



عوامل و راهکارهای موثر در کاهش وزن محصول سیب پس از برداشت در سردخانه

منصوره حسن زاده نعیمی^{*۱}

۱- استادیار، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۸

چکیده

میوه سیب را می توان برای دوره های طولانی، به ویژه با استفاده از سامانه های نگهداری در اتمسفر کنترل شده، انبار کرد؛ با این حال، همانند بسیاری از میوه ها و سبزی ها، این محصول در معرض کاهش وزن میوه قرار دارد. از دست رفتن آب در طول نگهداری پس از برداشت می تواند موجب چروکیدگی پوست، کاهش سفتی بافت، افت کیفیت ظاهری و کاهش وزن قابل عرضه در بازار شود و در نهایت درآمد باغداران، انبارداران و سایر فعالان زنجیره تأمین را کاهش دهد. عوامل پیش از برداشت مؤثر بر میزان کاهش وزن در سیب شامل شرایط اقلیمی، رقم، اندازه میوه، سن درخت، مدیریت باغ، وضعیت تغذیه ای و مرحله رسیدگی در زمان برداشت هستند. همچنین عوامل پس از برداشت نظیر دمای نگهداری، رطوبت نسبی، نوع سامانه انبارمانی و مدت زمان نگهداری نقش تعیین کننده ای در شدت کاهش آب میوه دارند. هدف این مقاله بررسی عوامل تاثیرگذار بر ضایعات سیب در کل زنجیره تأمین است. در این مرور، ارتباط متقابل عوامل پیش از برداشت و پس از برداشت و نقش آن ها در مدیریت کاهش وزن و ضایعات سیب به صورت یکپارچه مورد تحلیل قرار گرفته است. در نهایت، این مرور علمی راهکارهایی کاربردی برای کاهش افت وزن آب میوه، حفظ کیفیت انباری و مدیریت ضایعات سیب در زنجیره تأمین ارائه می دهد.

واژگان کلیدی: کاهش وزن سیب، کیفیت پس از برداشت، ضایعات سیب، اتمسفر کنترل شده.

Factors and effective solutions in reducing postharvest weight of apple fruit in cold storage

Mansoreh Hasanzadeh Naemi^{1*}

1- Assistant Professor, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

Received: May 2026

Accepted: September 2026

Abstract

Apples can be stored for long periods, especially using controlled atmosphere storage systems; however, like many fruits and vegetables, they are subject to weight loss. Water loss during postharvest storage can cause skin wrinkling, reduced firmness, diminished appearance quality, and reduced marketable weight, ultimately reducing the income of growers, storekeepers, and other supply chain actors. Preharvest factors affecting the rate of weight loss in apples include climatic conditions, cultivar, fruit size, tree age, orchard management, nutritional status, and stage of maturity at harvest. Postharvest factors such as storage temperature, relative humidity, type of storage system, and storage duration also play a decisive role in the severity of juice loss. The aim of this article is to review the factors affecting apple waste throughout the entire supply chain. In this review, the interrelationship between preharvest and postharvest factors and their role in the management of apple weight loss and waste are analyzed in an integrated manner. Finally, this review provides practical solutions to reduce water loss, maintain storage quality, and manage apple waste in the supply chain.

Keywords: Apple weight loss, postharvest quality, apple waste, controlled atmosphere.

۱- مقدمه

سیب (*Malus × domestica* Borkh.) متعلق به خانواده گل‌سرخیان (Rosaceae) بوده و یکی از مهم‌ترین میوه‌های دانه‌دار جهان محسوب می‌شود. این میوه از دو تا پنج برچه تشکیل شده که توسط بافتی گوشتی، آبدار و ترد احاطه شده‌اند. سیب در بیش از ۶۳ کشور جهان و در شرایط اقلیمی متنوع از مناطق معتدل تا نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود، اگرچه تولید تجاری آن عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۵۲ درجه متمرکز است (Musacchi and Serra, 2018). بر اساس آخرین داده‌های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، تولید جهانی سیب در سال ۲۰۲۳ حدود ۹۷ میلیون تن گزارش شده است. همچنین سطح برداشت جهانی این محصول در سال‌های اخیر حدود ۴/۶ تا ۴/۸ میلیون هکتار برآورد شده است که نشان می‌دهد سیب همچنان یکی از مهم‌ترین محصولات باغی جهان از نظر سطح زیر کشت و حجم تولید محسوب می‌شود. در میان کشورهای تولیدکننده، چین با اختلاف چشمگیر بزرگ‌ترین تولیدکننده سیب جهان است و پس از آن ایالات متحده آمریکا، ترکیه، لهستان، هند، ایتالیا، ایران و روسیه قرار دارند (Oyenihi *et al.*, 2022). سیب از جمله میوه‌هایی است که قابلیت انبارمانی بالایی دارد و بسته به رقم، می‌تواند برای چندین ماه در شرایط هوای معمولی یا اتمسفر کنترل‌شده نگهداری شود. با وجود این قابلیت، سیب در طول دوره پس از برداشت با مشکلات متعددی از جمله کاهش وزن میوه، نرم‌شدگی بافت، بروز اختلالات فیزیولوژیک، پوسیدگی‌های قارچی و آسیب‌های مکانیکی مواجه می‌شود که این عوامل سبب کاهش کیفیت، کاهش عمر انباری و افزایش ضایعات محصول می‌گردند (Singh *et al.*, 2018). کاهش وزن سیب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت در دوره پس از برداشت محسوب می‌شود (Lufu *et al.*, 2020). افت وزن شدید آب در میوه سیب می‌تواند تغییراتی در ساختار موم‌های سطحی، افزایش شدت چروکیدگی پوست، نرم‌شدن بافت و کاهش کیفیت خوراکی ایجاد کند. این تغییرات نه تنها ارزش بازار محصول را کاهش می‌دهند، بلکه سهم قابل توجهی در افزایش ضایعات پس از برداشت دارند (Harker *et al.*, 2019).

۲- عوامل مؤثر در مرحله پیش از برداشت بر کاهش وزن میوه و ضایعات سیب

۲-۱- رقم

رقم یکی از مهم‌ترین عوامل پیش از برداشت است که بر ویژگی‌های مختلف کیفی، از جمله میزان کاهش وزن میوه در دوره‌های پس از برداشت، تأثیر می‌گذارد. هر رقم از لحاظ حساسیت به آسیب مکانیکی، مقاومت به بیماری‌ها، نیاز سرمایی، عمر انباری، اندازه و کیفیت میوه رفتار فیزیولوژیک متفاوتی دارد (Lufu *et al.*, 2020). قابلیت انبارمانی و کیفیت میوه سیب حتی زمانی که میوه‌ها تحت شرایط نگهداری مشابه قرار می‌گیرند، به ترکیب ژنتیکی رقم بستگی دارد. به‌عنوان مثال، میزان کاهش وزن در میوه‌های سیب که به مدت ۱۸۰ روز در سردخانه با دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، در میان ارقام مختلف متفاوت بوده است؛ به‌طوری‌که رقم 'Gala' با ۶/۴۳ درصد بیشترین و ارقام 'Golden Delicious' با ۴/۸۶ درصد، 'Starking Delicious' با ۳/۹۵ درصد و 'Star Cremson' با ۳/۸۳ درصد کاهش وزن میوه را نشان دادند (Ghafir, 2009). در گزارشی تغییرات فیزیولوژیک و ترکیب موم‌های سطحی ۱۰ رقم سیب را که به مدت ۴۹ روز در شرایط محیطی (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪) نگهداری شده بودند، بررسی کردند. در میان این ارقام، میوه رقم 'Red Star' بیشترین کاهش وزن (۸/۳۷ درصد) را نشان داد، در حالی که رقم 'Mutsu' کمترین میزان کاهش وزن میوه (۳/۶۴ درصد) را پس از ۴۹ روز دوره ماندگاری داشت (Chai *et al.*, 2020). در گزارشی تغییرات فیزیولوژیک و ترکیب موم‌های سطحی ۱۰ رقم سیب را که به مدت ۴۹ روز در شرایط محیطی (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪) نگهداری شده بودند، بررسی کردند. در میان این ارقام، میوه رقم 'Red Star' بیشترین کاهش وزن (۸/۳۷ درصد) را نشان داد، در حالی که رقم 'Mutsu' کمترین میزان کاهش وزن میوه (۳/۶۴ درصد) را پس از ۴۹ روز دوره ماندگاری قفسه‌ای داشت (Chai *et al.*, 2020). در گزارش دیگری، ۱۰ رقم سیب نگهداری‌شده در شرایط محیطی، با پیشرفت دوره ماندگاری تا ۴۹ روز، افزایش کاهش وزن میوه، پوسیدگی میوه و کاهش سفتی بافت را نشان دادند.

در میان تمامی ارقام، رقم 'Red Delicious' در روز پایانی ارزیابی در شرایط محیطی، ۲۴/۵ درصد اتلاف آب و ۷۴٪ پوسیدگی میوه را نشان داد که این وضعیت میوه را برای مصرف کنندگان غیرقابل قبول می‌سازد. با این حال، سیب رقم 'Red Delicious' تا ۱۴ روز دوره ماندگاری قفسه‌ای تنها ۷/۲۹ درصد اتلاف آب بدون بروز پوسیدگی داشت و همچنان قابلیت عرضه در بازار را حفظ کرد (Kishor *et al.*, 2018). به طور کلی، یک رقم مناسب برای کاهش ضایعات پس از برداشت سیب باید دارای مجموعه‌ای از ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و باغبانی مطلوب باشد. از نظر مورفولوژیک، میوه‌هایی با پوست ضخیم‌تر، لایه مومی (کوتیکول) توسعه‌یافته‌تر، استحکام بیشتر بافت گوشت، اندازه یکنواخت و مقاومت بالاتر به صدمات مکانیکی، معمولاً افت وزن کمتری داشته و در طی حمل‌ونقل و انبارمانی کمتر دچار آسیب می‌شوند. همچنین وجود کوتیکول ضخیم و تراکم کمتر روزنه‌ها در سطح میوه می‌تواند موجب کاهش تعرق و هدررفت آب شود. از نظر فیزیولوژیک، ارقام دارای سرعت تنفس و تولید اتیلن کمتر، حساسیت پایین‌تر به اختلالات فیزیولوژیک انباری و توانایی حفظ سفتی بافت در طول نگهداری، برای کاهش ضایعات مناسب‌تر هستند. علاوه بر این، مقاومت به آفات و بیماری‌ها، سازگاری با شرایط اقلیمی منطقه، عملکرد پایدار و قابلیت تحمل تنش‌های محیطی از دیگر ویژگی‌های مهم محسوب می‌شوند. در شرایط اقلیمی ایران، ارقامی نظیر Golden Delicious, Fuji, Granny Smith, Gala و در برخی مناطق Red Delicious به دلیل قابلیت انبارمانی مطلوب، حفظ کیفیت در دوره نگهداری و مقاومت نسبی به برخی اختلالات پس از برداشت، از گزینه‌های مناسب برای کاهش ضایعات محسوب می‌شوند. در میان این ارقام، فوجی به دلیل سفتی بالای بافت، حفظ رطوبت بهتر و قابلیت نگهداری طولانی‌مدت در شرایط سردخانه و اتمسفر کنترل‌شده، یکی از موفق‌ترین ارقام تجاری جهان و ایران در کاهش ضایعات پس از برداشت شناخته می‌شود (Musacchi *et al.*, 2018; and Serra, 2022).

۲-۲- مدیریت اصولی باغ

شیوه‌های مختلف مدیریت باغ از جمله هرس، آبیاری، تغذیه، مدیریت کف باغ، تنظیم بار درخت و محلول‌پاشی‌های

پیش از برداشت می‌توانند بر کیفیت میوه و میزان ضایعات آن در مراحل برداشت و پس از برداشت تأثیر قابل توجهی داشته باشند. از آنجا که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و فیزیولوژیکی میوه در طول فصل رشد شکل می‌گیرند، مدیریت صحیح باغ نقش اساسی در کاهش هدررفت آب و افزایش قابلیت انبارمانی سیب دارد. مدیریت آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت پس از برداشت سیب است. تغییرات نامنظم در وضعیت آب درخت، به ویژه وقوع تنش خشکی و آبیاری مجدد، می‌تواند موجب ایجاد ترک‌های ریز در پوست میوه، کاهش استحکام بافت و کاهش وزن میوه در طول نگهداری شود. نوسانات شدید رطوبتی در طول رشد میوه، نفوذپذیری پوست را افزایش داده و زمینه را برای افت وزن و چروکیدگی میوه در دوره پس از برداشت فراهم می‌کند. هرس مناسب نیز از طریق بهبود نفوذ نور و گردش هوا در تاج درخت بر کیفیت میوه اثرگذار است. میوه‌هایی که در شرایط نوری مطلوب رشد می‌کنند معمولاً دارای رنگ بهتر، کوتیکول توسعه‌یافته‌تر و استحکام بافت بیشتری هستند و در نتیجه مقاومت بالاتری در برابر هدررفت آب و ضایعات انباری دارند. علاوه بر این، هرس متعادل با کاهش رطوبت نسبی در داخل تاج درخت، خطر بروز بیماری‌های قارچی را کاهش می‌دهد. مدیریت کف باغ از طریق کنترل علف‌های هرز، استفاده از مالچ و یا پوشش‌های گیاهی مناسب، بر وضعیت رطوبتی خاک و کارایی جذب آب و عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد. حفظ رطوبت یکنواخت خاک و کاهش رقابت علف‌های هرز می‌تواند موجب تولید میوه‌هایی با کیفیت بالاتر و ماندگاری بیشتر شود (Maguire *et al.*, 2010). نیتروژن از عناصر کلیدی در رشد درخت است، اما مصرف بیش از حد آن می‌تواند موجب رشد رویشی شدید، کاهش استحکام بافت و افت قابلیت نگهداری میوه شود. مدیریت مناسب نسبت آمونیوم به نیتروژن کل موجب کاهش هدررفت آب و ضایعات پس از برداشت در ارقام Gala, Granny Smith و Alhaj-Alali *et al.* (2020). کلسیم مهم‌ترین عنصر غذایی مرتبط با قابلیت انبارمانی سیب محسوب می‌شود. این عنصر با افزایش استحکام دیواره سلولی و پایداری غشاها، از نرم شدن بافت و بروز اختلالاتی نظیر لکه تلخی جلوگیری می‌کند. محلول‌پاشی یا کاربرد کلرید کلسیم در زمان‌های فن‌دقی شدن میوه، گردویی

شدن میوه و تغییر رنگ زمینه میوه، موجب حفظ سفتی بافت و کاهش افت کیفیت در طول انبارمانی می‌شود. پتاسیم نیز در تنظیم روابط آبی گیاه، انتقال قندها و حفظ تعادل اسمزی سلول‌ها نقش اساسی دارد. تغذیه مناسب پتاسیم موجب بهبود اندازه، رنگ، سفتی بافت و تحمل بیشتر میوه به تنش‌های پس از برداشت می‌شود. فسفر نیز از طریق تقویت رشد ریشه، افزایش جذب آب و بهبود متابولیسم انرژی گیاه در تولید میوه‌هایی با کیفیت بالاتر نقش دارد. علاوه بر این، عناصر کم‌مصرفی مانند بور، روی و منیزیم در تشکیل دیواره سلولی، انتقال مواد فتوسنتزی و رشد طبیعی میوه مشارکت داشته و کمبود آنها می‌تواند موجب کاهش کیفیت و افزایش ضایعات شود (Elham and Borowik, 2011). در مجموع، مدیریت تلفیقی آبیاری، هرس، تغذیه و بهداشت کف باغ می‌تواند از طریق بهبود ویژگی‌های ساختاری و فیزیولوژیکی میوه، هدررفت آب را کاهش داده و ماندگاری سیب را در دوره پس از برداشت افزایش دهد.

۲-۳- مرحله بلوغ فیزیولوژیکی

مرحله رسیدگی در زمان برداشت، بر کیفیت پس از نگهداری و طعم میوه سیب تأثیر می‌گذارد. از میان شاخص‌های مختلف رسیدگی، در حال حاضر از تعداد روزها پس از گل‌دهی کامل، قدرت نگهداری میوه و جداسدن از درخت، شاخص استریف، شاخص پرلیم، و شاخص تیولت به عنوان شاخص‌های تعیین رسیدگی استفاده می‌شود. با این حال، قابلیت به‌کارگیری روش‌های تعیین رسیدگی، بسته به رقم، شرایط رشد، اقلیم و منطقه متفاوت است (Musacchi and Serra, 2018). مرحله رسیدگی به‌طور قابل توجهی بر توان نگهداری ارقام تجاری سیب اثر می‌گذارد. در گزارشی ارقام سیبی که در مراحل زودتر برداشت شده بودند، پس از ۱۵۰ روز نگهداری در دمای 1 ± 5 درجه سانتی‌گراد، کاهش وزن بیشتری (۳/۳۴ درصد) نسبت به میوه‌هایی که در مراحل میانی (۲/۲۶ درصد) و دیرتر (۱/۹۳ درصد) رسیدگی برداشت شده بودند، نشان دادند. سیب رقم Red Delicious که در مرحله رسیدگی دیرتر برداشت شده بود، در مقایسه با میوه‌هایی که در مرحله زودتری برداشت شده بودند، طی ۱۰۰ روز نگهداری در دمای 1 ± 2 درجه سانتی‌گراد، وزن میوه بیشتری را حفظ کرد (Ganai et al., 2018). همچنین در

تحقیق دیگری سیب‌های رقم Cripps Pink که برداشت آن‌ها ۴۲ روز پس از برداشت تجاری به تأخیر افتاد، به‌طور قابل توجهی کیفیت صادراتی میوه، رنگ قرمز سطح پوست، و میزان آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی را افزایش دادند. با این حال، میوه‌های برداشت دیر هنگام در طول نگهداری سردخانه‌ای به مدت ۱۳۵ روز در دمای 1 ± 0 درجه سانتی‌گراد، تولید داخلی اتیلن بیشتری نشان دادند و سفتی میوه در رقم سیب Cripps Pink کاهش یافت (Shafiq et al., 2011a, b). بر اساس نتایج تحقیقات انجام‌شده در داخل و خارج از کشور، به منظور کاهش ضایعات و هدررفت آب در سیب، توصیه می‌شود برداشت میوه در مرحله بلوغ فیزیولوژیک مناسب و بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌های رسیدگی شامل تعداد روز پس از گلدهی کامل، سفتی بافت، شاخص نشاسته، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراژ انجام شود. برداشت زود هنگام اگرچه ممکن است قابلیت نگهداری را افزایش دهد، اما معمولاً با کاهش کیفیت مصرفی، افزایش افت وزن و حساسیت بیشتر به چروکیدگی همراه است. از سوی دیگر، برداشت دیر هنگام با وجود بهبود رنگ و کیفیت ظاهری میوه، می‌تواند موجب افزایش تولید اتیلن، کاهش سفتی بافت و افزایش خطر بروز اختلالات انباری شود. بنابراین، تعیین زمان بهینه برداشت متناسب با رقم، شرایط اقلیمی منطقه و هدف بازاریابی، مهم‌ترین راهکار مدیریتی برای کاهش ضایعات پس از برداشت سیب محسوب می‌شود. در ارقام تجاری رایج، استفاده همزمان از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی رسیدگی به منظور تعیین دقیق زمان برداشت، به عنوان مؤثرترین راهکار برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری در دوره انبارمانی پیشنهاد شده است (Musacchi and Serra, 2018; Jan et al., 2012a; Ganai et al., 2018).

۳- عوامل مؤثر در مرحله پس از برداشت بر کاهش

وزن و ضایعات سیب

۳-۱- دمای نگهداری

دمای نگهداری پس از برداشت نقش حیاتی در کاهش فعالیت‌های متابولیک و کاهش ضایعات در محصولات باغبانی دارد. میوه‌های برداشت‌شده گرمای حاصل از مزرعه از طریق تبخیر آب به هوا منتقل می‌کنند تا تعادل پایداری با محیط برقرار شود، که این امر منجر به افزایش کاهش وزن میوه و

می‌گیرد که سیستم رطوبت نسبی آن‌ها با تولید بخار یا قطرات آب مه‌آلود، محیط مرطوب ایجاد می‌کند. اگرچه سیستم‌های تولید رطوبت از طریق بخار یا قطرات آب برای حفظ کیفیت داخل محفظه مفید هستند، اما ممکن است موجب تراکم بخار آب روی بسته‌بندی و میوه‌ها شوند که می‌تواند منجر به فساد میکروبی و کاهش کیفیت شود (Lufu et al., 2020). سیستم‌های مه‌پاشی همراه با رطوبت‌دهی اولتراسونیک و نانو-مه با قطر قطرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌توانند در کاهش اتلاف آب میوه سیب در دوره پس از برداشت تحت شرایط سردخانه، اتمسفر کنترل‌شده، اتمسفر کنترل دینامیک و اکسیژن بسیار پایین مفید باشند.

۳-۳- نگهداری سرد

گرمای میدانی می‌تواند کیفیت سیب تازه برداشت‌شده را کاهش دهد، زیرا باعث افزایش کاهش وزن قابل فروش میوه می‌شود که مستقیماً درآمد کشاورزان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Singh et al., 2022). محصولات تازه بدون پیش‌سردسازی (Pre-cooling) تا ۲۸٪ اتلاف آب بیشتری در طول زنجیره سرد تجربه می‌کنند. زنجیره سرد به‌طور گسترده برای حفظ محصولات باغی و افزایش طول عمر آن‌ها استفاده می‌شود و تمرکز اصلی آن بر مدیریت دما در کل زنجیره تأمین است. پیش‌سردسازی به‌عنوان اولین مرحله در سیستم زنجیره سرد برای حذف سریع گرمای میدانی از میوه‌های تازه برداشت‌شده استفاده می‌شود، که این امر باعث کاهش فعالیت‌های متابولیکی و افزایش ماندگاری در دوره پس از برداشت می‌گردد. روش‌های مختلف پیش‌سردسازی شامل سرمایش اتاقی، سرمایش با هوای اجباری، سرمایش آبی، سرمایش با یخ، سرمایش وکیوم و سرمایش با نیتروژن مایع در مقیاس تجاری آزمایش و استفاده شده‌اند (Duan et al., 2020). در مطالعه‌ای، سیب رقم 'Red Delicious' که پس از سرمایش آبی با روکش مومی پوشش داده شد، رنگ بهتر، کیفیت حسی بالاتر و محتوای آنتوسیانین بالاتری نسبت به میوه‌های نگهداری شده در سایه یا سرمایش اتاق طی ۱۰۰ روز نگهداری سرد حفظ کرد (Ganai et al., 2015). سرمایش آبی در کاهش هدر رفت آب مؤثر و مقرون به صرفه است، اما استفاده از آن محدود به میوه‌های داخل سبد بوده و کمتر برای کارتن‌ها کاربرد دارد. به همین دلیل، سرمایش با

رسیدگی زودهنگام می‌شود. دمای بالا اثرات مخربی بر پوست میوه دارد و نفوذپذیری غشاها را افزایش می‌دهد که باعث چروکیدگی پوست و کاهش کیفیت ظاهری می‌شود (Lufu et al., 2020). در پژوهشی سیب‌های رقم Cripps Pink و Granny Smith که به مدت ۱۲۰ روز در سردخانه با دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، تفاوت معنی‌داری در میزان کاهش وزن میوه (به ترتیب ۲/۳۹ و ۱/۵۴ درصد) نشان دادند (Tokala et al., 2021). در مقابل، سیب‌های Cripps Pink که در دمای بالاتر ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، طول دوره نگهداری به ۵۶ روز کاهش یافته و در پایان دوره ۱/۱۱ درصد هدر رفت آب نشان دادند (Thakur et al., 2019). دمای نگهداری همچنین بر کیفیت فیزیوشیمیایی میوه تأثیر می‌گذارد. برای مثال، سیب رقم Fuji هنگام نگهداری در صفر درجه سانتی‌گراد، سفتی بافت، مواد جامد محلول و اسیدیته بالاتری نسبت به نگهداری در دو درجه سانتی‌گراد طی شش ماه در ذخیره‌سازی اتمسفر کنترل‌شده نشان داد (Kweon et al., 2013). در مطالعه دیگری، سیب رقم Maxi Gala در دماهای ۲ و ۳ درجه سانتی‌گراد درصد بالاتری از میوه سالم و سفتی بیشتر و کیفیت نگهداری بهتری نسبت به میوه‌های ذخیره‌شده در صفر درجه سانتی‌گراد همراه با اتمسفر کنترل دینامیک طی نه ماه پس از هفت و ۱۴ روز ماندگاری قفسه‌ای نشان دادند (Wendt et al., 2022).

۳-۲- رطوبت نسبی

رطوبت نسبی یکی دیگر از عوامل مؤثر همراه با دما برای حفظ کیفیت نگهداری و افزایش دوره قابل عرضه سیب است. حتی تغییرات کوچک در درصد رطوبت نسبی در دمای پایدار می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش ضایعات میوه داشته باشد. بنابراین، رطوبت نسبی بهینه، به تنهایی یا در ترکیب با دیگر فناوری‌ها، برای کاهش وزن و حفظ کیفیت میوه در طول نگهداری ضروری است. رطوبت نسبی بهینه برای نگهداری طولانی‌مدت سیب بسته به رقم، بین ۹۰ تا ۹۵٪ است. میوه‌هایی که در رطوبت نسبی بالاتر از ۹۵٪ نگهداری می‌شوند، کاهش وزن میوه و سفتی بافت بیشتری داشته، اما در عین حال مستعد بروز اختلالات نگهداری متنوع هستند (Lidster, 1990). سیب معمولاً در محفظه‌های نگهداری قرار

هوای اجباری به عنوان جایگزینی برای کارتن‌ها استفاده می‌شود و در صنعت محصولات تازه در مقیاس تجاری بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (Gong *et al.*, 2021). این یافته‌ها نشان می‌دهند که پیش‌سردسازی مؤثر، کاهش هدر رفت آب و حفظ کیفیت فیزیکی و ارزش غذایی سیب را در دوره پس از برداشت تضمین و ضایعات را کاهش می‌دهد.

۳-۴- اتمسفر کنترل شده

فناوری CA به عنوان یکی از پیشرفت‌های مهم در علم پس از برداشت برای افزایش طول دوره نگهداری محصولات تازه شناخته می‌شود. این فناوری با کاهش غلظت اکسیژن محیط انبار از حدود ۲۱ درصد به یک تا سه درصد و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به حدود یک تا پنج درصد، موجب کاهش شدت تنفس، تأخیر در تولید اتیلن و کند شدن روند رسیدگی و پیری میوه می‌شود. سیب رقم 'Scarlet Spur' تحت شرایط ULO به‌طور چشمگیری کاهش آب را طی ۳۰۰ روز نگهداری پس از هفت روز در شرایط قفسه تجربه کرده است. این شرایط با کاهش سرعت متابولیسم میوه، تولید اتیلن را محدود کرده، سفتی بافت را حفظ نموده، روند افزایش مواد جامد محلول (SSC) را کند کرده و از کاهش سریع اسیدیته قابل تیتر (TA) در طول دوره نگهداری جلوگیری می‌کند. به طور خلاصه، CA و به‌ویژه ترکیب آن با ULO و ضد اتیلن‌ها یک راهکار مؤثر برای کاهش ضایعات و حفظ کیفیت سیب در طول نگهداری طولانی‌مدت است (Koyuncu and Onursal, 2021).

۳-۵- بسته‌بندی

بسته‌بندی یکی از تکنیک‌های پس از برداشت است که در زنجیره تأمین سیب از مزرعه تا مصرف‌کننده استفاده می‌شود. هدف اصلی آن محافظت از میوه‌های برداشت‌شده در برابر شرایط محیطی، حفظ کیفیت، تضمین ردیابی و افزایش طول عمر نگهداری است. مواد مختلفی برای بسته‌بندی استفاده می‌شوند. بسته‌بندی‌های سنتی شامل جعبه‌های چوبی و کارتن‌های موج‌دار هستند که بیشتر برای حمل و نقل به بازار به کار می‌روند و در کشورهای در حال توسعه کاربرد فراوان دارند. با این حال، بسته‌بندی‌های غیرسنتی مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)، بسته‌بندی پلی‌اتیلنی و فیلم‌های آغشته به پوشش‌ها یا مواد ضد رسیدن نیز مورد

استفاده قرار می‌گیرند. بسته‌بندی سنتی باعث آسیب‌پذیری سیب نسبت به صدمات مکانیکی، کاهش جذب شوک در حین حمل و نقل و کاهش طول عمر ذخیره‌سازی می‌شود. همچنین، بسته‌بندی فعال آغشته به ترکیبات ضد میکروبی باعث کاهش فساد میکروبی، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه برداشت‌شده شد. بسته‌بندی فعال ساخته‌شده از نانو تیتانیوم دی‌اکسید و عصاره پوست لیچی، میزان تنفس را محدود کرده، نرم‌شدن بافت، نشت یون و فعالیت پلی‌فنول اکسیداز را کاهش داده و کیفیت سیب 'Fuji' را طی ۱۸۰ روز ذخیره‌سازی سرد در دمای صفر $\pm$ یک درجه سانتی‌گراد حفظ کرده است. با توجه به نگرانی‌ها درباره ضایعات پلاستیکی، استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر برای تولید فیلم‌های نازک بسته‌بندی، که قادر به ایجاد اتمسفر داخلی اصلاح‌شده باشند، می‌تواند گزینه‌ای پایدار و مؤثر برای بسته‌بندی سیب باشد (Bhat *et al.*, 2022).

۳-۶- پوشش‌های خوراکی

استفاده از پوشش‌های خوراکی یکی از فناوری‌های نوین و ایمن برای حفظ کیفیت سیب محسوب می‌شود. عملکرد این پوشش‌ها بر اساس ایجاد اتمسفر داخلی اصلاح‌شده در سیب‌های پوشش‌داده شده است که تبادل گازی را محدود کرده و روند پیری میوه را در طول ذخیره‌سازی به تأخیر می‌اندازد (Hasan *et al.*, 2021). مواد مختلفی به عنوان پوشش خوراکی برای افزایش ماندگاری سیب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در ایالات متحده، استفاده از واکس‌های تجاری برای ایجاد براقیت در سیب رایج است و علاوه بر آن، باعث کاهش از دست رفتن آب، به تأخیر انداختن تولید اتیلن و افزایش طول عمر نگهداری می‌شود (Bai and Plotto, 2012). پوشش‌های ترکیبی کیتوزان و عصاره پوست موز یا لیچی باعث کاهش تنفس، کاهش SSC، کاهش آب‌زدایی، حفظ اسید اسکوربیک و کاهش اختلالات آب‌گزیدگی در سیب‌های پوشش‌داده‌شده در طول ذخیره‌سازی سرد ۱۸۰ روزه شدند (Jo *et al.*, 2014).

۴- نتیجه‌گیری کلی

بر اساس مرور ادبیات موجود، کاهش آب به عنوان یک شاخص پیچیده کیفیت سیب شناخته شده که با پاسخ‌های متابولیکی مختلف مرتبط بوده و تحت تأثیر عوامل متعدد

از برداشت مانند دما، رطوبت نسبی، سیستم رطوبت‌دهی و نوع ذخیره‌سازی تغییرات قابل توجهی در کاهش هدررفت آب و کیفیت میوه ایجاد می‌کنند. کاربرد روش‌های پس از برداشت مانند بسته‌بندی، سردخانه به همراه CA، ULO، استفاده از خنک‌سازی و پوشش‌های خوراکی می‌تواند راهکارهای موثری برای کاهش آب میوه و در نتیجه کاهش ضایعات سیب باشد، هرچند پاسخ میوه‌ها به این تکنولوژی‌ها ممکن است برای همه واریته‌ها در مقیاس تجاری یکسان نباشد. این مرور با رویکرد چندسطحی، اطلاعات جامعی برای کاهش ضایعات سیب در طول زنجیره ارزش پس از برداشت ارائه می‌دهد.

پیش از برداشت و پس از برداشت در طول زنجیره ارزش، از باغ تا مصرف، قرار دارد. لایه مومی پلیمره نقش مهمی در حفظ رطوبت، محافظت در برابر تنش‌های محیطی، آسیب‌ها و ترک‌خوردگی در طول ذخیره‌سازی سیب ایفا می‌کند. با این حال، میزان حساسیت به کاهش آب میوه بین واریته‌ها متفاوت است. همچنین، ریزترک‌ها روی سطح میوه سیب می‌توانند منجر به خشک شدن زودرس یا تأخیر در آن طی دوره پس از برداشت و افزایش ضایعات آن شوند. عوامل پیش از برداشت شامل رقم، مرحله رسیدگی، برنامه تغذیه و آبیاری می‌توانند در کاهش هدر رفت آب مؤثر باشند. متغیرهای پس

تضاد و تعارض منافع - نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با اثر منتشر شده است رد می‌نمایند.

فهرست منابع

- Alhaj-Alali, F., Askari Sarcheshmeh, M. A., & Babalar, M. (2020). The influence of various levels of ammonium to total nitrogen on post-harvest performance of three apple cultivars (*Golab Kohans, Gala, and Granny Smith*). *DYSONA-Applied Science*, 1(1), 11–19.
- Bhat, S. A., Rizwan, D., Mir, S. A., Wani, S. M., & Masoodi, F. (2022). Advances in apple packaging: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 1–13.
- Chai, Y., Li, A., Wai, S. C., Song, C., Zhao, Y., Duan, Y., Zhang, B., & Lin, Q. (2020). Cuticular wax composition changes of 10 apple cultivars during postharvest storage. *Food Chemistry*, 324, 126903.
- Duan, Y., Wang, G.-B., Fawole, O. A., Verboven, P., Zhang, X.-R., Wu, D., Opara, U. L., Nicolai, B., & Chen, K. (2020). Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 278–291.
- Elham, S., Vali, R., & Yavar, S. (2011). Effect of calcium chloride (CaCl₂) on postharvest quality of apple fruits. *African Journal of Agricultural Research*, 6(22), 5139–5143.
- Ganai, S., Ahsan, H., Wani, I., Lone, A., Mir, S., & Wani, S. (2015). Colour changes during storage of apple cv. Red delicious-influence of harvest dates, precooling, calcium chloride and waxing. *International Food Research Journal*, 22(1), 196.
- Ganai, S. A., Ahsan, H., Tak, A., Mir, M., Rather, A., & Wani, S. (2018). Effect of maturity stages and postharvest treatments on physical properties of apple during storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3), 310–316.
- Ghafir, S. A. (2009). Physiological and anatomical comparison between four different apple cultivars under cold-storage conditions. *Acta Biologica Szegediensis*, 53(1), 21–26.
- Gong, Y.-F., Cao, Y., & Zhang, X.-R. (2021). Forced-air precooling of apples: Airflow distribution and precooling effectiveness in relation to the gap width between tray edge and box wall. *Postharvest Biology and Technology*, 177, 111523.
- Harker, F., Feng, J., Johnston, J., Gamble, J., Alavi, M., Hall, M., & Chheang, S. (2019). Influence of postharvest water loss on apple quality: The use of a sensory panel to verify destructive and nondestructive instrumental measurements of texture. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 32–37.

- Hasan, M. U., Riaz, R., Malik, A. U., Khan, A. S., Anwar, R., Rehman, R. N. U., & Ali, S. (2021). Potential of Aloe vera gel coating for storage life extension and quality conservation of fruits and vegetables: An overview. *Journal of Food Biochemistry*, 45(4), e13640.
- Jan, I., Rab, A., & Sajid, M. (2012a). Storage performance of apple cultivars harvested at different stages of maturity. *Journal of Animal and Plant Science*, 22, 438–447.
- Jo, W.-S., Song, H.-Y., Song, N.-B., Lee, J.-H., Min, S. C., & Song, K. B. (2014). Quality and microbial safety of 'Fuji' apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. *LWT-Food Science and Technology*, 55(2), 490–497.
- Kishor, A., Narayan, R., Brijwal, M., Attri, B. L., Kumar, A., & Debnath, S. (2018). Storage behaviour of apple cultivars under ambient conditions. *Indian Journal of Horticulture*, 75(2), 319–325.
- Kweon, H.-J., Kang, I.-K., Kim, M.-J., Lee, J., Moon, Y.-S., Choi, C., Choi, D. G., & Watkins, C. B. (2013). Fruit maturity, controlled atmosphere delays and storage temperature affect fruit quality and incidence of storage disorders of 'Fuji' apples. *Scientia Horticulturae*, 157, 60–64.
- Koyuncu, M. A & Onursal, C. E., (2021). Role of controlled atmosphere, ultra-low oxygen or dynamic controlled atmosphere conditions on quality characteristics of 'Scarlet Spur' apple fruit. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(3), 267–275.
- Lidster, P. (1990). Storage humidity influences fruit quality and permeability to ethane in 'McIntosh' apples stored in diverse controlled atmospheres. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(1), 94–96.
- Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519.
- Maguire, K. M., Banks, N. H., & Opara, L. U. (2010). Factors affecting weight loss of apples. In *Horticultural Reviews* 25, 197–234.
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430.
- Oyenihi, A. B., Belay, Z. A., Mditshwa, A., & Caleb, O. J. (2022). An apple a day keeps the doctor away: The potentials of apple bioactive constituents for chronic disease prevention. *Journal of Food Science*, 87, 2291–2309.
- Shafiq, M., Singh, Z., & Khan, A. S. (2011a). 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), 2520–2529.
- Shafiq, M., Singh, Z., & Khan, A. S. (2011b). Delayed harvest improves red blush development and quality of 'Cripps Pink' apple. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 715–723.
- Singh, Z., Payne, A. D., Khan, S. A. K. U., & Musa, M. M. (2018). Method of retarding an ethylene response. (USA Patent No.) U.S. Patent Application 15/772,324, filed November 15, 2018.
- Singh, Z., Tokala, V. Y., Hasan, M. U., & Woodwards, A. (2022). Postharvest management of apple quality. In C. Fabrizio (Ed.), *Improving the quality of apples*. Burleigh Dodds Science Publishing. 195-230.
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based edible coating formulation: Optimization and its application to improve the postharvest quality of "Cripps pink" apple under different temperature regimes. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100409.
- Tokala, V. Y., Singh, Z., & Kyaw, P. N. (2021). Postharvest fruit quality of apple influenced by ethylene antagonist fumigation and ozonized cold storage. *Food Chemistry*, 341, 128293.
- Wendt, L. M., Ludwig, V., Rossato, F. P., Berghetti, M. R. P., Schultz, E. E., Thewes, F. R., ... & Both, V. (2022). Combined effects of storage temperature variation and dynamic controlled atmosphere after long-term storage of 'Maxi Gala' apples. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100770.