذکر شده در بند قبلي تکرار شد. از محلول فوق 1 ميلي ليتر برداشته شد و 1 ميلي ليتر فنل 5% به آن اضافه گرديد سپس سريعاً 5 ميلي‌ليتر اسيد سولفوريک افزوده شد و نمونه‌ها ورتکس شدند. پس از گذشت 30 دقيقه نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج 485 نانومتر قرار گرفتند. اعداد در معادله بدست آمده از منحني استاندارد که از غلظت‌هاي مختلف گلوکز تهيه شده بود قرار گرفتند و ميزان قند موجود در هر نمونه بر حسب ميلي گرم بر گرم ماده خشک بدست آمد.

اندازه‌گيري پرولین بر اساس روش بتس و همکاران (1973) انجام شد([Bates *et al.*, 1975](#_ENREF_4)).

براي استخراج پرولين از اسيد سولفوساليسيليک 3 درصد استفاده شد. بدين منظور مقداري اسيد به هر يک از نمونه‌ها در داخل هاون چيني اضافه گرديد و پس از سابيده شدن، مخلوط حاصل به لوله‌هاي آزمايش منتقل و با استفاده از اسيد سولفوساليسيليک به حجم 10 ميلي‌ليتر رسيد. لوله‌هاي آزمايش حاوي نمونه به مدت 20 دقيقه در 5000 دور در دقيقه سانتریفيوژ شدند و سپس 2 ميلی‌ليتر از محلول رويي به لوله‌هاي آزمايش جديد منتقل شد و به ترتيب به آن 2 ميلي‌ليتر معرف ناين هيدرين که به عنوان معرف پرولين در واکنش ايفاي نقش مي‌کند و نيز 2 ميلي ليتر اسيد استيک خالص اضافه گرديد و پس از مخلوط شدن لوله‌هاي آزمايش به مدت يک ساعت در حمام آب گرم با دماي 100 درجه سانتي‌گراد براي انجام واکنش قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب گرم، بلافاصله به منظور خاتمه واکنش نمونه‌ها به بستر يخي منتقل شدند و سپس 4 ميلي‌ليتر تولوئن به هر يک از لوله‌هاي آزمايش اضافه شده و براي جدا شدن دو فاز، نمونه‌ها به خوبي مخلوط گرديد. در نهايت ميزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (مدل UV-160A) و در طول موج 520 نانومتر اندازه‌گيري شد. غلظت پرولين بر اساس نمودار استاندارد تعيين شده و با استفاده از فرمول زير بر حسب ميکرومول در گرم وزن ‌تر نمونه بيان مي‌گردد.

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

([Bates *et al.*, 1975](#_ENREF_4)).

اندازه گیری فسفر با روش اسپکتروفتومتری انجام گرفت ([Chu *et al.*, 2020](#_ENREF_6)). اندازه گیری میزان کلروفیل فلوروسنس با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورسنس مدل hansatechانجام گرفت. میزان فنل TPC بر اساس Singleton et al (1999), اندازه‌گیری گردید ([Singleton *et al.*, 1999](#_ENREF_35)). حجم میوه با استفاده از روش غوطه‌ور کردن در آب به دست آمد ([Nissi *et al.*, 2021](#_ENREF_27)). آناليز آماري و تجزيه و تحليل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت ([Anon, 2004](#_ENREF_1)) و براي مقايسه ميانگين صفات مورد نظر از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد. براي رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (نسخه 2010) استفاده شد.

**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 می‌گردد این در حالی است که تیمار شاهد در روز بیست و هشتم انبارداری کاهش 55 درصدی را نسبت به روز هفتم نشان داده است. نتایج نشان داد در زمان اعمال تیمار قبل و پس از برداشت، میوه ها کاهش وزن کمتری را نسبت به سایر تیمارها نشان می‌دهند. همچنین اعمال تیمار نیتریک اکسید باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه در پسته می گردد (شکل یک).

شکل1: میزان کاهش وزن محصول در طی انبارداری در تیمارهای اعمال شده (الف: اعمال تیمار قبل از برداشت، ب: اعمال تیمار پس از برداشت، ج: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد زمان اعمال تیمار تاثیر معنی‌داری بر سفتی میوه نداشته است در حالی‌که اعمال تیمار بر روی سفتی بافت میوه معنی‌دار بوده است (جدول یک). نتایج جدول 2 نشان می‌دهد اعمال تیمار قبل و پس از برداشت باعث افزایش سفتی میوه نسبت به دو زمان دیگر می‌گردد به طوریکه در اعمال تیمار قبل و پس از برداشت سفتی میوه نسبت به اعمال تیمار قبل از برداشت 14 درصد افزایش نشان می‌دهد. میزان پراکسید و پرولین در زمان‌های مختلف اعمال تیمار تفاوت معنی‌داری نداشته است. نتایج نشان داد میزان قندهای محلول کل در زمان اعمال تیمار قبل و پس از برداشت تفاوت معنی‌داری با تیمار قبل از برداشت داشته است به طوری‌که اعمال تیمار قبل و پس از برداشت باعث افزایش 7 درصد قند محلول در مقایسه با قبل از برداشت گردیده است. میزان فسفر در سه زمان اعمال شده اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد( جدول 2).

جدول 1: نتایج تجزیه واریانس اثر زمان کاربرد تیمارهای مختلف و تیمار بر صفات اندازه گیری شده پسته

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| میانگین مربعات |   |   |   |
| حجم | فلورسانس | قند محلول | پرولین | پراکسید | فسفر | سفتی | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|
| 89/1\* | 0059/0ns | 544/0\* | 004/0ns | 004/0ns | 52/2\*\* | 303/0 ns | 2 | زمان کاربرد تیمار |
| 31/2\* | 0111/0\* | 6/5\*\*\* | 0058/0ns | 172/0\*\*\* | 64/0 ns | 04/2\*\* | 2 | تیمار |
| 71/1\* | 0060/0ns | 102/0ns | 008/0\* | 0263/0ns | 12/0 ns | 249/0ns | 4 | زمان کاربرد\* تیمار |
| 4848/0  | 0034/0 | 144/0 | 002/0 | 014/0 | 22/0 | 0896/0 | 16 | خطا |
| 8/18 | 14/8 | 21/5 | 1/15 | 39/17 | 5/17 | 25/11 |   | درصد ضریب تغییرات |

ns: عدم وجود اختلاف معني دار،\*: اختلاف معني دار در سطح احتمال 5% ، \*\*: اختلاف معني دار در سطح احتمال 1% ، \*\*\*: اختلاف معني دار در سطح احتمال 10/0%

جدول2: مقایسه میانگین اثر زمان اعمال تیمار بر پارامترهای اندازه‌گیری شده (1: اعمال تیمار قبل از برداشت، 2: اعمال تیمار پس از برداشت، 3: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| زمان اعمال تیمار | سفتی(کیلوگرم نیرو) | میزان پراکسید(me/kg) | پرولین(ميکروگرم در گرم) | کربوهیدرات (%) | فسفر(میلی گرم) | فلورسانس | حجم(سانتی متر مکعب) |
| 1 | 533/2b | 709/0a | 364/0a | 02/7b | 430/0a | 695/0a | 16/3b |
| 2 | 58/2ab | 672/0a | 329/0a | 33/7ab | 376/0a | 691/0a | 00/4a |
| 3 | 87/2a | 666/0a | 368/0a | 51/7a | 402/0a | 68/0a | 9/3a |
| LSD | 299/0 | 118/0 | 053/0 | 379/0 | 0757/0 | 056/0 | 328/0 |

\*در هر ستون و رديف ميانگين‌هايي که حداقل داراي يک حرف مشترک هستند در سطح احتمال 5 درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معني‌داري ندارند. (1: اعمال تیمار قبل از برداشت، 2: اعمال تیمار پس از برداشت، 3: اعمال تیمار قبل و پس از برداشت)

کاهش وزن محصولات کشاورزی خصوصا پسته با افزایش دوره نگهداری و افزایش دما قبلا گزارش شده است. 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](#_ENREF_13))در این پژوهش، پسته‌های تیمارشده در مدت انبارداری کاهش وزن کمتری را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان دادند. پزوهشگران گزارش کرده‌اند که کاهش در میزان هدررفت وزن میوه های تیمارشده به دلیل کاهش سنتز اتیلن، مقاومت، تثبیت و حفظ سیالیت غشاء است ([Woods, 1990](#_ENREF_40)).

به نظـر مـي‌رسـد تيمـار پسته با متیل سیکلوپروپان، بـا كنـدكردن سرعت تنفس و همچنین فرآيندهاي مرتبط با رسيدن ميـوه، باعـث كـاهش مناسب سرعت كم شدن اسيدهاي آلي ميوه(دراثر تبديل شدن به قندها) شـده باشـد ([Shakerardekani & Karim, 2013](#_ENREF_34))

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با گذشت زمان انبارداری، عدد اسیدی میوه افزایش پیدا می‌کند. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید باعث جلوگیری از افزایش عدد اسیدی میوه در زمان انبارداری گردیده است. این نتایج نشان می‌دهد بهترین زمان اعمال تیمار برای جلوگیری از افزایش عدد اسیدی میوه در زمان قبل از برداشت می‌باشد(شکل 2). 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 آزاد شده می‌توانند سوبسترای واکنش‌های اکسیداسیون چربی واقع شوند ([Koyuncu et al., 2005](#_ENREF_19)). یکی از واکنش‌هایی که در طول انبارداری موجب افت کیفیت محصول می‌گردد ساز و کار اکسایشی و تشکیل پراکسیدها می‌باشد. متیل سیکلوپروپان یکی از ترکیباتی است که به عنوان پاداکسنده عمل می‌کند. بالا بودن عدد اسیدی میوه یکی از نشانه‌های کاهش کیفیت میوه است و بنابر نتایح کاربرد متیل سیکلوپروپان و نیتریک اکسید باعث حفظ کیفیت میوه شده است ([Ramalho & Jorge, 2006](#_ENREF_31)).

شکل2: 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).

نتایج نشان می‌دهد اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان باعث حفظ سفتی میوه در مقایسه با تیمار شاهد و همچنین تیمار نیتریک اکسید گردیده است به طوری‌که سفتی بافت میوه در تیمار متیل سیکلوپروپان 48 درصد در مقایسه با شاهد و 12 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 3).

جدول3: مقایسه میانگین اثر تیمار بر پارامترهای اندازه گیری شده

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| تیمار | سفتی(کیلوگرم نیرو) | میزان پراکسید(me/kg) | پرولین(ميکروگرم در گرم) | کربوهیدرات (%) | فسفر(میلی گرم) | فلورسانس | حجم(سانتی متر مکعب) |
| شاهد | 15/2c | 796/0a | 324/0a | 42/6c | 388/0a | 714/0a | 16/3b |
| متیل سیکلوپروپان | 74/2b | 528/0b | 371/0a | 96/7a | 373/0a | 649/0b | 00/4a |
| نیتریک اکسید | 094/3a | 722/0a | 366/0a | 48/7b | 447/0a | 70/0ab | 9/3a |
| LSD | 299/0 | 118/0 | 053/0 | 379/0 | 075/0 | 026/0 | 32/0 |

\*در هر ستون و رديف ميانگين‌هايي که حداقل داراي يک حرف مشترک هستند در سطح احتمال 5 درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معني‌داري ندارند.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد میزان پراکسید در تیمار متیل سیکلوپروپان در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد ولی نیتریک اکسید تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداده است.

نتایج این پژوهش نشان داد میزان کربوهیدرات محلول در تیمار متیل سیکلوپروپان تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داده است به طوری‌که افزایش 20 درصدی در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. همچنین میزان کربوهیدرات در تیمار نیتریک اکسید نسبت به شاهد افزایش 16 درصدی را نشان می‌دهد (جدول 3). بنابر نتایج به دست آمده از این آزمایش، 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 دورة پس از برداشت، میزان نرم شدن میوه‌ها در این دوره است که می‌تواند سبب کاهش مدت انبارداری محصول شود ([Brummell & Harpster, 2001](#_ENREF_5)).

بالا بودن میزان عدد اسیدی یکی از نشانه‌های کاهش کیفیت روغن است و بنابراین نتایج به نظر می‌رسد کاربرد متیل سیکلوپروپان باعث حفظ کیفیت روغن شده است. کاهش سفتی بافت یکی از نتایج مستقیم افزایش تجمع اتیلن در محیط نگهداري 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](#_ENREF_36); [Wills & Ku, 2002](#_ENREF_39)). گاز اتیلن توسط اکثر میوه‌ها و سبزي‌هاي فرازگرا تولید می‌شود و در نقش یک هورمون گیاهی، کار تنظیم و یا تحریک برخی فرایندهاي گیاهی مانند کنترل تنفس، بازشدن گلها، رسیدن میوه‌ها و ریزش برگ‌ها را انجام می‌دهد ([El Blidi *et al.*, 1993](#_ENREF_9)). کانگ و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند نیتریک اکسید می‌تواند تولید سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داده در نتیجه تولید اتیلن را کاهش دهد. همچنین گزارش کردند، نیتریک اکسید می‌تواند تنفس میوه را کاهش دهد ([Kang *et al.*, 2016](#_ENREF_17)). پزوهشگران گزارش کرده‌اند براساس تیمار1-MCP و نیتریک اکسید با تاخیر در نرم شدن میوه باعث کاهش سنتز اتیلن و افزایش تنفس شدند([Steelheart *et al.*, 2019](#_ENREF_37)).

نتایج نشان داد اگرچه اعمال تیمار متیل سیکلوپروپان باعث حفظ ترکیبات فنلی می‌گردد ولی اعمال تیمار نیتریک اکسید نتایج بهتری داشته است و موجب جلوگیری از تجزیه فنل در پسته می‌گردد (شکل 3). به نظر می‌رسد که NO اعمال شده می‌تواند مانع فعالیت آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز (PPO) و پراکسیداز POD شود در نتیجه باعث تخریب کمتر ترکیبات فنلی می‌شود. میزان بالای ترکیبات فنلی در میوه‌های تیمار شده با نیتریک اکسید این مطلب را تائید می‌کند. همچنین تخریب پلی فنول‌ها با از بین رفتن یکپارچگی غشا سلولی مرتبط است ([Gao *et al.*, 2018](#_ENREF_14)). مطالعات نشان می‌دهد که ترکیبات فنلی اکسید شده می‌توانند مقدار زیادی از قندهای ساده را از دیواره سلول‌های گیاهی آزاد کنند. در نتیجه اکسیژن هوا به شدت با آن واکنش نشان داده و باعث افزایش قهوه ای شدن میوه‌های تازه می‌شود ([Gheysarbigi *et al.*, 2020](#_ENREF_15); [Rasouli *et al.*, 2016](#_ENREF_32)). در شرایط تنش میزان کلروفیل فلورسانس افزایش نشان می‌دهد. در این پژوهش استفاده از تیمارهای متیل سیکلوپروپان و همچنین نیتریک اکسید در مقایسه با تیمار شاهد باعث کاهش میزان کلروفیل فلورسانس گشته است. قبلا پزوهشگران گزارش کرده‌اند که تنش موجب افزایش میزان کلروفیل فلورسانس می‌گردد.

[(Banks., 2018](#_ENREF_3); [Hniličková *et al.*, 2017](#_ENREF_16), Liu et al., 2019) .

شکل 3: 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)

**نتیجه‌گیری کلی**

با طولانی شدن مدت نگهداری پسته، ویزگی‌های ظاهری و شیمیایی این فرآورده تازه تغییر می‌کند. یا 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 موحب افزایش عمر پس‌ از برداشت، حفظ کیفیت و افزایش انبارمانی پسته می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد متیل سیکلوپروپان نسبت به نیتریک اکسید تاثیر بهتری در افزایش عمر پس از برداشت پسته داشته است. براساس نتایج به دست آمده تکرار این تیمارها قبل و بعد از برداشت نسبت به تیمارهایی که تنها در یک مرحله اعمال می‌گردند تاثیر بهتری بر افزایش عمر پس از برداشت محصول پسته خواهد داشت.

**منابع**

[]

Anon. (2004). SAS/STAT® 9.1 User's guide: SAS Institute Inc Cary, NC, US.

Balogh, Andrea, Koncz, Tímea, Tisza, Viktória, Kiss, Erzsébet, & Heszky, László. (2005). The effect of 1-MCP on the expression of several ripening-related genes in strawberries. *HortScience, 40*(7), 2088-2090.

Banks, Jonathan M. (2018). Chlorophyll fluorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes. *Environmental and experimental botany, 155*, 118-127.

Bates, L.S, Woldren, R.P., & Teare, I.D. (1975). Rapid deterrmination of free proline for water stress studies. *plant. soil, 39*, 205-207.

Brummell, David A, & Harpster, Mark H. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *plant cell walls*, 311-340.

Chu, Qun, Zhang, Lin, Zhou, Jianwei, Yuan, Lixing, Chen, Fanjun, Zhang, Fusuo, Feng, Gu, & Rengel, Zed. (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.

Daly, Jim, & Schluter, A. (2001). EthylBloc™—An Industry Perspective. *Perishablse Handling Quarterly*, 5-7.

Dubios, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., ARebers, P., & Smith., F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem 28*, 350-356.

El Blidi, Altaf, Rigal, Luc, Malmary, Guy, Molinier, Jacques, & Torres, Liberto. (1993). Ethylene removal for long term conservation of fruits and vegetables. *Food quality and preference, 4*(3), 119-126.

Esmaeilpour, Ali, & Shakerardekani, Ahmad. (2018). Effects of early harvest times on nut quality and physiological characteristics of pistachio (Pistacia vera) trees. *Fruits, 73*(2), 110-117.

Faostat, FAO, & Production, Agricultural Commodities. (2016). Food and agriculture organization of the united nations, 2010. *Roma, Italy*,

Ferguson, Louise, & Haviland, David. (2016). *Pistachio production manual* (Vol. 3545): UCANR Publications.

Galindo, Federico Gómez, Herppich, Werner, Gekas, Vassilis, & Sjöholm, Ingegerd. (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.

Gao, Haiyan, Zeng, Qing, Ren, Zhengnan, Li, Peizhong, & Xu, Xinxing. (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.

Gheysarbigi, Shahin, Mirdehghan, Seyed Hossein, Ghasemnezhad, Mahmood, & Nazoori, Fatemeh. (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.

Hniličková, Helena, Hnilička, František, Martinkova, Jaroslava, & Kraus, Kamil. (2017). Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. *Plant, Soil and Environment, 63*(8), 362-367.

Kang, Ruoyi, Zhang, Li, Jiang, Li, Yu, Mingliang, Ma, Ruijuan, & Yu, Zhifang. (2016). Effect of postharvest nitric oxide treatment on the proteome of peach fruit during ripening. *Postharvest Biology and Technology, 112*, 277-289.

Knee, Michael. (2002). *Fruit quality and its biological basis*: Crc Press.

Koyuncu, Mehmet Ali, Islam, Ali, & Küçük, Mehmet. (2005). Fat and fatty acid composition of hazelnut kernels in vacuum packages during storage. *Grasas y Aceites, 56*(4), 263-266.

Lai, Tongfei, Li, Boqiang, Qin, Guozheng, & Tian, Shiping. (2011). Oxidative damage involves in the inhibitory effect of nitric oxide on spore germination of Penicillium expansum. *Current Microbiology, 62*(1), 229-234.

Leatherwood, W Roland, Dole, John M, Bergmann, Ben A, & Faust, James E. (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.

Liu, Binghua, Liang, Jing, Tang, Guimin, Wang, Xiaofang, Liu, Fangchun, & Zhao, Dengchao. (2019). Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of Juglans rootstocks. *Scientia horticulturae, 250*, 230-235.

Lv, Jingyi, Zhang, Mengyuan, Bai, Lin, Han, Xuzhou, Ge, Yonghong, Wang, Wenhui, & Li, Jianrong. (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.

Moghaddam, T Mohammadi, Razavi, SEYED MA, Malekzadegan, F, & Ardekani, A Shaker. (2009). Chemical composition and rheological characterization of pistachio green hull's marmalade. *Journal of Texture studies, 40*(4), 390-405.

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.

Nazoori, Fatemeh, Shafei, Reyhaneh, & Mirdehghanb, Seyed Hossein. (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.

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 Innov. J, 10*(5), 577-581.

Palma, José M, Freschi, Luciano, Rodríguez-Ruiz, Marta, González-Gordo, Salvador, & Corpas, Francisco J. (2019). Nitric oxide in the physiology and quality of fleshy fruits. *Journal of experimental botany, 70*(17), 4405-4417.

Parvane, V. (). . . (1998). Quality control and food material chemical analyzesTehran University. Press.(Translated in persian). 325p.

Pongener, Alemwati, Mahajan, BVC, & Singh, Harminder. (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.

Ramalho, Valéria Cristina, & Jorge, Neuza. (2006). Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química nova*, 755-760.

Rasouli, Hassan, Farzaei, Mohammad Hosein, Mansouri, Kamran, Mohammadzadeh, Sara, & Khodarahmi, Reza. (2016). Plant cell cancer: may natural phenolic compounds prevent onset and development of plant cell malignancy? A literature review. *Molecules, 21*(9), 1104.

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

Shakerardekani, Ahmad, & Karim, Roselina. (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.

Singleton, Vernon L, Orthofer, Rudolf, & Lamuela-Raventós, Rosa M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology, 299*, 152-178.

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

Steelheart, Charlotte, Alegre, Matías Leonel, Bahima, José Vera, Senn, María Eugenia, Simontacchi, Marcela, Bartoli, Carlos Guillermo, & Grozeff, Gustavo Esteban Gergoff. (2019). Nitric oxide improves the effect of 1-methylcyclopropene extending the tomato (Lycopersicum esculentum L.) fruit postharvest life. *Scientia Horticulturae, 255*, 193-201.

Watkins, Chris B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology advances, 24*(4), 389-409.

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.

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

Xie, Xingbin, Fang, Congbing, & Wang, Yan. (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.

Zhou, Yahan, Li, Shunmin, & Zeng, Kaifang. (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 the effect of 1-MCP and NO before and postharvest on maintaining quality and extending storability of fresh pistachio**

**Abstract**

In order to investigate the effect of 1-MCP and NO on extending storability pistachio, this experiment this 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 1-MCP (methyl cyclopropane) and nitric oxide (NO) treatment (1and 5 (**µmol/L**), respectively). The results showed that the use of 1-MCP prevents fruit weight loss during storage so that application of 1-MCP 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 1-MCP and NO prevents the increase of fruit acidity during storage time. The treatment of 1-MCP 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 1-MCP treatment increased fruit firmness compared to control and nitric oxide treatment, so that 1-MCP treatment increased fruit firmness 48% compared to control and 12% compared to nitric oxide. The results revealed that the amount of soluble carbohydrates in 1-MCP 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 NO 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:** Postharvest, nitric oxide, peroxide, acidity