

مقاله پژوهشی

تأثیر فرآیند پیش‌سرمایش و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح‌شده روی خواص کیفی گیلاس

حبیبه نعلبندی^{۱*}، سید صادق سیدلو^۲، مدیا سیگار غیائی^۳، شمس‌اله عبدالله پور^۲

۱. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲. استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۵/۰۱/۰۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۷)

چکیده

فرآیند پیش‌سرمایش و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح‌شده، از مهم‌ترین و پرکاربردترین تکنولوژی‌های پس از برداشت می‌باشند که به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر می‌توانند عمر انبارمانی محصولات باغی را افزایش دهند. گیلاس از محصولات باغی فسادپذیر است که بازارپسندی آن علاوه بر کیفیت خود میوه، تابعی از تغییرات رنگ ساقه آن نیز می‌باشد. در این تحقیق تأثیر سه روش پیش‌سرمایش، دو نوع بسته‌بندی و ۲۰ روز نگهداری محصول در دمای 3°C بر خواص کیفی گیلاس شامل افت جرم، پوسیدگی، سفتی بافت، کل مواد جامد محلول و نیز تغییر رنگ ساقه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هم‌چنین در روزهای آزمایش، در همه تیمارها قسمتی از میوه‌ها بعد از خارج ساختن از سردخانه، به مدت ۶ روز نیز در دمای محیط نگهداری شدند. نتایج نشان داد کمترین میزان افت جرم به مقدار ۰/۲۴ درصد در میوه‌هایی که به روش هوادهی اجباری خنک شده و سپس تحت MAP بسته‌بندی شده بودند، مشاهده شد. هم‌چنین میزان قهوه‌ای شدن ساقه در بسته‌های MAP با مقدار ۷/۶۴ درصد نسبت به بسته‌های متداول با مقدار ۱۱/۵۷ درصد، بسیار کمتر بود. سفتی و درصد کل مواد جامد محلول میوه‌ها، در نمونه‌های پیش‌سرمایش شده بهتر حفظ شد. در طول نگهداری در سردخانه هیچ‌گونه پوسیدگی در تیمارها مشاهده نشد. هم‌چنین نتایج نگهداری همه تیمارها در دمای محیط نشان داد که میزان افت جرم (۲/۰۴٪) و قهوه‌ای شدن ساقه (۴۳/۹۰ درصد) در تیمار FAC+MAP کمتر از سایر تیمارها بود و تا روز ۴ ام نگهداری در محیط، هیچ‌گونه پوسیدگی در میوه‌ها مشاهده نشد. بنابراین کاربرد هم‌زمان دو فرآیند FAC و MAP موجب هم‌افزایی اثرات مثبت آنها گردید و در نهایت پیش‌سرمایش گیلاس به روش FAC و بسته‌بندی تحت MAP بهترین تیمار برای نگهداری میوه‌ها بود که موجب کاهش قهوه‌ای شدن ساقه گیلاس و حفظ کیفیت میوه‌ها گردید.

واژه‌های کلیدی: اتمسفر اصلاح‌شده، بسته‌بندی، پیش‌سرمایش، عمر انبارمانی، قهوه‌ای شدن ساقه، گیلاس.

۱. مقدمه

آنها را روی حفظ خواص کیفی و افزایش عمر انبارمانی محصولات مختلف باغی مطالعه نمودند. ویلالوبوس و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر بسته‌بندی MAP را روی کیفیت بوی انجیر بررسی کردند. آنها دو رقم انجیر را در بسته‌هایی با فیلم‌های BOPP^۱ با تعداد مختلف منافذ میکرو (با قطر ۱۰۰ و ۹mm و تعداد ۳، ۵ و ۱۶ منفذ) و فیلم با منفذ ماکرو (با قطر ۹mm و تعداد ۵ منفذ) بسته‌بندی کرده و در دمای صفر درجه ذخیره کردند. میوه‌ها پس از ۱۴ روز نگهداری سرد، به مدت ۲ روز هم در محیط نگهداری شدند. نتایج نشان داد که بوی انجیر در بسته‌های دارای ۳ منفذ میکرو بهتر حفظ گردید [۴]. پولسن و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که رنگ گوجه‌فرنگی گیلاسی بسته‌بندی شده تحت MAP در طول نگهداری، ۵٪ کاهش یافت درحالی‌که در تیمار شاهد این تغییرات ۱۸٪ بود. سفتی گوجه‌فرنگی در بسته‌بندی MAP در طول مدت نگهداری تغییرات چندانی نداشت، ولی در تیمار شاهد ۳۷٪ کاهش یافت. بسته‌بندی با فیلم پلی‌اتیلن بدون منفذ در مقایسه با نوع دیگر فیلم‌ها منجر به کاهش چشم‌گیر تنفس محصول شد و بهترین فیلم برای افزایش عمر انبارمانی محصول شناخته شد [۵].

از بسته‌بندی MAP در بسته‌بندی گیلاس نیز به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است، که موجب حفظ رنگ سبز ساقه گیلاس و سفتی آن شده است. از دیدگاه مشتری رنگ سبز ساقه گیلاس و عدم چروکیدگی آن، یک امتیاز مثبت محسوب می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که میوه‌های ذخیره‌شده با MAP، برای چندین ماه رنگ سبز ساقه خود را حفظ کردند، ولی میوه‌های نگهداری‌شده در سردخانه، رنگ سبز ساقه خود را در مدت زمان کمتری از دست دادند [۶، ۷]. آغلار و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر ترکیب دو تیمار پیش از برداشت Parka (اسپری بیوفیلم روی محصول) و پس از برداشت MAP را روی خواص کیفی و عمر انبارمانی گیلاس در طول ذخیره‌سازی سرد بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیب این تیمارها بهترین تیمار برای حفظ کیفیت گیلاس از نظر کاهش افت جرم، تغییرات رنگ، فساد و پوسیدگی در طول مدت نگهداری است [۸].

بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) یک روش کنترل اتمسفر است که بر فرآیند طبیعی تنفس محصول و تبادل گازهای اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و بخارآب بین اتمسفر محیط و درون بسته، از طریق فیلم بسته‌بندی تکیه دارد. با این تکنولوژی، اتمسفر بهینه برای محصول در داخل بسته فراهم می‌گردد و می‌توان اتمسفر بهینه را پس از انبار یا سردخانه، حتی در ویتترین مغازه‌ها تا قبل از مصرف حفظ نمود. به دلیل تنفس محصول، غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر داخل بسته افزایش و غلظت اکسیژن کاهش می‌یابد که با انتخاب فیلم مناسب با نفوذپذیری موردنظر نسبت به اکسیژن و دی‌اکسیدکربن، می‌توان غلظت آنها را تنظیم نمود. فرآیند پیش‌سرمایش نیز با کاهش آهنگ تنفس و تعرق محصول، تأثیر زیادی در کاهش ضایعات و حفظ کیفیت محصولات باغی دارد. به طوری‌که تلفات پس از برداشت محصولات باغی بدون انجام فرآیند پیش‌سرمایش ۲۵٪ الی ۳۰٪ است که با انجام این فرآیند مقدار آن به ۱۰٪ الی ۱۵٪ کاهش می‌یابد [۱].

گیلاس یکی از محصولات باغی مهم است که منبع خوبی از فیبر، ویتامین A، ویتامین C، کلسیم، پتاسیم و مقدار کمی نیز چربی و پروتئین می‌باشد. سالانه بیش از ۲/۵ میلیون تن گیلاس در دنیا تولید می‌شود که ترکیه با تولید بیش از ۳۶۴۷۶۳ تن در رتبه نخست و ایران با تولید بیش از ۲۱۴۴۷۰ تن در رتبه سوم قرار دارد [۲]. در هنگام برداشت، بخشی از ساقه گیلاس نیز روی میوه برداشت می‌شود که رنگ سبز ساقه، نشانه‌ای از کیفیت بالای میوه بوده و در بازارپسندی آن نقش بسزایی دارد. بنابراین حفظ رنگ سبز ساقه، به اندازه حفظ کیفیت میوه حائز اهمیت است. این میوه بسیار فسادپذیر بوده و از عمر انبارمانی کوتاه و تلفات بالایی برخوردار است. در ایران سالانه حدود ۳۰٪ گیلاس تولیدشده با دلایل مختلف از بین می‌رود که با کاربرد فناوری‌های پس از برداشت مانند فرآیند پیش‌سرمایش می‌توان آهنگ تنفس و تعرق آن را کاهش داده و از مقدار ضایعات محصول کاست [۳].

با توجه به اینکه هر دو فرآیند پیش‌سرمایش و MAP تأثیر مثبتی در حفظ کیفیت محصول دارند، محققان تأثیر

1. Biaxially oriented polypropylene

تقطیر قرار می‌دهد که تقطیر رطوبت روی سطح محصول موجب فساد آن می‌گردد. بنابراین هر روش و تکنولوژی که بتواند آهنگ تنفس و تعرق محصول را کاهش دهد، اثرات مفید MAP را افزایش خواهد داد. چنانکه بیان شد یکی از فرآیندهایی که منجر به کاهش آهنگ تنفس و تعرق محصول می‌گردد، پیش‌سرمایش می‌باشد که بسته به نوع محصول آهنگ تنفس و تعرق آن کاهش می‌یابد. استفاده از این تکنولوژی در میوه‌هایی مانند گیلاس موجب می‌شود رنگ سبز ساقه‌ها برای مدت طولانی‌تری حفظ شود. منگاناریس و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که پیش‌سرمایش گیلاس با آب (HC)، فساد و پیری محصول را به تأخیر می‌اندازد و این میوه‌ها از کیفیت بهتری نسبت به نمونه‌های شاهد برخوردار خواهند بود و میزان قهوه‌ای شدن ساقه و چروکیدگی سطحی در آنها کمتر می‌شود [۱۵]. ژااو و همکاران (۲۰۱۸) نیز فرآیند پیش‌سرمایش گیلاس را در اتاق سرد با دمای 5°C در مدت ۲۴ ساعت انجام داده و سپس میوه‌ها را در سه دمای مختلف (صفر، 5°C و نیز در دمای نزدیک به دمای انجماد؛ $-1/7^{\circ}\text{C}$) به مدت ۸۰ الی ۱۰۰ روز نگهداری کردند. در نهایت میوه‌ها به مدت ۳ روز به اتاق با دمای 20°C انتقال داده شدند تا عمر انبارمانی آنها در دمای محیط نیز ارزیابی شود. نتایج این تحقیق نشان داد که ذخیره‌سازی گیلاس در دمای نزدیک دمای انجماد به دلیل کاهش میزان تنفس و پوسیدگی، فساد میوه را ۴ الی ۸ برابر و افت جرم را ۳ الی ۴ برابر نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد کاهش داد و تغییر رنگ گیلاس و ساقه آن را به تأخیر انداخت [۱۶]. لی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که انبه‌های پیش‌سرمایش‌شده به روش هوادهی اجباری (FAC) با دمای صفر درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه، در روز پانزدهم نگهداری در دمای 13°C ، نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پیش‌سرمایش، از سفتی بیشتری برخوردار بودند. فساد این میوه‌ها به دلیل اثر پیش‌سرمایش در به تأخیر انداختن رسیدگی میوه‌ها نیز کمتر بود [۱۷].

با در نظر گرفتن تأثیر مثبت هر دو تکنولوژی MAP و پیش‌سرمایش روی حفظ خواص کیفی و افزایش عمر انبارمانی محصولات باغی، به نظر می‌رسد استفاده هم‌زمان از هر دو تکنولوژی می‌تواند اثرات هم‌افزایی بالایی ایجاد کند.

کوزالینو و همکاران (۲۰۱۹) کیفیت گیلاس را در بسته‌بندی MAP با غلظت‌های مختلف اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در دو حالت نگهداری در سردخانه و محیط بررسی کردند. نتایج نشان داد بسته‌بندی با اتمسفر با غلظت ۱۶٪ اکسیژن و ۲۰٪ دی‌اکسیدکربن کیفیت میوه را در طول نگهداری بهتر حفظ کرد [۹]. اکسینگ و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر غلظت گاز دی‌اکسیدکربن در بسته‌بندی MAP را روی حفظ کیفیت گیلاس مطالعه کردند. نتایج نشان داد که استفاده از دی‌اکسیدکربن با غلظت ۱۰٪ می‌تواند میزان پوسیدگی محصول را کاهش داده و سفتی میوه‌ها را حفظ کند [۱۰]. تحقیقات مشابهی نیز توسط سایر محققین انجام شده و نتایج مشابهی گزارش شده است [۱۱، ۱۲، ۱۳].

اوزتورک و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر استفاده از دو تیمار پیش از برداشت شامل کاربرد جیبرلیک اسید (GA_3) و کلرید کلسیم (CaCl_2) و تیمار بسته‌بندی MAP را روی کیفیت گیلاس در طول نگهداری در سردخانه مطالعه کردند. نتایج نشان داد ترکیب دو تیمار $\text{GA}_3 + \text{CaCl}_2$ و بسته‌بندی MAP و نیز کاربرد CaCl_2 در بسته‌بندی متعارف (بدون MAP) به‌طور قابل توجهی میزان افت جرم را نسبت به میوه‌های شاهد کاهش داد. در طول نگهداری، هیچ‌گونه پوسیدگی در میوه‌های تیمار شده با CaCl_2 مشاهده نشد و محتوی مواد جامد محلول آنها کمتر بود. همچنین میوه‌های تیمار شده با GA_3 و CaCl_2 از سفتی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد برخوردار بودند [۱۴].

علی‌رغم موفقیت‌آمیز بودن MAP، این تکنولوژی دارای برخی معایب است که مهم‌ترین آن به دلیل نفوذپذیری نامناسب و پایین فیلم‌های بسته‌بندی ایجاد می‌گردد. به‌عنوان مثال اگر نرخ تنفس محصول بالا و نفوذپذیری فیلم نسبت به اکسیژن و دی‌اکسیدکربن پایین باشد، غلظت اکسیژن به سرعت کاهش یافته و تنفس بی‌هوازی آغاز می‌گردد. همچنین فیلم‌های متداول مورد استفاده برای MAP، اغلب دارای نرخ پایین عبور نسبت به بخار آب می‌باشند که با در نظر گرفتن نرخ تعرق بالای محصول، شرایط اشباع در اتمسفر داخلی بسته ایجاد می‌شود. تغییرات اجتناب‌ناپذیر شرایط محیطی (دما و رطوبت نسبی) در زنجیره تولید تا مصرف، رطوبت هوای داخل بسته را در معرض

مذکور در مدت ۲۰ روز نگهداری سرد در دمای 3°C و سپس ۶ روز نگهداری در دمای محیط (28°C) روی خواص کیفی گیلای شامل افت جرم، قهوه‌ای شدن ساقه، سفتی، درصد مواد جامد محلول و پوسیدگی بررسی شد. در جدول (۱) خلاصه فاکتورهای مورد مطالعه و سطوح آنها ارائه شده است.

آزمایش‌ها در روز نخست پس از برداشت (روز یکم)، روز چهارم، هشتم، دوازدهم، شانزدهم و بیستم نگهداری (سطوح فاکتور C) انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌ها، بر اساس آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC تحلیل و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن انجام شد. لازم به ذکر است تغییرات کیفی نمونه‌های نگهداری شده در محیط آزمایشگاه و در دمای 28°C در داخل طرح آماری وارد نشدند، ولی در تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین در بین تیمارها، تیماری که در آن میوه‌ها بدون انجام فرآیند پیش‌سرمایش در جعبه‌های متداول بسته‌بندی شده و در همان مدت مشابه تیمارهای دیگر در سردخانه نگهداری شدند، به‌عنوان تیمار شاهد مطرح بود (NC+CP) و نتایج اعمال فرآیند پیش‌سرمایش و بسته‌بندی MAP، با این تیمار مقایسه شد.

بنابراین در این تحقیق تأثیر انجام انفرادی فرآیند پیش‌سرمایش، بسته‌بندی MAP و نیز اثرات ترکیب آنها روی خواص کیفی و عمر انبارمانی گیلای در مدت ۲۰ روز نگهداری در سردخانه و سپس نگهداری به مدت ۶ روز در دمای محیط بررسی شد. همچنین برای تعیین بهترین روش پیش‌سرمایش، دو روش پیش‌سرمایش شامل FAC و HC مورد استفاده قرار گرفتند. تعیین خصوصیات عملکردی در هر دو فرآیند بسته‌بندی و پیش‌سرمایش گیلای و نیز تعیین مدت زمان بهینه نگهداری محصول گیلای از نظر دوره نگهداری سرد و خرده‌فروشی، جزو اهداف و نوآوری این تحقیق می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. فاکتورها مورد مطالعه و طرح آماری

برای افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت گیلای در زنجیره سرد (از نگهداری در سردخانه تا ویتترین مغازه)، اثر سه فاکتور شامل روش‌های پیش‌سرمایش (فاکتور A)، نوع بسته‌بندی (فاکتور B) و مدت زمان نگهداری سرد (فاکتور C) مورد مطالعه قرار گرفت. فاکتور A در سه سطح شامل پیش‌سرمایش به روش FAC، HC و بدون پیش‌سرمایش، فاکتور B عبارت از نوع بسته‌بندی در دو سطح شامل بسته‌بندی MAP و بسته‌بندی متداول بود. اثر فاکتورهای

جدول (۱). فاکتورهای مورد مطالعه و سطوح آنها

Table 1. Studied factors and their levels

Studied factors	Levels of factor	Nomenclature
Precooling methods (A)	Forced air cooling	FAC
	Hydro cooling	HC
	No cooling	NC
Packing methods (B)	Modified atmosphere Packaging	MAP
	Commercial packages	CP
Storage time (C)	First day	1 D
	4 days	4 D
	8 days	8 D
	12 days	12 D
	18 days	16 D
	20 days	20 D

آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌هایی با ابعاد یکنواخت، بدون آسیب‌دیدگی و با ساقه سبز برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند.

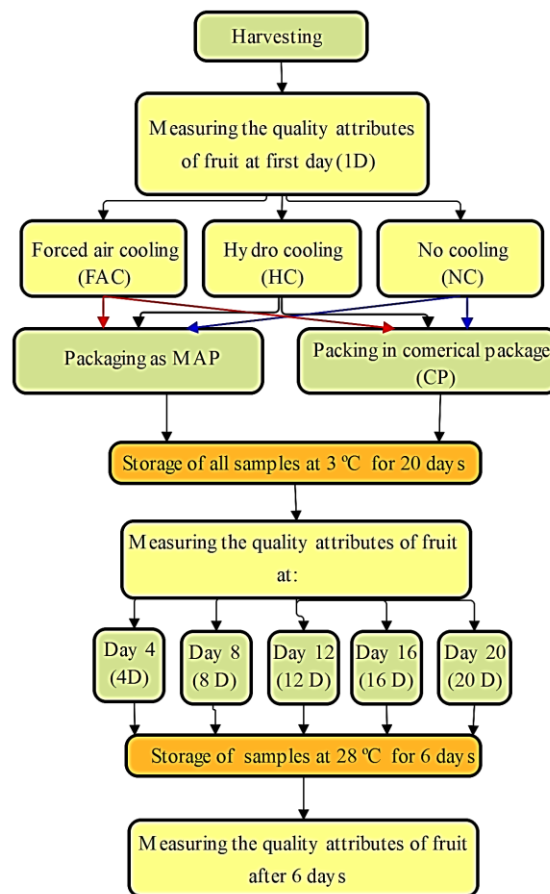
۲.۲. تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

میوه‌های گیلای از نوع رقم تک‌دانه از باغات منطقه آذربایجان- ایران تهیه و بلافاصله پس از برداشت به

در بخش‌های بعدی به تفصیل بیان شدند.

۳.۲. نحوه اجرای آزمایش‌ها

در شکل (۱) بلوک دیاگرام نحوه اجرای آزمایش‌ها ارائه و



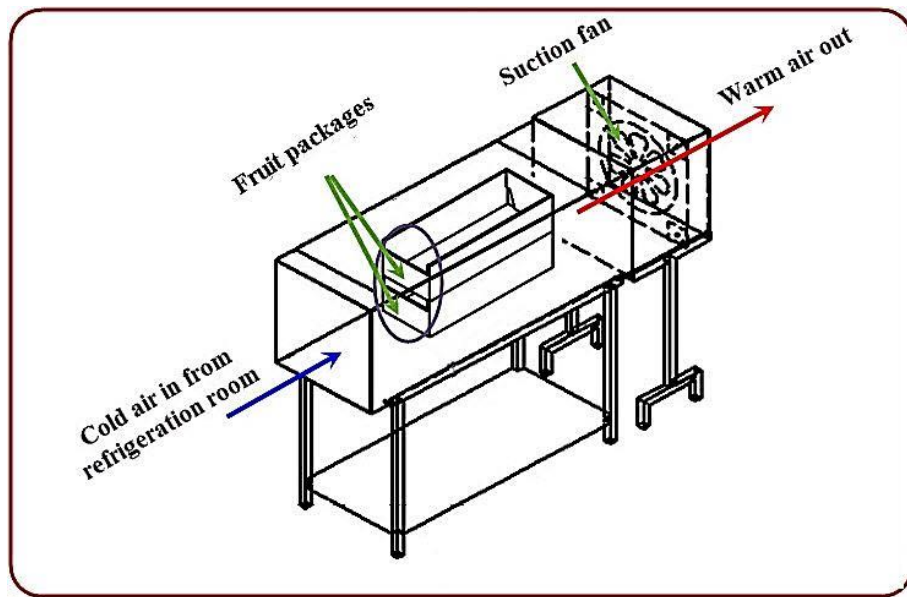
شکل (۱). بلوک دیاگرام نحوه اجرای آزمایش‌ها

Fig. 1. Experiments flowchart

انتهای جعبه (K_3 و K_4) به میوه‌ها متصل شدند و دمای مرکز میوه‌ها در طول فرآیند، توسط یک دستگاه دیتالاگر (DL2 ساخت انگلستان) ثبت گردید (شکل ۴). به‌منظور آب‌بندی و نیز ممانعت از کنارگذر شدن هوا، فضای بالای جعبه‌ها و طرفین آن، با صفحات یونولیتی محصور شد (شکل ۳-د). دما، رطوبت‌نسبی و دبی هوای سرد مورد استفاده به ترتیب 3°C ، 85% و 1L/s به ازای هر کیلوگرم محصول بود. دمای اولیه میوه‌ها $25/5^\circ\text{C}$ بود و فرآیند پیش‌سرمایش تا رسیدن دمای مرکز میوه‌ها به دمای $7/8$ ام (هفت-هشتم) سرمایش یعنی $5/8^\circ\text{C}$ ادامه یافت. با استفاده از دماهای ثبت شده توسط ترموکوپل‌ها، منحنی تغییرات دمای میوه‌ها به‌صورت تابعی از زمان فرآیند رسم گردید.

۱.۳.۲. روش پیش‌سرمایش با FAC و بسته‌بندی CP

برای پیش‌سرمایش میوه‌ها به روش FAC از تونل بادی افقی واقع در یک اتاق سرد استفاده شد (شکل ۲). ابعاد سطح مقطع تونل $50 \times 50 \text{ cm}$ و طول آن 180 cm بود. تونل باد دارای دو قسمت شامل مکنده و محل قرارگیری جعبه‌ها بود که به منظور تأمین جریان هوای موردنیاز، یک دستگاه مکنده در انتهای تونل نصب شده بود [۱۸]. میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت در جعبه‌های متداول برداشت از جنس پلی‌اتیلن (شکل ۳-ا) به ابعاد $35 \times 25 \times 4 \text{ cm}$ چیده شدند (شکل ۳-ب) و داخل تونل باد قرار داده شدند (شکل ۳-ج). برای اندازه‌گیری دمای میوه‌ها در طول فرآیند پیش‌سرمایش، دو عدد ترموکوپل نوع K به‌صورت تصادفی در ابتدای جعبه (K_1 و K_2) و دو عدد در

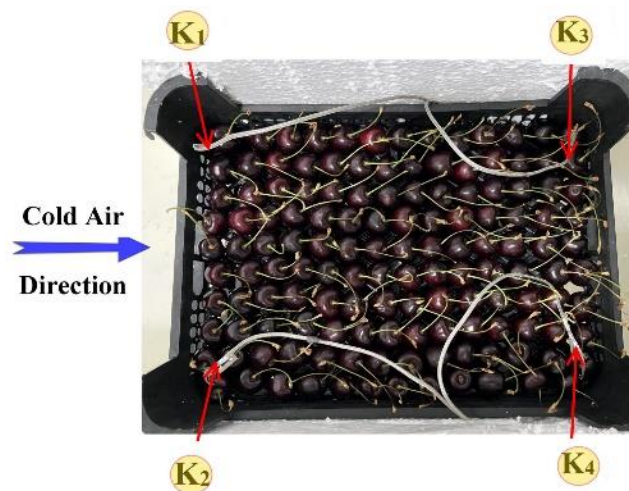


شکل (۲). سیستم پیش سرمایش با روش هوادهی اجباری و محل قرارگیری جعبه‌های میوه [۱۸]
 Fig. 2. Forced-air cooling system and fruit package's location [18]



شکل (۳). پیش سرمایش گیلان به روش FAC؛ (A) جعبه‌های متداول برداشت، (B) چینش میوه‌ها در جعبه‌ها، (C) نحوه قرارگیری جعبه‌ها در داخل تونل باد، (D) آببندی اطراف جعبه‌ها

Fig. 3. Forced air cooling of sweet cherry; A) Commercial harvesting package, B) Fruit arrangement in the packages, C) location of packages inside the wind tunnel, D) Isolating the around of packages



شکل (۴). محل قرارگیری ترموکوپل‌ها برای اندازه‌گیری و ثبت دمای میوه‌ها در طول فرآیند FAC
 Fig. 4. Location of thermocouples to measuring and recording the fruit temperature during FAC process

پس از خروج از سردخانه، به مدت ۶ روز نیز در محیطی با دمای 28°C نگهداری شدند تا شرایط نگهداری و تغییرات کیفی محصول در خرده‌فروشی و ویتترین مغازه‌ها نیز مطالعه گردد. لازم به ذکر است نصف محتویات هر جعبه پس از خارج شدن از سردخانه برای اندازه‌گیری خواص کیفی مورد استفاده قرار گرفت و میوه‌های باقی‌مانده، در محیطی با دمای 28°C نگهداری شدند و ضمن کنترل روند پوسیدگی، خواص کیفی آنها نیز بعد از ۶ روز نگهداری در محیط، اندازه‌گیری شد.

پس از اتمام فرآیند پیش‌سرمایش، میوه‌ها در ۵ جعبه متداول (۲۰۰g) چیده شدند. جعبه‌های متداول (CP) از جنس پلی‌اتیلن و در ابعاد $13 \times 10 \times 5 \text{ cm}$ و فاقد درب بودند (شکل ۵-۱). بسته‌های آماده‌شده در سردخانه و در دمای 3°C و رطوبت نسبی ۸۵٪ به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند و خواص کیفی در طول مدت نگهداری در فواصل زمانی ۴ روز اندازه‌گیری شد. به‌منظور شبیه‌سازی فاکتور توزیع و خرده‌فروشی محصول، در روزهای آزمایش؛ یعنی روزهای چهارم، هشتم، دوازدهم، شانزدهم و بیستم نگهداری در سردخانه؛ میوه‌ها



شکل (۵). بسته‌های مورد استفاده برای بسته‌بندی گیلاس؛ (A) به صورت CP، (B) به صورت MAP
 Fig. 5. Packages used to pack of sweet cherry; A) as CP, B) as MAP



۲.۳.۲. روش پیش‌سرمایش با FAC و بسته‌بندی MAP

برای مطالعه کاربرد هم‌زمان فرآیندهای پیش‌سرمایش به روش FAC و بسته‌بندی تحت MAP، میوه‌ها ابتدا به روشی که در بخش قبل توصیف شد، پیش‌سرمایش و سپس تحت MAP بسته‌بندی شدند. برای این منظور از جعبه‌های پلی‌اتیلن به ابعاد $13 \times 10 \times 5$ cm استفاده شد (شکل ۵-A) به طوری که ۲۰۰ g میوه در هر جعبه چیده شد و روی جعبه با فیلم پلی‌پروپیلن آب‌بندی گردید (شکل ۵-B). پلی‌پروپیلن دارای نرخ عبور برای اکسیژن ۱۹، دی‌اکسیدکربن ۷۶ و بخار آب $26 \text{ mL/m}^2 \text{ h}$ می‌باشد. به منظور افزایش نفوذپذیری فیلم و ممانعت از اشباع اتمسفر داخل بسته و تقطیر رطوبت، ۱۰ منفذ با قطر 0.26 mm روی فیلم ایجاد شد تا بتوان ضمن حفظ نسبی اثرات اتمسفر تغییر یافته، از تجمع رطوبت نیز جلوگیری نمود. بسته‌های آماده شده محصول در شرایط مشابه آزمایش‌های قبلی (FAC+CP) نگهداری شدند. در روزهای معین، دو جعبه از سردخانه بیرون برده شد که از محتویات یک جعبه برای اندازه‌گیری خواص کیفی استفاده می‌شد و جعبه دیگر نیز به محیط آزمایشگاه منتقل شد تا تغییرات کیفی میوه‌ها بعد از ۶ روز نگهداری در شرایط محیط، ارزیابی شود.

۳.۳.۲. روش پیش‌سرمایش با HC و بسته‌بندی CP

پیش‌سرمایش با آب به روش غوطه‌وری و در دمای 3°C انجام شد. برای اندازه‌گیری دمای میوه‌ها در طول فرآیند، ۲ عدد ترموکوپل به گیل‌اس‌ها متصل و دمای آنها در فواصل زمانی پنج دقیقه ثبت شد و منحنی تغییرات دمایی آنها در برابر زمان فرآیند رسم گردید. پس از رسیدن دمای میوه‌ها از $25/5^\circ \text{C}$ به دمای $7/8$ ام سرمایش یعنی $5/8^\circ \text{C}$ ، میوه‌ها از آب خارج شده و با دمش هوای محیط با دمای 28°C به مدت ۵ دقیقه نم‌گیری شدند و در جعبه‌های CP بسته‌بندی و ۲۰ روز در شرایط مشابه آزمایش‌های قبلی (دمای 3°C) و ۶ روز در دمای محیط نگهداری شدند. مطابق روش ذکر شده در بخش‌های قبل (تیمار FAC+CP) در روزهای معین، آزمون‌های کیفی روی نمونه‌ها انجام شد.

۴.۳.۲. روش پیش‌سرمایش با HC و بسته‌بندی MAP

میوه‌های پیش‌سرمایش شده به روش HC نیز مشابه نمونه‌های پیش‌سرمایش شده به روش FAC، به روش MAP بسته‌بندی شده و در شرایط مشابه سایر نمونه‌ها (تیمار FAC+MAP) نگهداری و تحت آزمون‌های کیفی قرار گرفتند.

۵.۳.۲. بدون پیش‌سرمایش (NC) و بسته‌بندی MAP

در این تیمار میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شدند و بدون انجام فرآیند پیش‌سرمایش، تحت MAP بسته‌بندی شده و به مدت ۲۰ روز در شرایط مشابه آزمایش‌های قبلی در سردخانه و ۶ روز در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. مطابق روش ذکر شده در بخش‌های قبل در روزهای معین، آزمون‌های کیفی روی نمونه‌ها انجام شد.

۶.۳.۲. نحوه اجرای تیمار شاهد

در بین تیمارها، تیماری که در آن میوه‌ها بدون انجام پیش‌سرمایش در جعبه‌های متداول (CP) بسته‌بندی شده و در همان مدت مشابه تیمارهای دیگر در سردخانه نگهداری شدند، به‌عنوان تیمار شاهد مطرح بود و نتایج اعمال فرآیند پیش‌سرمایش و بسته‌بندی MAP، با این تیمار مقایسه شد.

۴.۲. اندازه‌گیری خواص کیفی میوه‌ها

خواص کیفی میوه‌ها در طول نگهداری در سردخانه، در فواصل زمانی ۴ روز شامل، روز نخست پس از برداشت گیل‌اس (روز یکم)، روزهای چهارم، هشتم، دوازدهم، شانزدهم و بیستم اندازه‌گیری شد. خواص کیفی شامل افت جرم، پوسیدگی، تغییر رنگ ساقه، سفتی و درصد مواد جامد محلول بود. همان‌طوری‌که در بخش‌های قبل ذکر شد در هر کدام از تیمارها، پس از نگهداری محصول در مدت موردنظر و خروج از سردخانه، محصول هر تیمار به مدت ۶ روز دیگر در محیط آزمایشگاه نگهداری شد و پس از ۶ روز خواص کیفی آنها اندازه‌گیری شد.

افت جرم: برای محاسبه میزان افت جرم میوه‌ها، جرم

انجام شد. دمای اولیه میوه‌ها $25/5^{\circ}\text{C}$ بود و فرآیند سرمایش تا رسیدن دمای محصول در بدترین نقطه جعبه از لحاظ دمایی، به دمای $7/8$ ام سرمایش یعنی $5/8^{\circ}\text{C}$ ادامه یافت. زمان $7/8$ ام سرمایش گیلان با روش FAC حدود ۱۲۵ دقیقه و با HC به روش غوطه‌وری با دمای 3°C حدود ۷۰ دقیقه بود. با اندازه‌گیری و ثبت دمای میوه‌ها در طول فرآیند، منحنی تغییرات دمای میوه‌ها در برابر زمان سرمایش ترسیم شد (شکل ۶). در هر دو روش پیش‌سرمایش با FAC و HC، دمای میوه‌ها به صورت نمایی در برابر زمان کاهش یافت. در روش HC، کاهش دمای محصول در مراحل اولیه فرآیند بسیار سریع انجام شد به طوری که زمان $1/2$ ام سرمایش میوه‌ها حدود ۴ دقیقه بود. ولی زمان لازم برای کاهش دمای محصول از $1/2$ ام (یک - دوم) سرمایش به $7/8$ ام سرمایش، حدود ۶۶ دقیقه به طول انجامید. ولی در روش FAC، فرآیند با شیب ملایم‌تری انجام شد و زمان $1/2$ ام سرمایش در این روش ۴۰ دقیقه بود. مقایسه زمان $7/8$ ام سرمایش در دو روش مورد مطالعه نشان داد که در روش HC، زمان $7/8$ ام سرمایش میوه‌ها، 44% کمتر از زمان پیش‌سرمایش میوه‌ها با روش FAC بود که علت آن، تفاوت در ضریب انتقال گرمای سطحی در دو محیط خنک‌کننده (آب و هوا) می‌باشد که منجر به سرمایش سریع میوه‌ها در آب شده است. بدیهی است تفاوت در زمان سرمایش و نیز تغییر روش سرد کردن، منجر به تفاوت در میزان مصرف انرژی مابین روش‌های مختلف پیش‌سرمایش می‌گردد. با وجود تفاوت فاحش در مدت زمان سرمایش میوه‌ها در دو روش پیش‌سرمایش مورد استفاده، بایستی تأثیر این روش‌ها روی خواص کیفی و عمر نگهداری میوه‌ها نیز بررسی شود تا بتوان سپس بهترین روش پیش‌سرمایش را انتخاب کرد.

محتوی هر جعبه در روز برداشت (روز یکم) اندازه‌گیری و ثبت گردید. در روزهای معین نیز جرم جعبه‌ها موقع خروج از سردخانه اندازه‌گیری شد. افت جرم میوه‌ها به صورت درصد محاسبه گردید.

پوسیدگی: در این تحقیق اصطلاح پوسیده به میوه‌ای اطلاق شد که کوچک‌ترین علائم پوسیدگی مانند کپک‌زدگی در آن قابل رؤیت بود. بنابراین در روزهای معین تعداد میوه‌های سالم و پوسیده موجود در هر جعبه شمارش و درصد پوسیدگی در کل جعبه محاسبه شد [۱۹]. روش تشخیص میوه‌های پوسیده به صورت بصری بود.

قهوه‌ای شدن ساقه: جهت اندازه‌گیری مساحت بخش‌های قهوه‌ای شده ساقه، ابتدا از نمونه‌ها عکس‌برداری شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار Sketchandcalc، مساحت بخش‌های قهوه‌ای، اندازه‌گیری شد. درصد قهوه‌ای شدن ساقه به صورت نسبت مساحت بخش قهوه‌ای شده به مساحت کل ساقه محاسبه گردید.

سفتی: سفتی بافت میوه‌ها با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج TR-Faccini Copernico با پروب استوانه‌ای با سطح مقطع صاف به قطر 8mm و طول 13mm اندازه‌گیری شد [۱۲].

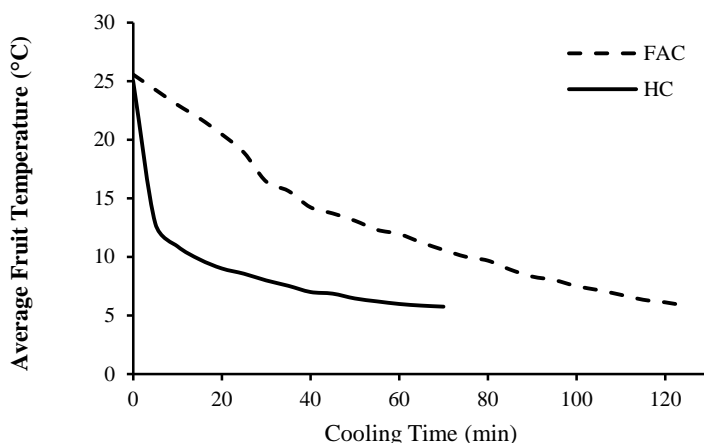
کل مواد جامد محلول (TSS): درصد مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتومتر ATAGO و بر اساس استاندارد AOAC اندازه‌گیری شد.

۳. نتایج و بحث

۱۰۳. مقایسه منحنی‌های پیش‌سرمایش گیلان به روش

FAC و HC

فرآیند پیش‌سرمایش گیلان به روش FAC با دمای 3°C و دبی یک لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول



شکل (۶). تغییرات دمای گیلاس در فرآیند FAC و HC

Fig. 6. Variation of sweet cherry temperature during FAC and HC process

۲.۳. تغییرات خواص کیفی گیلاس در مدت نگهداری ۲۰ روزه در دمای ۳ °C و نحوه تاثیر عوامل مورد مطالعه روی این خواص در ادامه آورده شده است (جدول ۲). سرد

نتایج تغییرات خواص کیفی محصول در مدت نگهداری

جدول (۲). نتایج تجزیه واریانس اثر روش پیش‌سرمایش، نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری روی خواص کیفی گیلاس

Table 2. Effect of precooling methods, packing methods and storage time on quality properties of sweet cherry during the cold storage

S.V.	df	M.S			
		Mass loss (%)	Stem browning (%)	Firmness (N)	TSS
Precooling methods (A)	2	2.40 **	8.17 **	0.13 ^{ns}	0.16 **
Packing methods (B)	1	58.92 **	70.27 **	0.93 **	0.11 *
Storage time (C)	5	0.339 **	0.06 **	1.27 **	0.02 ^{ns}
A×B	2	10.30 **	139.80 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.44 **
A×C	10	0.15 **	0.78 **	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}
B×C	5	5.02 **	8.43 **	0.085 ^{ns}	0.01 ^{ns}
A×B×C	10	0.07 **	0.07 **	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Error	36	0.01 **	0.03 **	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}
C.V.		4.03 %	3.95 %	2.55 %	0.72 %

** , * and ^{ns} indicate a significant effect at 1% and 5% probability level and a non-significant effect, respectively.

نشود. به عبارت دیگر تأثیر روش بسته‌بندی، نوع پیش‌سرمایش و نیز عدم اعمال پیش‌سرمایش و اعمال بسته‌بندی متداول روی پوسیدگی گیلاس غیرمعنی‌دار بود. لی و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که انبه‌های پیش‌سرمایش شده به روش FAC پس از ۱۵ روز نگهداری سرد، کمتر دچار فساد شدند [۱۷].

۱.۲.۳. میزان پوسیدگی گیلاس

محصولات کشاورزی در طول مدت نگهداری می‌توانند به اشکال مختلفی پوسیده و فاسد شوند که این پوسیدگی می‌تواند بر کیفیت محصول اثر گذاشته و ارزش تغذیه‌ای آنها را کاهش دهد. نگهداری گیلاس در دمای ۳ °C و رطوبت نسبی ۸۵٪ در همه تیمارها و نیز در تیمار شاهد موجب شد که هیچ‌گونه پوسیدگی و آثار کپک‌زدگی در میوه‌ها، در طول مدت ۲۰ روز نگهداری در سردخانه در دمای ۳ °C حادث

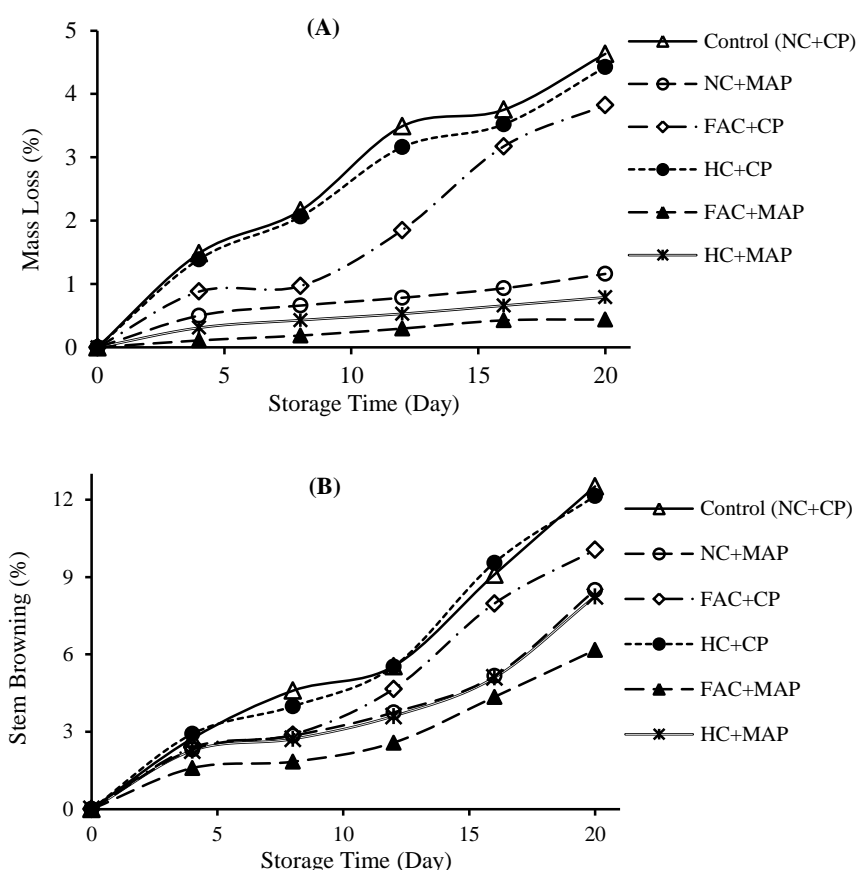
۲.۲.۳. افت جرم گیلان

یکی از عوامل تأثیرگذار در کاهش کیفیت محصولات کشاورزی افت جرم محصول می‌باشد که هم مقدار جرم محموله را کاهش می‌دهد و هم آثار چروکیدگی در محصول را به همراه دارد. نتایج نشان داد که اثر اصلی هر سه فاکتور مورد مطالعه و اثرات متقابل آنها روی افت جرم گیلان در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). میزان افت جرم در تیمار شاهد (NC+CP) بعد از گذشت ۲۰ روز و نگهداری در سردخانه با دمای 3°C و رطوبت نسبی ۸۵٪، معادل ۴/۶٪ وزنی بود. این در حالی است که افت جرم در نمونه‌های فرآیند شده با FAC و HC و بدون MAP (تیمارهای FAC+CP و HC+CP) به ترتیب برابر ۳/۸۲٪ و ۴/۴۲٪ بود. از نمودار شکل (A-۷) می‌توان استنتاج کرد که اولاً افت جرم محصول در زمانی که تحت MAP قرار گرفته‌اند، نسبت به حالتی که از بسته‌بندی متداول (CP) استفاده شده است. در طول ۲۰ روز نگهداری، پایین‌تر بوده است. ثانیاً استفاده از عملیات پیش‌سرمایش بدون بسته‌بندی MAP، تأثیر چندانی روی افت جرم محصول در زمان نگهداری در سردخانه نداشته است. با این حال میزان افت جرم نسبت به حالتی که پیش‌سرمایش صورت نگرفته است، پایین‌تر بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد کمترین میزان افت جرم گیلان متعلق به تیمار پیش‌سرمایش به روش FAC و بسته‌بندی تحت MAP (FAC+MAP) با مقدار ۰/۴۴٪ می‌باشد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با سایر تیمارها داشت ($P < 1\%$).

کاهش جرم محصول در روش FAC از روش HC کمتر بوده است به‌دلیل اینکه در روش HC برای زدودن آب مانده روی محصول و جلوگیری از تأثیر باکتری‌ها و قارچ‌ها، محصول با استفاده از جریان هوای معمولی با دمای محیط، خشک می‌شد و این موجب افت رطوبت بیشتر شده است. بسته‌بندی تحت MAP نیز به تنهایی افت جرم میوه‌ها را

از ۴/۶٪ در تیمار شاهد، به ۱/۱۶٪ پس از گذشت ۲۰ روز نگهداری، کاهش داده است (NC+MAP در شکل A-۷). با وجود ۱۰ منفذ در فیلم بسته‌بندی که موجب خروج رطوبت از داخل بسته شده و برای ممانعت از اشباع شدن اتمسفر داخل بسته و جلوگیری از کندانس رطوبت ایجاد شده بود، افت جرم میوه‌ها بسیار کمتر بود که نشان‌دهنده تأثیر بسزای بسته‌بندی MAP در حفظ رطوبت محصول می‌باشد. اثر هم‌افزایی دو فرآیند پیش‌سرمایش و بسته‌بندی تحت MAP در شکل (A-۷) مشهود است به‌طوری‌که در تیمار FAC+MAP، افت جرم میوه‌ها ۰/۴۴٪ بود که به ترتیب ۸۸٪ و ۶۲٪ کمتر از افت جرم میوه‌ها در پیش‌سرمایش انفرادی بدون MAP یعنی تیمار FAC+CP (۳/۸۲٪) و یا بسته‌بندی MAP انفرادی بدون پیش‌سرمایش یعنی تیمار NC+MAP (۱/۱۶٪) بود. در تیمار HC+MAP (شکل A-۷) نیز اثر مشابهی حاصل شد و با هم‌افزایی این دو فرآیند، افت جرم در طول ۲۰ روز نگهداری محصول به ۰/۸٪ کاهش یافت؛ درحالی‌که در پیش‌سرمایش انفرادی با آب (HC+CP)، افت جرم محصول ۴/۴۲٪ بود. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در بسته‌بندی تحت MAP نیز میزان افت جرم نمونه‌های پیش‌سرمایش شده به روش FAC کمتر از نمونه‌های پیش‌سرمایش شده به روش HC بود.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که ظهور ۴٪ تا ۵٪ افت جرم در محصولی مانند گیلان می‌تواند اثرات پژمردگی در ظاهر آن ایجاد و بازارپسندی را به صفر گرایش دهد. بنابراین استفاده از MAP یا پیش‌سرمایش یا هر دو توأماً برای نگهداری طولانی مدت مثلاً ۲۰ روزه در سردخانه در دمای 3°C توصیه می‌شود. هم‌چنین افت جرم در بسته‌بندی MAP انفرادی (NC+MAP) نسبت به روش‌های ترکیبی با FAC و HC (FAC+MAP و HC+MAP) بیشتر بوده است که تأثیر پیش‌سرمایش در کاهش افت جرم محسوس بود.



شکل (۷). تأثیر روش پیش‌سرمایش و نوع بسته‌بندی در طول مدت نگهداری روی A: افت جرم گیلاس و B: قهوه‌ای شدن ساقه آن
Fig. 7. Effect of precooling and packing methods on A) mass loss and B) stem browning of sweet cherry during cold storage

تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند [۲۱]. تاپیا-گارسیا و همکاران (۲۰۱۷) افت جرم گیلاس در بسته‌بندی MAP را ۰/۲٪ و در نمونه‌های شاهد ۳/۵٪ گزارش کردند [۱۳]. کوروباش و همکاران (۲۰۱۸) نیز افت جرم گیلاس (۰۹۰۰ Ziraat' cherries) پیش‌سرمایش‌شده با آب سرد را در بسته‌بندی تحت MAP با فیلم‌های مختلف را در محدوده ۰/۵۷٪ الی ۲/۰۱٪ گزارش کردند. بر اساس یافته‌های ایشان وجود منفذ در فیلم بسته‌بندی، افت جرم گیلاس را افزایش می‌دهد [۱۲].

همان‌طوری که ملاحظه می‌شود افت جرم گیلاس در پیش‌سرمایش به روش FAC و HC و متعاقباً بسته‌بندی تحت MAP (FAC+MAP و HC+MAP) کمتر از افت جرم گزارش شده توسط کوروباش و همکاران (۲۰۱۸) و وانگ و لانگ (۲۰۱۴) می‌باشد که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی فرآیند

تأثیر مثبت بسته‌بندی MAP روی کاهش افت جرم محصول توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است که میزان تأثیر آن بستگی به نوع فیلم بسته‌بندی، تعداد منافذ آن و نیز غلظت گازهای داخل بسته دارد. کونته و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند، بسته‌بندی گیلاس با اتمسفر معمولی و اتمسفر تغییر یافته (۱۰٪ اکسیژن، ۴٪ دی‌اکسید کربن و ۸۶٪ نیتروژن) روی افت جرم میوه‌ها مؤثر است به‌طوری‌که در اتمسفر تغییر یافته، افت جرم نمونه‌ها بیشتر از اتمسفر معمولی بود که دلیل آن نبود رطوبت در اتمسفر تغییر یافته و به تبع آن بالابودن گرادیان رطوبتی بین محصول و اتمسفر می‌باشد. آنان کمترین میزان افت جرم را در بسته‌بندی با فیلم پلی‌پروپیلن به دست آوردند [۲۰]. وانگ و لانگ (۲۰۱۴) نیز افت جرم گیلاس در طول نگهداری در بسته‌های MAP با فیلم‌های مختلف را کمتر از ٪ گزارش کردند که

ساقه در تیمار شاهد بود. درصد قهوه‌ای شدن ساقه در تیمار FAC+MAP، ۳۲، ۴۳/۸ و ۲۰٪ کمتر از تیمارهای FAC+CP، HC+CP و NC+MAP می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود پیش‌سرمایش به روش FAC در مقایسه با پیش‌سرمایش با HC بهتر توانست رنگ سبز ساقه‌ها را حفظ نماید و نیز ترکیب دو فرآیند پیش‌سرمایش به روش FAC و بسته‌بندی تحت MAP در حفظ این ویژگی بسیار مؤثرتر بود.

کوروباش و همکاران (۲۰۱۸) تا روز ۸ ام نگهداری، هیچ‌گونه قهوه‌ای شدن در ساقه گیلان‌های نگهداری شده در شرایط MAP مشاهده نکردند. آنان میزان قهوه‌ای شدن ساقه گیلان را پس از ۲۰ روز نگهداری در بسته‌های MAP با فیلم پلی‌اتیلن بدون منفذ و منفذدار به ترتیب ۵۲٪ و ۲۸٪ گزارش کردند. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود نبود منفذ در فیلم و تجمع رطوبت در اتمسفر داخل بسته موجب تغییر رنگ ساقه می‌گردد که در بسته‌های X-tend با فیلم XF.A12 کمترین میزان قهوه‌ای شدن ساقه گیلان با مقدار ۸٪ مشاهده شد [۱۲].

۴.۲.۳. سفتی گیلان

اندازه‌گیری سفتی میوه‌ها در روز نخست و پس از اتمام فرآیند پیش‌سرمایش، نشان داد که میوه‌های پیش‌سرمایش شده دارای سفتی بیشتری نسبت به میوه‌های بدون پیش‌سرمایش بودند. سفتی گیلان در زمان برداشت، N ۱۱/۵ بود و تا روز ۴ ام نگهداری، تغییرات آن بسیار ناچیز بود. اما بعد از روز ۴ ام، سفتی میوه‌ها کاهش یافت. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، سفتی همه میوه‌ها در طول مدت نگهداری کاهش یافته است و اثر زمان نگهداری در سطح احتمال ۱٪ روی آن معنی‌دار بود ($P < 1\%$). بسته‌بندی میوه‌ها تحت MAP نیز تأثیر مثبتی روی حفظ سفتی میوه‌ها داشت و اثر آن در سطح احتمال ۱٪ روی سفتی نمونه‌ها معنی‌دار بود ($P < 1\%$) به‌طوری‌که میوه‌های نگهداری شده تحت MAP (NC+MAP) نسبت به میوه‌های نگهداری شده در جعبه متداول (نمونه شاهد)، از سفتی بیشتری در طول زمان نگهداری ۲۰ روزه برخوردار بودند (شکل ۸-A). ولی روش پیش‌سرمایش تأثیر معنی‌داری روی مقدار سفتی

پیش‌سرمایش و بسته‌بندی MAP است [۱۲، ۲۱]. نمودار (A-۷) نشان می‌دهد افت جرم تابع زمان نگهداری است که در هر کدام از تیمارها تقریباً از شیب ثابتی تابع زمان نگهداری برخوردار هستند. ولی در هر حال، هر چقدر نگهداری در انبار بیشتر شود، مقدار افت جرم بیشتر افزایش می‌یابد. به‌عنوان نمونه در تیمار FAC+CP افت جرم پس از ۲۰ روز نگهداری تقریباً ۱۰۶٪ نسبت به ۱۲ روز نگهداری افزایش یافته است.

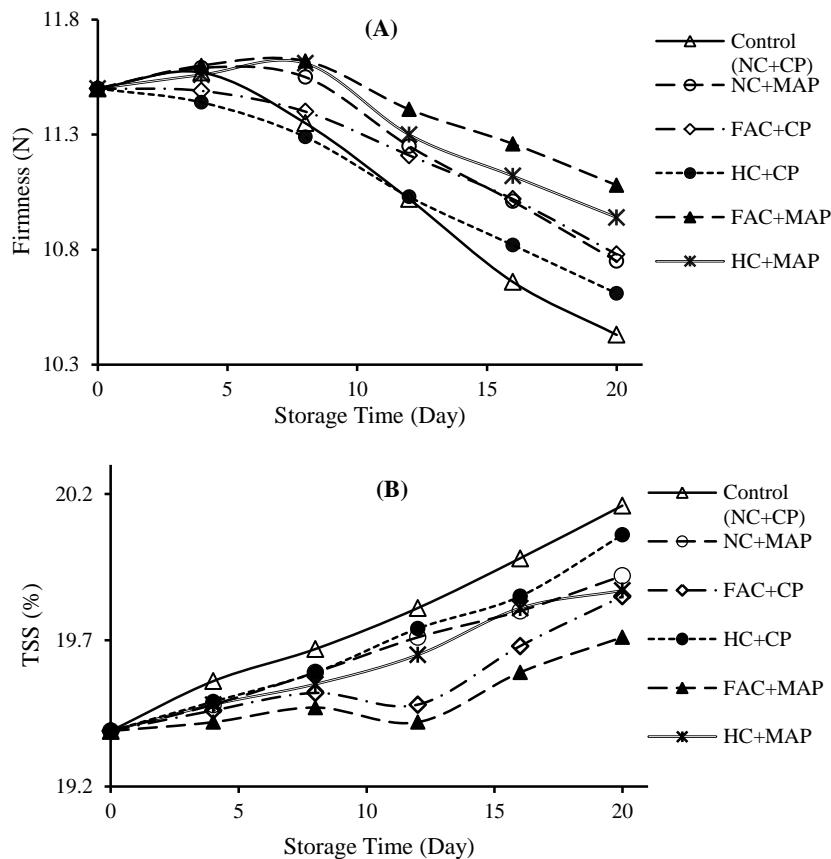
۳.۲.۳. قهوه‌ای شدن ساقه گیلان

یکی از عوامل مؤثر در بازار پسندی گیلان، سبز بودن ساقه آن است که مطابق نتایج به‌دست آمده اثر اصلی همه فاکتورهای مورد در سطح احتمال ۱٪ ($P < 1\%$) روی آن معنی‌دار بود (جدول ۲). در همه تیمارهای مورد مطالعه با گذشت زمان و افزایش مدت نگهداری گیلان، قهوه‌ای شدن ساقه گیلان افزایش یافت (شکل B-۷). مطالعه اثر انفرادی پیش‌سرمایش (FAC+CP و HC+CP) و نیز بسته‌بندی تحت MAP (NC+MAP) نشان داد که هر دو فرآیند مذکور موجب کاهش روند قهوه‌ای شدن ساقه نسبت به تیمار شاهد گردید. بر اساس شکل (B-۷)، ملاحظه می‌شود قهوه‌ای شدن ساقه در نمونه‌هایی که تحت MAP قرار گرفته‌اند از روز پنجم نگهداری به بعد، نسبت به نمونه‌های بسته‌بندی شده در بسته‌های متداول، کاهش چشم‌گیری دارد. بنابراین اثر کاربرد MAP در جلوگیری از قهوه‌ای شدن ساقه مشهود است. هم‌چنین کاربرد FAC نسبت به HC و NC در حفظ رنگ ساقه بهتر بوده است.

در پیش‌سرمایش به روش FAC و نیز با HC، پس از ۲۰ روز نگهداری و در حالت بدون استفاده از MAP یعنی تیمارهای FAC+CP و HC+CP، به ترتیب ۱۰٪ و ۱۲/۱٪ ساقه‌های گیلان قهوه‌ای شدند که در تیمار شاهد برابر ۱۲/۵٪ بود. نتایج نشان می‌دهد پیش‌سرمایش با HC به تنهایی نتوانسته است قهوه‌ای شدن ساقه را کاهش دهد؛ ولی ترکیب دو فرآیند پیش‌سرمایش با HC و بسته‌بندی تحت MAP (HC+MAP) توانست روند قهوه‌ای شدن ساقه را کاهش دهد (۸/۲٪). در تیمار FAC+MAP، مقدار قهوه‌ای شدن ساقه ۶/۸٪ بود که ۴۵/۶٪ کمتر از درصد قهوه‌ای شدن

پیش‌سرمایش بود. مثلاً سفتی گیلای پس از ۲۰ روز نگهداری که تحت FAC+MAP قرار گرفته بودند معادل ۱۱/۰۸ N بود و سفتی میوه‌های شاهد در آن مدت ۱۰/۴۳ N بود. کاهش ۵/۸٪ در سفتی نمونه‌ها به دلیل عدم اعمال MAP به همراه عدم پیش‌سرمایش بود.

محصول نداشت ($P > 1\%$). ترکیب دو فرآیند پیش‌سرمایش و بسته‌بندی تحت MAP اثر هم‌افزایی روی حفظ سفتی میوه‌ها داشت، به طوری که در این تیمارها سفتی میوه‌ها نسبت به سایر تیمارها بهتر حفظ شد. به عنوان نمونه میزان سفتی میوه‌های تیمارهای FAC+MAP و HC+MAP دارای سفتی بیشتری نسبت به تیمارهای انفرادی MAP یا



شکل ۸). تأثیر نوع پیش‌سرمایش و نوع بسته‌بندی در طول زمان نگهداری روی A: سفتی و B: TSS گیلای
Fig. 8. Effect of precooling and packing methods on A) firmness and B) TSS of sweet cherry during cold storage

نگهداری گزارش کردند. در پایان ۲۰ روز نگهداری، میوه‌های بسته‌بندی شده با فیلم بدون منفذ XF.A12 از میزان سفتی بالاتری (۱۳/۸ N) نسبت به میوه‌های بسته‌بندی شده با فیلم منفذدار و بدون منفذ پلی‌اتیلن (۹/۸ N) برخوردار بودند [۱۲]. الیک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که سفتی میوه گیلای در طول مدت نگهداری در دمای ۴ °C به طور ناچیزی کاهش یافت [۲۲]. وانگ و لانگ (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که در بسته‌بندی‌های MAP سفتی میوه‌های

تاپیا-گارسیا و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند بسته‌بندی MAP تأثیر بسزایی روی حفظ سفتی گیلای دارد. آنان بیان داشتند در بسته‌بندی MAP، به دلیل غلظت گازهای اتمسفر داخل جعبه، سفتی میوه‌ها نسبت به روز اول افزایش یافت، ولی سفتی میوه‌ها در تیمار شاهد (جعبه متداول بدون فیلم بسته‌بندی) تغییر چندانی نسبت به روز برداشت در مدت نگهداری نداشت [۱۳]. کوروباش و همکاران (۲۰۱۸) نیز کاهش سفتی گیلای را در مدت

نفوذپذیری متفاوت، افزایش یافت؛ اما در بسته‌هایی با فیلم پلی‌اتیلنی (تیمار شاهد) میزان مواد جامد محلول بدون تغییر ماند و بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت [۲۳]. کوروباش و همکاران (۲۰۱۸) نیز افزایش TSS گیلاس در مدت زمان نگهداری در شرایط MAP را گزارش نمودند که در فیلم‌های بسته‌بندی مختلف، تغییرات آن متفاوت بود [۱۲]. تاپیا-گارسیا و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند TSS گیلاس در تیمار شاهد در طول مدت نگهداری، ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت که علت افزایش آن، کاهش رطوبت محصول بیان شد. ولی در میوه‌های بسته‌بندی شده تحت MAP به دلیل تأثیر غلظت گازهای اتمسفر بسته و عدم افت رطوبت محسوس میوه‌ها به دلیل بدون منفذ بودن فیلم بسته‌بندی، TSS در مدت نگهداری کاهش یافت [۱۳]. اما الیک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که TSS در بسته‌بندی MAP با فیلم‌های مختلف، در طول مدت نگهداری و در شرایط مختلف نگهداری تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند [۲۲]. اکسینگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز افزایش TSS را در طول مدت نگهداری گیلاس در غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن گزارش کردند که در غلظت ۱۰٪، تغییرات TSS کمتر از سایر غلظت‌های مورد مطالعه بود [۱۰].

تغییرات خواص کیفی گیلاس در دمای محیط

همان‌طوری که بیان شد، در روزهای مورد مطالعه یعنی روزهای ۴ ام، ۸ ام، ۱۲ ام، ۱۶ ام و ۲۰ ام زمانی که خواص کیفی میوه‌های نگهداری‌شده در سردخانه مطالعه می‌شد، یک جعبه دیگر از میوه‌ها از سردخانه خارج شده و به مدت ۶ روز در دمای محیط (۲۸ °C) نگهداری شدند. با توجه به اینکه محتوی جعبه‌های متداول (یعنی تیمارهای FAC+CP، HC+CP و نیز نمونه شاهد) در طول ۲۴ ساعت نگهداری در دمای محیط، متحمل چروکیدگی میوه و خشک شدن کامل ساقه شدند، بنابراین این نمونه‌ها و تیمارها از ادامه آزمایشها حذف شده و تنها تغییرات خواص کیفی میوه‌های موجود در بسته‌های تحت MAP در مدت ۶ روز نگهداری در محیط ارزیابی شدند که در ادامه نتایج حاصل بیان شده است. شکل (۹) میوه‌های نگهداری‌شده در محیط را نشان می‌دهد.

گیلاس تا ۴ هفته نگهداری، تفاوت چندانی با میوه‌های تیمار شاهد (جعبه پلی‌اتیلنی منفذدار متداول) نداشتند. ولی پس از ۶ هفته نگهداری، این میوه‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد از سفتی بیشتری برخوردار بودند [۲۱]. اکسینگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان داشتند. سفتی گیلاس در طول مدت نگهداری کاهش می‌یابد، ولی در غلظت ۱۰٪ دی‌اکسیدکربن، تغییرات آن کمتر از سایر غلظت‌های مورد مطالعه گاز مذکور بود که علت آن مقابله دی‌اکسیدکربن با اثرات گاز اتیلن بود [۱۰].

مقایسه نتایج حاصل از تحقیقات سایر محققین نشان می‌دهد، نوع فیلم، تعداد و اندازه منافذ و غلظت گازهای موجود در بسته روی آهنگ تغییرات سفتی میوه‌ها در طول مدت نگهداری تأثیرگذار هستند که این تفاوت‌ها در شرایط بسته‌بندی دلیل تفاوت بین نتایج به دست آمده می‌باشد.

۵.۲.۳. کل مواد جامد محلول گیلاس (TSS)

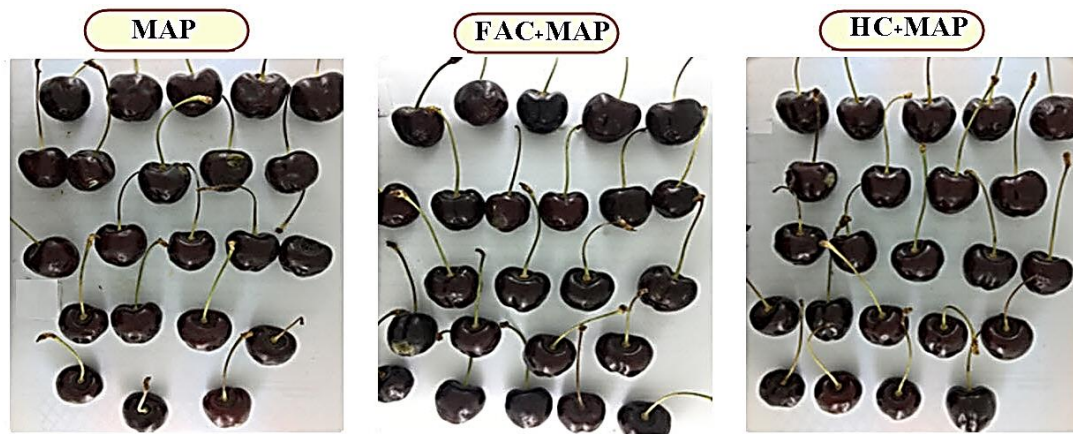
در طول دوره نگهداری محصولات کشاورزی پیش‌سرمایش‌شده، ماده‌های اصلی تنفس یعنی قندها و اسیدها کاهش پیدا می‌کنند. این امر موجب تغییرات متفاوتی در محتوی مواد جامد محلول در طول مدت نگهداری میوه‌ها می‌شود. در این تحقیق TSS گیلاس در طول بیست روز نگهداری اندازه‌گیری شد. TSS گیلاس در زمان برداشت ۱۹/۳۹٪ بود که با افزایش مدت زمان نگهداری، مقدار آن افزایش یافت (شکل ۸-۸). در پایان ۲۰ روز نگهداری، TSS نمونه‌های شاهد برابر ۲۰/۱۶٪ بود که بیشترین افزایش نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد، ولی تأثیر زمان نگهداری روی تغییرات TSS غیرمعنی‌دار بود ($P > 5\%$). اثر تیمارهای مختلف شامل نوع بسته‌بندی ($P < 5\%$) و نوع پیش‌سرمایش روی TSS معنی‌دار بود ($P < 1\%$) و کمترین مقدار TSS در تیمار ترکیبی FAC+MAP پس از ۲۰ روز نگهداری به دست آمد. به عبارت دیگر در این تیمار تغییرات TSS در مدت نگهداری محصول کمتر بود. ولی در تیمارهای پیش‌سرمایش انفرادی به دو روش FAC و HC (تیمارهای FAC+CP و HC+CP) و نیز بسته‌بندی تحت MAP (NC+MAP) تغییرات بیشتر بود. گیاکالون و چیاپرانندو (۲۰۱۲) گزارش کردند، میزان TSS میوه گیلاس در بسته‌بندی MAP با فیلم‌هایی تجزیه‌پذیر با

سردخانه خارج شده بودند در مقایسه با میوه‌هایی که ۱۲ روز در سردخانه نگهداری شده بودند، از پوسیدگی کمتری در محیط عادی برخوردار بودند به طوری که در این میوه‌ها پوسیدگی ۳۸٪ کمتر بود. ولی در مورد تیمارهای HC+MAP و NC+MAP تفاوت چندانی در روند پوسیدگی بین میوه‌ها ملاحظه نشد.

آغلار و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند، میزان پوسیدگی در گیل‌های که در تحت تیمارهای MAP و MAP+Parka قرار گرفته و به مدت ۳ روز در دمای محیط نگهداری شدند، نسبت به تیمار شاهد (بدون MAP و تیمار Parka) بسیار پایین بود [۸].

۳.۳. پوسیدگی گیل‌ها در نگهداری در دمای محیط

تا ۴ روز اول نگهداری در دمای محیط، هیچ‌گونه پوسیدگی در میوه‌ها ملاحظه نشد، اما پس از آن آثار کپک‌زدگی در آنها رؤیت شد. میزان پوسیدگی میوه‌های تحت FAC+MAP که در روز ۲۰ ام از سردخانه خارج و در محیط نگهداری شده بودند، ۸/۶٪ کمتر از نمونه‌های HC+MAP و NC+MAP بود (جدول ۳). به عبارت دیگر میوه‌های تحت FAC+MAP را نسبت به میوه‌های بدون پیش‌سرمایش، می‌توان به مدت طولانی‌تری در سردخانه نگهداری کرد. هم‌چنین در تیمار FAC+MAP، با کاهش مدت زمان نگهداری میوه‌ها در سردخانه، میزان پوسیدگی در محیط نیز کمتر بود. یعنی میوه‌هایی که پس از ۴ روز از



شکل (۹). گیل‌های نگهداری شده به مدت ۱۶ روز در سردخانه در دمای ۳ °C و سپس ۶ روز در دمای محیط
Fig. 9. Sweet cherry stored at 3 °C temperature for 16 days and then stored for 6 days at ambient temperature (28 °C)

FAC+MAP با ۲۰ روز نگهداری در سردخانه و سپس ۶ روز نگهداری در دمای محیط، حدود ۲/۰۴٪ بود که نسبت به HC+MAP و میوه‌های NC+MAP کمتر بود. بنابراین نتایج مجدداً تیمار FAC+MAP را تأیید می‌کند، یعنی در هر دو حالت بدون نگهداری در دمای محیط و نگهداری ۶ روزه در دمای محیط، میزان افت جرم در تیمار FAC+MAP کمتر بود.

۲.۳.۳. قهوه‌ای شدن ساقه گیل‌ها در نگهداری در دمای محیط

میزان قهوه‌ای شدن ساقه در میوه‌های FAC+MAP که در روز ۲۰ ام از سردخانه خارج شده بودند و ۶ روز در دمای

۱.۳.۳. افت جرم گیل‌ها در نگهداری در دمای محیط

نتایج حاصل از نگهداری میوه‌ها در دمای محیط نشان داد که میزان افت جرم میوه‌ها چون در بسته‌های MAP نگهداری شده بودند، باز پایین بود. با افزایش مدت زمان نگهداری میوه‌ها در سردخانه و سپس نگهداری ۶ روز در دمای محیط، میزان افت جرم نهایی نمونه‌ها نیز بیشتر شد به طوری که در تیمار FAC+MAP افت جرم میوه‌هایی که ۲۰ روز در سردخانه نگهداری شده بودند حدود ۲۲٪ بیشتر از میوه‌هایی بود که ۴ روز در سردخانه نگهداری شده بودند. در سایر تیمارها نیز روند مشابهی حاکم بود (جدول ۳). نتایج هم‌چنین نشان داد میزان افت جرم در میوه‌های

با شرایط مذکور و سپس نگهداری در دمای محیط (۳ °C) که مشابه شرایط نگهداری محصول در ویتترین خرده‌فروشی بود، میوه‌هایی که تحت MAP بسته‌بندی شده بودند تا روز چهارم نگهداری در محیط فاقد کپک‌زدگی بودند و از روز ۵ آثار کپک‌زدگی در آنها مشاهده شد که این میزان از پوسیدگی و کپک‌زدگی در FAC+MAP بسیار کم بود. لازم به ذکر است که میوه‌هایی که در بسته‌های متداول بودند، پس از ۶ روز نگهداری در محیط، غیر قابل مصرف بودند. همچنین روند قهوه‌ای شدن ساقه گیلاس‌ها در طول مدت نگهداری در داخل سردخانه، در تیمار FAC+MAP با آهنگ پایینی صورت گرفت. میوه‌هایی که تحت MAP بسته‌بندی شده بودند، کمترین مقدار افت جرم را داشتند و کمترین میزان افت جرم مربوط به تیمار FAC+MAP با مقدار ۰/۴۴۵٪، در پایان روز بیستم نگهداری بود. علاوه بر شاخصه‌های کیفی گیلاس، زمان پیش‌سرمایش و مصرف انرژی نیز در انتخاب بهترین نوع تیمار مؤثر است. مدت پیش‌سرمایش میوه‌ها در HC تقریباً دو برابر سریع‌تر از سرمایش آنها با FAC انجام شد. اما میوه‌های پیش‌سرمایش شده با FAC از خواص کیفی بالاتری برخوردار بودند. بنابراین این روش پیش‌سرمایش بیشتر مورد قبول است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت تیمار FAC+MAP با داشتن حداقل میزان افت جرم و قهوه‌ای شدن ساقه و حفظ مقادیر سفتی و TSS محصول در طول بیست روز نگهداری در دمای ۳°C و شش روز نگهداری در دمای محیط، به‌عنوان بهترین تیمار در نگهداری گیلاس توصیه می‌شود. هرچند برای کاهش زمان پیش‌سرمایش می‌بایست راهکارهایی مناسب یافت. درخصوص مدت زمان نگهداری میوه‌ها نیز ذکر این نکته حائز اهمیت است که میوه‌هایی که به مدت طولانی‌تر در سردخانه نگهداری شده بودند، در محیط از عمر انبارمانی کمتری برخوردار بودند و کیفیت آنها از افت بیشتری نسبت به میوه‌هایی که زودتر از سردخانه خارج شده بودند، برخوردار بود. بنابراین لازم است مطالعه بیشتری روی ارتباط بین مدت نگهداری در سردخانه و قابلیت نگهداری در محیط انجام گیرد، زیرا قابلیت نگهداری بالا در محیط می‌تواند روی بازارپسندی محصول تأثیرگذار باشد.

محیط نگهداری شده بودند، برابر با ۴۳/۹٪ بود که کمتر از سایر تیمارها بود. در میوه‌های NC+MAP میزان قهوه‌ای شدن ساقه در همان روز ۷۸/۹٪ بود (جدول ۳). مجدد استفاده از FAC+MAP از نظر قهوه‌ای شدن ساقه گیلاس ترجیح داده می‌شود.

۳.۳.۳. سفتی گیلاس در نگهداری در دمای محیط

میزان سفتی میوه‌ها در بسته‌های MAP بعد از ۶ روز نگهداری در محیط نسبت به روز خارج ساختن از سردخانه در همه تیمارها کاهش یافت. همچنین میزان کاهش سفتی در تیمار FAC+MAP به دلیل نگهداری در دمای محیط، کمتر از بقیه تیمارها بود؛ به عبارت دیگر میزان شل‌شدگی محصول کمتر بوده است (جدول ۳). همچنین بعد از نگهداری ۶ روزه محصول در محیط بیرون که شبیه‌سازی نگهداری محصول در ویتترین مغازه‌ها است، میزان سفتی در تیمار FAC+MAP نسبت به تیمار NC+MAP و تیمار HC+MAP بالاتر بود که انتخاب روش FAC+MAP را تأکید می‌کند.

آغلار و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند، میوه‌هایی که در بسته‌بندی MAP قرار گرفته و بعد از ۲۱ روز نگهداری در سردخانه و ۳ روز در دمای محیط نگهداری شده بودند، از سفتی بالاتری برخوردار بودند [۸].

۴.۳.۳. مواد جامد محلول گیلاس در نگهداری در دمای محیط

مقادیر مواد جامد محلول در تیمار FAC+MAP نسبت به سایر تیمارها افزایش کمتری داشت و وجود MAP موجب شده است که حتی بعد از ۶ روز نگهداری در دمای محیط نیز تغییرات TSS قابل توجه نباشد (جدول ۳).

۴.۳. مدت زمان نگهداری گیلاس

مطابق نتایج به‌دست آمده از مطالعه خواص کیفی میوه‌ها، تمامی نمونه‌ها در طول ۲۰ روز نگهداری در سردخانه فاقد پوسیدگی و کپک‌زدگی بودند و از مقبولیت قابل قبولی برخوردار بودند. اما پس از نگهداری در سردخانه

جدول (۳). تغییرات خصوصیات کیفی گیلاس در تیمارهای مختلف MAP و سپس نگهداری در دمای محیط

Table 3. Variation of quality properties of sweet cherry at different treatments of MAP and then stored for 6 days at ambient temperature (28 °C)

Quality properties	Exiting day from cold storage	Precooling method		
		No cooling	Hydrocooling	Forced air cooling
Firmness (N)	4 D	9.54	9.69	10.01
	8 D	9.26	9.37	9.77
	12 D	9.19	9.29	9.63
	16 D	9.08	9.12	9.58
	20 D	9.02	9.17	9.51
TSS (%)	4 D	21.67	21.25	20.00
	8 D	21.95	21.66	20.21
	12 D	22.08	21.78	20.41
	16 D	22.12	21.85	20.52
	20 D	22.22	21.95	20.59
Decay (%)	4 D	8.40	6.30	4.00
	8 D	8.60	8.50	4.50
	12 D	8.60	8.50	6.50
	16 D	10.50	9.60	7.60
	20 D	13.60	11.60	8.60
Stem browning (%)	4 D	12.14	10.21	9.57
	8 D	22.02	19.41	16.34
	12 D	48.00	36.78	30.23
	16 D	58.90	45.61	36.90
	20 D	78.90	55.61	43.90
Mass loss (%)	4 D	3.02	2.28	1.51
	8 D	3.10	2.35	1.83
	12 D	3.07	2.49	1.94
	16 D	3.14	2.50	1.98
	20 D	3.23	2.53	2.04

نگهداری در دمای محیط، به‌عنوان بهترین تیمار در نگهداری گیلاس توصیه می‌شود.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۶. تشکر و قدردانی

از مسئول آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت و فرآوری محصولات کشاورزی و آزمایشگاه خواص فیزیکی مواد غذایی بابت مساعدت در انجام آزمون‌ها تشکر می‌نماید.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر روش‌های مختلف پیش‌سرمایش و بسته‌بندی روی خواص کیفی گیلاس مورد بررسی قرار گرفت و بهترین روش پیش‌سرمایش، نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری تعیین شد. علاوه بر شاخص‌های کیفی گیلاس، زمان پیش‌سرمایش و مصرف انرژی نیز در انتخاب بهترین نوع تیمار مؤثر است. با توجه به اینکه میوه‌های تحت تیمار FAC از خواص کیفی بالاتری برخوردار بودند، بنابراین این روش پیش‌سرمایش بیشتر مورد قبول است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت تیمار FAC+MAP با داشتن حداقل میزان افت جرم و قهوه‌ای شدن ساقه و حفظ مقادیر سفتی و مواد جامد محلول در طول بیست روز نگهداری در دمای °C ۳ و ۶ روز

منابع

- [1] Anonymous. 2010. American Society of Heating Refrigeration and Air-Condition Engineers.
- [2] FAO. (2019). Cherry production. United Nations: Statistical database-agriculture, Food and Agricultural Organization.
- [3] FAO. (2012). Sustainability pathways. Food wastage footprints.
- [4] Villalobos, M. C., Serradilla, M. J., Martín, A.,

- Aranda, E., López-Corrales, M., & Córdoba, M. G. (2018). Influence of modified atmosphere packaging (MAP) on aroma quality of figs (*Ficus carica* L.). *Postharvest Biology and Technol.*, 136, 145-151.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.001>
- [5] Paulsen, E., Barrios, S., & Lema, P. (2019). Ready-to-eat cherry tomatoes: Passive modified atmosphere packaging conditions for shelf life extension. *Food Packag Shelf Life*, 22, 100407.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100407>
- [6] Kappel, F., Toivonen, P., McKenzie, D. L., & Stan, S. (2002). Storage characteristics of new sweet cherry cultivars. *Horticulturae Sciences*, 37(1), 139-143.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.1.139>
- [7] Wani, A. A., Singh, P., Gul, K., Wani, M. H., & Langowski, H. C. (2014). Sweet cherry (*Prunus avium*): Critical factors affecting the composition and shelf life. *Food Packag Shelf Life*, 1(1), 86-99.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.01.005>
- [8] Aglar, E., Ozturk, B., Guler, S.K., Karakaya, O. & Uzun, S. (2017). Effect of modified atmosphere packaging and Parka treatments on fruit quality characteristics of sweet cherry fruits (*Prunus avium* L. '0900 Ziraat') during cold storage and shelf life. *Scientia Horticulturae*, 222, 162-168.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.024>
- [9] Cozzolino, R., Martignetti, A., Cefola, M., Pace, B., Capotroto, I., DeGiulio, B., Montemurro, N. & Pellicano, M. P. (2019). Volatile metabolites, quality and sensory parameters of "ferrovia" sweet cherry cold stored in air or packed in high CO₂ modified atmospheres. *Food Chem.*, 286, 659-668.
- [10] Xing, S., Zhang, X., & Gong, H. (2020). The effect of CO₂ concentration on sweet cherry preservation in modified atmosphere packaging. *Czech J Food Sci.*, 38(2), 103-108.
<https://doi.org/10.17221/255/2019-CJFS>
- [11] Chiabrandò, V., Garavaglia, L., & Giacalone, G. (2019). The postharvest quality of fresh sweet cherries and strawberries with an active packaging system. *Foods*, 8(8), 335.
<https://doi.org/10.3390/foods8080335>
- [12] Kurubas, M.S., Ozalp Sahin, G. & Erkan, M. (2018). Impact of modified atmosphere packaging on fruit quality and postharvest life of '0900 Ziraat' cherries. *Derim*, 35(1), 19-26.
<https://doi.org/10.16882/derim.2018.314511>
- [13] Tapia García, M. I., Velardo-Micharet, B., Ayuso, M. C., Bernalte, M. J., & Gonzalez-Gomez, D. (2017). Effect of modified atmosphere on postharvest quality of 'Sweetheart' cherries. *Acta Hort.*, 1161, 653-659.
- [14] Ozturk, B., Aglar, E., Saracoglu, O., Karakaya, O., & Gun, S. (2022). Effects of GA₃, CaCl₂ and modified atmosphere packaging (MAP) applications on fruit quality of sweet cherry at cold storage. *Int. J of Fruit Sci.*, 22(1), 696-710.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2022.2113597>
- [15] Manganaris, G.A., Ilias, I.F., Vasilakakis, M. & Mignani, I. (2007). The effect of hydrocooling on ripening related quality attributes and cell wall physicochemical properties of sweet cherry fruit (*Prunus avium* L.). *In. J Refrig.*, 30, 1386-1392.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.04.001>
- [16] Zhao, H., Wang, B., Cui, K., Cao, J. & Jiang, W. (2018). Improving postharvest quality and antioxidant capacity of sweet cherry fruit by storage at near-freezing temperature. *Scientia Horticulturae*, 246, 68-78.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.054>
- [17] Li, J., Fu, Y., Yan, J., Song, H., & Jiang, W. (2019). Forced air precooling enhanced storage quality by activating the antioxidant system of mango fruits. *J Food Quality*, 1606058, 1-12.
<https://doi.org/10.1155/2019/1606058>
- [18] Nalbandi, H. & Seiedlou, S. (2020). Sensitivity analysis of the precooling process of strawberry: Effect of package designing parameters and the moisture loss. *Food Sci. Nutr.*, 8(5), 2458-2471.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1536>
- [19] Matar, C., Guillard, V., Gauche, K., Costa, S., Gontard, N., Guilbert, S., & Gaucel, S. (2020). Consumer behaviour in the prediction of postharvest losses reduction for fresh strawberries packed in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol. Technol.*, 163, 111119.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111119>
- [20] Conte, A., Scrocco, C., Lecce, L., Mastromatteo, M., & Del Nobile, M. A. (2009). Ready-to-eat cherries: Study on different packaging systems. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 10, 564-571.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.005>
- [21] Wang, Y., & Long, L. E. (2014). Respiration and quality responses of sweet cherry to different atmospheres during cold storage and shipping. *Postharvest Biol. Technol.*, 92, 62-69.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.003>
- [22] Alique, R., Martinez, M.A. & Alonso, J. (2003). Influence of the modified atmosphere packaging on shelf life and quality of Navalinda sweet

cherry. *Eur Food Res. Technol.*, 217, 416-420.
<https://doi.org/10.1007/s002217-003-0789-x>
[23] Giacalone, G. & Chiabrand, V. (2012).

Modified atmosphere packaging of sweet cherries with biodegradable films. *Int. Food Res. J.*, 20, 1263-1268.

Research Article

Simultaneous use of precooling process and modified atmosphere packaging on the quality properties and shelf life of sweet cherry

Habibeh Nalbandi^{1*}, Sadegh Seyedlou², Media Sighar Ghiasi³, Shamsollah Abdolahpour²

1. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
2. Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
3. PhD student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz

(Received: 25 March 2026, Received in revised form: 25 April 2026, Accepted: 07 May 2026)

Introduction: High loss and waste of fresh fruits and vegetables are always one of the major problems of the agricultural industry. The amount of postharvest loss of these crops varies from 5 to 60 % in different countries. Application of postharvest technologies such as precooling process and packaging by new methods, including modified atmosphere packaging and MAHP, has a significant effect on maintaining quality and increasing the shelf life of fruits such as sweet cherry. Sweet cherry is a highly perishable fruit whose marketability depends on its overall quality and the prevention stem browning.

Materials and methods: In this study, the effect of precooling methods, type of packaging and storage time was examined on the quality properties of sweet cherry. The precooling methods were forced air cooling (FAC), hydrocooling (HC) and no cooling (NC). A forced-air cooling system was used in a cold room where the temperature and relative humidity were 3 °C and 85 %, respectively. This system consisted of a suction fan to generate a desirable airflow rate and an open tunnel. For the precooling process, the fruit packages were located in the center of the tunnel. Four fruits were instrumented with K-type thermocouple wires placed in their centers and the temperature of these points was measured every 1 min. A data acquisition system including a PC and data logger was used to collect data. The precooling process continued until the central temperature of the fruit reached 7/8 the cooling temperature. The hydrocooling process was conducted by the immersion method at the water temperature of 3 °C. The type of packaging included the commercial package (CP) and modified atmosphere packaging (MAP). CP was the commercial polyethylene package without film and lids. The same commercial polyethylene packages were used for packing the fruit as MAP. Polypropylene film with a thickness of 0.03 mm was used to seal the top of this package (MAP). The fruit was stored at 3 °C and 85 % relative humidity for 20 days and fruit quality was measured at the harvesting day, and days 4, 8, 12, 16 and 20. The quality properties was mass loss, decay, stem browning and TSS. In addition, to simulate and evaluate fruit quality changes in the market, the fruit was stored for 6 days at ambient temperature (28 °C) after storing at cold storage. For example, fruit which exited from cold storage after 4 days was stored in the laboratory (28 °C) for another 6 days. The data were analyzed based on a completely randomized design as factorial experiments in three replications.

Results and discussion: The results indicated that the lowest mass loss (0.24 %) was observed in the fruit cooled by the FAC method and then packed as MAP (FAC+MAP). Stem browning in the fruit packed in MAP (7.64 %) was lower than that in the fruit packed in CP (11.57 %). Firmness and TSS were better preserved in the fruit that was cooled. In all treatments, no decay was observed during cold storage of fruit. In addition, storage of all fruit at ambient temperature showed that the lowest mass loss (2.04 %) and stem browning (43.90 %) were

*Corresponding Author: h.nalbandi@tabrizu.ac.ir ; habibehnalbandi@yahoo.com



obtained in the fruit treated with the FAC+MAP and no decay was observed in the fruit up to 4 days.

Conclusions: Therefore, the simultaneous use of FAC and MAP had a positive effect, and precooling of sweet cherry by FAC followed by packing in MAP was the best method for storing the fruit which reduced stem browning and preserved fruit quality.

Keywords: *Modified atmosphere packaging, precooling, shelf life, stem browning, sweet cherry*