تاثیر زمان‌های مختلف خنک‌کردن اولیه بر ترکیبات زیستی فعال و کیفیت میوه پسته تر طی انبار سرد

حدیث شهابی رابری[۱]، سیدحسین میردهقان[۲*]، فاطمه ناظوری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان
۲- استاد گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
۳- استادیار گروه علوم باغبانی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
(تاریخ دریافت: ۹٦/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲٤)

چکیده

در چند دهه اخیر به دلیل تغییر نگرش مصرف‌کننده، تقاضا برای مصرف تازه‌خوری محصولات باغبانی افزایش‌یافته است. پسته تر حاوی ترکیبات زیست فعال با ویژگی ضداکسیداسیونی است که اهمیت ویژه‌ای در رژیم غذایی سالم دارد. بنابراین حفظ کیفیت و ظاهر پسته تر بعد از برداشت نقش مهمی در افزایش ارزش اقتصادی این محصول ایفا می‌کند. به منظور ارزیابی ویژگی‌های کیفی پسته تر، پسته رقم احمدآقایی پس از برداشت با تاخیر ٤، ١٦، ٢٨ و ٤٠ ساعت در انبار با دمای ۱± ۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۸۵ قرار گرفتند که به عنوان فاکتور اول در نظر گرفته شد و فاکتور دوم زمان‌های مختلف ارزیابی طی انبار (۳۵ و ۵۵ روز) در نظر گرفته شد. سفتی میوه، رطوبت پوست نرم و رطوبت میوه، شاخص‌های رنگ پوست نرم، پوست استخوانی، ترکیبات فنلی پوست نرم و مغز میوه، آنتوسیانین، ویژگی ضد اکسیداسیونی و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خنک کردن با تأخیر تأثیر معنی‌داری بر رطوبت پوست نرم و رطوبت میوه، شاخص‌های رنگ پوست نرم، شاخص درخشندگی پوست استخوانی، آنتوسیانین، مقدار ترکیبات فنلی پوست نرم و مغز میوه و ویژگی ضد اکسیداسیونی داشت و میوه‌هایی که با ١٦ ساعت تأخیر خنک شدند و در انبار قرار گرفتند از کیفیت بهتری برخوردار بودند. نتایج همچنین نشان داد که فعالیت آنزیم پلی فنلی اکسیداز در میوه‌هایی که ١٦ ساعت با تأخیر خنک شده بودند در زمان‌های مختلف انبارمانی بیشتر بود. لذا با توجه به نتایج این تحقیق خنک کردن با ١٦ ساعت تأخیر میوه پسته تر به‌منظور حفظ کیفیت میوه پسته تر طی انبارمانی توصیه می‌شود.

کلید واژگان: فعالیت ضداکسیداسیونی، ترکیبات فنلی، پلی‌فنل‌اکسیداز، سفتی

* مسئول مکاتبات: mirdehghan@vru.ac.ir

۱- مقدمه

پسته از محصولات مهم و استراتژیک ایران است که در سال‌های اخیر به دلیل مواد معدنی نظیر آهن و کلسیم و همچنین ویتامین‌هایی نظیر **A** و **D** جزء ۵۰ محصول اول از لحاظ ارزش غذایی در سبد کالایی انسان قرار گرفته است [۱]. این میوه سرشار از ترکیبات فنلی است که به عنوان یک منبع غنی با فعالیت ضداکسیداسیونی بالا در صنایع غذایی مطرح است [۲]. از ترکیبات فنلی موجود در پسته می‌توان به فلاون-۳-ال‌ز[1]، پروانتوسیانیدین[2]، فلاونول[3]، ایزوفلاون[4]، فلاونون[5]، استیلبن[6] و اسیدهای فنولیک[7] اشاره کرد [۳]. در بررسی انجام شده روی ترکیبات فنلی مغز و پوست پسته گزارش شده است که مقدار ترکیبات فنلی در پوست پسته بیشتر از مغز آن است [٤]. همچنین گزارش شده است که میوه پسته به واسطه داشتن ترکیبات فنلی و همچنین خواص آنتی‌اکسیدانت نقش مهمی در درمان بسیاری از بیماری‌ها نظیر کاهش ریسک حملات قلبی، خاصیت ضدسرطانی به عنوان مثال فیتوسترول‌ها، کاهش کلسترول خون، استحکام استخوان‌ها (کلسیم و فسفر) و تقویت هوش و حافظه اشاره کرد [۳].

با وجود ارزش غذایی و اهمیت اقتصادی چشمگیر پسته، ساختار مناسب و روش‌های بهینه نگهداری میوه تازه وجود ندارد و این محصول غالبا به صورت خشک مصرف می‌گردد و مصرف تازه‌خوری آن محدود به فصل برداشت است [۵، ٦]. برداشت میوه پسته در اواخر تابستان طی روز انجام می‌شود که دمای بالا سبب افزایش دمای محصول می‌شود که در صورت نامساعد بودن شرایط محیطی قبل از انبار و همچنین گرمای بالای مزرعه بعد از برداشت گرمای ناشی از تنفس سبب افزایش از دست دهی آب میوه و افزایش فساد ناشی از پاتوژن‌ها می‌شود [۷]. لذا خروج گرمای مزرعه از میوه و خنک شدن آن می‌تواند یکی از راهکارهای افزایش عمر پس از برداشت پسته تر باشد.

خنک کردن اولیه سریع دمای محصول تازه برداشت شده را کاهش می‌دهد و سبب به حداقل رساندن سرعت فساد می‌شود. سرد کردن اولیه بلافاصله پس از برداشت همچنین سبب کاهش فعالیت میکروبی و متابولیکی، سرعت تنفس و تولید اتیلن، سرعت رسیدگی و پوسیدگی، از دست دادن آب و درنتیجه سبب حفظ کیفیت و افزایش عمر مفید محصول می‌شود [۸]. علی‌رغم نیاز به خنک کردن سریع، در برخی محصولات مانند کیوی [۹] و شلیل [۱۰] اگر سرد کردن اولیه با مقداری تاخیر همراه باشد اثرات بهتری بر حفظ کیفیت میوه خواهد داشت. در میوه‌های کیوی که با تاخیر ٢٤ تا ٧٢ ساعت در شرایط انبار قرار گرفتند به دلیل تشکیل مانع فیزیکی در محل اتصال میوه به گیاه مادری، از ورود عوامل بیماری‌زا و فعالیت آن‌ها روی میوه جلوگیری می‌شود [۹]. در مطالعه‌ای دیگر میوه‌های شلیل که به دمای پایین انبار حساس هستند، خنک کردن با تاخیر ٣٦ تا ٤٨ ساعت مانع از آردی شدن و پرزدارشدن شلیل طی انبار می‌گردد [۱۰]. گزارش شده است که خنک کردن با تاخیر به واسطه کاهش در رطوبت سطح میوه سبب کاهش پوسیدگی میوه سیب در شرایط انبار می‌گردد [۱۱]. همچنین کاهش تدریجی دما برای برخی از محصولات گرمسیری نظیر آواکادو، مرکبات و گوجه‌فرنگی سبب می‌شود که حساسیت این محصولات به خسارت سرمازدگی طی انبار کاهش یابد [۱۲]. خنک‌کردن با تاخیر همچنین سبب می‌شود که تولید اتیلن در میوه پس از انبار حفظ گردد که باعث آغاز رسیدگی نرمال می‌شود در حالی‌که برخی از میوه‌ها که بلافاصله سرد شدند توانایی تولید اتیلن بعد از انبار مختل خواهد شد [۱۳].

لذا هدف از انجام این پژوهش ارزیابی زمان‌های مختلف خنک‌کردن با تاخیر بر شاخص‌های رنگ میوه و تغییرات ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و خاصیت ضداکسیداسیونی میوه پسته تر رقم احمد آقایی طی دوره انبارمانی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد گیاهی

میوه مورد نیاز این آزمایش از درختان پسته رقم احمدآقایی موجود در یک باغ تجاری شهرستان رفسنجان به‌طور تصادفی از

1. Flavan-3-ols
2. Proanthocyanidins
3. Flavonols
4. Isoflavons
5. Flavanones
6. Stilbenes
7. Phenolic acids

تمام قسمت‌های درختان تهیه شد. میوه‌های پسته زمانی که پوست سبز پسته به قرمز، صورتی و یا کرم تغییر رنگ می‌دهد، برداشت گردید. نمونه‌ها بلافاصله بعد از برداشت به آزمایشگاه پس از برداشت دانشکده کشاورزی منتقل شدند. سپس نمونه‌های پسته سالم و یکنواخت از پسته‌های صدمه‌دیده و نارس به‌منظور اعمال تیمارها جدا شدند و برخی از ویژگی‌های کیفی میوه پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اعمال تیمارها نمونه‌های انتخاب شده در ظروف پلاستیکی درب‌دار قرار گرفت و با تاخیر ٤، ١٦، ٢٨ و ٤٠ ساعت در انبار با دمای ۱±۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ٪۵±۸۵ قرار گرفتند که به عنوان فاکتور اول در نظر گرفته شد و فاکتور دوم زمان‌های مختلف ارزیابی طی انبار (۳۵ و ۵۵ روز) در نظر گرفته شد. دمای و رطوبت نسبی توده میوه‌ها در مدت زمان ٤٠ ساعت قبل از ورود به سردخانه با دیتالاگر ثبت شد. صفات کمی و کیفی همچون درصد رطوبت میوه، رنگ پوسته خارجی و داخلی، رنگ مغز، سفتی مغز، فعالیت ضد اکسیداسیونی، ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) اندازه‌گیری شد.

۲-۲- اندازه‌گیری آنتوسیانین، ترکیبات فنلی

ابتدا ۵ گرم از بافت پوست‌تر به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسیدکلریدریک خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) داخل لوله فالکن ۵۰ سی‌سی ریخته شد و با دستگاه ULTRA-TURRAX مدل IKT18 basic هموژنیزه شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سلسیوس با دور (٤۵۰۰rpm) سانتریفیوژ شدند و فاز رویی آن در لوله‌های آزمایش ریخته شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از عصاره به همراه ٤ میلی‌لیتر از بافر HCL-KCl (pH=1) و بافر استات (pH=4.5) ریخته و سپس میزان جذب نور دو محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [١٤].

جذب $A = (A_{520pH1}-A_{700pH1}) - (A_{520pH4.5}- A_{700pH4.5})$

$(mg/l) = (A/30.200^{a}) (10^{3}) (433.2^{b}) (15^{c})$

آنتوسیانین کل

a = molar extinction conefficient of Cyd-3-gal (Idaein)

b = Cyd-3-gal (Idaein) molecular Weight

c = dilution factor

به‌منظور اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل و فعالیت ضداکسیداسیونی ابتدا ۱ گرم از بافت میوه موردنظر به همراه ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات که از محلول‌های K_2HPO_4 و KH_2PO_4 با پ‌هاش ۷/۸ تهیه می‌شود را به روش توضیح داده بالا عصاره‌گیری گردید. ۱۰۰ میکرولیتر روشناور عصاره را با ٤۰۰ میکرولیتر بافر فسفات، ۲/۵ میلی‌لیتر فولین ۱:۱۰ و ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد محلوط می‌کنیم و پس از ورتکس به مدت ۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس میزان جذب نور با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷٦۰ نانومتر اندازه‌گیری و میزان ترکیبات فنلی با استفاده از استاندارد گالیک اسید برحسب معادل میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه گردید [۱۵].

۲-۳- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان و آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

تعیین فعالیت ضداکسیداسیونی با استفاده از DPPH به روش شرح داده‌شده توسط جیل[1] و همکاران، [١٦] انجام شد. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره مغز پسته با ۹۰۰ میکرولیتر از محلول DPPH ۵۰۰ میکرومولار در اتانول آمیخته شد و به‌شدت توسط دستگاه ورتکس تکان داده شد و سپس ۳۰ دقیقه در محیط تاریک قرار گرفت. نمونه شاهد هم به همین صورت تهیه شد ولی با این تفاوت که به‌جای عصاره از متانول استفاده گردید. میزان جذب از محلول به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. واکنش آمیخته بدون DPPH برای تصحیح ماده زمینه استفاده شد. با استفاده از فرمول زیر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی محاسبه شد:

$$\text{فعالیت آنتی اکسیدانی} = 1 - \frac{(\text{عدد ضریب تصحیح} - \text{عدد نمونه})}{\text{عدد کنترل}} \times 100$$

عدد ضریب تصحیح: عدد قرائت‌شده مربوط به آمیخته حاوی عصاره و اتانول

عدد نمونه: عدد قرائت‌شده مربوط به آمیخته حاوی عصاره و DPPH

عدد کنترل: عدد قرائت‌شده مربوط به آمیخته حاوی آب مقطر و DPPH

1. Gil

به منظور تعیین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز از پیروگالل به‌عنوان پیش ماده آنزیم استفاده شد. در این روش، مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌لیتر (pH=۷)، ۲۰۰ میکرو لیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٤٢٠ نانومتر و بعد از سه دقیقه خوانده شد. فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی پیروگالل معادل ($٦/٢mM^{-1}cm^{-1}$) و فرمول $A=\varepsilon bc$ محاسبه گردید. فعالیت آنزیمی برحسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره به‌دست‌آمده محاسبه گردید [۱۷].

۲-٤- اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ و محتوی آب پوست

به‌منظور اندازه‌گیری رنگ با استفاده از دستگاه کرومامتر (Konica Minolta CR 400, Japan) رنگ ۳ قسمت مختلف از سطح ۱۰ میوه از هر تکرار قرائت گردید. دستگاه رنگ‌سنج رنگ را به‌صورت سه شاخص ارائه می‌دهد. شاخص L نشان‌دهنده‌ی میزان درخشندگی (روشنایی) رنگ پوست میوه می‌باشد و میزان آن از صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. دامنه تغییرات شاخص a از ٦٠+ (قرمز) تا ٦٠- (سبز) می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص b از ٦٠+ (زرد) تا ٦٠- (آبی) به سمت مرکز دیاگرام رنگ (صفر) کاهش می‌یابد (۱۸). شاخص‌های Chroma و Hue angle با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد [۱۹].

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h = \tan^{-1}(b/a)$$

برای محاسبه محتوای آب پوست ابتدا وزن نمونه‌های تر توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. با استفاده از آون، نمونه‌ها خشک شدند و دوباره وزن آن‌ها مشخص شد. سپس محاسبه آب پوست از طریق فرمول زیر انجام شد:

۱۰۰× (وزن نمونه پیش از خشک‌کردن/ وزن نمونه پس از خشک‌کردن −وزن نمونه پیش از خشک‌کردن) = رطوبت (٪)

در پایان داده‌های بدست آمده از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند و مقایسه میانگین داده‌ها به‌صورت آزمون LSD صورت گرفت. رسم نمودارها نیز به‌وسیله نرم‌افزار اکسل صورت پذیرفت.

۳- نتایج

۳-۱- تغییرات دما و رطوبت نسبی طی زمان‌های خنک کردن با تاخیر

نتایج حاصل از اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی قبل از ورود به سردخانه در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 1 Changes in relative humidity and temperature during delayed cooling time

Treatments	Time	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
Delayed cooling time (0 h)	6 PM	24	96.6
Delayed cooling time (4 h)	10 PM	24.4	96.8
Delayed cooling time (16 h)	10 AM	24.4	98.4
Delayed cooling time (28 h)	10 PM	24.1	99.9
Delayed cooling time (40 h)	10 AM	24.1	47.6

۳-۲- ترکیبات فنلی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها اثر زمان‌انبارمانی، خنک کردن با تأخیر و برهمکنش بین آن‌ها بر میزان ترکیبات فنلی پوست معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌طوری‌که نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد فنل پوست در طی زمان‌های انبارمانی کاهش پیدا کرد و میوه‌هایی که با ٤٠ ساعت تأخیر خنک شدند از کمترین مقدار فنل پوست و میوه‌هایی که ١٦ ساعت با تأخیر در انبار قرار داده شدند از بیشترین میزان ترکیبات فنلی پوست در طی انبار برخوردار بودند (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها نشان داد که تیمار خنک کردن با تأخیر، زمان انبارمانی و اثر متقابل بین آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر مقدار ترکیبات فنلی مغز پسته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که مقدار ترکیبات فنلی مغز طی زمان انبارمانی کاهش پیدا کرد و میوه‌هایی که ١٦ ساعت با تأخیر خنک شدند در

زمان‌های مختلف انبارمانی از بیشترین مقدار ترکیبات فنلی مغز برخوردار بودند، درحالی‌که تأخیر ٤٠ ساعت در خنک کردن سبب کاهش مقدار ترکیبات فنلی مغز پسته نسبت به روز اول شد (شکل ۲).

Table 2 ANOVA results of delayed cooling times on hull and kernel phenolic compounds, anthocyanin, antioxidant and PPO activity of pistachio fruit during cold storage.

Source of variable	DF	Means squares				
		Hull phenolic compounds	Kernel phenolic compounds	Anthocyanin content	Antioxidant activity	PPO activity
Storage time (T)	1	1.21**	0.6**	0.007**	2250.8**	0.012**
Delayed cooling (DC)	4	0.87**	0.14**	0.008**	8884.2**	0.015**
T×DC	4	0.21*	0.09**	0.001**	26.16**	0.002**
Error	20	0.004	0.003	0.0001	49.4	0.00017
CV (%)		8.21	5.65	4.91	6.34	6.89

** – significant (P≤0.01), *-significant (P≤0.05) and ns- not significant (P≤0.05)

۳-۳- آنتوسیانین

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار زمان انبارمانی و خنک‌کردن با تأخیر و اثر متقابل بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین پوست نرم در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که آنتوسیانین طی زمان‌های انبارمانی کاهش پیدا کرد و زمان‌های خنک کردن با تأخیر تأثیر معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین داشتند به‌طوری‌که با افزایش زمان خنک‌کردن مقدار آنتوسیانین کاهش پیدا کرد (شکل ۳).

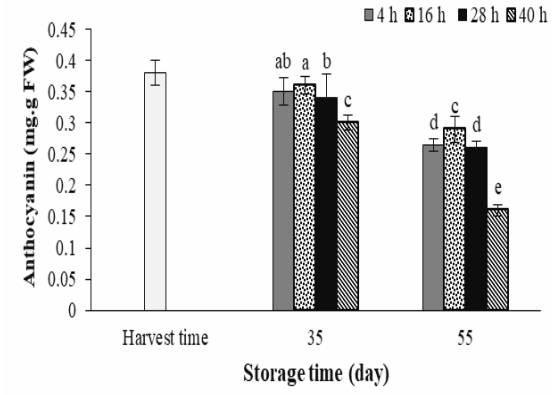

Fig 3 Effect of storage time and delayed cooling time on anthocyanin in hull of fresh pistachio

۳-٤- فعالیت ضداکسیداسیونی

نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها نشان داد که تیمار زمان انبارمانی و زمان‌های مختلف خنک کردن با تأخیر و اثر متقابل

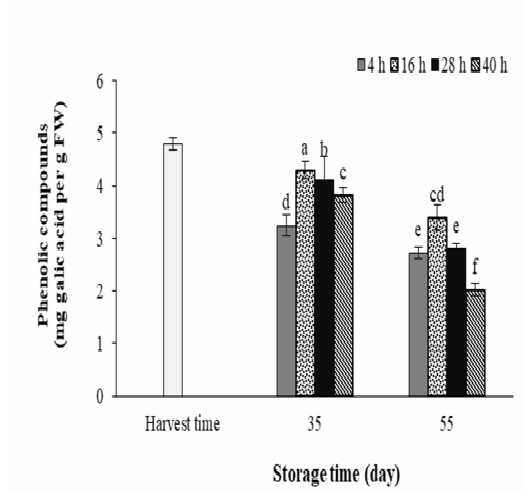

Fig 1 Effect of storage time and delayed cooling time on phenolic compounds in hull of fresh pistachio

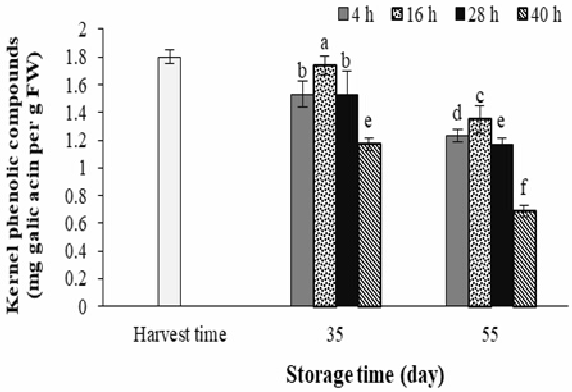

Fig 2 Effect of storage time and delayed cooling time on phenolic compounds in kernel of fresh pistachio

بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر خاصیت ضد اکسیداسیونی مغز پسته در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد خاصیت ضداکسیداسیونی طی زمان‌های انبارمانی از ۳۵ به ۵۵ روز حدود ۱۷ درصد کاهش پیدا کرد و زمان‌های خنک کردن با تأخیر تأثیر قابل‌توجهی بر میزان خاصیت ضد اکسیداسیونی داشتند. میوه‌هایی که با ۱۶ ساعت تأخیر در زمان خنک کردن در سردخانه قرار گرفتند از بیشترین میزان خاصیت ضد اکسیداسیونی برخوردار بودند (شکل ٤).

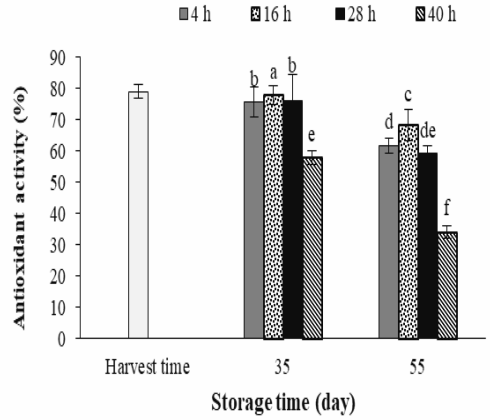

Fig 4 Effect of storage time and delayed cooling time on antioxidant activity of fresh pistachio fruit

۳-٤- فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز

نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها نشان داد که زمان انبارمانی، خنک‌کردن با تأخیر و برهمکنش آن‌ها با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز میوه کاهش پیدا کرد و میوه‌هایی که با ٤۰ ساعت تأخیر خنک شدند از کمترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز طی انبار برخوردار بودند.

نتایج همچنین نشان داد که ۱٦ ساعت خنک‌کردن با تأخیر از بیشترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در ۳۵ روز زمان انبارمانی برخوردار بود، درحالی‌که پس از ۵۵ روز از انبار تفاوتی معنی-داری بین میوه‌های ٤ و ۱٦ ساعت خنک کردن با تأخیر مشاهده نشد (شکل ۵).

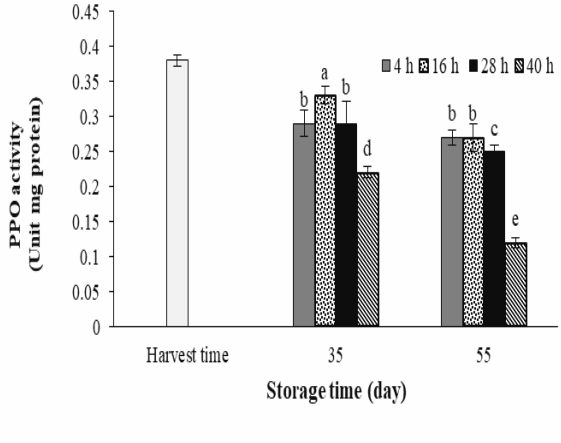

Fig 5 Effect of storage time and delayed cooling time on PPO activity of fresh pistachio fruit

۳-۵- درصد رطوبت پوست و میوه

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مورد استفاده و برهمکنش بین آن‌ها در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. خنک کردن با تأخیر سبب کاهش قابل‌توجهی در مقدار رطوبت میوه نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ٦). همچنین درصد رطوبت میوه طی زمان ۳۵ و ۵۵ روز بعد از انبارمانی به ترتیب حدود ۱۸ و ۳۰ درصد نسبت به روز اول کاهش پیدا کرد (شکل A٦). اگرچه میوه‌هایی که با ۱٦ ساعت تأخیر خنک شدند بیشترین مقدار رطوبت در میوه را نشان دادند ولی با افزایش تاخیر در خنک کردن مقدار رطوبت میوه کاهش می‌یابد (شکل B٦).

Table 3 ANOVA results of delayed cooling times on water content of hull and fresh pistachio fruit during cold storage.

Source of variable	DF	Means squares	
		Fruit water	Hull water
Storage time (T)	1	214.07**	582.11**
Delayed cooling (DC)	4	48.39**	6.46ns
T×DC	4	8.26ns	26.61*
Error	20	21.19	6.08
CV (%)		13.44	5.84

** – significant (P≤0.01), *-significant (P≤0.05) and ns- not significant (P≤0.05)

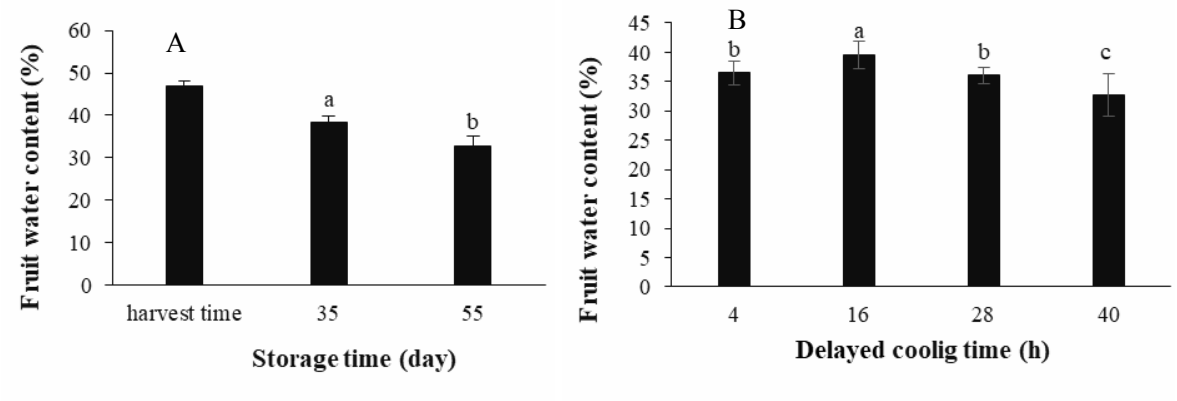

Fig 6 Effect of storage time (A) and delayed cooling time (B) on fruit water content of pistachio fruit

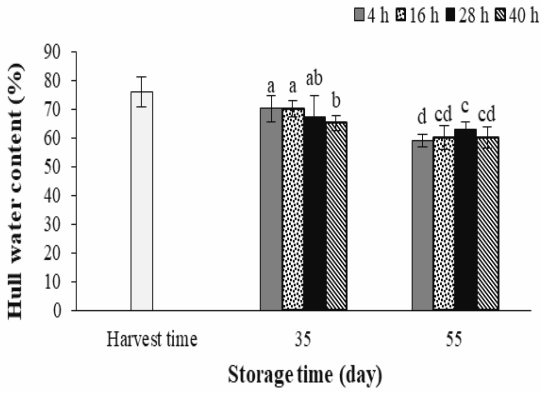

Fig 7 Effect of storage time and delayed cooling time on hull water content of fresh pistachio fruit

نتایج شکل ۷ بیانگر کاهش در رطوبت پوست میوه طی انبارمانی در مقایسه با زمان برداشت است، با این وجود تاخیر ۲۸ ساعته در خنک کردن محصول سبب حفظ آب بیشتری در مقایسه با دیگر تیمارها می‌شود.

۳-٦- شاخص‌های رنگ قسمت‌های میوه پسته

۳-٦-۱- شاخص‌های رنگ پوست نرم پسته

شاخص درخشندگی و شاخص کرومای پوست طی زمان‌های مختلف انبارمانی کاهش پیدا کرد و میوه‌هایی که با ٤٠ ساعت تأخیر خنک شدند از کمترین شاخص درخشندگی و شاخص کرومای پوست برخوردار بودند و میوه‌هایی که با تیمار ١٦ ساعت خنک کردن با تأخیر تیمار شده بودند از بیشترین میزان درخشندگی و شاخص کرومای پوست در طی انبار برخوردار بودند (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها همچنین نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی شاخص هیو پوست میوه کاهش پیدا کرد و میوه‌هایی که با ٤٠ ساعت تأخیر خنک شدند از کمترین هیو پوست طی انبار برخوردار بودند (جدول ٤).

۳-٦-۲- شاخص‌های رنگ پوست استخوانی

شاخص درخشندگی پوست استخوانی طی زمان‌های انبارمانی کاهش پیدا کرد و زمان‌های خنک کردن با تأخیر سبب حفظ شاخص درخشندگی پوست استخوانی طی انبار گردید. میوه‌هایی که با ١٦ ساعت تأخیر در خنک کردن در انبار قرار گرفتند از بیشترین شاخص درخشندگی پوست استخوانی برخوردار بودند درحالی‌که میوه‌هایی که با ٤٠ ساعت خنک کردن با تأخیر انبارشده بودند از کمترین شاخص درخشندگی پوست استخوانی برخوردار بودند (جدول ٤). تفاوتی بین شاخص کروما پوست سخت استخوانی در تیمارهای خنک کردن و زمان‌های مختلف انبارمانی مشاهده نشد.

Table 4 Effect of delayed cooling time and storage time on hull and shell color indices of pistachio fruits during cold storage.

Storage time	Delayed cooling time (h)	Hull color indices			Shell color indices	
		L*	Chroma	Hue	L*	Chroma
35	4	68.5^{b}	27.13b^{c}	43^{a}	62.57^{b}	14.89^{a}
	16	74^{a}	33.67^{a}	46^{a}	66.67^{a}	15.79^{a}
	28	67.17^{b}	26.87^{bc}	41^{a}	59.59b^{c}	15.04^{a}
	40	58.63^{cd}	22.1^{ef}	38^{e}	58.08^{c}	14.12^{a}
55	4	60.06^{c}	21.1^{f}	30^{d}	52.64^{d}	15.03^{a}
	16	60.53^{c}	28.13^{b}	38^{b}	59.59b^{c}	15.07^{a}
	28	56.6^{d}	24.11^{de}	32^{ef}	54.62^{d}	14.87^{a}
	40	40.33^{f}	15^{g}	27^{g}	47.67^{e}	15.12^{a}

Different letters in each column show significant differences at P≥0.05 (LSD).

٤- بحث و نتیجه‌گیری کلی

تولید گونه‌های فعال اکسیژن در میوه‌های برداشت‌شده طی انبارمانی انجام می‌شود و از بین بردن آن‌ها می‌تواند به حفظ کیفیت میوه کمک کند. ترکیباتی نظیر ترکیبات فنلی، آنتوسیانین، کلروفیل و اسید اسکوربیک در بافت میوه به‌عنوان ترکیبات ضد اکسیداسیونی در عمل می‌کنند [٤]. تغییر در فعل‌وانفعالات آنزیم-های سنتز کننده و تجزیه‌کننده ترکیبات فنلی طی انبار تحت تأثیر اتیلن و تنفس است به‌طوری‌که با افزایش تولید اتیلن فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمینولیاز کاهش پیدا می‌کند و از طرف دیگر فعالیت سایر آنزیم‌های تجزیه‌کننده نیز افزایش پیدا کرد [٢٠]. معمولاً در شرایط انبار ترکیبات فنلی به‌واسطه افزایش فعالیت آنزیم فنلیک اکسیداز اکسید می‌شوند که منجربه قهوه‌ای شدن بافت میوه می‌گردد [٢١، ٢٢]. در بررسی‌های انجام شده روی میوه توت‌فرنگی [٢٣] و آلو [٢٤] نشان داده شد که با افزایش تاخیر در خنک کردن مقدار ترکیبات فنلی در شرایط انبار کاهش پیدا کرد. در بررسی دیگری روی میوه آلو زمان‌های مختلف خنک کردن سبب افزایش مقدار ترکیبات فنلی میوه گردید [٢٠]. با توجه به نتایج تحقیق حاضر میوه‌هایی که ٢٨ و ٤٠ ساعت با تأخیر خنک شدند طی دوره انبارمانی از مقدار ترکیبات فنلی و آنتوسیانین کمتری برخوردار بودند و با کاهش مقدار این ترکیبات، فعالیت ضد اکسیداسیونی نیز کاهش پیدا کرد [٢٥]. همچنین نشان داده شده است که در میوه گیلاس تیمارهای خنک کردن سریع قبل از انبار سبب حفظ خاصیت ضداکسیداسیونی میوه طی انبار نسبت به میوه‌هایی بدون تیمار شده است [٢٦].

گزارش شده است که کاهش در مقدار آنتوسیانین و ترکیبات فنلی طی انبار به افزایش تنفس و تولید اتیلن، فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده ترکیبات فنلی نظیر پراکسیداز و کاهش قند و تغییرات pH ارتباط دارد [٢٧، ٢٨]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار آنتوسیانین پسته با افزایش زمان انبارمانی کاهش پیدا کرد که با نتایج انجام‌شده روی میوه آلبالو [٢٨] و گوجه‌فرنگی [٢٩] مطابقت دارد. در بررسی انجام‌شده روی میوه آلو تحت تأثیر زمان‌های خنک‌کردن با تأخیر نشان داده شده است که با افزایش زمان خنک کردن از ٠ تا ٢٥ ساعت مقدار آنتوسیانین کاهش پیدا می‌کند [٢٩]. به‌طورکلی کاهش در مقدار آنتوسیانین میوه پسته ممکن است به دلیل افزایش از دست دادن آب و درنتیجه تجزیه ترکیبات فنلی و در نهایت قهوه‌ای شدن بافت میوه باشد.

کاهش در فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز طی انبار به مقدار ترکیبات فنلی، تنفس، اتیلن و عوامل دیگری نظیر pH بستگی دارد. نتایج این آزمایش نشان داد که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در میوه‌هایی که با تأخیر خنک شدند افزایش پیدا کرد که این امر ممکن است به دلیل افزایش تنفس و تولید اتیلن بعد از برداشت باشد. در بررسی انجام‌شده روی قارچ دکمه‌ای در ارتباط با دماهای قبل از انبارمانی نشان داده شد که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد [٣٠]. همچنین گزارش‌شده است که نگهداری میوه الو قبل از انبار در دماهای مختلف سبب تغییر در فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌گردد که آن‌ها دلیل تغییر در فعالیت آن آنزیم را تغییرات pH آب میوه نسبت دادند [٣١].

کاهش وزن و مقدار رطوبت و آب میوه به دلیل تبخیر و تعرق از سطح میوه و همچنین افزایش تنفس میوه می‌باشد [۳۲] . در بررسی انجام‌شده روی پسته تر [۳۳]، هلو [۳٤] و انار [۳۵] نشان داده شد که با افزایش مدت‌زمان انبارمانی میزان از دست دادن آب میوه افزایش پیدا کرد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده رطوبت میوه با افزایش زمان‌های خنک کردن با تاخیر کاهش پیدا کرد ولی مقدار رطوبت میوه‌هایی که ۱٦ ساعت با تأخیر خنک شدند از مقدار رطوبت بیشتری برخوردار بود.

کاهش رطوبت پوست سبب تغییر در ترکیبات فنلی پوست شامل ترکیبات مختلف (کربونیل و گروهی از آمین‌ها) می‌شود که در نهایت بر شاخص‌های رنگی موثر است این تغییرات همچنین سبب قهوه‌ای شدن پوست نرم و کاهش رنگدانه آنتوسیانین و کاهش شاخص‌های رنگ پوست استخوانی می‌گردد. تغییرات رنگ در پوست ممکن است به دلیل تغییر در ساختار قند و یا ساختار برخی پروتئین‌ها باشد [۳٦]. میردهقان و همکاران [۳۷] در یک بررسی روی پسته تر نشان دادند که شاخص درخشندگی میوه پسته تر طی انبار کاهش پیدا کرد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. گزارشات مشابهی روی فندق تر در شرایط انبار صورت گرفته است [۳۸]. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق شاخص‌های رنگ پوست نرم، پوست استخوانی پسته تر تحت تأثیر زمان‌های خنک کردن با تأخیر قرار گرفت به‌طوری‌که میوه‌هایی که با تأخیر خنک شدند در پایان دوره انبارمانی از شاخص‌های رنگ کمتری در تمام قسمت‌های میوه برخوردار بود. همچنین شاخص درخشندگی و شاخص a* میوه آلو تحت تأثیر زمان‌های مختلف خنک کردن با تأخیر کاهش پیدا کرد [۲٤].

پسته تر به دلیل وجود ترکیبات زیست فعال نظیر ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و دیگر رنگیزه‌ها از خواص ضداکسیداسیونی بالایی برخوردار است. همچنین از پوست نرم پسته نیز به‌عنوان یک منبع غنی از ترکیبات فنلی یاد می‌شود؛ بنابراین حفظ و نگهداری کیفیت پسته تر بعد از برداشت نقش مهمی در افزایش ارزش غذایی و اقتصادی این محصول دارد. نتایج آزمایش مربوط به زمان‌های مختلف خنک کردن با تأخیر نشان داد که میوه‌هایی که ۱٦ ساعت با تأخیر خنک شدند از میزان سفتی، رطوبت، آنتوسیانین، شاخص‌های رنگ، مقدار ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانت، فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بیشتری برخوردار بودند. همچنین ۱٦ ساعت خنک کردن با تاخیر به دلیل حفظ بیشتر مقدار آب میوه طی انبار برای این حفظ کیفیت پسته تر توصیه می‌شود.

۵- منابع

[1] Rajaei, A., Barzegar, M., Hamidi, Z. and Sahari, M.A., 2010. Optimization of extraction conditions of phenolic compounds from pistachio (Pistachia vera) green hull through response surface method. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *12*, pp.605-615.

[2] Rajaei, A., Barzegar, M., Mobarez, A. M., Sahari, M. A. and Esfahani, Z. H. (2010). Antioxidant, anti-microbial and antimutagenicity activities of pistachio (Pistachia vera) green hull extract. Food and Chemical Toxicology, 48(1), Pp.107-112.

[3] Gentile, C., Tesoriere, L., Butera, D., Fazzari, M., Monastero, M., Allegra, M., Livrea, M. A. (2007). Antioxidant activity of Sicilian pistachio (*Pistacia vera* L. var. Bronte) nut extract and its bioactive components. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(3): 643-648.

[4] Goli, A.H., Barzegar, M. and Sahari, M.A., 2005. Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (Pistachia vera) hull extracts. *Food Chemistry*, *92*(3), pp.521-525.

[5] Tomaino A, Martorana M, Arcoraci T, Monteleone D, Giovinazzo C Saija A. (2010). Antioxidant activity and phenolic profile of pistachio (*Pistacia vera* L., variety Bronte) seeds and skins. Biochimie, 92(9): 1115-1122.

[6] Esmail pour A, Dehghani H, Mirdamadiha F. (2000). Effects of delays on harvesting and processing time on aflatoxin rate in pistachio. Proceeding of the 14 th Iranian Plant Protection Congress. Isfahan, Iran, 129p.

[7] Tavakolipour H, KALBASI AA, Basiri A. (2009). Effect of drying parameters on quality indicators of Damghan pistachio nuts (*Pistacia vera* L.) and determining effective diffusion coefficient in optimum conditions.

[8] Anon, B. (1984). Rapid cooling of horticultural produce, a guide to system

selection. Leaet no. 84, Ministry of Agriculture,Fisheries and Food.

[9] Pennycook, S.R. and Manning, M.A., 1992. Picking wound curing to reduce Botrytis storage rot of kiwifruit. *New Zealand journal of crop and horticultural science*, *20*(3), pp.357-360.

[10] Lurie, S., Levin, A., Greve, L.C. and Labavitch, J.M., 1994. Pectic polymer changes in nectarines during normal and abnormal ripening. *Phytochemistry*, *36*(1), pp.11-17.

[11] DeLong, J. M., Prange, R. K. and Harrison, P. A. 2004. The influence of pre-storage delayed cooling on quality and disorder incidence in '*Honeycrisp*'apple fruit. Postharvest biology and technology, 33(2): 175-180.

[12] Mirdehghan, S.H. *Fruit quality and its biological basis*. Knee, M. ed., 2002. (Vol. 9). Crc Press.

[13]. Shafiq, M., Singh, Z. and Khan, A.S., 2011. Delayed harvest and cold storage period influence ethylene production, fruit firmness and quality of 'Cripps Pink'apple. *International journal of food science & technology*, *46*(12), pp.2520-2529.

[14] Wrolstad, R. E. 1976. Color and pigment analysis in fruit products. Agricultural Experiment Station. Oregon State University of California. 624: 1-17.

[15] Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y. and Gonzalez-Aguilar, G. A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. LWT-Food Science and Technology, 37(7): 687-695.

[16] Gil, M. I., Tomas-Barberan, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M. and Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, *48*(10), Pp.4581-4589.

[17] Nicoli, M. C., Elizalde, B. E., Pitotti, A. and Lerici, C. R. (1991). Effect of sugars and maillard reaction products on polyphenol oxidase and peroxidase activity in food. *Journal of Food Biochemistry*, *15*(3), Pp.169-184.

[18] Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2): 248-254.

[19] Esturk, O., Arslan, M., Soysal, Y., Uremis, I. and Ayhan, Z. (2011). Drying of sage (Salvia officinalis L.) inflorescences by intermittent and continuous microwave-convective air combination. *Research on Crops*, 12(2), Pp.607-615.

[20] Slimestad, R., Vangdal, E. and Brede, C. (2009). Analysis of phenolic compounds in six Norwegian plum cultivars (*Prunus domestica* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(23): 11370-11375.

[21] Holderbaum, D. F., Kon, T., Kudo, T. and Guerra, M. P. 2010. Enzymatic browning, polyphenol oxidase activity, and polyphenols in four apple cultivars: dynamics during fruit development. Horticulturae Science, 45(8): 1150-1154.

[22] Meighani, H., Ghasemnezhad, M. and Bakshi, D. (2014). Evaluation of biochemical composition and enzyme activities in browned arils of pomegranate fruits. International Journal of Horticultural Science and Technology, 1(1): 53-65.

[23] Kitazawa, H., Sato, T., Nakamura, N. and Motoki, S. (2013). Effects of post-harvest cooling delay on weight loss, soluble solid and ascorbic acid. Journal of Food, Agriculture & Environment, 11(3and4): 372-376.

[24] Mozetic Vodopivec, B., Gibalova, A. and Vangdal, E. (2012). Phenolic contents and postharvest quality changes of Norwegian'mallard'plums (*Prunus domestica* L.) as a consequence of delayed time to low temperature storage. Acta horticulturae.

[25] Diaz-Mula, H. M., Valverde, J. M., Martínez-Romero, D., Zapata, P.J., Castillo, S. and Serrano, M. (2013). Pre-cooling application before cold storage delayed ripening and maintained high antioxidant activity of '*Sonata*'sweet cherry. In VII International Cherry Symposium 1161: 561-568.

[26] Serdyuk, M., Stepanenko, D., Baiberova, S., Gaprindashvili, N. and Kulik, A., 2016. Substantiaton of selecting the method of pre-cooling of fruits. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 11(82): 62-68.

[27] Koca, I. and Ustun, N. S. (2009). Colour stability in sour cherry jam during storage. Asian Journal of Chemistry, 21(2): 1011.

[28] Zhang, Y., Butelli, E., De Stefano, R., Schoonbeek, H. J., Magusin, A., Pagliarani, C., Wellner, N., Hill, L., Orzaez, D., Granell, A. and Jones, J. D. (2013). Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. Current Biology, 23(12): 1094-1100.

[29] Manganaris, G. A., Vicente, A. R., Crisosto, C. H. and Labavitch, J. M. (2008). Effect of delayed storage and continuous ethylene exposure on flesh reddening of 'Royal Diamond'plums. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(12): 2180-2185.

[30] Xiangyou, W., Jincui, T. and Juan, W. (2014). Effect of precooling temperature on physiological quality of cold stored Agaricus bisporus. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 7(2):108p.

[31] Mizobutsi, G. P., Finger, F. L., Ribeiro, R. A., Puschmann, R., Neves, L. L. D. M. and Mota, W. F. D. (2010). Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenoloxidase activities of litchi pericarp. Scientia Agricola, 67(2): 213-217.

[32] Paniagua, A. C., East, A. R., Hindmarsh, J. P. and Heyes, J. (2013). Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest biology and technology*, 79, Pp.13-19.

[33] Nazoori, F., Kalantari, S., Koraki, N., Talaie, A. and Javanshah, A. (2015). Effect of harvest time, processing type and storage condition on preservation fresh and dried pistachios nuts. Journal of crop improvement. 16(4): 795-807

[34] Karamnezhad, F., Hajilou, J. and Tabatabaei, S. J. (2015). Effect of Postharvest Treatments of CaCl2 at Different Temperatures on Fruit Quality and Storage Life of Peach cv. Kousari. Plant Production Technology. 7(2):191-202.

[35] Rabiei, V. and Rahmani, S. (2014). influence of salicylic acid, calcium chloride and hot water treatment on quantitative, qualitative parameters and storage life of *pomegranate* cv. meykhosh. Journal of Horticultural Science. 28(1): 107-115.

[36] Saklar, S., Katnas, S. and Ungan, S. (2001). Determination of optimum hazelnut roasting conditions. International Journal of Food Science and Technology, 36(3): 271-281.

[37] Mirdehghan, S. H., Khanamani, Z., Shamshiri, M. H. and Hokmabadi, H. (2012). Preharvest foliar application of putrescine and spermine on postharvest quality of fresh pistachio. In VII International Postharvest Symposium, 1012: 299-303.

[38] Massantini, R., Contini, M., Mordacchini Alfani, M.L., Guerrieri, M., Monarca, D. and Cecchini, M., 2008, June. The consumption of fresh hazelnuts: quality and storage. In *VII International Congress on Hazelnut 845* (pp. 635-640).

Effect of different time of precooling on bioactive compound and fruit quality of fresh Pistachio during storage in low temperatures

Shahabi Rabori, H. [1], Mirdehghan, S. H. [2*], Nazoori, F. [3]

1. MS.C student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
2. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

(Received: 2017/11/04 Accepted:2018/10/16)

In recent decades, demand for fresh produce has increased due to changes in consumer attitude. Fresh pistachio fruits have bioactive compounds and antioxidant properties that play important role in health food diet. Also, maintenance of quality and appearance of fresh pistachio plays an important role in increasing the economic value of this produce. To evaluate qualitative properties of fresh pistachio cv. Ahmadaghaei, different time of precooling 4, 16, 28, 40 hr. were considered and fruits were stored at 3±1°C and 85±5 % R.H. as first factor and storage time (35 and 55 day) as second factor. Different parameters include hull and fruit water content, hull, shell and kernel color indices, anthocyanin content, hull and kernel phenolic compounds, antioxidant activity and PPO activity were measured. The results indicate that delayed cooling time had significant effects on hull and fruit water content, hull, shell and kernel color indices, anthocyanin content, hull and kernel phenolic compounds, antioxidant activity. The fruits that were cooled down in 16 hr. had better quality than others. The results also showed that the highest PPO activity was recorded for those fruits which cooled after 16 hr. Therefore, according to the results of this study, 16 hr. delay in cooling of fresh pistachio fruit is recommended to improve the quality of fruit during storage.

Keyword: Antioxidant activity, Phenolic compounds, Polyphenol oxidase, Firmness

* Corresponding Author E-Mail Address: mirdehghan@vru.ac.ir