

دستنامه فنی:

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

فوزان بدیعی، ندا مفتون آزاد و شهین زمردی



بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

دستنامه فنی

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب
برای بازارهای داخلی و صادراتی

تهیه و تدوین

فوژان بدیعی، ندا مفتون‌آزاد و شهین زمردی

به ترتیب، اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی
و مهندسی کشاورزی و مراکز تحقیقات و آموزش
کشاورزی و منابع طبیعی فارس و آذربایجان غربی

سال انتشار

۱۴۰۵



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: دستنامه فنی

عنوان نوشتار: راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی
و صادراتی

نگارندگان: فوژان بدیعی، ندا مفتون آزاد و شهین زمردی

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۵



مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ۷۰۰۲۹ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۵/۰۶/۲۹

مخاطبان دستنامه

- کارشناسان و مروجان پهنه‌های تولید
- تولیدکنندگان مواد بسته‌بندی
- واحدهای بسته‌بندی و صادرکنندگان محصولات کشاورزی

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این دستنامه با:

اصول علمی، استانداردهای فنی، و راهکارهای عملی
بسته‌بندی و نگهداری محصول سیب و نیز با حفظ کیفیت،
ارتقای ماندگاری و بالابردن ارزش بازار آن در مسیر تولید تا
مصرف

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

فصل اول..... ۱

اهمیت بسته‌بندی و وضعیت موجود سیب..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۱

۱-۲- فناوری پس از برداشت در سیب..... ۳

۱-۳- جایگاه سیب ایران در تولید و صادرات..... ۹

۱-۴- تحلیل وضعیت بازار جهانی سیب تازه..... ۱۱

۱-۵- وضعیت جهانی بسته‌بندی سیب تازه..... ۱۳

۱-۶- وضعیت بسته‌بندی سیب در ایران..... ۱۷

۱-۷- نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای بسته‌بندی سیب

در ایران..... ۱۹

فصل دوم..... ۲۳

ماهیت محصول سیب و چالش‌های پس از برداشت..... ۲۳

۱-۲- مقدمه..... ۲۳

۲-۲- ویژگی‌های فیزیولوژیکی سیب..... ۲۴

۲-۳- مدیریت بلوغ و برداشت سیب..... ۲۷

۲-۴- شدت تنفس و ماندگاری در انبار..... ۲۷

۲-۵- شاخص‌های بلوغ و کیفیت سیب در تصمیم‌گیری برای

برداشت و بسته‌بندی..... ۲۸

- ۲-۶- بیماری‌ها و اختلال‌های ایجاد شده در حین بسته‌بندی و نگهداری سیب ۳۵
- ۲-۷- بسته‌بندی مناسب برای کاهش شیوع بیماری یا آلودگی در سیب تازه ۴۲
- ۲-۸- نقش بسته‌بندی در کاهش آلودگی و بیماری ۴۳
- ۲-۹- ویژگی‌های بسته‌بندی مناسب برای سیب تازه ۴۴
- ۲-۱۰- ارتباط آسیب‌دیدگی مکانیکی با افزایش خطر بیماری ۴۷
- ۲-۱۱- جایگاه بسته‌بندی‌های نوین ۴۷
- ۲-۱۲- جمع‌بندی ۴۸

فصل سوم ۵۰

مدیریت عملیات پس از برداشت: از مدیریت درون

- باغ تا بسته‌بندی در محل ۵۰
- ۳-۱- مقدمه ۵۰
- ۳-۲- مدیریت آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب ۵۰

فصل چهارم ۷۰

آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب برای بازار ۷۰

- ۴-۱- مقدمه ۷۰
- ۴-۲- مراحل آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب برای عرضه به بازار ۷۱
- ۴-۳- فناوری‌های نوین بسته‌بندی ۷۵

فصل پنجم..... ۹۰

بسته‌بندی سیب بر اساس بازارهای هدف و ویژگی‌های

فنی..... ۹۰

۵-۱- مقدمه..... ۹۰

۵-۲- بسته‌بندی سیب تازه..... ۹۱

فصل ششم..... ۹۴

تطابق بسته‌بندی سیب با استانداردهای بین‌المللی

صادرات..... ۹۴

۶-۱- مقدمه..... ۹۴

۶-۲- الزام‌های بسته‌بندی صادراتی..... ۹۸

نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۱۰۸

منابع..... ۱۱۰

خلاصه

این دستنامه با عنوان «راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی» به تبیین اصول علمی و راهکارهای اجرایی بسته‌بندی سیب در زنجیرهٔ پس از برداشت می‌پردازد. هدف اصلی آن افزایش ماندگاری، حفظ کیفیت و کاهش تلفات سیب در مراحل حمل‌ونقل، نگهداری و عرضه است. مخاطبان اصلی دستنامه شامل کارشناسان ترویج، تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان مواد بسته‌بندی، واحدهای بسته‌بندی و صادرکنندگان محصولات کشاورزی هستند. محتوای دستنامه از اهمیت بسته‌بندی و ویژگی‌های بازار سیب آغاز می‌شود و پس از آن به جنبه‌های فیزیولوژیکی میوه، آماده‌سازی در باغ، اصول بسته‌بندی و الزام‌های بازارهای هدف می‌پردازد.

دستنامه تأکید می‌کند که سیب به دلیل تنفس پس از برداشت، تولید اتیلن، حساسیت به ضربه و افت رطوبت، محصولی فسادپذیر است؛ بنابراین، بسته‌بندی تنها برای حمل‌ونقل محصول نیست، بلکه بخشی اساسی از مدیریت پس از برداشت به‌شمار می‌رود. در این راستا، بسته‌بندی مطلوب باید دارای استحکام مکانیکی باشد، تهویهٔ مناسب را برقرار کند، در برابر فشار و سوراخ‌شدگی مقاومت داشته باشد، از لحاظ اقتصادی باصرفه باشد، بهداشت کافی را تأمین کند و امکان برچسب‌گذاری و ردیابی را داشته باشد. همچنین

هماهنگی با زنجیرهٔ سرد، رعایت استانداردهای ملی و بین‌المللی، و توجه به نیاز بازار هدف از توصیه‌های کلیدی است که برای بسته‌بندی در نظر می‌گیرند. پیام محوری دستنامه این است که بسته‌بندی علمی و استاندارد می‌تواند کیفیت محصول را حفظ کند، ضایعات را کاهش دهد و در ارتقای فروش و برند ملی مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی سیب؛ مدیریت پس از برداشت؛ زنجیرهٔ سرد؛ کاهش ضایعات؛ کیفیت محصول؛ استانداردهای صادراتی؛ ردیابی محصول.

فصل اول

اهمیت بسته‌بندی و وضعیت موجود سیب

۱-۱-مقدمه

میوه‌ها و سبزی‌ها بخش اصلی رژیم غذایی جمعیت انسانی در سراسر جهان شناخته می‌شوند زیرا سرشار از ترکیبات مغذی و تقویت‌کننده سلامت هستند. با افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای میوه‌ها و سبزی‌ها نیز در حال افزایش است. میوه‌ها و سبزی‌ها به دلیل آنکه زنده هستند فرآورده‌های متابولیکی مانند تنفس را حتی پس از برداشت ادامه می‌دهند و از این رو دچار تغییرات مداوم می‌شوند. در فرآیند تنفس، ذخایر کربوهیدرات‌ها و دیگر پیش‌سازها مانند اسیدهای آلی، پروتئین‌ها و چربی‌ها متابولیز می‌شوند و پس از برداشت نمی‌توان آن‌ها را جایگزین کرد. در نتیجه به تدریج و با گذشت زمان، کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت کاهش می‌یابد. از آنجا که میوه‌ها و سبزی‌ها بسیار فسادپذیرند، مستعد خسارت و فساد پس از برداشت هستند و این مسئله یکی از موانع اصلی برای دسترسی

مصرف‌کنندگان به این محصولات مغذی به‌شمار می‌رود (بات^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

سیب، با نام علمی *Malus domestica*، متعلق به خانواده Rosaceae است. این میوه از پرمصرف‌ترین میوه‌ها در سراسر جهان است و به دلیل فواید تغذیه‌ای و کاربردهای متنوع آن، میوه‌ای ارزشمند به‌شمار می‌آید. با این حال، کیفیت و عمر ماندگاری آن به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی مانند دما، رطوبت و آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی طی ذخیره‌سازی و حمل و نقل قرار می‌گیرد. بنابراین سیب اگر در مراحل حمل و نقل، انبارداری و توزیع در سطح خرده‌فروشی‌ها کمترین آسیب را ببیند مقدار زیادی از تلفات آن کاهش می‌یابد. برای پاسخگویی به تقاضای مصرف‌کنندگان برای سیب‌های باکیفیت و با عمر ماندگاری طولانی باید راهبردهای بسته‌بندی مناسبی به کار گرفته شود.

این نوشتار به بررسی اهمیت بسته‌بندی محصولات کشاورزی، جایگاه سیب ایران در تولید و صادرات، وضعیت و چالش‌های بسته‌بندی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و انواع بسته‌بندی، الزام‌های بازارهای بین‌المللی و سرانجام راهکارهای ارتقای بسته‌بندی سیب می‌پردازد.

¹ Bhat

۱-۲- فناوری پس از برداشت در سیب

فناوری پس از برداشت در سیب، به مجموعه کامل اقدامات و عملیات جابه‌جایی از مزرعه (مرحله برداشت) تا بازار اطلاق می‌شود که هدف آن حفظ کیفیت و سلامت سیب‌های تازه در سراسر زنجیره توزیع است. در اینجا توضیحاتی در باره هدف اصلی یعنی حفظ کیفیت سیب ارائه می‌شود.

- حفظ کیفیت سیب: کیفیت میوه‌ها بر اساس ظاهر، بافت، طعم، مزه و ارزش غذایی آن‌ها ارزیابی می‌شود. باغداران معمولاً برای کاهش ضایعاتی که عمدتاً در مراحل برداشت، بسته‌بندی و حمل‌ونقل رخ می‌دهد، تلاش می‌کنند میوه‌ها را پیش از رسیدن کامل آن‌ها (به‌صورت نارس) برداشت کنند. میوه‌های نارس به سطح بلوغ لازم برای دستیابی به کیفیت مطلوب خوراکی (شامل قندها، طعم و توسعه رنگ) نرسیده‌اند؛ از این‌رو، به دلیل تمایل نداشتن مصرف‌کنندگان به خرید میوه‌های نارس، این قبیل محصولات از سوی آنان پذیرفته نمی‌شوند. این امر منجر می‌شود به اینکه محصول در سطح خرده‌فروشی پذیرفته نشود، فروش کاهش یابد، و میوه‌ها به دلیل کیفیت نامطلوب دور ریخته شوند.

باغداران سیب برای تولید محصولات باکیفیت، نیازمند شناخت شاخص‌های کیفی سیب هستند. دست‌اندرکاران (شامل تجار، مدیران سردخانه‌ها و بسته‌بندی‌کنندگان) نیز

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

باید با این شاخص‌ها آشنا باشند تا بتوانند کیفیت محصول را پس از برداشت، در دوره انبارداری و هنگام عرضه حفظ کنند. تلفات و دورریز سیب عمدتاً ناشی از تولید میوه‌هایی با شاخص‌های کیفی پایین است. بنابراین، شناخت دقیق شاخص‌های کیفی سیب به کاهش ضایعات محصول کمک می‌کند و بازده مالی بیشتری را برای تمامی ذی‌نفعان زنجیره تأمین سیب به همراه خواهد داشت زیرا محصول نهایی با قیمتی ممتاز (بالا تر) به فروش خواهد رسید. در جدول ۱-۱ شاخص‌های کیفی سیب نشان داده شده‌است.

جدول ۱-۱- شاخص‌های کیفی عمومی برای تمامی ارقام سیب

ویژگی‌ها	شاخص‌های کیفی
رنگ، شکل، اندازه	ویژگی‌های ظاهری
مزه، طعم، بافت، عطر	ویژگی‌های حسی
سفت و ترد	بافت
آسیب‌دیدگی‌های ناشی از یخ‌زدگی، آسیب دیدگی‌های ناشی از گرما	عاری بودن از ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی
ضرب‌دیدگی، پوسیدگی، ترک‌های ناحیه دم‌میوه یا گلگاه، لکه‌تلخی ^۱ ، سوختگی سطحی ^۲ ، قهوه‌ای شدن داخلی یا چروکیدگی	عاری بودن از عیوب

^۱ Bitter pit

^۲ Scald

- تضمین ایمنی مواد غذایی: امروزه مصرف‌کنندگان نگرانی‌های فزاینده‌ای دربارهٔ بیماری‌های ناشی از مواد غذایی دارند. مسئولیت پرورش‌دهندگان و عوامل دخیل در عملیات پس از برداشت، به‌کارگیری شیوه‌هایی است که ضمن جلوگیری از آلودگی سیب، ایمنی غذایی محصول را تضمین کند. دلایل و منابع اصلی بروز مشکلات ایمنی مواد غذایی در حین عملیات پس از برداشت، در سه دسته کلی زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- مخاطرات فیزیکی: در فرآیند بسته‌بندی، احتمال ورود اقلام خطرناک مانند مگنه، میخ، پیچ، خرده‌های شیشه یا چوب به داخل جعبه‌های سیب وجود دارد.
- مخاطرات شیمیایی: آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، جونده‌کش‌ها، روان‌کننده‌های ماشین‌آلات (مورد استفاده در لیفتراک‌ها یا تجهیزات خط بسته‌بندی) و ترکیبات به‌کاررفته برای پاکسازی و ضدعفونی‌کردن تجهیزات، در صورت تماس با سیب، به عنوان مخاطرات شیمیایی در نظر گرفته می‌شوند.
- پاتوژن‌های انسانی (عوامل بیماری‌زا): خاک و فضولات می‌توانند حامل باکتری‌ها یا قارچ‌هایی

باشند که منجر به آلودگی سیب‌ها می‌شوند
(کیتینوجا و کادر^۱، ۲۰۰۲).

- کاهش تلفات و دورریز پس از برداشت: ضایعات پس از برداشت به تلفاتی اطلاق می‌شود که در فاصله میان مراحل برداشت و مصرف رخ می‌دهند. این ضایعات می‌توانند ماهیت فیزیکی، ظاهری (زیبایی‌شناختی) یا تغذیه‌ای داشته باشند و منجر به خسارت اقتصادی برای فعالان زنجیره ارزش شوند.

- فیزیکی: این ضایعات می‌توانند ناشی از هجوم حشرات، آفات، کنه‌ها، چونندگان، پرندگان یا ناشی از نحوه جابه‌جایی و حمل‌ونقل باشند. این نوع فساد باعث می‌شود تا سیب‌ها برای مصرف انسانی نامناسب (غیرقابل قبول) گردند و در نتیجه رد شوند که این امر مستقیماً به ضایعات مواد غذایی می‌انجامد.

- ظاهری: ضایعات ظاهری شامل عیب‌هایی مانند لکه‌ها، کبودی‌ها (ضرب‌دیدگی‌ها)، تغییر شکل میوه‌ها و تغییر رنگ مطلوب آن‌هاست. میوه‌هایی با عیب‌هایی ظاهری ممکن است همچنان قابل مصرف باشند، یا ممکن است دور ریخته شوند که در این صورت نیز منجر به هدررفت یا ضایعات مواد غذایی می‌شوند.

¹ Kitinoja and Kader

- تغذیه‌ای: افت کیفیت تغذیه‌ای در سیب به دلیل تغییرات شیمیایی در کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها رخ می‌دهد.
- اقتصادی: کاهش یا از دست رفتن ارزش اقتصادی ناشی از افت کیفی که موجب فروش سیب‌ها با قیمتی پایین‌تر می‌شود یا در صورت دور ریختن میوه، منجر به اتلاف کامل ارزش آن می‌گردد.

۱-۲-۱- اهمیت بسته‌بندی محصولات کشاورزی در

زنجیرهٔ پس از برداشت

حفظ کیفیت و ایمنی مواد غذایی، همراه با کاهش ضایعات پس از برداشت، برای تداوم نظام غذایی پایدار ضروری است. بسته‌بندی یکی از مهم‌ترین عملیات پس از برداشت است که نقش مهمی در کنترل خسارات پس از برداشت میوه دارد. به‌عنوان بخشی ضروری از زنجیرهٔ تأمین، بسته‌بندی نقش حیاتی در افزایش عمر ماندگاری محصولات فسادپذیر مانند میوه‌ها و سبزی‌ها دارد. بسته‌بندی در سراسر مراحل پس از برداشت، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی از محصولات تازه محافظت و در نتیجه دسترسی مصرف‌کنندگان را به بهترین شکل ممکن تضمین می‌کند.

چهار کارکرد اصلی و در عین حال به هم پیوسته بسته‌بندی عبارت‌اند از: در برگیری^۱، حفاظت^۲، سهولت استفاده^۳ و اطلاع‌رسانی^۴. نقش اساسی بسته‌بندی، دربرگرفتن محصول غذایی و محافظت از آن در برابر عوامل خارجی و آسیب‌دیدگی‌های احتمالی است. کارکردهای دیگر مانند قابلیت ردیابی^۵ و نشانگر دستکاری یا بازشدگی بسته^۶ از نظر اهمیت در مرتبه دوم قرار دارند (رابرتسون^۷، ۲۰۱۴).

بسته‌بندی برای محصولات تازه، لایه‌ای اضافی از حفاظت فراهم می‌کند تا کیفیت آن‌ها در هنگام حمل به بازارهای دوردست برای عرضه و فروش حفظ شود.

بسته‌بندی ایده‌آل برای میوه‌ها و سبزی‌ها باید دارای ویژگی‌های زیر باشد: (بالا^۸ و کومار، ۲۰۱۸)

۱. ماده‌ای که برای بسته‌بندی انتخاب شده استحکام مکانیکی مناسب داشته باشد.

۲. جابه‌جایی و عملیات حمل را در سراسر زنجیره تأمین تسهیل کند.

¹ Containment

² Protection

³ Convenience

⁴ Communication

⁵ Traceability

⁶ Tamper indication

⁷ Robertson

⁸ Bala and Kumar

۳. مقاومت فشاری و مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی داشته باشد تا بتواند بار ناشی از چیدمان روی هم در انبار یا هنگام حمل و نقل را تحمل کند.

۴. از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

۵. فرآیند طبیعی متابولیکی میوه‌ها و سبزی‌ها را نباید مختل کند؛ بدین معنا که تهویه مناسب را برای حفظ تنفس هوازی و تبادل گازها برقرار کند تا کیفیت محصول حفظ شود.

۶. از اتلاف رطوبت جلوگیری کند تا تازگی محصول حفظ شود.

۷. تمامی الزام‌های قانونی مرتبط با حفظ سلامت مصرف‌کننده را برآورده سازد.

۸. برچسب‌گذاری مناسب داشته باشد. برچسب باید تمامی اطلاعات ضروری مربوط به محصول داخل بسته را ارائه دهد.

۱-۳- جایگاه سیب ایران در تولید و صادرات

سیب یکی از پرکشت‌ترین محصولات کشاورزی در تمام مناطق معتدل جهان است و جایگاه مهمی در اقتصاد جهانی دارد. این میوه نقش قابل توجهی در تغذیه انسان دارد و به صورت تازه و فرآوری شده به طور گسترده مصرف می‌شود (پاتوکا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس آخرین آمار منتشرشده

¹ Patocka

از سوی وزارت جهادکشاورزی در سال ۱۴۰۳ ایران با سطح بارور ۲۵۴۶۰۷ هکتار باغ سیب، تولیدی حدود ۴/۴۱ میلیون تن داشته (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۳) و در جایگاه نهم از نظر تولید سیب درختی در جهان قرار گرفته‌است (فائو، ۲۰۲۴). این میوه یکی از محصولات باغی مهم از نظر صادرات محسوب می‌شود و در داخل کشور نیز از نظر اقتصادی دارای ارزش افزوده بسیار بالایی است. استان‌های آذربایجان غربی (به ویژه ارومیه و اشنویه)، آذربایجان شرقی، فارس، تهران، اصفهان، سمیرم، یزد و برخی از شهرهای شمالی کشور از مهم‌ترین مناطق تولید سیب در ایران هستند. در سال ۲۰۲۵ میلادی، مقدار کل صادرات سیب تازه ایران حدود ۱۷۸ هزار تن به ارزش ۹۵/۴ میلیون دلار بوده است؛ ایران در این زمینه در جایگاه سیزدهم صادراتی این محصول در جهان قرار گرفته‌است که سهم آن حدود ۱/۲ درصد صادرات سیب در جهان می‌شود. سیب ایران به بیش از ۲۳ کشور جهان صادر می‌شود (مجله الکترونیکی بازار، ۱۴۰۵). از کشورهای واردکننده سیب تازه ایران می‌توان به کشورهای عراق، امارات متحده عربی، ازبکستان، افغانستان، پاکستان، ترکمنستان، عمان، فدراسیون روسیه، هند، قزاقستان، تاجیکستان، قطر، قرقیزستان، ترکیه، سوریه، کویت، ارمنستان، گرجستان، لیبی، بلاروس، عربستان سعودی،

مغولستان، انگلستان (بریتانیا) اشاره کرد. از طرفی سیب ایران ظرفیت جذب بازارهای جهانی گسترده‌تری را نیز دارد.

۱-۴- تحلیل وضعیت بازار جهانی سیب تازه

بازار جهانی سیب تازه جایگاهی استراتژیک در سبد کالاهای کشاورزی جهان دارد و روندهای بلندمدت آن نشان‌دهنده پایداری و رشد مداوم است. بازار جهانی سیب تازه در سال ۲۰۲۵ حدود ۱۱۴/۴ میلیارد دلار برآورد شده است و پیش‌بینی می‌شود با نرخ رشد سالانه^۱ ۴ درصد تا سال ۲۰۳۴ به بیش از ۱۶۲/۸ میلیارد دلار برسد (پیش‌بینی داده‌های بازار^۲، ۲۰۲۶). در تحلیل‌های جامع‌تر که بخش‌های مرتبط با زنجیره تأمین مدرن را نیز در بر می‌گیرد، ارزش بازار جهانی سیب حدود ۹۷/۸ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ تخمین زده شده که انتظار می‌رود با رشد ۴/۶ درصد تا سال ۲۰۳۰ به ۱۲۲/۹ میلیارد دلار افزایش یابد (شرکت تحقیقات کسب‌وکار^۳، ۲۰۲۶). این رشد مستمر نشان‌دهنده تقاضای تغییرناپذیر مصرف‌کنندگان جهانی برای محصولات طبیعی و سالم و همچنین اتخاذ فناوری‌های نوین در کشاورزی، اصلاح‌نژاد ارقام مقاوم و گسترش شبکه‌های توزیع خرده‌فروشی آنلاین است.

^۱ Compound Annual Growth Rate (CAGR)

^۲ Market Data Forecast

^۳ The Business Research Company

چین بزرگترین تولیدکننده سیب، نقش تعیین‌کننده‌ای در تعادل عرضه جهانی دارد و پس از آن اتحادیه اروپا، ایالات متحده، ترکیه و ایران جزو تأمین‌کنندگان کلیدی بازار هستند. موفقیت کشورهای پیشرو در این حوزه مرهون زیرساخت‌های پیشرفته سردخانه‌ای، استانداردهای بالای بسته‌بندی، برندینگ ارقام خاص و زنجیره تأمین یکپارچه است که امکان صادرات سیب تازه به بازارهای دوردست را با حفظ کیفیت فراهم کرده است. چین بزرگ‌ترین صادرکننده سیب جهان شناخته شده است. با این حال واردات سیب به این کشور سالیانه به ۳۰۰ هزار و ۹۹۵ تن سیب می‌رسد (روزنامه اقتصادی تعادل، ۱۴۰۵).

بزرگ‌ترین واردکنندگان سیب تازه کشورهایی در اتحادیه اروپا (مانند آلمان)، آسیا (به‌ویژه هند) و خاورمیانه هستند. نوع تقاضا در این بازارها بسته به فرهنگ مصرف و استانداردهای کیفی متفاوت است؛ برخی بازارها تمرکز ویژه‌ای بر سیب‌های ممتاز^۱ و ارگانیک دارند و برخی دیگر به دنبال تعادل میان قیمت و کیفیت هستند. شناخت دقیق ویژگی‌های این بازارهای هدف برای توسعه صادرات حیاتی است. از لحاظ صادرات جهانی، چین، شیلی، نیوزیلند، آفریقای جنوبی و کشورهای اتحادیه اروپا به‌عنوان صادرکنندگان اصلی شناخته

¹ Premium

می‌شوند که با بهره‌گیری از تقویم‌های متنوع برداشت، بازار را در تمام طول سال تأمین می‌کنند.

۱-۵- وضعیت جهانی بسته‌بندی سیب تازه

بسته‌بندی سیب تازه در بازار جهانی، علاوه بر نقش حفاظتی، ابزاری مهم برای حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری، بازاریابی و ایجاد تمایز برند شناخته می‌شود. از آنجا که سیب از محصولات حساس به ضربه، فشار و تغییرات دمایی است، نوع بسته‌بندی در حفظ تازگی، کاهش ضایعات و موفقیت صادراتی اهمیت بالایی دارد. بسته‌بندی مناسب می‌تواند عمر نگهداری سیب را افزایش دهد و کیفیت آن را در مراحل حمل‌ونقل و توزیع حفظ کند (بات و همکاران، ۲۰۲۳). استانداردهای بین‌المللی تأکید دارند سیب باید به‌گونه‌ای بسته‌بندی شود که از محصول در برابر آسیب‌دیدگی‌های فیزیکی و آلودگی محافظت کند و مواد مورد استفاده در بسته‌بندی نیز تمیز، ایمن و استاندارد باشند (کدکس، ۲۰۱۰). کشورهای پیشرو در تولید و صادرات سیب، هر یک متناسب با بازار هدف و سطح فناوری خود، از روش‌های متفاوت و پیشرفته‌ای در بسته‌بندی استفاده می‌کنند. در بسته‌بندی سیب، علاوه بر روش‌های سنتی مانند جعبه‌های چوبی، کارتن‌های فیبری موج‌دار و سبدهای حمل، فناوری‌های نوینی مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده^۱

¹ Modified atmosphere packaging

بسته‌بندی فعال^۱ و پوشش‌های خوراکی نیز به کار گرفته می‌شوند که موجب افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه می‌شوند (بات و همکاران، ۲۰۲۳، یاهیا و کاریلو-لوپز^۲، ۲۰۱۸). مطالعات جدید نشان می‌دهند که صنعت بسته‌بندی میوه به تدریج به سمت سامانه‌های هوشمند و پایدار حرکت می‌کند که علاوه بر حفاظت فیزیکی، امکان پایش کیفیت محصول را نیز فراهم می‌کنند (پانو^۳ و همکاران، ۲۰۲۵).

در مقایسه با ایران، کشورهای پیشرو مانند چین، آمریکا، ایتالیا و فرانسه از فناوری‌های نوین، بسته‌بندی‌های استاندارد و طراحی‌های صادرات‌محور بهره می‌برند. چین که از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان سیب جهان است بیشتر از بسته‌بندی‌های اقتصادی و مقاوم استفاده می‌کند که برای حمل‌ونقل در مقیاس بالا و صادرات گسترده طراحی شده‌اند. استفاده از کارتن‌های چندلایه، سینی‌های محافظ و شبکه‌های فومی برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی‌های فیزیکی میوه در این کشور بسیار رایج است و تمرکز اصلی بر کاهش هزینه‌ها و حفظ کیفیت محصول در مسیرهای حمل‌ونقل طولانی است.

در ایالات متحده آمریکا، بسته‌بندی سیب بیشتر بر استانداردسازی، برندینگ و فناوری‌های نگهداری تمرکز دارد.

¹ Active Packaging

² Yahia and Carrillo- Lopez

³ Panou

استفاده از جعبه‌های مقاوم با تهویه مناسب، برچسب‌گذاری دقیق، کدهای رهگیری و بسته‌بندی‌های خرده‌فروشی کوچک از ویژگی‌های رایج بازار آمریکاست. فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند بسته‌بندی فعال، کنترل اتیلن و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده نیز برای کاهش تسریع در رسیدگی و افزایش عمر نگهداری سیب استفاده می‌شوند (بات و همکاران، ۲۰۲۳). پژوهش‌های اخیر نیز بر استفاده از حسگرها و سامانه‌های هوشمند برای پایش کیفیت میوه‌های فسادپذیر در زنجیره تأمین تأکید کرده‌اند (پانو و همکاران، ۲۰۲۵).

ایتالیا و فرانسه بیشتر بر طراحی‌های زیبا، بسته‌بندی‌های دوست‌دار محیط زیست و ایجاد ارزش افزوده تمرکز دارند. در این کشورها استفاده از مواد بازیافت‌پذیر، جعبه‌های مقوایی با طراحی جذاب و بسته‌بندی‌های کوچک و مناسب فروشگاه‌های زنجیره‌ای رایج است. بسته‌بندی سیب در بازارهای اروپایی علاوه بر محافظت فیزیکی، نقش مهمی در انتقال حس کیفیت، سلامت و اصالت محصول دارد. برچسب‌های چندزبانه، اطلاعات تغذیه‌ای و نشان‌های مربوط به تولید ارگانیک یا استانداردهای زیست‌محیطی نیز بخش مهمی از طراحی بسته‌بندی در این بازارها محسوب می‌شود. در کشورهای اروپایی، به‌ویژه آلمان، فرانسه و هلند گرایش به بسته‌بندی‌های پایدار و کاهش مصرف پلاستیک

به سرعت در حال افزایش است. استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر، طراحی بسته‌بندی‌های قابل بازیافت و کاهش مواد پلاستیکی غیرضروری به یکی از مهم‌ترین روندهای بسته‌بندی محصولات تازه تبدیل شده است. مصرف‌کنندگان این بازارها، علاوه بر کیفیت محصول، به جنبه‌های زیست‌محیطی بسته‌بندی نیز توجه ویژه‌ای دارند (یاهیا و کاریلو-لوپز، ۲۰۱۸). مطالعات جدید نیز نشان داده‌اند که توسعه بسته‌بندی‌های زیست‌پایه و تجزیه‌پذیر، یکی از راهکارهای اصلی کاهش آلودگی ناشی از پلاستیک در صنایع غذایی محسوب می‌شود (گارسیا-گارسیا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). در مجموع، بازار جهانی سیب تازه به سمت بسته‌بندی‌های هوشمند، پایدار و باکیفیت حرکت می‌کند؛ بسته‌بندی‌هایی که علاوه بر محافظت از محصول، موجب افزایش ماندگاری، کاهش ضایعات، تقویت برند و جلب اعتماد مصرف‌کننده می‌شوند. قابلیت ردیابی محصول، طراحی جذاب، استفاده از فناوری‌های نوین نگهداری و توجه به مسائل زیست‌محیطی از مهم‌ترین روندهای جهانی در بسته‌بندی سیب تازه به شمار می‌روند (بات و همکاران، ۲۰۲۳، پانو و همکاران، ۲۰۲۵). این روند نشان می‌دهد برای افزایش توان رقابتی ایران در صادرات سیب، بهبود طراحی بسته‌بندی، استفاده از مواد استاندارد و مقاوم، توسعه

¹ García García

بسته‌بندی‌های دوست‌دار محیط زیست و توجه به نیاز بازارهای هدف ضروری است.

۱-۶- وضعیت بسته‌بندی سیب در ایران

ایران یکی از تولیدکنندگان مهم سیب در جهان محسوب می‌شود و این محصول سهم قابل توجهی در صادرات محصولات باغی کشور دارد. با این حال، در مقایسه با کشورهای پیشرو در تولید و صادرات سیب، وضعیت بسته‌بندی این محصول در ایران هنوز با چالش‌هایی مواجه است. در بسیاری از مناطق تولیدکننده سیب، بسته‌بندی هنوز به صورت سنتی است و بیشتر از جعبه‌های چوبی یا کارتن‌های ساده برای حمل و نقل محصول استفاده می‌شود. این نوع بسته‌بندی‌ها اگرچه از نظر هزینه نسبتاً باصرفه هستند، اما در بسیاری از موارد نمی‌توانند حفاظت کافی را در برابر ضربه، فشار و آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی در طول حمل‌ونقل و توزیع فراهم کنند (یاهیا و کاریلو-لوپز، ۲۰۱۸).

در سال‌های اخیر استفاده از کارتن‌های فیری موج‌دار، سینی‌های مقوایی و شبکه‌های فومی برای کاهش آسیب فیزیکی سیب در برخی واحدهای بسته‌بندی و سردخانه‌ها در ایران گسترش یافته است. این نوع بسته‌بندی‌ها به‌ویژه در محصولاتی بیشتر استفاده می‌شوند که برای صادرات در نظر گرفته شده‌اند، زیرا بازارهای خارجی به بسته‌بندی استاندارد، مقاوم و بهداشتی اهمیت زیادی می‌دهند. در برخی واحدهای

پیشرفته‌تر نیز درجه‌بندی و سورتینگ^۱ سیب پیش از بسته‌بندی رخ می‌دهد تا محصول با اندازه و کیفیت یکنواخت به بازار عرضه شود.

یکی از چالش‌های مهم در بسته‌بندی سیب در ایران، نبود طراحی‌های استاندارد و صادرات‌محور در بسیاری از واحدهای تولیدی است. در بسیاری از موارد، بسته‌بندی بیشتر با هدف حمل محصول صورت می‌گیرد و کمتر به جنبه‌های بازاریابی، برندینگ و جذابیت ظاهری بسته‌بندی توجه می‌شود. در حالی که در بازارهای جهانی، بسته‌بندی نقش مهمی در ایجاد ارزش افزوده، جلب اعتماد مصرف‌کننده و افزایش رقابت‌پذیری محصول دارد (بات و همکاران، ۲۰۲۳). از سوی دیگر، استفاده محدود از فناوری‌های نوین بسته‌بندی مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده، بسته‌بندی فعال یا سامانه‌های هوشمند نیز از دیگر محدودیت‌های صنعت بسته‌بندی سیب در ایران به‌شمار می‌رود. این فناوری‌ها در کشورهای پیشرفته برای افزایش عمر نگهداری میوه و کاهش ضایعات پس از برداشت به‌طور گسترده استفاده می‌شود (پانو و همکاران، ۲۰۲۵). در ایران اگرچه توسعه سردخانه‌ها و مراکز درجه‌بندی در سال‌های اخیر پیشرفت‌هایی داشته است، اما استفاده گسترده از فناوری‌های پیشرفته بسته‌بندی هنوز در مراحل اولیه قرار دارد.

¹ sorting

با این حال، طی سال‌های اخیر توجه بیشتری به بهبود بسته‌بندی محصولات باغی در کشور شده است. توسعه واحدهای درجه‌بندی و بسته‌بندی مکانیزه، استفاده از کارتن‌های استاندارد صادراتی و طراحی بسته‌بندی‌های مناسب برای بازارهای هدف از اقداماتی است که در برخی مناطق تولیدکننده سیب در حال گسترش است. بهبود بسته‌بندی می‌تواند نقش مهمی در کاهش ضایعات پس از برداشت، افزایش ماندگاری محصول، بهبود کیفیت عرضه در بازارهای داخلی و افزایش رقابت‌پذیری سیب ایران در بازارهای صادراتی داشته باشد (فائو، ۲۰۱۸).

در مجموع، اگرچه ایران از نظر تولید سیب در جایگاه قابل توجهی در جهان قرار دارد، اما برای ارتقای جایگاه خود در بازارهای بین‌المللی، نیازمند توسعه فناوری‌های نوین بسته‌بندی، بهبود طراحی بسته‌بندی‌های صادراتی، استفاده از مواد سازگار با محیط زیست و توجه بیشتر به جنبه‌های بازاریابی و برندینگ در بسته‌بندی محصولات باغی است.

۱-۷- نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای

بسته‌بندی سیب در ایران

ایران ظرفیت عظیمی در تولید سیب دارد و مرغوبیت و کیفیت بالای سیب‌های تولیدی، مزیت رقابتی ذاتی برای کشور به شمار می‌رود. در مناطق اصلی تولید سیب، سیب‌های درجه یک و ممتاز با قابلیت بالای صادراتی تولید می‌شوند و

تنوع ژنتیکی بالای ارقام سیب با ویژگی‌های فیزیولوژیکی متنوع، این ظرفیت را تقویت می‌کند. وجود لایهٔ موم طبیعی روی پوست سیب، به‌عنوان محافظ بیولوژیکی، ماندگاری محصول را در فرآیند انبارداری و بسته‌بندی افزایش می‌دهد. با این حال، بزرگ‌ترین چالش این بخش نبود ماشین‌آلات مدرن برای درجه‌بندی دقیق و بسته‌بندی‌های استاندارد و صادرات‌محور است. با در نظر گرفتن رقیب‌های جهانی، بسته‌بندی‌های فعلی به‌لحاظ ظاهر و دوام ساختاری توان رقابت ندارند. افزون بر این، اختلاط سیب‌های باکیفیت با سیب‌های زیردرختی و صنعتی در سردخانه‌ها و نبود زنجیرهٔ تامین منسجم میان باغداران، باعث شده‌است حتی محصول مرغوب نیز در بسته‌بندی‌های نامناسب اعتبار خود را در بازارهای جهانی از دست بدهد.

فرصت‌های قابل‌توجهی برای بهبود این وضعیت وجود دارد. تجهیز سردخانه‌ها به واحدهای سورتینگ مکانیزه، استفاده از رایزنان بازرگانی برای معرفی برند سیب ایران در بازارهای مهمی مانند روسیه، هند و کشورهای حوزهٔ خلیج فارس، و نیز وضع استانداردهای اجباری برای صادرات، می‌تواند اعتماد خریداران خارجی را بازگرداند و ارزش افزودهٔ بیشتری برای باغداران ایجاد کند.

مهم‌ترین تهدیدها نیز مربوط می‌شود به رقابت شدید با کشورهایی مانند ترکیه و اسپانیا و ضعف لجستیکی در داخل

کشور. صنعت سیب ایران با خطر از دست دادن بازارهای سنتی مانند عراق و ترکیه روبه‌روست، زیرا رقیب‌های خارجی با وجود کیفیت پایین‌تر محصول، به‌دلیل بسته‌بندی‌های جذاب و علمی سهم بیشتری از بازار را به دست آورده‌اند. از سوی دیگر، کمبود ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار و معطلی طولانی در گمرک‌های مرزی موجب افت کیفیت محصولات بسته‌بندی و فساد این میوه فرازگرا پیش از رسیدن به مشتری نهایی می‌شود. در جدول ۱-۲ به نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی بسته‌بندی سیب ایران اشاره شده‌است تا مسیر توسعه پایدار و حضور مؤثر در بازارهای جهانی ترسیم شود.

جدول ۱-۲- نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی بسته‌بندی سیب ایران

نقاط قوت	نقاط ضعف	فرصت‌ها	تهدیدها
ظرفیت بالای تولید سیب در کشور	نبود سورتینگ و بسته‌بندی صادرات‌محور	تجهیز و توسعه صنایع سردخانه‌ای	از دست دادن بازارهای سنتی صادرات به رقبا
کیفیت و مرغوبیت ممتاز میوه	آسیب‌پذیری بیوشیمیایی محصول	ظرفیت ورود به بازارهای جدید و پرتقاضا	رقابت نابرابر بین‌المللی
قابلیت بالای صادرات	نبود فناوری‌های نوین بسته‌بندی	فعال‌سازی دیپلماسی تجاری و اعمال استانداردهای اجباری صادرات	نبود زنجیرهٔ سرما و لجستیک مناسب
تنوع ژنتیکی و ارقام	ذخیره‌سازی گریدهای مختلف کیفی سیب در انبار سرد	بهره‌گیری از پایه‌های رویشی جدید برای دستیابی به محصولاتی یکنواخت‌تر به-منظور سهولت در سورتینگ مکانیزه	ضعف در مدیریت بحران
مقاومت طبیعی پوست میوه	خرد بودن اراضی و باغ‌ها	ساماندهی واسطه‌ها در زنجیرهٔ ارزش	کاهش توان مالی باغداران
	نبود اتحادیه‌های منسجم میان باغداران برای هماهنگی در بازاریابی، قیمت‌گذاری و بسته‌بندی استاندارد	برای سرمایه‌گذاری روی بسته‌بندی	

فصل دوم

ماهیت محصول سیب و چالش‌های پس از

برداشت

۲-۱- مقدمه

سیب میوه‌ای است فرازگرا یعنی پس از برداشت همچنان بافتی زنده و فعال از نظر متابولیکی است و با مصرف اکسیژن و تولید دی‌اکسیدکربن به فعالیت تنفسی خود ادامه می‌دهد. بنابراین، ویژگی‌های فیزیولوژیکی این میوه، الزام‌های ویژه‌ای را برای بسته‌بندی ایجاد می‌کند. از یک سو، بسته‌بندی باید امکان تبادل کنترل‌شدهٔ گازها را فراهم آورد تا از تجمع بیش از حد دی‌اکسیدکربن و کاهش نامطلوب اکسیژن که می‌تواند به اختلالات فیزیولوژیکی، تخمیر و ایجاد بو و طعم نامطلوب منجر شود، جلوگیری گردد. از سوی دیگر، به دلیل تعرق و کاهش رطوبت میوه طی نگهداری، بسته‌بندی باید به حفظ رطوبت نسبی مطلوب و کاهش افت وزن، جلوگیری از چروکیدگی و کاهش سفتی بافت کمک کند بی‌آنکه تراکم رطوبت را بالا برد و رشد عوامل بیماری‌زا را گسترش دهد.

افزون بر این، تولید اتیلن در سیب می‌تواند رسیدگی، نرم‌شدن و پیرشدگی خود میوه و نیز محصولات حساس به اتیلن مجاور را تسریع کند. از این‌رو، استفاده از بسته‌بندی‌های دارای نفوذپذیری گازی مناسب، جاذب‌های اتیلن یا سامانه‌های فعال و هوشمند می‌تواند در حفظ کیفیت پس از برداشت سیب مؤثر باشد. حساسیت سیب به ضربه، فشار و سایش در مراحل برداشت، حمل‌ونقل و عرضه ضرورت استفاده از بسته‌بندی‌هایی با استحکام مکانیکی کافی، طراحی مناسب برای چیدمان و تهویه، و قابلیت جذب یا توزیع تنش‌های مکانیکی را نشان می‌دهد. در نتیجه، بسته‌بندی سیب را نمی‌توان فقط پوشش یا ظرف حمل‌ونقل دانست، بلکه بخشی از سامانه مدیریت پس از برداشت است که باید با شدت تنفس، تولید اتیلن، حساسیت به افت آب، شرایط دمایی و آسیب‌پذیری مکانیکی این میوه هماهنگ طراحی شود.

۲-۲- ویژگی‌های فیزیولوژیکی سیب

میوه‌ها بر اساس تفاوت در الگوی تنفس و تولید اتیلن که بر شیوه‌های بهینه مدیریت و نگهداری پس از برداشت تأثیر می‌گذارد، به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: (۱) میوه‌های فرازگرا^۱ و (۲) میوه‌های نافرازگرا^۲ (سالتویت^۳، ۲۰۰۴).

¹ Climacteric

² Non-climacteric

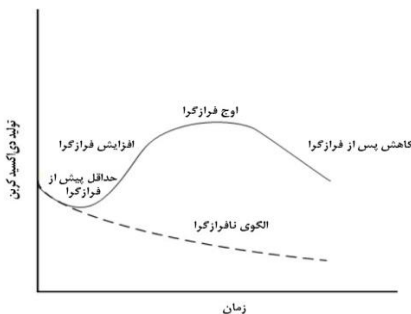
³ Saltveit

فصل دوم

میوه‌های فرازگرا به میوه‌هایی گفته می‌شود که فرآیند رسیدن آن‌ها با افزایش قابل توجه در شدت تنفس همراه است و این افزایش معمولاً با تولید بیشتر اتیلن ارتباط دارد؛ اتیلن هورمون طبیعی رسیدن در گیاهان محسوب می‌شود. پس از آنکه شدت تنفس و تولید اتیلن به اوج خود (اوج فرازگرا)^۱ می‌رسند، هر دو به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابند. شکل ۲-۱ الگوی تنفس و تولید اتیلن را در میوه‌های فرازگرا و نافرازگرا نشان می‌دهد (سالتویت^۲، ۲۰۰۴). از میوه‌های فرازگرا می‌توان به سیب، گوجه‌فرنگی، موز، آووکادو و هلو اشاره کرد. در مقابل، میوه‌های نافرازگرا چنین الگویی را نشان نمی‌دهند؛ تنفس این میوه‌ها طی فرآیند رسیدن و پیرشدگی به تدریج کاهش می‌یابد و افزایش قابل توجهی در تولید اتیلن مشاهده نمی‌شود. به‌طور کلی میوه‌های فرازگرا و نافرازگرا از نظر الگوی تنفس، تولید اتیلن و رسیدگی پس از برداشت با هم تفاوت‌های عمده‌ای دارند و برای جلوگیری و به‌حداقل رساندن ضایعات میوه در زنجیرهٔ پس از برداشت باید به این اختلاف توجه شود.

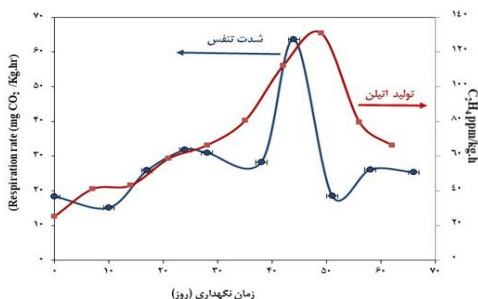
^۱ Climacteric peak

^۲ Saltveit



شکل ۲-۱- الگوهای تنفس فرازگرا و نافر ازگرا در میوه‌های در حال رسیدن (سالتویت، ۲۰۰۴).

سیب یکی از نمونه‌های بارز میوه‌های فرازگرا محسوب می‌شود. از ویژگی‌های شاخص این گروه، افزایش چشمگیر شدت تنفس و تولید اتیلن در طی فرایند رسیدن است. همان‌طور که در شکل ۲-۲ برای سیب رقم «گلاب کهنز» مشاهده می‌شود، پس از رسیدن میوه به اوج فرازگرا، شدت تولید اتیلن و شدت تنفس به بیشینه خود می‌رسد و پس از آن هر دو شاخص وارد مرحله کاهش می‌شوند.



شکل ۲-۲- شدت تنفس و تولید اتیلن در سیب رقم گلاب کهنز در مدت نگهداری (بدیعی و همکاران، ۱۳۹۲)

برخلاف میوه‌های نافرزگرا که شدت تنفس آن‌ها در دوران رسیدگی و پیری به تدریج کاهش می‌یابد، میوه‌های فرازگرا از جمله سیب، پس از برداشت نیز قادر به ادامه فرایند رسیدگی^۱ هستند.

۲-۳- مدیریت بلوغ و برداشت سیب

بلوغ باغبانی در سیب زمانی حاصل می‌شود که میوه به حد کافی از رشد رسیده باشد تا بتواند پس از برداشت و دور از گیاه مادر، فرایند رسیدگی را با کیفیت مطلوب طی کند (این بازه از نقطه حداقل پیش‌فرازگرا در شکل ۲-۱ آغاز می‌شود). اگرچه سیب قابلیت رسیدن روی درخت را دارد، اما تولیدکنندگان اغلب آن را پیش از رسیدگی کامل برداشت می‌کنند. دلیل این امر، دشواری در جابه‌جایی و مدیریت سیب‌های کاملاً رسیده در زنجیره تأمین است. برداشت در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی (پیش از رسیدگی کامل) منجر به تأخیر در آغاز تولید اتیلن و کاهش شدت رسیدگی می‌شود که امکان انبارمانی طولانی‌مدت و حمل‌ونقل به مسافت‌های دور را فراهم می‌آورد.

۲-۴- شدت تنفس و ماندگاری در انبار

مطابق با مطالعات سالتویت (۲۰۰۴)، شدت تنفس در محصولات باغبانی شاخصی از شدت فرایندهای متابولیکی است و با میزان فسادپذیری محصول رابطه مستقیم دارد؛

¹ Ripening

محصولات برداشت‌شده در مرحله نارس (که تغییرات رشدی سریعی را می‌گذرانند) نسبت به محصولاتی که در مرحله بلوغ کامل برداشت شده‌اند فسادپذیری بیشتری دارند.

عمر انبارمانی محصول با شدت تنفس رابطه معکوس دارد و این خود به شدت تحت تأثیر دماست؛ افزایش دما موجب تشدید تنفس، تسریع فساد و در نهایت کاهش عمر قفسه‌ای^۱ سیب می‌شود. در جدول‌های استاندارد شدت تنفس سیب در دماهای مختلف و میزان تولید اتیلن آن به‌طور دقیق مستند شده است (گروس^۲ و همکاران، ۲۰۱۶).

مدیریت فضای انبارداری برای سیب اهمیت حیاتی دارد. به دلیل ماهیت فرازگرای سیب و تولید اتیلن، انبار کردن آن در مجاورت محصولات حساس به اتیلن (مانند کلم بروکلی، کرفس یا هندوانه) می‌تواند منجر به رسیدگی ناخواسته و تسریع فساد این محصولات شود. بنابراین، جداسازی فیزیکی سیب از محصولات حساس در انبار و سردخانه، یکی از اصول کلیدی مدیریت زنجیره پس از برداشت محسوب می‌شود.

۲-۵- شاخص‌های بلوغ و کیفیت سیب در

تصمیم‌گیری برای برداشت و بسته‌بندی

در ارزیابی پس از برداشت سیب، شاخص‌های بلوغ و کیفیت فقط برای توصیف وضعیت میوه به کار نمی‌روند، بلکه

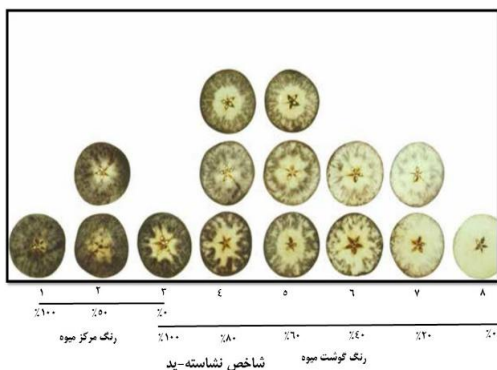
¹ Shelf life

² Gross

مبنای تصمیم‌گیری دربارهٔ زمان برداشت، سطح ریسک در حمل‌ونقل و نوع بسته‌بندی مناسب نیز هست. بر همین اساس، شاخص‌هایی مانند آزمون ید-نشاسته، تعداد روز از تمام‌گل، سفتی بافت، مواد جامد انحلال‌پذیر، اسیدیته و رنگ باید بر حسب کاربردشان تفکیک شوند؛ برخی از آن‌ها بیشتر برای تعیین زمان برداشت معتبرند و برخی دیگر برای ارزیابی کیفیت و پیش‌بینی ماندگاری اهمیت دارند. تغییرات بلوغ سیب با کاهش کلروفیل، افزایش رنگ‌گیری، نرم‌شدن بافت، تبدیل نشاسته به قند و کاهش اسیدیته همراه است و اهمیت هر شاخص به مقصد محصول و دوره نگهداری مورد انتظار بستگی دارد

۲-۵-۱- آزمون ید - نشاسته برای تعیین بلوغ

آزمون ید - نشاسته یکی از روش‌های قابل اعتماد برای تعیین بلوغ در بیشتر رقم‌های سیب است و از ساده‌ترین شاخص‌های تشخیص بلوغ و تعیین زمان برداشت سیب به‌شمار می‌رود. با رسیدن میوه، نشاسته موجود در بافت آن به قند تبدیل می‌شود. این آزمون میزان تبدیل نشاسته به قند را نشان می‌دهد. نمونه‌ای از جدول شاخص ید - نشاسته برای رقم «رودلیشز» در شکل ۲-۳ ارائه شده است.



شکل ۲-۳- جدول شاخص ید - نشاسته برای رقم «رزدلیشنز» (فائو، ۲۰۱۸)

به‌طور کلی، میوه‌هایی که در مقایسه با جدول شاخص ید - نشاسته عدد ۳ تا ۴ را نشان می‌دهند، برای نگهداری بلندمدت مناسب هستند. سیب‌هایی با عدد ۴ تا ۶ برای نگهداری کوتاه‌مدت مناسب‌ترند. در مقابل، سیب‌هایی که عدد ۶ یا بیشتر دارند، باید در سردخانه معمولی قرار گیرند یا بلافاصله به بازار فرستاده شوند (کادر، ۲۰۰۲).

۲-۵-۲- تعداد روز از مرحله تمام‌گل

فاصله زمانی میان مرحله تمام‌گل تا زمان واقعی برداشت، برای هر رقم سیب معمولاً تا حد زیادی ثابت است. به همین دلیل، شمارش تعداد روزها از زمان تمام‌گل می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های کمکی برای تعیین زمان بلوغ و برداشت میوه به‌کار رود. میانگین تعداد روز از مرحله تمام‌گل تا رسیدن

به بلوغ در برخی رقم‌های سیب به شرح زیر است (بوزبوگان و پیلاک^۱، ۲۰۱۲):

-روپال گالا: ۱۲۵ تا ۱۳۵ روز

-رد دلشز: ۱۴۵ تا ۱۵۵ روز

-گلدن دلشز: ۱۵۰ تا ۱۶۰ روز

-فوجی: ۱۸۰ تا ۱۹۰ روز

۲-۵-۳- مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر^۲

مواد جامد انحلال‌پذیر عمدتاً برای ارزیابی کیفیت خوراکی و پیش‌بینی روند رسیدگی به کار می‌روند. این شاخص با افزایش شیرینی و پیشرفت بلوغ همراه است و در سیب می‌تواند بیانگر تغییرات متابولیکی پیش از برداشت و طی انبارداری باشد. از این‌رو، مواد جامد انحلال‌پذیر بیشتر از آن‌که شاخص تعیین‌کننده زمان برداشت به‌تنهایی باشد، برای سنجش کیفیت مصرفی و ارزیابی تغییرات احتمالی در ماندگاری اهمیت دارد. در عمل، میوه‌ای که مواد جامد انحلال‌پذیر بالاتری دارد، معمولاً به مرحله رسیدگی نزدیک‌تر است و باید در زنجیره توزیع با سرعت و دقت بیشتری مدیریت شود.

قندها بخش اصلی مواد جامد انحلال‌پذیر در آب‌میوه‌ها را تشکیل می‌دهند؛ بنابراین، مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر را

¹ Bozbuğan and Pırlak

² Soluble Solid Content (SSC)

می‌توان برآوردی از میزان شیرینی میوه دانست. برای اندازه‌گیری درصد مواد جامد انحلال‌پذیر در نمونه کوچکی از آب‌میوه، می‌توان از رفراکتومتر دستی (شکل ۲-۴) در فضای باغ استفاده کرد. این مقدار معمولاً بر حسب درجهٔ بریکس برای محلول‌های قندی بیان می‌شود. مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر میوه‌های بالغ: ۱۰ تا ۱۲ درصد و میوه‌های نارس: ۸ تا ۹ درصد است.



شکل ۲-۴- رفراکتور متر دستی برای اندازه‌گیری مواد جامد انحلال‌پذیر سیب (فائو، ۲۰۱۸)

۲-۵-۴- آزمون سفتی میوه

سفتی بافت از شاخص‌هایی است که هم در ارزیابی کیفیت و هم در پیش‌بینی ماندگاری نقش مستقیم دارد. کاهش سفتی نشان‌دهندهٔ پیشرفت رسیدگی و افزایش حساسیت میوه به فشار، ضربه و فشردگی است. سفتی فقط شاخصی کیفی نیست، بلکه مستقیماً به تعیین سطح حفاظت مکانیکی بسته‌بندی، میزان فشردگی مجاز در چیدمان و حساسیت میوه در حمل‌ونقل مربوط می‌شود. رایج‌ترین روش

فصل دوم

برای اندازه‌گیری سفتی میوه، سنجش مقاومت میوه در برابر فشار است که معمولاً با واحد پوند-نیرو یا کیلوگرم-نیرو بیان می‌شود. این اندازه‌گیری با استفاده از دستگاهی به نام پنترومتر میوه صورت می‌گیرد (شکل ۲-۵). پنترومتر وسیله‌ای است دستی که یک پروب یا نوک نفوذکننده و درجه‌ای برای نمایش پوند-نیرو دارد.



شکل ۲-۵ - پنترومتر دستی میوه (فائو، ۲۰۱۸)

سفتی سیب در حدود ۱۴ پوند-نیرو نشان می‌دهد که میوه برای مصرف فوری مناسب است. سفتی سیب در حدود ۱۸ پوند-نیرو نشان می‌دهد که میوه برای نگهداری بلندمدت مناسب است. سفتی بیش از ۱۸ پوند-نیرو نشان می‌دهد که میوه هنوز به بلوغ کامل نرسیده است. جدول ۲-۱ مقادیر پیشنهادی سفتی بافت سیب را برای نگهداری بلند مدت برخی ارقام نشان می‌دهد (شوالیر^۱، ۲۰۱۲).

¹ Schwallier

جدول ۱-۲- سطوح پیشنهادی سفتی برای نگهداری
بلندمدت و کوتاه‌مدت، بر اساس رقم سیب (شوالیر ، ۲۰۱۲)

ارقام سیب	سفتی (پوند)		
	کوتاه‌مدت	میان‌مدت	بلندمدت
فوجی	۱۶	۱۷	۱۸
گالا	۱۶	۱۷	۱۸
گلدن دلشیز	۱۵	۱۶	۱۷
رد دلشیز	۱۶	۱۷	۱۸

۲-۵-۵- رنگ پوست میوه

توسعهٔ رنگ قرمز در پوست سیب، ارزش محدودی به‌عنوان شاخص بلوغ دارد؛ زیرا شدت و میزان قرمز شدن پوست میوه به عواملی مانند میزان دریافت نور، دما و وضعیت تغذیه‌ای درخت وابسته است. در نتیجه، ممکن است تمام سطح سیب‌های قرمز در حالی قرمز شود که میوه هنوز نارس باشد. با این حال، در برخی رقم‌ها، تغییر رنگ زمینهٔ پوست از سبز به زرد می‌تواند شاخص مفیدی برای ارزیابی بلوغ باشد. استفاده از رنگ پوست سیب به‌عنوان راهنمای تعیین بلوغ، از نظر اقتصادی روشی است کم‌هزینه و ساده، در عین حال این روش ذهنی و وابسته به قضاوت فردی محسوب می‌شود. رنگ در سیب را می‌توان از طریق مقایسهٔ چشمی با جدول‌های رنگ اندازه‌گیری کرد.

۲-۵-۶- رنگ دانه

در بیشتر رقم‌های سیب، هنگامی که میوه به مرحلهٔ بلوغ می‌رسد و آماده برداشت می‌شود، دانه‌ها به رنگ قهوه‌ای

درمی‌آیند. با این حال، رنگ دانه شاخص قابل اعتمادی برای تعیین بلوغ نیست زیرا در برخی موارد، دانه‌ها چند هفته پیش از رسیدن میوه به بلوغ مناسب برای برداشت، قهوه‌ای می‌شوند.

۲-۶- بیماری‌ها و اختلال‌های ایجاد شده در حین بسته‌بندی و نگهداری سیب

عارضه‌های پس از برداشت میوه سیب در حین عملیات بسته‌بندی و سردخانه به دو گروه عمده اختلال‌های فیزیولوژیکی (غیرزیستی) و بیماری‌های پوسیدگی (زیستی) تقسیم می‌شوند (فائو، ۲۰۱۸).

۲-۶-۱- اختلال‌های فیزیولوژیکی

۲-۶-۱-۱- لکه تلخ^۱: در میان اختلال‌های فیزیولوژیکی، لکه تلخ یکی از نام‌آشنا‌ترین ناهنجاری‌های تغذیه‌ای است که به دلیل توزیع نامناسب و کمبود کلسیم در بافت میوه رخ می‌دهد (شکل ۲-۶). این عارضه که با مدیریت نامناسب درخت در باغ مانند هرس شدید، باردهی کم و آبیاری نامنظم تشدید می‌شود، در مراحل اولیه نگهداری به صورت لکه‌های فرورفته تاریک در ناحیه گل میوه ظاهر می‌شود و بافت زیر پوست را اسفنجی، قهوه‌ای و تلخ‌مزه می‌کند (فائو، ۲۰۱۸).

¹ Bitter pit



شکل ۲-۶- بروز لکه تلخ در سیب (فائو، ۲۰۱۸)

۲-۶-۱-۲- سوختگی سطحی^۱: اختلال فیزیولوژیکی کلیدی دیگر سوختگی سطحی است که نوعی آسیب ناشی از سرمازدگی پوستی به‌شمار می‌رود. این عارضه در شکل ۲-۷ نشان داده شده‌است. این پدیده حاصل اکسیداسیون ترکیب آلفا-فارنسن^۲ در لایهٔ مومی پوست است که به شکل لکه‌های قهوه‌ای نامنظم و سطحی در نواحی سایه‌خوردهٔ میوه نمایان می‌شود و برداشت نارس محصول خطر بروز آن را به شدت افزایش می‌دهد (فائو، ۲۰۱۸).



شکل ۲-۷- سوختگی سطحی در سیب

^۱ Superficial Scald

^۲ α -Farnesene

فصل دوم

۲-۶-۱-۳- قهوه‌ای شدن داخلی و فروپاشی^۱ بافت:

این اختلال به دلیل پیری طبیعی سلول‌ها در نگهداری طولانی‌مدت یا تجمع بیش از حد دی‌اکسید کربن در انبار با اتمسفر کنترل‌شده رخ می‌دهد و مطابق شکل ۲-۸ بدون نشانه‌های اولیه روی پوست، گوشت میوه را غیرقابل مصرف می‌کند (فائو، ۲۰۱۸)



شکل ۲-۸- قهوه‌ای شدگی داخلی در سیب

۲-۶-۱-۴- آب‌گزیدگی یا واترکور^۲: عارضه

فیزیولوژیکی مهم دیگر آب‌گزیدگی است که ارتباط نزدیکی با زمان برداشت و شرایط نگهداری دارد. این اختلال زمانی رخ می‌دهد که سوربیتول به جای ورود به سلول‌ها در فضاهای بین‌سلولی تجمع می‌یابد و با جذب آب، ظاهری آب‌سوخته و شیشه‌ای به بافت میوه می‌دهد (شکل ۲-۹). آب‌گزیدگی عمدتاً در میوه‌هایی ظاهر می‌شود که بیش از حد رسیده‌اند و روی درخت مانده‌اند یا در شرایط دمایی بالا و نور شدید خورشید رشد کرده‌اند هرچند موارد خفیف آن طی

¹ Internal Browning/Breakdown

² Watercore

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

انبارداری سرد به تدریج ناپدید و جذب می‌شود، اما موارد شدید آن به قهوه‌ای شدن داخلی و فروپاشی سریع بافت میوه در سردخانه منجر می‌گردد (فائو، ۲۰۱۸)



شکل ۲-۹- بروز آب‌گزیدگی (واترکور) در سیب

۲-۶-۲- بیماری‌های قارچی و پوسیدگی‌های انباری

۲-۶-۲-۱- پوسیدگی آبی^۱ با عامل قارچی

Penicillium expansum: پوسیدگی آبی یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های پس از برداشت شناخته می‌شود. اسپورهای قارچ این بیماری به وفور در آب شستشو و خطوط بسته‌بندی وجود دارند و از طریق زخم‌ها و ضربه‌های مکانیکی وارد میوه می‌شوند و پوسیدگی آبکی قهوه‌ای همراه با توده‌های هاگ آبی-سبز را ایجاد می‌کنند. شکل ۲-۱۰- تصویری از پوسیدگی آبی را نشان می‌دهد (فائو، ۲۰۱۸).

¹ Blue Mold



شکل ۲-۱۰- پوسیدگی آبی در سیب

۲-۲-۶-۲- کپک خاکستری^۱: کپک خاکستری بیماری مهم دیگر با عامل *Botrytis cinerea* است (شکل ۲-۱۱) که به دلیل توانایی رشد در دمای پایین سردخانه و سرایت مستقیم از میوه‌ای به میوه دیگر در جعبه (ایجاد لانه پوسیدگی)، خسارت سنگینی به بار می‌آورد (فائو، ۲۰۱۸).



شکل ۲-۱۱- بروز کپک خاکستری

۲-۲-۶-۳- پوسیدگی چشم‌گاوی^۲: این بیماری ناشی از آلودگی به قارچ *Neofabraea* است. این آلودگی در باغ ایجاد می‌شود ولی به صورت نهفته باقی می‌ماند و پس از

¹ Gray Mold

² Bull's-eye Rot

چند ماه نگهداری در سردخانه، لکه‌های گرد با مرکز روشن و حاشیه تیره ایجاد می‌کند. شکل ۲-۱۲ نمونه‌ای از این پوسیدگی را نشان می‌دهد (فائو، ۲۰۱۸).



شکل ۲-۱۲- پوسیدگی چشم گاوی در سیب

مهار این عوامل نیازمند رعایت بهداشت در خط درجه-بندی، حداقل‌سازی آسیب‌دیدگی‌های فیزیکی، خنک‌سازی سریع و استفاده بهینه از اتمسفر کنترل شده است.

اگر کیفیت بهداشتی آب شست‌وشو کنترل نشود، می‌تواند به یکی از مسیرهای مهم انتقال اسپورهای قارچی و دیگر آلاینده‌ها میان میوه‌ها تبدیل شود. ورود خاک، بقایای گیاهی، شیرۀ میوه و ذرات آلی به آب ضمن افزایش بار میکروبی اثربخشی مواد ضدعفونی‌کننده را کاهش می‌دهد. بنابراین، استفاده از آب با کیفیت بهداشتی، حذف مداوم مواد جامد و کنترل کدورت آب ضروری است. نوع و غلظت ماده ضدعفونی‌کننده نیز باید متناسب با مقررات ایمنی مواد غذایی و ویژگی‌های آب انتخاب و به‌طور منظم پایش شود. کنترل pH و غلظت باقیمانده ماده ضدعفونی‌کننده، و در صورت امکان پایش پتانسیل اکسایش-کاهش آب می‌تواند به حفظ

فصل دوم

کارایی فرایند ضدعفونی کمک کند. در شرایط افزایش کدورت، تجمع مواد آلی یا کاهش کارایی ضدعفونی، آب باید تصفیه گردد یا تجدید یا تعویض شود تا خطر آلودگی متقاطع کاهش یابد.

تجهیزاتی که به‌طور مستقیم با میوه در تماس‌اند مانند وان‌ها و کانال‌های شست‌وشو، نوارهای نقاله، برس‌ها، غلتک‌ها، میزهای سورتینگ، جعبه‌ها و سطوح بسته‌بندی نیز می‌توانند محل تجمع و انتقال عوامل فساد باشند. از این‌رو، شست‌وشو و ضدعفونی کردن این تجهیزات باید بر اساس برنامه مدون و در فاصله‌های زمانی مشخص به‌ویژه پیش از شروع کار، پس از توقف‌های طولانی‌مدت، هنگام تغییر محصول و در پایان هر شیفت در برنامه‌های اجرایی منظور شود. پاک‌سازی اولیه برای حذف بقایای آلی اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا حضور این مواد می‌تواند اثر مواد ضدعفونی‌کننده را محدود کند. استفاده از تجهیزات و مواد بسته‌بندی تمیز، خشک و قابل شست‌وشو و نیز جلوگیری از تماس میوه‌های سالم با میوه‌های آسیب‌دیده یا پوسیده، از دیگر اقدام‌های ضروری در کاهش گسترش آلودگی است.

پایش بار میکروبی باید بخشی از برنامه کنترل کیفیت واحد بسته‌بندی باشد. این پایش می‌تواند شامل نمونه‌برداری دوره‌ای از آب ورودی و آب شست‌وشو، و نمونه‌برداری سطحی از نقاط حساس خط بسته‌بندی مانند برس‌ها،

نوارهای انتقال، غلتک‌ها و سطوح تماس با میوه باشد. افزایش بار میکروبی آب یا سطوح، مشاهده کاهش غلظت مؤثر ماده ضدعفونی‌کننده، یا مشاهده نشانه‌های پوسیدگی در خط باید به عنوان نشانه‌ای برای برداشتن گامی اصلاحی تلقی شود، از جمله تعویض یا تصفیه آب، تنظیم مجدد شرایط ضدعفونی، پاک‌سازی عمیق تجهیزات و بازبینی شیوه جابه‌جایی میوه. این اقدامات، همراه با کاهش آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی و حفظ زنجیره سرد، خطر انتقال آلودگی و توسعه پوسیدگی‌های انباری در سیب تازه را کاهش می‌دهد (فائو، ۲۰۱۸؛ بات و همکاران، ۲۰۲۳).

۲-۷- بسته‌بندی مناسب برای کاهش شیوع بیماری یا آلودگی در سیب تازه

سیب تازه از جمله محصولات باغی است که پس از برداشت، به دلیل تداوم فعالیت‌های زیستی، حساسیت بافتی و احتمال بروز آسیب‌دیدگی‌ها در معرض انواع فسادها و آلودگی‌های پس از برداشت قرار دارد. در بسیاری از موارد، افت کیفیت و افزایش پوسیدگی تنها ناشی از حضور عوامل بیماری‌زا نیست، بلکه پیامد مجموعه‌ای از عوامل از جمله آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی، تهویه نامناسب، تجمع رطوبت، اختلال در زنجیره سرد و استفاده از مواد بسته‌بندی غیربهداشتی است. از این‌رو، بسته‌بندی مناسب را باید یکی از اجزای کلیدی مدیریت پس از برداشت دانست، جزئی که

افزون بر تسهیل جابه‌جایی و عرضه محصول، در حفظ سلامت، کیفیت و ماندگاری سیب نقشی اساسی دارد (بات و همکاران، ۲۰۲۳، هورتگرو^۱، ۲۰۲۴).

۲-۸- نقش بسته‌بندی در کاهش آلودگی و بیماری

کارکرد بسته‌بندی در سیب تازه فراتر از محافظت ظاهری است. بسته‌بندی مناسب می‌تواند میوه را در برابر فشار، ضربه، گرد و غبار، آلودگی‌های میکروبی، گرما و دیگر عوامل تخریب‌کننده محیطی محافظت کند (بات و همکاران، ۲۰۲۳). این موضوع از آن رو اهمیت دارد که هرگونه زخم، خراش، لهیدگی یا ترک در سطح میوه می‌تواند به‌عنوان نقطه ورود عوامل بیماری‌زا عمل کند. بنابراین، هرچه بسته‌بندی بتواند از ایجاد آسیب‌های فیزیکی جلوگیری کند، احتمال بروز آلودگی و پوسیدگی پس از برداشت نیز کاهش خواهد یافت. بررسی‌ها نشان داده‌اند فشارهای ناشی از عمق زیاد بسته، ارتفاع بالای چیدمان کارتن‌ها یا شرایط نامناسب انبارکردن و حمل‌ونقل می‌توانند موجب کبودی و لهیدگی در سیب شوند (بات و همکاران، ۲۰۲۳). چنین آسیب‌دیدگی‌هایی، علاوه بر کاهش بازارپسندی میوه، بستری مناسب برای آغاز فسادهای ثانویه فراهم می‌کنند. از این‌رو، بسته‌بندی مناسب را می‌توان یکی از نخستین خطوط دفاعی در برابر توسعه بیماری‌های پس از برداشت دانست.

¹ Hortgro

۲-۹- ویژگی‌های بسته‌بندی مناسب برای سیب

تازه

۲-۹-۱- تهویه کافی

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بسته‌بندی مناسب برای سیب، برخورداری از تهویه افقی و عمودی کافی است. تهویه مناسب سبب می‌شود تا جریان هوا در اطراف میوه برقرار بماند و از تجمع رطوبت، افزایش دمای موضعی و تشکیل قطره‌های ناشی از میعان جلوگیری شود. این شرایط نه تنها به حفظ کیفیت فیزیولوژیکی میوه کمک می‌کند، بلکه محیط را برای رشد و گسترش عوامل بیماری‌زا کمتر مساعد خواهد کرد. بسته‌بندی باید به گونه‌ای طراحی شود که خللی در تبادل‌های گازی طبیعی میوه به وجود نیارد و تنفس هوازی آن را مختل نکند (بات و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین ضروری است که کارتن‌ها قابلیت تهویه مناسب داشته باشند (هورتگرو، ۲۰۲۴).

۲-۹-۲- استحکام مکانیکی در شرایط انبارکردن و

حمل و نقل

بسته‌بندی مناسب باید برای تحمل فشارهای وارد شده در مراحل انبارکردن، پالت‌بندی، جابه‌جایی و حمل و نقل استحکام کافی داشته باشد. اگر جعبه یا کارتن در اثر فشار یا رطوبت بالا دچار افت استحکام شود، احتمال وارد شدن نیرو به میوه‌های ردیف‌های پایین افزایش می‌یابد و در نتیجه،

لهیدگی و آسیب‌های ناشی از فشار رخ می‌دهد. کارتن‌ها باید حتی در شرایط رطوبت بالا، به‌طور مثال حدود ۹۰ درصد رطوبت، مقاومت فشاری کافی داشته باشند (هورتگرو، ۲۰۲۴). چنین ویژگی در کاهش آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی و در نتیجه محدود کردن بروز آلودگی‌های ثانویه بسیار مهم است.

۲-۹-۳- بهداشت مواد و ظرف‌های بسته‌بندی

بهداشت مواد بسته‌بندی یکی از پایه‌های اصلی پیشگیری از آلودگی در سیب تازه است. مواد بسته‌بندی باید از تولیدکنندگان یا تأمین‌کنندگان معتبر تهیه شوند تا از نظر کیفیت ساخت، انطباق با مشخصات فنی و شرایط بهداشتی اطمینان‌بخش باشند (هورتگرو، ۲۰۲۴). این مسئله در مورد ظرف‌های قابل استفاده چندباره به‌ویژه جعبه‌ها و صندوق‌های پلاستیکی اهمیت بیشتری دارد. اگر این ظرف‌ها پیش از استفاده به‌درستی شسته و ضدعفونی نشوند، خود می‌توانند به منبع انتقال آلودگی تبدیل شوند. از این‌رو، استفاده مجدد از بسته‌بندی تنها زمانی قابل توصیه است که نظام مشخصی برای نظافت، شست‌وشو و کنترل بهداشتی آن وجود داشته باشد.

۲-۹-۴- استفاده از اجزای محافظ داخلی

یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش آسیب‌دیدگی‌های فیزیکی در سیب استفاده از اجزای محافظ داخلی مانند جداکننده‌ها، لایه‌های کاغذی، لفاف‌های محافظ، پدهای نرم و مواد ضربه‌گیر است. این اجزا از تماس مستقیم میوه‌ها با یکدیگر یا با دیواره بسته‌بندی جلوگیری می‌کنند و شدت ضربه و فشار را کاهش می‌دهند. استفاده از مواد محافظی مانند فومنت و لفاف‌های کاغذی یا پلاستیکی می‌تواند حجم کبودی را در میوه کاهش دهد (بات و همکاران، ۲۰۲۳). از آنجا که کاهش کبودی و خراش به معنای کاهش محل‌های مستعد آلودگی است، این نوع بسته‌بندی‌های داخلی می‌توانند نقشی غیرمستقیم اما مهم در کنترل بیماری داشته باشند.

۲-۹-۵- هماهنگی بسته‌بندی با زنجیره سرد

بسته‌بندی مناسب زمانی بیشترین کارایی را دارد که با مدیریت صحیح دما و حفظ زنجیره سرد همراه شود. استفاده از ابزارهای پایش دما مانند ثبت‌کننده‌های دمایی و ترموکوپل‌ها برای مدیریت دقیق شرایط نگهداری و حمل‌ونقل توصیه شده است (هورتگرو، ۲۰۲۴). هنگامی که دمای میوه به درستی کنترل نشود، سرعت تنفس، تعرق و افت کیفیت افزایش می‌یابد و شرایط برای پیشرفت فساد مناسب‌تر می‌شود. افزون بر این، آسیب‌دیدگی مکانیکی با افزایش تنفس، تولید اتیلن و از دست دادن رطوبت همراه

است و این فرایندها تخریب بافت را تشدید می‌کنند (هورتگرو، ۲۰۲۴). بنابراین، بسته‌بندی اصولی باید به‌گونه‌ای طراحی و استفاده شود که در خدمت سردسازی مناسب و جابه‌جایی ایمن محصول باشد.

۲-۱۰- ارتباط آسیب‌دیدگی مکانیکی با افزایش

خطر بیماری

در بسیاری از موارد، بیماری یا آلودگی پس از برداشت زمانی توسعه می‌یابد که بافت میوه پیش‌تر در اثر فشار، ضربه یا سایش آسیب دیده باشد. آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی موجب تخریب سلول‌های سطحی، افزایش نشت مواد سلولی و کاهش انسجام بافت می‌شود و در نتیجه، شرایط برای نفوذ و استقرار عوامل بیماری‌زا فراهم‌تر می‌گردد. در واقع، چنین آسیب‌دیدگی‌هایی با تسریع فرایندهای فیزیولوژیکی زوال همراه هستند که ماندگاری میوه را کاهش می‌دهند (هورتگرو، ۲۰۲۴). بنابراین، هر نوع بسته‌بندی که بتواند شدت ضربه، لرزش، فشار و اصطکاک را در زنجیرهٔ پس از برداشت کاهش دهد، به‌طور غیرمستقیم در کاهش شیوع بیماری و آلودگی مؤثر خواهد بود.

۲-۱۱- جایگاه بسته‌بندی‌های نوین

در کنار بسته‌بندی‌های متداول، فناوری‌هایی مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)، بسته‌بندی فعال و برخی پوشش‌های نگهدارنده نیز در نگهداری سیب مورد

توجه قرار گرفته‌اند (بات و همکاران، ۲۰۲۳). این فناوری‌ها می‌توانند در حفظ کیفیت و کاهش سرعت افت فیزیولوژیکی میوه مؤثر باشند، اما اثربخشی آن‌ها در گرو رعایت اصول پایه‌ای بسته‌بندی است. به بیان دیگر، اگر تهویه مناسب، استحکام کافی، شرایط بهداشتی مطلوب و کاهش آسیب-دیدگی‌های مکانیکی در بسته‌بندی رعایت نشود، استفاده از فناوری‌های پیشرفته نیز نتیجه‌ای مطلوب به همراه نخواهد داشت. در تحقیق نشان داده شده است که استفاده از پوشش خوراکی و زیست تخریب‌پذیر متیل سلولز نیز می‌تواند در کاهش اثر ضربه و به تعویق افتادن گسترش آن در میوه سیب مؤثر باشد (بدیعی و همکاران، ۱۳۹۲ و ایوانی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۱۲- جمع‌بندی

بسته‌بندی مناسب در سیب تازه تنها یک پوشش حفاظتی نیست، بخشی از راهبرد مدیریت پس از برداشت محسوب می‌شود که باید متناسب با ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مکانیکی میوه طراحی شود. از آنجا که سیب میوه‌ای فرازگرا است و پس از برداشت همچنان به تنفس، تولید اتیلن و از دست دادن رطوبت ادامه می‌دهد، بسته‌بندی آن باید امکان تهویه کافی، حفظ شرایط رطوبتی مناسب و کاهش افت کیفیت را فراهم کند. حساسیت سیب به ضربه، فشار، سایش و تغییرات دمایی ایجاب می‌کند بسته‌ها استحکام مکانیکی

کافی و اجزای محافظ داخلی داشته باشند و با زنجیره سرد سازگار باشند. بنابراین، ویژگی‌هایی مانند شدت تنفس، تولید اتیلن، تعرق، حساسیت به آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی و آسیب‌پذیری در برابر فساد، مستقیماً به برقراری الزام‌های طراحی بسته‌بندی منجر می‌شوند که شامل تهویه، استحکام، کنترل رطوبت و رعایت اصول بهداشتی خواهد بود.

فصل سوم

مدیریت عملیات پس از برداشت: از مدیریت

درون باغ تا بسته‌بندی در محل

۳-۱- مقدمه

پس از برداشت، میوه سیب باید برای فروش یا نگهداری آماده شود. در ساختار تولیدی ایران، بسیاری از عملیات بسته‌بندی و درجه‌بندی مستقیماً در محل تولید^۱ و در محیط باغ اجرا می‌شود. هم‌افزایی میان مدیریت درون باغ و عملیات بسته‌بندی در محل، نقشی کلیدی در کاهش فاصله زمانی پس از برداشت و حفظ ویژگی‌های کیفی میوه دارد. در این فصل، زنجیره عملیاتی از مدیریت درون باغ تا مراحل بسته‌بندی در محل به طور اجمالی بررسی می‌شود.

۳-۲- مدیریت آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب

فرایند آماده‌سازی و بسته‌بندی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که فاصله زمانی میان برداشت و بسته‌بندی به‌منظور حفظ کیفیت میوه به حداقل برسد. در این راستا، میوه باید در برابر عوامل محیطی مانند تابش مستقیم نور خورشید و بارش

¹ On-farm

باران محافظت شود. یادآوری می‌شود در ساختار تولیدی مورد بحث، سیستم‌های آماده‌سازی و بسته‌بندی به صورت یکپارچه و مکمل یکدیگر عمل می‌کنند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- نحوه آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب در باغ (عکس از نگارندگان)

۳-۲-۱- فرآیند آماده‌سازی و درجه‌بندی

آماده‌سازی شامل سورتینگ یا درجه‌بندی است. میوه‌های آسیب‌دیده، تغییر شکل یافته، پوسیده یا دارای اندازه نامطلوب در این مرحله از چرخه بسته‌بندی اصلی جدا می‌شوند. از آنجایی که این فرآیند اغلب به صورت دستی صورت می‌گیرد، رعایت دقیق پروتکل‌های بهداشت فردی توسط کارگران (مانند استفاده از لباس‌های محافظ و کلاه) و آموزش‌های تخصصی پرسنل، برای جلوگیری از آلودگی محصول الزامی است.

در میان عملیات آماده‌سازی، درجه‌بندی محصول براساس اندازه اهمیت ویژه‌ای دارد. معمولاً محصول با کیفیت بالا از محصولات درجه دو و سه جدا می‌شود، این محصولات می‌توانند با قیمت مناسب‌تر در بازار عرضه شوند یا به‌عنوان ماده اولیه در صنایع فرآوری استفاده گردند. فرآیند درجه‌بندی باید با دقت بالا و بر اساس معیارهایی مانند رقم، اندازه، رنگ، میزان رسیدگی و دیگر مشخصات ظاهری طی شود تا میوه‌های هم‌خانواده در ظرف‌های مجزا قرار گیرند. این جداسازی می‌تواند بلافاصله پس از چیدن در باغ باشد یا در مرحله پیش از ورود به اتاق‌های اصلی سردخانه.

سیب‌ها را باید از لحاظ رقم، اندازه، رنگ، میزان رسیدگی و دیگر مشخصات درجه‌بندی کرد و سیب‌های مشابه را در ظرف‌های جداگانه قرار داد. سیب‌ها را می‌توان در باغ بلافاصله پس از چیدن یا در سردخانه پیش از قرار دادن سیب در اتاق‌های اصلی نگهداری جدا کرد.

۳-۲-۲- مدیریت دما و پیش‌سرد کردن^۱

یکی از چالش‌های اصلی پس از برداشت، دمای بالای میوه است که در هنگام برداشت می‌تواند به ۴۰ درجه سلسیوس برسد. این دما برای تعرق و تنفس سریع میوه‌ها و توسعه و رشد قارچ‌های عامل پوسیدگی بسیار مناسب است. به‌همین دلیل میوه‌ها آب زیادی از دست می‌دهند و

¹ Pre-cooling

کیفیت آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین از بین بردن گرمای محیطی مزرعه در سیب الزامی است.

بر این اساس سیب باید بلافاصله پس از برداشت سریعاً سرد شود که به این عمل سرد کردن اولیه گفته می‌شود. در این مرحله، دمای محصول معمولاً تا ۴ درجه سلسیوس کاهش داده می‌شود. به ازای ۱۰ درجه سلسیوس کاهش حرارت میوه، سرعت تنفس به نصف کاهش می‌یابد و در مقابل، دوره ماندگاری آن دو برابر می‌شود. برای به حداقل رساندن ضایعات، حداکثر فاصله زمانی بین برداشت و شروع فرآیند سرد کردن اولیه در سیب ۸ تا ۱۶ ساعت است.

متداول‌ترین روش سرد کردن اولیه سیب، استفاده از سردکردن با هوای فشرده^۱ است. در این روش، میوه‌ها به‌طور یکنواخت در معرض هوای سرد با سرعت ۲۱ تا ۲۳ متر در دقیقه قرار می‌گیرند و در مدت ۴۰ تا ۵۰ دقیقه دما را به ۴ درجه سلسیوس می‌رساند (شکل ۳-۲).

¹ Forced-air cooling



شکل ۳-۲- پیش‌سرد کردن محصول با جریان هوای فشرده
(فائو، ۲۰۱۲)

در این فرآیند، رعایت دو نکته کلیدی ضروری است. یکی اینکه دمای هوای سردکننده باید اندکی بالاتر از نقطه انجماد سیب تنظیم شود. دیگر اینکه چیدمان جعبه‌ها نیز باید به گونه‌ای باشد که جریان هوا به شکلی یکنواخت و سریع از میان تمامی جعبه‌ها و محتویات آن‌ها عبور کند.

لازم است یادآوری شود سرد کردن مقدماتی عملیاتی است مستقل از سردخانه‌های اصلی و نیازمند طراحی و تجهیزات ویژه خواهد بود.

در صورت دسترسی نداشتن به تجهیزات پیش‌سرد کردن در محل باغ، توصیه می‌شود برداشت در ساعات خنک روز (صبح زود یا عصر) برنامه‌ریزی شود و میوه‌ها بلافاصله در

محل‌های مسقف یا سایبان قرار گیرند تا از افزایش بیش از حد دما جلوگیری شود. پیش‌سرد کردن سریع و نگهداری زنجیره سرد تا رسیدن به مصرف‌کننده برای حفظ ماندگاری میوه بسیار مهم است.

۳-۲-۳- فرآیند بسته‌بندی

بسته‌بندی یکی دیگر از ارکان اصلی مدیریت پس از برداشت است. هدف از بسته‌بندی ایجاد لایه‌ای محافظتی در برابر آسیب‌دیدگی‌های فیزیکی طی مراحل جابه‌جایی، حمل‌ونقل و انبارداری است. بسته‌بندی مناسب، علاوه بر حفظ سلامت فیزیکی، دسترسی آسان و نمایش مطلوب محصول را برای مصرف‌کننده نهایی تضمین می‌کند.

بسته‌بندی در محصولات تازه فراتر از یک عامل جابه‌جایی است و به عنوان لایه محافظتی استراتژیک عمل می‌کند. وظیفه اصلی بسته‌بندی، تثبیت کیفیت محصول در مسیر انتقال به بازارهای هدف و مقابله با آسیب‌های احتمالی در زنجیره توزیع است.

ظرف بسته‌بندی باید دارای استحکام مکانیکی کافی باشد تا بتواند در هنگام انبارداری و چیدمان روی هم، بدون تغییر دادن شکل یا آسیب‌رساندن به میوه داخلی، وزن چندین بسته دیگر را تحمل کند. به منظور جلوگیری از انتقال آلودگی‌های میکروبی و حفظ استانداردهای سلامت، استفاده از جعبه‌های نو و باکیفیت در فرآیند بسته‌بندی الزامی است.

۳-۲-۳-۱- انواع مواد بسته‌بندی

در صنعت میوه، بسته به نوع محصول، مقصد و روش حمل‌ونقل، طیف گسترده‌ای از مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود (بالا و کومار، ۲۰۱۸). این مواد را می‌توان بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی به دسته‌های زیر تقسیم کرد.

-سبدهای چوبی سنتی

پیش‌تر مفهوم بسته‌بندی به اندازه کافی گسترده نبود و فقط به انتقال محصول از مزارع یا انبارها به بازارهای محلی برای فروش مربوط می‌شد. در آن زمان برای دستیابی به این هدف از سبدهای چوبی استفاده می‌شد و به دیگر الزام‌های فناوری برای بسته‌بندی میوه‌ها توجهی نمی‌شد. سبدهای چوبی معمولاً در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند هند استفاده می‌شود. با این حال، طراحی این سبدها، استفاده از آنها را در حمل و نقل در مسافت‌های طولانی محدود می‌کند (بات^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

در مناطق تولید سیب، میوه پس از برداشت با استفاده از این سبدهای مخروطی شکل به مراکز جمع‌آوری یا بازارهای مختلف نزدیک منتقل می‌شود. این شکل سنتی بسته‌بندی هنوز هم رایج است هرچند برای حمل و نقل در مسافت‌های

¹ Bhat

فصل چهارم

طولانی، نامناسب است. این شکل بسته‌بندی با آسیب-دیدگی‌های ظاهری و قابل مشاهده‌ای در محصول همراه است که در اثر خراش، فشرده‌سازی، ضربه و لرزش در حین حمل و نقل به میوه وارد می‌شود. این سبدها به دلیل ایجاد مشکلات در جابه‌جایی، نگهداری و حمل و نقل کاربرد زیادی ندارند (سوبدی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

اما با گذشت زمان، علم بسته‌بندی تکامل یافت و تمرکز به سمت دیگر مواد بسته‌بندی و روش‌های حفظ ویژگی‌های کیفی میوه در حین نگهداری و حمل و نقل معطوف شد. بسته‌بندی طراحی شده برای میوه‌ها باید به اندازه کافی قوی باشد تا در برابر شوک‌ها، لرزش و فشار مکانیکی/فشار چیدن در حین بارگیری و تخلیه، حمل و نقل، انبارداری و شرایط بازار مقاومت کند.

جعبه‌های چوبی

در گذشته، جعبه‌های چوبی یکی از روش‌های رایج برای بسته‌بندی میوه‌ها، به‌ویژه سیب بود. این جعبه‌ها استحکام ساختاری بالایی داشتند و در برابر نیروهای ناشی از چیدن و انباشت مقاوم بودند (شکل ۳-۳). با این حال، امروزه به دلیل هزینه‌های بالای مواد اولیه و همچنین چالش‌های بهداشتی، استفاده از چوب در زنجیره تأمین مدرن به شدت کاهش یافته و جای خود را به مواد دیگر داده است. علاوه بر مسائل

¹ Subedi

اقتصادی، گزارش شده است که سیب‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های چوبی در حین جابه‌جایی مستعد آسیب-دیدگی‌های مکانیکی هستند (آسیکان^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات نشان داده است که میزان آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی در ارقام مختلف سیب (مانند گلدن دلشیز و گرانی اسمیت) در این جعبه‌ها همبستگی خطی با نیروهای اعمال شده دارد، به‌طوری‌که تفاوت معنی‌داری در میزان ضایعات بین لایه‌های زیرین و بالایی محصول مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۳- جعبه‌های چوبی در اندازه‌های مختلف (بی‌نام، a
(۲۰۲۶)

-جعبه‌های موج‌دار^۲

جعبه‌های مقوایی موج‌دار به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا، سهولت در جابه‌جایی و پایداری ساختاری در چیدمان، از پرکاربردترین مواد بسته‌بندی در بخش باغبانی محسوب

¹ Acican

² Corrugated boxes

فصل چهارم

می‌شوند. ساختار تخته فیبر موج‌دار از دو بخش اصلی یعنی بخش میانی و آستر تشکیل شده که به شکل ساندویچ چیده شده‌اند. یک بخش میانی موج‌دار کاغذی مرکزی بین آسترهای موج‌دار یا شیاردار یا دو کاغذ بدون موج قرار می‌گیرد. بسته‌بندی تخته فیبر موج‌دار قادر به کاهش شدت ضربات مکانیکی و لرزش است که منبع اصلی آسیب‌دیدگی میوه در حمل و نقل هستند (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- جعبه های مقوایی موج‌دار (بی‌نام، ۲۰۲۶b)

جعبه‌های مقوایی موج‌دار برای حمل کالا در یک یا چند لایه طراحی شده‌اند. در طراحی چند لایه، یک لایه از محصول با سینی، پلاستیک حباب‌دار یا سایر مواد ضربه‌گیر از لایه دیگر جدا می‌شود تا از کاهش احتمال آسیب مکانیکی اطمینان حاصل شود. گزارش شده است که جعبه‌های موج‌دار دارای خواص عالی به‌عنوان ماده بسته‌بندی هستند و آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی سیب را کاهش می‌دهند (پاتاره و اوپارا^۱، ۲۰۱۴).

¹ Pathare and Opara

جعبه مقوایی موج‌دار هفت لایه با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم و مقاوم در برابر ترک‌یدن^۱ ۱۸۰ پاسکال، گزینه‌ای کارآمد برای بسته‌بندی و حمل و نقل طولانی مدت سیب است (سوبدی و همکاران، ۲۰۱۷). روی جعبه‌های کارتنی می‌توان مشخصات و شکل میوه را در قسمت بیرونی کارتن‌ها چاپ کرد، ولی در شرایط گرمسیری و رطوبت نسبی بالای سردخانه، بسته‌های قابل اعتمادی نیستند (زمردی، ۱۳۹۶). این جعبه‌ها با قابلیت طراحی در لایه‌های چندگانه و استفاده از مواد ضربه‌گیر (مانند سینی‌ها یا پلاستیک‌های حباب‌دار)، پتانسیل ایجاد آسیب‌های مکانیکی به میوه را به حداقل می‌رسانند (پاتاره و اوپارا، ۲۰۱۴).

-جعبه‌های پلاستیکی

ظرف‌های پلاستیکی که عمدتاً از پلی‌اتیلن‌های قابل بازیافت ساخته می‌شوند، گزینه‌ای پایدار به‌جای بسته‌بندی‌های سنتی هستند. این ظرف‌ها اغلب به‌دلیل سبک‌بودن، قابلیت بازیافت، ماهیت زیست‌تخریب‌پذیر بودن، داشتن قابلیت شست‌وشو، جذب نکردن رطوبت، داشتن مقاومت بالا در برابر عوامل بیماری‌زا (قارچ‌ها) و باصرفه بودن ترجیح داده می‌شوند (موکاما^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). می‌توان بدون آسیب رساندن به محصول، چندین جعبه را روی هم چید. از جعبه‌های پلاستیکی می‌توان برای مدت زمان

¹ Bursting strength

² Mukama

فصل چهارم

طولانی (۵ تا ۶ سال) استفاده کرد. این جعبه‌ها باید قبل و پس از استفاده کاملاً با صابون یا مواد شوینده و هیپوکلریت سدیم در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام تمیز شوند. این نوع جعبه‌ها در انواع مختلفی تهیه می‌شوند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵ - جعبه پلاستیکی در اندازه‌ها و انواع مختلف
(بی‌نام، ۲۰۲۶)

- بسته‌بندی شرینگ^۱

فناوری شرینگ در بسته‌بندی برای میوه‌ها به کار گرفته شده است (شکل ۳-۶) تا فساد فیزیولوژیکی را به تأخیر اندازد و از تراکم قطره‌های آب در داخل بسته جلوگیری کند. همچنین گزارش شده است که بسته‌بندی شرینگ تکی محصولات تازه، شرایط بهینه گاز و رطوبت را برای حفظ کیفیت محصول در سراسر زنجیره تأمین فراهم می‌کند،

¹ Shrink Wrapping

ظاهری جذاب به محصول می‌دهد که موجب افزایش پذیرش مصرف‌کننده می‌شود (شارما و پال^۱، ۲۰۱۳).

فیلم‌های پلاستیکی مهندسی‌شده برای بسته‌بندی به - دلیل جلوگیری از هدررفت رطوبت و محافظت از محصول در برابر هرگونه آسیب دیدگی مکانیکی می‌توانند چروکیدگی محصولات تازه، به‌ویژه میوه‌ها را کاهش دهند. علاوه بر این، پوشش‌ها سطح خوبی برای برچسب‌های چسبی فراهم می‌کنند و از برخی آسیب دیدگی‌های ناشی از سایش در حین حمل و نقل محافظت خواهند کرد (تاکور^۲ و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۳-۶- فناوری شرینگ در بسته‌بندی سیب (بی نام، d

(۲۰۲۶)

پوشش شرینگ پلیمری برای سیب‌های تکی، ماندگاری محصول را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد به‌طوری‌که

¹ Sharma and Pal

² Thakur

سیب‌های شریک شده می‌توانند تا ۴ هفته در شرایط محیطی کیفیت خود را حفظ کنند، در حالی که سیب‌های بدون بسته‌بندی خیلی زودتر طراوت خود را از دست می‌دهند. استفاده از فیلم‌های ۲۵ میکرونی نسبت به فیلم‌های نازک‌تر (۱۵ میکرونی)، محافظت و ماندگاری بهتری را برای سیب تضمین می‌کند (شارما و همکاران، ۲۰۱۳). بسته‌بندی‌های تکی و شریک کردن هرچند هزینه‌بر به نظر می‌رسند، اما باید به عنوان یک سرمایه‌گذاری برای جلوگیری از زیان دیده شوند. نوع پوشش (فوم یا فیلم‌های پلاستیکی مهندسی شده) باید بر اساس رقم سیب، فاصله تا بازار هدف و توان مالی انتخاب شود تا بهترین تعادل میان هزینه و ماندگاری محصول برقرار گردد.

۳-۲-۳-۲- موارد مهم برای بسته‌بندی سیب

برای بسته‌بندی باید از جعبه‌های تازه و مقاوم استفاده شود. ابعاد جعبه‌های مورد استفاده با یکدیگر برابر و سطح داخلی آن‌ها باید صاف باشد و هیچ نوع وسیله و لوازمی مانند میخ یا بست‌های فلزی و برجستگی‌های تیز و غیره، که به میوه آسیب وارد کند، در آن‌ها موجود نباشد. بهتر است جعبه‌ها پیش از استفاده کردن تمیز و ضدعفونی شوند. همچنین بهتر است بسته‌بندی به طریقی صورت گیرد که هوای سرد به آسانی بتواند در داخل محصول نفوذ کند و گرمای حاصل از تنفس به راحتی از بسته خارج شود.

از طرفی دیگر، محصولات نباید فشرده یا زیاد شل بسته‌بندی شوند زیرا در صورت شل بودن، حرکت وسیله حمل و نقل موجب برخورد میوه‌ها با یکدیگر خواهد شد و موجب آسیب‌دیدگی و له‌شدگی میوه می‌شود و اگر زیاد فشرده باشد میوه له خواهد شد. مقدار محصول باید متناسب با گنجایش ظرف بسته‌بندی باشد. مناسب‌ترین ظرفیت جعبه ۱۸-۲۰ کیلوگرم است. نباید بیش از ۳ لایه سیب در یک جعبه قرار گیرد. جعبه میوه هرگز بیش‌تر از ارتفاع دیواره‌اش پر نشود زیرا هنگام چیدن جعبه‌ها روی هم، میوه‌ها در اثر وزن جعبه‌های فوقانی فشرده می‌شوند و آسیب جدی می‌بینند. بهتر است ارتفاع میوه درون جعبه حداقل ۵ سانتی‌متر از لبه دیواره جعبه پایین‌تر باشد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- نحوه چیدن سیب در جعبه (عکس از نگارندگان)

با درج نام و محل تولید میوه روی جعبه، هویت میوه نیز برای خریدار معلوم می‌شود. مشاهده نامی معروف و مطمئن روی جعبه، فروش آن را تسهیل می‌کند. داشتن نام تجاری مطمئن و معروف به کیفیت، خیلی مهم است و نباید آن را دست کم گرفت.

علاوه بر آن، سیب در مسیر از باغ تا دست مصرف‌کننده دائماً تحت فشارهای مکانیکی و لرزش‌های حین جابه‌جایی است. این فشارها (حتی فشارهای ناشی از پر کردن بیش از حد جعبه‌ها) منجر به کبودی و تیرگی بافت میوه می‌شود که گاهی تا زمان رسیدن به دست مشتری مخفی می‌ماند. برای جلوگیری از این آسیب‌دیدگی‌ها، استفاده از لایه‌های محافظ (ضربه‌گیر) ضرورت دارد. مواد بسته‌بندی مختلف مانند تورهای فوم پلاستیکی و مواد بسته‌بندی کاغذی برای پوشاندن سیب‌های تکی و نیز قرار دادن در مجزا کننده‌های شانه‌ای مخصوص میوه استفاده می‌شوند تا ضربه‌گیری ایجاد کنند و از آسیب‌های نامطلوب در حین جابه‌جایی و توزیع جلوگیری شود (حسین^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). توری‌های فومی در جذب ضربه و ارتعاش عملکرد بسیار بهتری نسبت به پوشش‌های کاغذی دارند و میزان کبودی میوه را به شکل محسوسی کاهش می‌دهند (جاریمپاس^۲ و همکاران، ۲۰۰۷، عیسی^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). در شکل ۳-۸ انواع مختلف ضربه‌گیر در بسته‌بندی سیب آورده شده است. البته برای ارقام سیب که پوست حساس‌تری دارند یا برای بازارهای صادراتی، استفاده از توری فومی توجیه اقتصادی دارد، زیرا با

¹ Hussein

² Jarimopas

³ Eissa

جلوگیری از ضایعه‌ای جزئی، قیمت نهایی محصول حفظ می‌شود.



شکل ۳-۸- انواع مختلف ضربه گیر در بسته بندی سیب
(بی‌نام، ۲۰۲۶e)

یکی از عوامل مؤثر در کاهش عمر انبارمانی سیب، وجود اتیلن در محیط انبار است که باعث تسریع در رسیدن میوه و در نهایت موجب پیری و غیرقابل مصرف شدن آن می‌شود. مشخص شده است پس از برداشت میوه، اتیلن با سرعت بیشتری ساخته می‌شود زیرا برگ‌های روی درخت ظاهراً از تولید اتیلن بیشتر جلوگیری می‌کنند. در سال‌های اخیر، برای جذب اتیلن از مواد شیمیایی مختلف از جمله پرمنگنات پتاسیم استفاده می‌شود. پرمنگنات پتاسیم اکسیدکننده‌ای قوی است که می‌تواند اتیلن را از بین ببرد. از آنجایی که پرمنگنات پتاسیم غیرفرار است می‌توان آن را به راحتی از فراورده جدا و بدین ترتیب خطر آسیب را برطرف کرد (زمردی، ۱۳۸۴، زمردی، ۱۳۹۶).

فصل چهارم

پرمنگنات پتاسیم بیشتر به صورت تجارتي استفاده می شود که به مقدار ۱ تا ۲ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن میوه به کار می رود. امروزه در بازار ساشه های^۱ جاذب اتیلن وجود دارد که به راحتی تهیه می شوند (شکل ۳-۹). حتی ساشه های نانو جاذب اتیلن نیز تولید شده است. این ساشه ها را می توان در جعبه بسته بندی سیب قرار داد تا گاز اتیلن را جذب کنند (بر اساس توصیه سازنده آن). استفاده از پرمنگنات پتاسیم از کاهش سفتی، افت وزنی و فساد سیب ها در دوره نگهداری در سردخانه جلوگیری می کند (زمردی، ۱۳۸۴، زمردی و کریمی، ۱۳۸۴).



شکل ۳-۹- ساشه های جاذب اتیلن (بی نام، ۲۰۲۶)

از گذاشتن جعبه های حاوی میوه به مدت طولانی در باغ باید خودداری شود. زیرا علاوه بر افزایش آلودگی و کاهش عمر انباری، خطرهایی مانند حمله موش نیز وجود دارد. اگر حمل فوری سیب به محل فروش یا سردخانه میسر نباشد جعبه های سیب در اتاق های زیرزمینی یا زیر سایبان نگهداری

¹ Sachets

شوند و خیلی زود به سردخانه یا بازار انتقال یابند (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰- قراردادن جعبه‌های سیب برداشت‌شده در انبار موقت پیش از انتقال به سردخانه (عکس از نگارندگان)

برای سهولت حمل و نقل و تهویه، بهتر است جعبه‌ها در روی پالت (چوبی، پلاستیکی یا فلزی) چیده شوند. چیدن جعبه‌ها باید طوری باشد که توزیع هوا به‌صورت یکنواخت برقرار باشد. لازم است ابعاد پالت و بسته با یکدیگر متناسب باشند. هنگام پالت‌گذاری باید به همه منافذ تهویه، شکل دریچه‌ها و تراز بودن دریچه‌ها به‌صورت افقی توجه داشت (شکل ۳-۱۱).

لازم است توضیح داده شود بهترین وسیله برای بسته‌بندی و حمل سیب به محل فراوری استفاده از باکس پالت است. این ظرف‌ها باید ایمن و مستحکم باشند تا امکان برداشت بهداشتی و دقیق سیب فراهم شود (شکل ۳-۱۲). از مزایای این پالت‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد: امکان بارگیری و نگهداری محصول به صورت ایمن و سریع و آسان

فصل چهارم

با رعایت اصول بهداشتی، قابلیت استفاده از لیفتراک و جک دستی در باغ، سازگاری با محیط زیست، ماندگاری و عمر بالا، شست‌وشو و ضد عفونی کردن بدون نگرانی از تخریب باکس پالت، مقاوم بودن در برابر رطوبت و آلاینده‌های محیطی و مواد شیمیایی خورنده، و قابلیت اضافه کردن پایه برای حمل و کنترل بهتر در زمان حمل و نقل.



شکل ۳-۱۱- قرار دان جعبه های سیب روی پالت
(بی نام، ۲۰۲۶g)



شکل ۳-۱۲ - باکس پالت‌های پلاستیکی مناسب برای بسته -
بندی و انتقال سیب از باغ به محل فراوری (بی نام، ۲۰۲۶h)

فصل چهارم

آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب برای بازار

۴-۱- مقدمه

آماده‌سازی سیب برای عرضه به بازار به قرار دادن میوه در جعبه محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از عملیات فنی و بهداشتی را شامل می‌شود که هدف آن حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری و ایجاد ظاهر مناسب برای فروش است. در این مرحله، سیب باید به گونه‌ای آماده شود که هم از نظر سلامت و هم از نظر بازارپسندی شرایط مطلوبی داشته باشد. هرگونه سهل‌انگاری در این مرحله می‌تواند موجب کاهش ارزش اقتصادی محصول، افزایش ضایعات و نارضایتی خریدار شود. بسته‌بندی در این زمینه به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: یکی بسته‌بندی‌های متعارف که عمدتاً بر حفظ فیزیکی محصول متمرکز هستند (مانند استفاده از کارتن‌های معمولی یا سبد)، و دیگری بسته‌بندی‌های نوین که با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته هدف‌های کیفی و عملکردی بیشتری را دنبال می‌کنند. این بسته‌بندی‌های نوین شامل مواردی

چون اتمسفر اصلاح شده (MAP)، بسته‌بندی‌های فعال، هوشمند^۱، نانو^۲ و لفاف‌های تکی هستند که هر یک به شیوه‌ای منحصربه‌فرد بر ماندگاری و کیفیت سیب تأثیر می‌گذارد.

در خصوص بسته‌بندی‌های متداول یا متعارف در فصل سوم توضیحات لازم به تفصیل آورده شده است، در این فصل به بررسی روش‌های نوین (غیرمتعارف) پرداخته می‌شود.

۴-۲- مراحل آماده‌سازی و بسته‌بندی سیب برای

عرضه به بازار

نخستین گام در آماده‌سازی محصول، سورتینگ یا جداسازی میوه‌ها بر اساس کیفیت ظاهری و فیزیکی است. سیب‌های آسیب‌دیده، له‌شده، ترک‌خورده، دارای بیماری یا آلودگی در این مرحله باید از محصول سالم جدا شوند. پس از آن میوه‌ها بر اساس اندازه، رنگ، وزن و یکنواختی ظاهری درجه‌بندی می‌شوند (شکل ۴-۱). این کار موجب می‌شود هر بسته حاوی میوه‌هایی با کیفیت مشابه باشد و در نتیجه، اعتماد خریدار و رضایت بازار افزایش یابد.

¹ Smart

² Nano



شکل ۴-۱- سورتینگ و درجه‌بندی سیب (بی‌نام، ۲۰۲۶i)

در بازاررسانی محصول، درجه‌بندی دقیق نقش مهمی در قیمت‌گذاری دارد. سیب‌های درشت‌تر، خوش‌رنگ‌تر و بدون عیب ظاهری معمولاً در ردهٔ ممتاز قرار می‌گیرند و برای بازارهای با ارزش بالاتر یا صادرات مناسب‌تر هستند. در مقابل، میوه‌های رده پایین‌تر می‌توانند برای صنایع تبدیلی یا بازارهای محلی استفاده شوند. بنابراین، سورتینگ و درجه‌بندی نه‌تنها عملیاتی فنی بلکه ابزاری مهم در مدیریت اقتصادی محصول است.

پس از درجه‌بندی، در صورت نیاز و متناسب با بازار هدف، سیب باید با رعایت اصول بهداشتی شست‌وشو و ضدعفونی شود (شکل ۴-۲). برای این منظور، از محلول هیپوکلریت سدیم به‌عنوان ضدعفونی‌کنندهٔ مجاز استفاده می‌شود. غلظت فعال این ماده در محلول شست‌وشو بین ۵۰ تا ۱۰۰ ppm تنظیم می‌گردد. برای حفظ اثربخشی حداکثری، میزان pH محلول در محدوده ۶/۵ تا ۷/۵ نگه داشته می‌شود تا از آسیب

فصل چهارم

رساندن به بافت محصول جلوگیری شود. فرآیند ضدعفونی با زمان تماس حداقل ۲ تا ۵ دقیقه است و دمای آب نیز در محدوده ۱۰ تا ۱۵ درجه سلسیوس (برای جلوگیری از تنفس بالای میوه) کنترل می‌شود. اگر شست‌وشو و ضدعفونی درست نباشد، احتمال فساد زودرس و کاهش کیفیت ظاهری محصول افزایش می‌یابد. فرایند درست شست‌وشو موجب کاهش بار میکروبی سطح میوه و حذف آلودگی‌های سطحی می‌شود. استفاده از آب سالم و مواد ضدعفونی‌کننده در کنار رعایت نظافت تجهیزات و محیط کار از اصول ضروری این مرحله است.



شکل ۴-۲- شست‌وشوی سیب (بی‌نام، ۱۳۹۶)

پس از شست‌وشو، میوه باید به‌طور کامل خشک شود، زیرا باقی‌ماندن رطوبت روی سطح سیب می‌تواند شرایط را برای رشد عوامل فسادزا فراهم کند. در این مرحله، جریان هوای تمیز یا سیستم‌های خشک‌کن ملایم می‌توانند به آماده‌سازی بهتر محصول کمک کنند. سیب باید پیش از

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

بسته‌بندی، از نظر ظاهری کاملاً تمیز، خشک و آماده عرضه باشد.

بسته‌بندی نهایی باید متناسب با نوع بازار، فاصله حمل، شرایط نگهداری و سطح انتظار مصرف‌کننده انتخاب شود. برای بازارهای داخلی و خرده‌فروشی، بسته‌بندی باید علاوه بر محافظت از میوه، از نظر ظاهری نیز جذاب باشد. در بازارهای صادراتی، دوام بسته‌بندی، تهویه مناسب، مقاومت در برابر فشار و قابلیت چیدمان در سردخانه و حمل‌ونقل اهمیت بیشتری دارد.

انتخاب نوع جعبه، مواد محافظ، نحوه چیدن و درج اطلاعات روی بسته همگی در موفقیت عرضه محصول نقش دارند. بسته‌بندی مناسب باید به گونه‌ای باشد که از ضربه، فشار، لرزش و تغییرات رطوبت جلوگیری و در عین حال کیفیت ظاهری سیب را حفظ کند.

بسته‌بندی صحیح هزینه اضافی نیست، بلکه نوعی سرمایه‌گذاری برای حفظ کیفیت و افزایش فروش است. محصولی که با دقت سورت، درجه‌بندی و بسته‌بندی شده باشد در بازار با قیمت بهتر و ضایعات کمتر عرضه می‌شود. به علاوه، بسته‌بندی مناسب می‌تواند اعتماد مصرف‌کننده را افزایش دهد و جایگاه تولیدکننده را در بازار ارتقا بخشد. در

اینجا مهم‌ترین فناوری‌های نوین بسته‌بندی شرح داده می‌شوند که با هدف حفظ کیفیت و کاهش ضایعات پس از برداشت سیب به کار می‌روند.

۴-۳- فناوری‌های نوین بسته‌بندی

۴-۳-۱- بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده

بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده (MAP) یکی از روش‌های مؤثر در نگهداری پس از برداشت میوه‌ها، به‌ویژه سیب، به‌شمار می‌رود. در این روش، ترکیب گازهای داخل بسته به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که سرعت تنفس، رسیدگی و فساد محصول کاهش یابد و در نتیجه عمر انباری و بازارپسندی سیب افزایش پیدا کند. مبنای عملکرد این فناوری بر کاهش غلظت اکسیژن و افزایش نسبی دی‌اکسیدکربن است، به‌طوری‌که فعالیت‌های متابولیکی میوه کند می‌شوند و فرآیندهای تخریبی به تأخیر می‌افتند (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- بسته‌بندی سیب به روش MAP (بی‌نام، ۲۰۲۶k)
سیب پس از برداشت همچنان موجودی زنده و دارای تنفس فعال است. در شرایط MAP، کاهش غلظت اکسیژن

موجب کاهش شدت تنفس و تولید اتیلن می‌شود و افزایش دی‌اکسیدکربن نیز رشد بسیاری از قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌های عامل فساد را مهار می‌کند. در نتیجه، سفتی بافت، رنگ ظاهری، کیفیت، و طعم میوه برای مدت بیشتری حفظ می‌شود. این ویژگی، به‌ویژه در زنجیره توزیع طولانی مدت و صادرات سیب، اهمیت زیادی دارد.

از نظر کاربردی، MAP به دو شکل فعال و غیرفعال به کار می‌رود. در روش فعال، هوای داخل بسته تخلیه و ترکیب گازی مطلوب جایگزین آن می‌شود. در روش غیرفعال، تعادل گازی به تدریج و در اثر تنفس میوه و تبادل گاز از طریق فیلم بسته‌بندی ایجاد می‌گردد. انتخاب فیلم مناسب در این روش بسیار مهم است، زیرا نفوذپذیری آن باید با شدت تنفس سیب متناسب باشد. اگر نفوذپذیری فیلم بسیار کم باشد، احتمال ایجاد شرایط بی‌هوایی و بروز تخمیر افزایش می‌یابد که نتیجه آن تولید ترکیبات نامطلوب مانند اتانول و استالیدی و ایجاد طعم و بوی نامناسب است. از سوی دیگر، اگر نفوذپذیری فیلم بیش از حد زیاد باشد، اثر حفاظتی MAP کاهش می‌یابد و ترکیب گازی مطلوب برقرار نمی‌شود. MAP زمانی مؤثر است که زنجیره سرد به‌خوبی حفظ شود. افزایش دما شدت تنفس سیب را بالا می‌برد و ممکن است ترکیب گازی داخل بسته از تعادل خارج شود.

حفظ سطوح بهینه دی اکسید کربن و اکسیژن در داخل بسته بندی برای جلوگیری از رشد و تکثیر میکروارگانیسم های مختلف مهم است. تحمل سطوح دی اکسید کربن به نوع محصول بستگی دارد و مقدار آن ۲ درصد برای سیب است. سطوح بالاتر از حد تحمل می تواند منجر به تجزیه بافت محصول شود. شرایط اتمسفر اصلاح شده توصیه شده برای سیب شامل ۱ تا ۳ درصد اکسیژن، ۱ تا ۵ درصد دی اکسید کربن و دمایی بین صفر تا ۵ درجه سلسیوس است (بات و همکاران، ۲۰۲۳).

با وجود مزایای متعدد، استفاده از MAP محدودیت هایی نیز دارد و برای دستیابی به نتایج مطلوب باید چند عامل مهم کنترل شوند:

ارقام مختلف سیب مانند گالا، فوجی، گلدن دلشیز یا رد دلشیز، شدت تنفس و حساسیت متفاوتی نسبت به گازها دارند، بنابراین نمی توان از یک بسته بندی واحد برای همه ارقام استفاده کرد. اگر غلظت اکسیژن بیش از حد کاهش یابد، بافت میوه وارد متابولیسم تخمیری می شود و کیفیت حسی آن افت می کند.

انتخاب فیلم، ضخامت، اندازه بسته و نوع درزگیری نیازمند محاسبه و آزمون دقیق است؛ این انتخاب در برخی موارد هزینه های اولیه را افزایش می دهد. تجمع رطوبت درون

بسته می‌تواند شرایط را برای رشد قارچ‌ها فراهم کند، بنابراین تهویه و کنترل میعان نیز مهم است.

در مجموع، MAP روشی کارآمد برای افزایش ماندگاری، حفظ کیفیت و کاهش ضایعات سیب است، اما موفقیت آن به طراحی صحیح بسته، انتخاب فیلم مناسب، کنترل دما (حفظ زنجیره سرد) و توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیکی رقم مورد نظر وابسته است. از این‌رو، بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده باید به‌عنوان فناوری مکمل در کنار سردخانه، درجه‌بندی و بسته‌بندی اولیه به‌کار گرفته شود تا بیشترین اثربخشی را داشته باشد.

۴-۳-۲- بسته‌بندی فعال

بسته‌بندی فعال تکنیکی است که در آن بسته‌بندی، محصول و محیط پیرامون با یکدیگر تعامل دارند تا از این طریق ماندگاری کالای محصور شده افزایش یابد و کیفیت و ایمنی محصول حفظ شود (کوچار و پراساد^۱، ۲۰۱۴). با انتخاب سیستم‌های بسته‌بندی فعال متناسب با ویژگی‌های هر محصول می‌توان شرایط محیطی درون بسته را در سطح بهینه حفظ کرد. سیستم‌های بسته‌بندی فعال به‌طور کلی به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند: سیستم‌های جذب‌کننده^۲ و سیستم‌های آزادکننده^۳. در سیستم‌های جذب‌کننده، عوامل

¹ Kochhar and Prasad

² Scavengers

³ Releasers

نامطلوب محیطی مانند گازهای مختلف یا رطوبت از طریق فرایندهای جذب یا جذب سطحی حذف می‌شوند. در مقابل، سیستم‌های آزادکننده با آزادسازی ترکیبات خاص مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و عوامل ضد میکروبی در محیط درون بسته، شرایط مطلوب را برای محصول فراهم می‌کنند (بات و همکاران، ۲۰۲۳).

۴-۳-۲-۱- سیستم‌های حذف‌کننده یا جذب‌کننده

- جذب‌کننده‌های اتیلن

اتیلن هورمون گیاهی گازی است و نقش مهمی در تنظیم رسیدگی، نرم‌شدن بافت، تغییر رنگ و افزایش حساسیت میوه‌ها به برخی اختلال‌های فیزیولوژیکی و عوامل فساد دارد. از این رو، حذف اتیلن از فضای درون بسته می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش سرعت رسیدگی و افزایش ماندگاری سیب باشد. این فناوری‌ها از طریق واکنش شیمیایی برگشت‌ناپذیر، مولکول‌های اتیلن را از فضای درون بسته حذف و آن را به ترکیبات بی‌ضرر مانند دی‌اکسید کربن و آب تبدیل می‌کنند. ترکیبات فعالی چون پرمنگنات پتاسیم، پرمنگنات سدیم و دی‌اکسید تیتانیوم از رایج‌ترین مواد کاربردی در این سیستم‌ها هستند. این جذب‌کننده‌ها معمولاً در قالب کیسه‌های کوچک (ساشه) یا برچسب‌هایی طراحی می‌شوند که مستقیماً درون بسته‌بندی محصول قرار می‌گیرند. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از جذب‌کننده‌های اتیلن تأثیر مثبتی بر افزایش ماندگاری سیب

دارد و به حفظ شاخص‌های کیفی آن کمک شایانی می‌کند (اولگانکار^۱ و همکاران، ۲۰۲۰).

در برخی سامانه‌ها مواد متخلخل مانند زئولیت‌ها، کربن فعال و برخی جاذب‌های معدنی برای جذب فیزیکی اتیلن به کار می‌روند. این مواد با ایجاد سطح ویژه زیاد، اتیلن را از فضای درون بسته حذف می‌کنند. با این حال، کارایی آن‌ها به عواملی مانند سطح ویژه، رطوبت نسبی، دما، میزان بارگذاری ماده فعال، نفوذپذیری بسته‌بندی و مقدار تولید اتیلن توسط میوه وابسته است. با وجود این، اثربخشی آن‌ها به تنهایی تضمین‌کننده حفظ کیفیت نیست و باید همراه با مدیریت دما، رطوبت نسبی، تهویه و ویژگی‌های سدکنندگی بسته‌بندی ارزیابی شود. مقدار ماده فعال همچنین باید به گونه‌ای تنظیم شود که ضمن حذف مؤثر اتیلن از ایجاد مواد واکنش‌پذیر، تماس مستقیم ترکیب شیمیایی با محصول و تغییر نامطلوب در شرایط گازی داخل بسته جلوگیری شود (وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۵).

– جذب‌کننده‌های اکسیژن

حضور اکسیژن در فضای بالای بسته^۳ یا نفوذ آن از طریق فیلم بسته‌بندی، منجر به تشدید واکنش‌های اکسیداتیو و فراهم کردن شرایط مطلوب برای رشد میکروارگانیسم‌های

¹ Awalgaonkar

² Wang

³ Headspace

هوازی می‌گردد. این فرآیند می‌تواند به ایجاد بو و طعم ناخوشایند، تغییر رنگ، تخریب ترکیبات مغذی و کاهش چشمگیر عمر ماندگاری محصولات بینجامد. سیستم‌های جذب‌کننده اکسیژن قادرند غلظت اکسیژن را تا سطوح بسیار پایین (کمتر از ۰/۱ درصد) کاهش دهند و آن را در سراسر دوره نگهداری ثابت نگه‌دارند. بر اساس مکانیزم عملکرد، تکنولوژی‌های مختلفی برای حذف اکسیژن توسعه یافته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها شرح داده می‌شوند (سکین آدی و کانر^۱، ۲۰۱۳):

اکسیداسیون آهن: این روش رایج‌ترین و پرکاربردترین تکنولوژی در صنعت است. در این سیستم، پودر آهن با اکسیژن موجود در بسته واکنش می‌دهد و اکسید آهن تولید می‌کند. از نظر ظرفیت، هر گرم آهن می‌تواند با حدود ۳۰۰ میلی‌لیتر اکسیژن واکنش دهد. انتخاب درست این جاذب‌ها مستلزم محاسبه دقیق میزان اکسیژن اولیه و سرعت نفوذ اکسیژن به داخل بسته است تا از حفظ شرایط بدون اکسیژن در دوره انبارداری اطمینان حاصل شود.

اکسیداسیون اسید آسکوربیک: این روش اغلب در قالب واشرهای موجود در درهای بطری حاوی آب‌میوه استفاده می‌شود و برای حفظ ویژگی‌های حسی محصول بسیار کارآمد است.

¹ Seckin Aday and Caner

سیستم‌های آنزیمی: استفاده از ترکیب آنزیم گلوکز اکسیداز و گلوکز، یکی از روش‌های دقیق برای حذف اکسیژن است. به‌رغم کارایی بالا، کاربرد این سیستم در مقیاس صنعتی به دلیل هزینه زیاد محدودتر است.

دیگر سیستم‌ها: از دیگر روش‌ها می‌توان به اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع (مانند اسید اولئیک و اسید لینولئیک)، اکسیداسیون مواد رنگ حساس به نور و سایر ترکیبات شیمیایی اشاره کرد.

این جاذب‌ها به جلوگیری از قهوه‌ای شدن یا اکسیداسیون ویتامین C در سیب کمک می‌کنند.

- سیستم‌های کنترل دی‌اکسید کربن (CO_2)

کنترل غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) در فضای بالای بسته‌بندی یکی از ارکان کلیدی در مدیریت اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) محسوب می‌شود. برای میوه‌هایی که فرآیند تنفس فعالی دارند، مانند سیب، حفظ سطح مطلوب CO_2 حیاتی است. این امر از بروز اختلال‌های فیزیولوژیکی جلوگیری می‌کند، از جمله فساد بافتی ناشی از غلظت بیش از حد CO_2 و کاهش نامطلوب شدت تنفس که می‌تواند منجر به واکنش‌های بی‌هوازی و تولید بوهای نامطبوع شود. سیستم‌های کنترل CO_2 به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: **جذب‌کننده‌های CO_2 :** این سیستم‌ها برای کاهش غلظت CO_2 در بسته‌بندی‌هایی با نفوذپذیری پایین طراحی شده‌اند.

تولیدکننده‌های CO_2 ¹: در بسته‌بندی‌هایی با نفوذپذیری بالا، این سیستم‌ها وظیفه جبران کاهش CO_2 و حفظ سطح مطلوب آن را بر عهده دارند.

تکنولوژی‌های رایج در سیستم‌های کنترل CO_2 :

آزادکننده‌های CO_2 : این بسته‌ها معمولاً حاوی کربنات آهن یا مخلوطی از اسید آسکوربیک و بیکربنات سدیم هستند. در حضور آب، بیکربنات سدیم با اسید سیتریک واکنش می‌دهد و CO_2 تولید می‌کند.

جاذب‌های CO_2 شامل ترکیب فعال $Ca(OH)_2$ است که در حضور رطوبت کافی، با CO_2 واکنش می‌دهد و کربنات کلسیم ($CaCO_3$) تولید می‌کند. علاوه بر این، بسته‌های حاوی اکسید کلسیم را می‌توان نام برد که به همراه یک عامل هیدراته (مانند ژل سیلیکا) برای جذب رطوبت، قادر به جذب CO_2 اضافی تولید شده توسط میوه و سبزی‌ها هستند. این فرآیند از تاثیرهای نامطلوب CO_2 اضافی مانند کاهش pH، تغییر رنگ و تغییر طعم جلوگیری می‌کند.

۴-۳-۲-سیستم‌های آزادکننده

برخلاف سیستم‌های جذب‌کننده که هدفشان حذف یک عامل مخرب است، سیستم‌های آزادکننده هدفشان آزادسازی کنترل‌شده مواد مفید به داخل فضای بسته یا بر سطح محصول است.

¹ Emitters

- عوامل ضد میکروبی

این سیستم‌ها با هدف مهار رشد میکروارگانیسم‌های زیان‌آور (مانند قارچ‌های عامل پوسیدگی سیب) طراحی شده‌اند. در این فناوری، ترکیبات ضد میکروبی (مانند اسیدهای آلی، اسانس‌های گیاهی یا نانوذرات نقره) در ماتریس بسته‌بندی یا در قالب ساشه‌های جداگانه قرار می‌گیرند. این ترکیبات از طریق آزادسازی تدریجی در فضای بسته یا تماس مستقیم با سطح میوه، محیطی بازدارنده برای رشد باکتری‌ها و کپک‌ها ایجاد می‌کنند که ماندگاری محصول را افزایش می‌دهند.

- عوامل آنتی اکسیدان

با توجه به حساسیت سیب به اکسیداسیون و پدیده قهوه‌ای شدن، استفاده از بسته‌بندی‌های فعال حاوی آنتی اکسیدان‌ها اهمیت یافته است. این سامانه‌ها با آزادسازی ترکیبات آنتی اکسیدان (مانند ترکیبات فنلی یا اسید اسکوربیک) به سطح میوه، از واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو جلوگیری و پایداری رنگ و ویژگی‌های حسی محصول را در دوره انبارداری حفظ می‌کنند.

۴-۳-۳- بسته‌بندی‌های هوشمند^۱

سیستم بسته‌بندی هوشمند، نسبت به بسته‌بندی معمولی، عملکردی اضافی دارد یعنی به‌طور مداوم تغییرات رخ داده

¹ Smart Packaging

شده در محیط داخلی و خارجی کالای بسته‌بندی شده را نظارت و ثبت می‌کند و آن اطلاعات را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد^۱ (مجید^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

تازگی میوه سبب، که اغلب به‌عنوان رسیده‌بودن بیان می‌شود، همیشه مورد توجه مصرف‌کنندگان بوده است. مشخص شدن رسیدگی محصول به سطح مطلوب بسیار دشوار است و این مانع از تصمیم خرید مصرف‌کننده می‌شود. در نیوزیلند شرکتی به نام ریپ‌سنس^۲ یک نشانگر رسیدگی با حسگرهایی تهیه کرده است که می‌تواند عطرها و مواد فرار آزاد شده طی رسیدن میوه را تشخیص دهد. این حسگر بسته به وضعیت رسیده بودن، رنگ خود را از قرمز به نارنجی و در نهایت به زرد تغییر می‌دهد. این حسگر برای گلابی استفاده شده است و می‌تواند برای سایر میوه‌ها نیز به کار رود (بات و همکاران، ۲۰۲۳).

نشانگرهای رسیدگی مبتنی بر رنگ برای سبب نیز تهیه شده است. این نشانگر رنگی را می‌توان در ترکیب با یک حسگر تشخیص رنگ برای اندازه‌گیری‌های کمی تغییرات رنگ استفاده کرد. هنگامی که این نشانگر در معرض سیب‌های در حال رسیدن قرار می‌گیرد، رنگ برچسب از زرد به نارنجی و در نهایت به قرمز تغییر می‌کند. تغییر رنگ روی

¹ Majid

² RipeSenseTM

برچسب، همبستگی با تغییرات در پارامترهای کیفی را نشان می‌دهد (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴- بسته بندی هوشمند سیب (بی نام، ۲۰۲۶)

بسته‌بندی‌های هوشمند مجهز به نانوحسگر همچنین می‌توانند ترکیبات فرار آزاد شده در اثر فساد (مانند اتیلن یا ترکیبات گوگردی) را در سیب تشخیص دهند و از طریق تغییر رنگ یا ارسال سیگنال، وضعیت تازگی میوه را به آگاهی مصرف‌کننده یا انباردار برسانند.

۴-۳- بسته‌بندی نانو

پیشرفت‌های اخیر در حوزه نانو فناوری افق‌های جدیدی را در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، از جمله سیب، گشوده است. این فناوری با بهره‌گیری از موادی در مقیاس نانومتر (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر)، امکان خلق بسته‌بندی‌های هوشمند با کارایی بسیار بالاتر را فراهم می‌آورد. برای مثال، نانوذرات مختلف از جمله نانوذرات نقره، نیتريدیتانیوم، اکسید روی، دی‌اکسیدتیتانیوم و نانورُس به عنوان افزودنی‌های کاربردی در بسته‌بندی گنجانده شده‌اند.

نانوذرات نقره به دلیل خواص ضد میکروبی قوی خود به-
طور گسترده‌ای مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. این نانوذرات
می‌توانند با اختلال در غشای سلولی باکتری‌ها و قارچ‌ها، رشد
میکروارگانیسم‌های عامل فساد سیب را به شدت مهار کنند.
با افزودن این نانوذرات به فیلم‌های بسته‌بندی (مانند
پلی اتیلن، نشاسته یا سلولز) می‌توان ماندگاری سیب را به‌طور
قابل توجهی افزایش و نیاز به مواد نگهدارنده شیمیایی را
کاهش داد.

نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم^۲ نیز خواص
ضدباکتری و ضدقارچ از خود نشان داده‌اند و می‌توانند به-
عنوان افزودنی‌های ایمن در بسته‌بندی سیب به کار روند.
لایه‌های میکروسکوپی نانو رس (مانند مونت‌موریلونیت)
که در ماتریس پلیمری پراکنده می‌شوند، مسیر نفوذ گازهایی
مانند اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را مسدود می‌کنند و در
نتیجه، سرعت تنفس سیب را کاهش می‌دهند (بدیعی و
همکاران، ۱۳۹۱). این امر به حفظ تازگی و کاهش پژمردگی
میوه کمک شایانی می‌کند. نانولوله‌های کربنی و گرافن با
ساختار لایه‌ای خود می‌توانند استحکام مکانیکی فیلم‌های
بسته‌بندی را نیز افزایش دهند و همزمان خواص سدکنندگی
آن‌ها را بهبود بخشند. مزایای کلیدی نانوبسته‌بندی برای
سیب عبارت است از:

افزایش چشم‌گیر ماندگاری (با مهار عوامل فساد و کنترل محیط اتمسفر داخل بسته)، کاهش ضایعات محصول (هم در مرحله تولید و هم در زنجیره توزیع و فروش)، کاهش نیاز به مواد نگهدارنده شیمیایی (که برای مصرف‌کنندگان آگاه به سلامت، جذابیت بالایی دارد)، بهبود خواص مکانیکی و حفاظتی بسته و امکان ایجاد بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند. از چالش‌های نانوبسته‌بندی می‌توان به مسئله ایمنی و سمیت آن اشاره کرد. حصول اطمینان از ایمن بودن نانوذرات برای انسان و محیط زیست نیازمند تحقیقات و اخذ مجوزهای لازم است. در حال حاضر، هزینه تولید بسته‌بندی‌های مبتنی بر نانوفناوری نسبت به روش‌های سنتی بالاتر است، اما انتظار می‌رود با افزایش تولید انبوه، این هزینه کاهش یابد. برای پذیرش بازار لازم است مردم و خریداران با این فناوری‌های جدید آشنا شوند و به آن‌ها اعتماد کنند تا از محصولات بسته‌بندی شده با این روش استقبال بیشتری بشود.

- کیسه‌های نانو: رویکردی نوین برای صادرات

در ساختمان کیسه‌های نانو از نانو ذرات استفاده شده است. این کیسه‌ها، در مقایسه با کیسه‌های پلاستیکی معمول دوام و استحکام بیشتری دارند، وزن زیادی را تحمل می‌کنند و در مقابل پارگی مقاوم‌اند. این کیسه‌ها خواص ضدباکتریایی دارند و می‌توانند عوامل بیماری‌زا را از بین ببرند و کیفیت و ماندگاری محصولات را افزایش دهند. به همین دلیل، استفاده

فصل چهارم

از این کیسه‌های نانو برای ارسال محصولات به کشورهای خارجی و صادرات آن‌ها توانسته است معجزه بسیار شگرفی در این صنعت ایجاد کند. امروزه برای نگهداری سیب و نیز صادرات از کیسه‌های نانو و ضدباکتریایی استفاده می‌شود (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- کیسه‌های نانو برای نگهداری سیب (بی‌نام، m
(۲۰۲۶)

فصل پنجم

بسته‌بندی سیب بر اساس بازارهای هدف و

ویژگی‌های فنی

۵-۱- مقدمه

انتخاب نوع بسته‌بندی باید منطبق با سلیقه، قدرت خرید، و الزام‌های بازار هدف باشد. این فصل به بررسی تطبیقی بازارهای دور و نزدیک و استراتژی‌های مناسب بسته‌بندی برای هریک می‌پردازد. سیب تازه به دلیل تنفس بالا و حساسیت به ضربه، نیازمند بسته‌بندی محافظتی و مدیریت اتمسفر در زنجیره سرد است که هزینه‌های لجستیک را افزایش می‌دهد، اما در بازارهای محلی با بسته‌بندی‌های کوچک و لوکس می‌تواند ارزش افزوده قابل توجهی ایجاد کند. طراحی‌های برندمحور نیز امکان تمایز و افزایش سودآوری را فراهم می‌کنند. از منظر استراتژیک، تمرکز بر مدیریت دقیق زنجیره عرضه سرد برای سیب تازه می‌تواند به حداکثرسازی سود و ارتقای جایگاه محصول در بازار منجر شود.

۵-۲- بسته‌بندی سیب تازه

برای سیب تازه، بسته‌بندی‌هایی از جنس PET شفاف، پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP) و فیلم‌های پلی‌لاکتیک اسید (PLA) زیست‌تخریب‌پذیر مناسب هستند. این مواد به دلیل مقاومت در برابر رطوبت، شفافیت بالا و قابلیت دوخت حرارتی، امکان محافظت از محصول را در زنجیره سرد فراهم می‌کنند. هزینه این بسته‌بندی‌ها متوسط تا بالاست، اما مزایایی مانند ظاهر جذاب، حفظ تازگی و کاهش ضایعات، و قابلیت فروش در فروشگاه‌های زنجیره‌ای را دارند. معایب آن‌ها شامل نفوذپذیری به گازها در PET، نیاز به سردخانه، و هزینه بالاتر در مقایسه با بسته‌بندی فله است. این نوع بسته‌بندی بیشتر برای بازارهای محلی، خرده‌فروشی‌های لوکس و کشورهای همسایه با حمل‌ونقل سریع مناسب است (ساندهیا^۱، ۲۰۱۰).

در بسته‌بندی سیب تازه، نوع بسته‌بندی باید بر اساس بازار هدف، حفظ کیفیت محصول، و تطابق با استانداردهای بین‌المللی انتخاب شود. برای بازار خرده‌فروشی، استفاده از سینی‌های PET یا پلی‌پروپیلن با ظرفیت ۲۵۰ گرم تا ۱ کیلوگرم و طراحی جذاب، ضد‌دستکاری و قابل چیدمان توصیه می‌شود. در صادرات، جعبه‌های مقوایی موج‌دار با سینی داخلی و تهویه مناسب، با ظرفیت ۲ تا ۵ کیلوگرم،

¹ Sandhya

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

بهترین گزینه برای حمل هوایی یا دریایی هستند. در فروش محلی، کیسه‌های توری یا جعبه‌های زیست‌تخریب‌پذیر با ظاهر سنتی و ظرفیت ۵۰۰ گرم تا ۲ کیلوگرم، حس تازگی و خرید لحظه‌ای را تقویت می‌کنند (کادر، ۲۰۰۲) (شکل ۵-۱). جدول ۵-۱ بسته‌بندی‌های مناسب برای سیب تازه را بر اساس بازار هدف و خصوصیات نوع بسته شرح می‌دهد.



شکل ۵-۱- نمونه‌هایی از بسته‌بندی‌های رایج سیب تازه: الف) کیسه پلاستیکی، ب) کیسه توری، ج) جعبه مقوایی صادراتی با سینی داخلی، د) سینی PET با فیلم تنفس‌پذیر

جدول ۵-۱- بسته‌بندی سیب تازه بر اساس بازار هدف و

ویژگی‌های فنی

بازار هدف	نوع بسته‌بندی پیشنهادی	ظرفیت معمول	جنس بسته‌بندی	ویژگی‌ها و نیاز
خرده‌فروشی	سینی‌های کوچک یا جعبه‌های دردار	۲۵۰ گرم تا ۱ کیلوگرم	PET یا PP با فیلم تنفس‌پذیر	برچسب جذاب، ضد دستکاری، چیدمان آسان، مناسب برای مصرف فردی
صادراتی	جعبه‌های مقوایی موج‌دار با سینی داخلی	۲ تا ۵ کیلوگرم	مقوای مخصوص مواد غذایی با تهویه	سبک، قابل حمل، هوایی/دریایی، محافظت در مسیر طولانی، تطابق با استانداردهای بین‌المللی
روش محلی	کیسه‌های توری	۵۰۰ گرم تا ۲ کیلوگرم	کاغذ کرافت، PLA یا مواد پایدار	ظاهر سستی، حس تازگی، تحریک خرید لحظه‌ای، مناسب برای مشتریان دوست‌دار محیط زیست

فصل ششم

تطابق بسته‌بندی سیب با استانداردهای

بین‌المللی صادرات

۶-۱- مقدمه

با گسترش بازارهای بین‌المللی محصولات کشاورزی، تطابق بسته‌بندی با استانداردهای جهانی از گزینهٔ اختیاری به الزام صادراتی تبدیل شده است. سیب تازه یکی از محصولات استراتژیک ایران با ظرفیت بالای صادراتی است و نیازمند بسته‌بندی‌هایی است که نه تنها از نظر فنی محافظت‌کننده باشند، بلکه از منظر بازاریابی استانداردهای بین‌المللی نیز در آن‌ها رعایت شده باشد. تطابق بسته‌بندی با الزام‌های کشورهای هدف از جمله مقاومت در برابر رطوبت، کنترل تنفس، درج اطلاعات تغذیه‌ای، قابلیت ردیابی، و طراحی جذاب نقشی تعیین‌کننده در پذیرش محصول در بازارهای رقابتی دارد. در این راستا، شناخت دقیق درجه‌ها (گریدهای) مختلف سیب و تطبیق نوع بسته‌بندی با ویژگی‌های فیزیکی (مانند سفتی بافت)، ارزش اقتصادی، و سلیقهٔ مصرف‌کننده خارجی می‌تواند به افزایش سهم بازار،

کاهش ضایعات، و ارتقای برند ملی کمک کند. این فصل به بررسی تطابق فنی و بازاریابی بسته‌بندی با استانداردهای جهانی می‌پردازد.

در سطح ملی، مرجع اصلی ضوابط بسته‌بندی سیب تازه، استاندارد ملی ایران شماره ۳۴۷ با عنوان میوه سیب - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون است که آخرین تجدیدنظر آن در سال ۱۳۹۲ بوده و با الهام از ضوابط کمیسیون Codex Alimentarius تدوین گردیده است. این استاندارد هدف - های خود را در چهار حوزه اصلی شامل تعیین درجه‌بندی، ویژگی‌ها، روش‌های آزمون، و مهم‌تر از همه در بسته‌بندی و نشانه‌گذاری تعریف می‌کند.

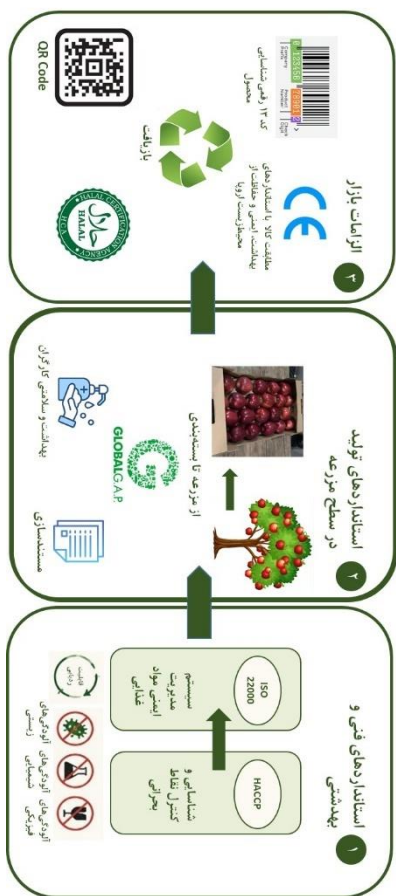
با این حال، برای صادرات سیب الزام‌های فنی فراتر از این استاندارد ملی رفته و سازمان توسعه تجارت ایران شاخص‌های خاصی را از تاریخ ۱۵ آبان ۱۳۹۵ اجباری اعلام کرده است. بر اساس این دستورالعمل، سیب درختی باید با کارتن یا سبدهای استاندارد صادر شود. اگرچه حمل با کانتینر یخچالی اجباری نیست، اما استفاده از آن مزایای قابل توجهی مانند اولویت در ترخیص گمرکی و دسترسی به حمایت‌های صادراتی را به همراه دارد (استاندارد ملی شماره ۳۴۷، ۱۳۹۲).

شکل ۶-۱ مسیر استراتژیک انطباق بسته‌بندی سیب صادراتی را از مرحله تولید در باغ تا ورود به بازارهای هدف

به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. در بخش نخست (چپ)، استانداردهای فنی و بهداشتی شامل HACCP برای شناسایی و کنترل نقاط بحرانی (CCP) در فرآیند بسته‌بندی و ISO 22000 به عنوان چارچوب جامع مدیریت ایمنی مواد غذایی با تأکید بر قابلیت ردیابی معرفی شده‌اند. بخش میانی به استاندارد Global G.A.P. اختصاص دارد که با تمرکز بر تولید سالم، سلامت کارگر، مستندسازی نهاده‌ها و ردیابی از مزرعه تا بسته‌بندی اولیه، حلقه اتصال تولید پایدار و بازارهای حساس به ایمنی غذا محسوب می‌شود. بخش سوم (راست) الزام‌های متمایز چهار بازار هدف کلیدی را نشان می‌دهد: اتحادیه اروپا با تأکید بر لیبل‌زنی به زبان رسمی، نماد CE و اطلاعات تغذیه‌ای؛ چین با الزام گواهی‌های قرنطینه و بسته‌بندی ضد رطوبت؛ ژاپن با اولویت طراحی ساده‌گرایی لوکس، متن ژاپنی و قابلیت ردیابی از طریق QR Code؛ و کشورهای خاورمیانه با نیاز به لیبل دو زبانه (عربی و انگلیسی)، گواهی حلال و انطباق با استانداردهای GSO¹ (سازمانی منطقه‌ای متشکل از نهادهای استاندارد ملی کشورهای عضو شورای همکاری خلیج فارس). یکی از وظایف اصلی GSO انتشار استانداردها و مقررات فنی از طریق کمیته‌های فنی ویژه است. فلش‌های افقی جریان پیوسته اطلاعات و محصول را از تولید استاندارد به فرآوری

¹ GCC Standardization Organization

ایمن (HACCP/ISO 22000) و نهایتاً به بازارهای هدف نشان می‌دهند. به هر حال، موفقیت صادراتی تنها از طریق ترکیب هم‌زمان استانداردهای تولید، ایمنی بسته‌بندی و انطباق با الزام‌های خاص هر بازار هدف حاصل می‌شود.



شکل ۶-۱- نقشه راه تطابق بسته‌بندی سبب با الزام‌های کلیدی بازارهای بین‌المللی (نگارندگان، ۱۴۰۵)

۶-۲- الزام‌های بسته‌بندی صادراتی

رعایت الزام‌های فنی، بهداشتی و بازارمحور در طراحی و اجرای بسته‌بندی نقش حیاتی ایفا می‌کند. این الزام‌ها نه تنها تضمین‌کننده سلامت و کیفیت محصول هستند، بلکه اعتماد خریداران خارجی را نیز جلب می‌کنند و موجب تسهیل ورود به بازارهای حساس و رقابتی می‌شوند.

۶-۲-۱- الزام‌های فنی و بهداشتی

در مسیر صادرات موفق سیب، رعایت الزام‌های فنی و بهداشتی بسته‌بندی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. بسته‌بندی مواد غذایی نقش حیاتی در ایمنی غذا دارد و تا حدی زیادی با HACCP و ISO 22000 مرتبط است. نخست، پیاده‌سازی اصول HACCP (تحلیل خطرها و نقاط کنترل بحرانی) ضروری است؛ این سیستم با شناسایی نقاط حساس در فرآیند بسته‌بندی، از بروز آلودگی‌های میکروبی، شیمیایی (مانند باقیمانده سموم) و فیزیکی جلوگیری می‌کند، ایمنی محصول را تضمین خواهد کرد، و مراحل کنترل را برای ارائه به نهادهای نظارتی مستندسازی می‌کند. HACCP نیاز به شناسایی خطرهای بالقوه در سراسر فرآیند تولید غذا دارد، از جمله خطرهای مرتبط با مواد بسته‌بندی، مانند آلودگی فیزیکی (برای مثال، شیشه شکسته)، و آلودگی شیمیایی (برای مثال، مهاجرت مواد از بسته‌بندی). در واقع HACCP

نقاط کنترل بحرانی را شناسایی می‌کند که در آن‌ها کنترل برای پیشگیری یا حذف یک خطر ایمنی در محصول غذایی ضروری است. فرآیندهای بسته‌بندی مانند شست‌وشو، ضدعفونی‌کردن یا خواص ممانعت‌کنندگی بسته می‌توانند جزو نقاط کنترل بحرانی باشند.

در کنار آن استاندارد ISO 22000، به‌عنوان چارچوبی جامع برای مدیریت ایمنی مواد غذایی، امکان یکپارچه‌سازی کنترل‌های کیفیت را فراهم می‌سازد و پیش‌نیاز ورود به زنجیره تأمین برندهای معتبر جهانی محسوب می‌شود. ISO 22000 سیستمی است مدیریتی که عناصر مختلفی مانند ارتباطات، بازنگری مدیریت و بهبود مستمر را شامل می‌شود که برای مدیریت مؤثر ایمنی غذا در بسته‌بندی ضروری هستند. ISO 22000 بر قابلیت ردیابی تأکید دارد و اطمینان می‌دهد مواد بسته‌بندی می‌توانند به منبع خود ردیابی شوند و هرگونه مشکلی می‌تواند به سرعت شناسایی و حل شود. در واقع، HACCP پایه و اساس شناسایی و کنترل خطر را در بسته‌بندی مواد غذایی فراهم می‌کند، در حالی که ISO 22000 چارچوبی گسترده‌تر برای مدیریت خطرهای ایمنی غذا از جمله آن‌هایی ارائه می‌دهد که مرتبط با بسته‌بندی هستند و آن‌ها را در یک سیستم مدیریت جامع یکپارچه می‌کند. HACCP بر شناسایی و کنترل خطر از جمله خطرهای مرتبط با مواد و فرآیندهای بسته‌بندی تمرکز دارد،

در حالی که ISO 22000 چارچوبی گسترده‌تر برای مدیریت ایمنی غذا ارائه می‌دهد که اصول HACCP را دربرمی‌گیرد و نیاز به یک سیستم مدیریت جامع دارد (والاس^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). رعایت الزام‌های Global G.A.P. که بر تولید محصول سالم و قابل ردیابی از مزرعه تا بسته‌بندی تأکید دارد، موجب افزایش شفافیت زنجیره عرضه و پذیرش محصول در بازارهای حساس مانند اروپا و شرق آسیا می‌گردد (هنسن و هامفری^۲، ۲۰۱۰). اجرای این استانداردها نه تنها سلامت و کیفیت سیب تازه را تضمین می‌کند، بلکه اعتماد خریداران خارجی را نیز جلب خواهد کرد و جایگاه ایران را در تجارت جهانی محصولات کشاورزی بالا می‌برد. جدول ۶-۱ تفاوت‌ها، نقاط تمرکز و کاربرد هر استاندارد را در زنجیره تولید و صادرات سیب نشان می‌دهد.

¹ Wallace

² Henson & Humphery

جدول ۶-۱- تطبیق استانداردهای ایمنی و کیفیت برای سیب

Global G.A.P.	ISO 22000	HACCP	ویژگی ها / استانداردها
استاندارد کشاورزی خوب (GAP)	استاندارد بین‌المللی سیستم مدیریت ایمنی غذایی	سیستم مدیریت ایمنی غذایی	نوع استاندارد
تولید اولیه (باغ، برداشت، بسته‌بندی اولیه)	کل زنجیره غذایی از تولید تا مصرف	فرآوری، بسته‌بندی، سورتینگ	دامنه کاربرد
ایمنی محصول، محیط زیست، سلامت کارگر، ردیابی	ترکیب HACCP با مدیریت سیستماتیک و ارتباطات	شناسایی و کنترل نقاط بحرانی (CCP)	تمرکز اصلی
در مرحله داشت و برداشت بالا (سوابق باغ، کود، سم، آموزش کارگر)	در کل زنجیره از باغ تا صادرات بالا (شامل ارتباطات، مستندات، ممیزی داخلی)	در مرحله بسته‌بندی و انبارداری متوسط (بر اساس CCP ها)	مناسب برای سیب تازه
کامل از باغ تا بسته‌بندی اولیه	کامل در کل زنجیره	محدود به فرآوری	الزام‌های مستندسازی
برای ورود به بازارهای اروپایی و خاورمیانه	برای بازارهای اروپایی و جهانی	برای کشورهای با الزام‌های ایمنی بالا	قابلیت ردیابی محصول
			مناسب برای صادرات

ادامهٔ جدول ۶-۱- تطبیق استانداردهای ایمنی و کیفیت برای

سیب

ویژگی‌ها / استانداردها	HACCP	ISO 22000	Global G.A.P.
نیاز به آموزش تخصصی	متوسط (برای تیم کنترل کیفیت)	بالا (برای مدیران، اپراتورها، ممیزان داخلی)	بالا (برای باغداران، مدیر باغ، کارگران)
هزینهٔ پیاده‌سازی	پایین تا متوسط	متوسط تا بالا	متوسط (بسته به وسعت باغ و نوع محصول)

۶-۲-۲- الزام‌های بازارهای هدف

در صادرات سیب شناخت دقیق الزام‌های بازارهای هدف از منظر طراحی بسته‌بندی، لیبل‌زنی، زبان، و اخذ گواهی‌های معتبر نقش حیاتی در پذیرش محصول و موفقیت تجاری دارد. هر کشور مقصد استانداردهای خاصی برای ظاهر، اطلاعات درج‌شده، و مدارک همراه محصول دارد که باید به‌دقت رعایت شوند. در اتحادیه اروپا، بسته‌بندی باید شامل اطلاعات تغذیه‌ای، هشدارهای آلرژی، بارکد EAN، و نمادهای زیست‌محیطی باشد. لیبل‌زنی باید به زبان رسمی کشور مقصد باشد (مثلاً فرانسوی برای فرانسه یا آلمانی برای آلمان) و استفاده از نمادهایی مانند CE یا نماد بازیافت الزامی است. اخذ گواهی‌هایی مانند HACCP، ISO 22000، و گواهی سلامت از مراجع معتبر پیش‌نیاز ورود به این بازار

است (سی‌بی‌آی^۱، ۲۰۲۲). در چین، حساسیت بالایی نسبت به منشأ محصول و سلامت آن وجود دارد. لیبل باید به زبان چینی ساده تنظیم شود و شامل اطلاعات دقیق تولیدکننده، تاریخ تولید، رقم (واريته)، و گواهی قرنطینه باشد. بسته‌بندی ضد رطوبت و مقاوم در حمل‌ونقل نیز الزامی است. برای ورود به بازار چین، اخذ گواهی‌های بهداشتی و قرنطینه‌ای از مراجع رسمی چین یا تأییدیه‌های بین‌المللی ضروری است (جی‌ای‌سی‌سی^۲، ۲۰۲۱).

در ژاپن، طراحی بسته‌بندی باید ساده، لوکس، و با کیفیت چاپ بالا باشد. لیبل‌رزی به زبان ژاپنی الزامی است و فونت‌ها باید خوانا و متناسب با سلیقه مصرف‌کننده ژاپنی باشند. درج اطلاعات تغذیه‌ای، منشأ محصول، و QR Code برای ردیابی از الزام‌های رایج است. گواهی‌هایی مانند ISO 22000 و Global G.A.P. برای ورود به زنجیره عرضه فروشگاه‌های ژاپنی اهمیت دارد (جترو^۳، ۲۰۲۱). در کشورهای خاورمیانه، مانند امارات و عربستان، لیبل‌ها باید به دو زبان عربی و انگلیسی تنظیم شوند و شامل اطلاعات تغذیه‌ای، تاریخ تولید و انقضا، و نمادهای سلامت باشند (شکل ۶-۲). رعایت استانداردهای سازمان GSO و اخذ گواهی‌های حلال و سلامت غذایی از مراجع معتبر منطقه‌ای

¹ CBI

² GACC

³ JETRO

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

پیش‌نیاز ورود به این بازارهاست. در مجموع، تطابق بسته‌بندی با الزام‌های لیبل‌زنی، زبان رسمی کشور مقصد، و اخذ گواهی‌های بین‌المللی نه تنها از نظر قانونی الزامی است بلکه نقش کلیدی در جلب اعتماد مصرف‌کننده، کاهش ریسک برگشت محصول، و افزایش میزان پذیرش در بازارهای هدف دارد (جی‌اس‌او، ۲۰۱۳).

ب



الف



د



ج



شکل ۶-۲- نمونه‌هایی از کارتن‌های صادراتی سیب برای بازارهای مختلف: الف) اروپا، ب) چین، ج) ژاپن و د) امارات

۶-۲-۳- قابلیت ردیابی

در تجارت جهانی محصولات کشاورزی، قابلیت ردیابی یکی از الزام‌های فزاینده است و در تضمین شفافیت زنجیره تأمین و اعتمادسازی در بازارهای هدف نقش کلیدی دارد. پیاده‌سازی سیستم ردیابی از طریق درج QR Code روی بسته‌بندی، امکان دسترسی سریع به اطلاعات حیاتی محصول را برای خریداران، نهادهای نظارتی، و

فصل ششم

مصرف کنندگان فراهم می‌سازد. این اطلاعات شامل نام و کد تولیدکننده، موقعیت جغرافیایی باغ، تاریخ برداشت، رقم، مسیر حمل و نقل، و شرایط نگهداری در سردخانه است که همگی در ارزیابی سلامت، اصالت، و کیفیت محصول مؤثرند (شکل ۶-۳). چنین شفافیتی نه تنها موجب افزایش اعتماد خریداران خارجی و تسهیل در اخذ گواهی‌های سلامت و بهداشت می‌شود، بلکه ریسک برگشت محصول از گمرک یا فروشگاه‌های مقصد را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. در شرایطی که بازارهای جهانی به‌ویژه اروپا، ژاپن و چین به سمت الزام‌های سخت‌گیرانه‌تر در زمینه ایمنی غذایی حرکت می‌کنند، ردیابی دیجیتال به‌عنوان مزیت رقابتی برای سیب ایران قابل بهره‌برداری است و می‌تواند جایگاه این محصول را در زنجیره تأمین بین‌المللی تثبیت کند (اونگ و چانگ^۱، ۲۰۱۴)



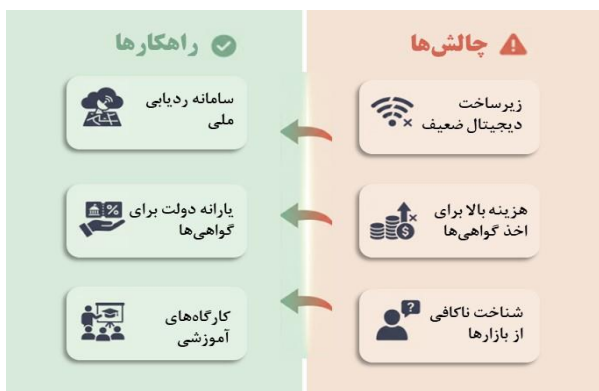
شکل ۶-۳- نمایش اطلاعات قابل ردیابی یک سیب صادراتی از طریق اسکن QR Code روی بسته.

¹ Aung & Chang

۶-۲-۴-چالش‌های ایران

با وجود ظرفیت بالای تولید سیب در ایران، به‌ویژه در مناطق مستعدی مانند آذربایجان غربی، دماوند و سمیرم چالش‌های ساختاری و اجرایی متعددی مانع از تطابق کامل با استانداردهای جهانی صادرات می‌شوند. یکی از مهم‌ترین موانع، فقدان زیرساخت‌های دیجیتال برای ثبت، ذخیره‌سازی و انتقال اطلاعات محصول از باغ تا بسته‌بندی است؛ این ضعف، پیاده‌سازی سیستم‌های ردیابی و اخذ گواهی‌های سلامت را دشوار می‌سازد (اونگ و چانگ، ۲۰۱۴). از سوی دیگر، هزینه‌بر بودن فرآیند اخذ گواهی‌های بین‌المللی مانند HACCP، ISO 22000 یا Global G.A.P، به‌ویژه برای تولیدکنندگان خرد و متوسط، موجب کاهش انگیزه برای ورود به بازارهای رسمی جهانی شده است. کمبود آگاهی نسبت به الزام‌های خاص هر کشور مقصد در زمینه طراحی بسته‌بندی، لیبل‌زنی، زبان، و انتخاب مواد اولیه باعث می‌شود تا بسیاری از محصولات ایرانی با وجود کیفیت بالا، در گمرک‌های خارجی متوقف یا برگشت داده شوند (هنسن و هامفری، ۲۰۱۰). برای رفع این چالش‌ها پیشنهاد می‌شود سامانه ملی ردیابی محصولات کشاورزی با همکاری وزارت جهاد کشاورزی و سازمان غذا و دارو راه‌اندازی شود، حمایت‌های دولتی برای اخذ گواهی‌های بین‌المللی در قالب یارانه یا تسهیلات ارائه گردد، و کارگاه‌های آموزشی

تخصصی برای تولیدکنندگان، واحدهای بسته‌بندی، و صادرکنندگان برگزار شود تا آگاهی و توانمندی عملی آنان در مواجهه با الزام‌های بازارهای هدف افزایش یابد (شکل ۶-۴). تدوین الگوهای بسته‌بندی استاندارد برای هر رقم و بازار هدف و بهره‌گیری از طراحان صنعتی برای بهبود گرافیک بسته‌بندی‌ها از دیگر نکات مهم است.



شکل ۶-۴- از چالش تا راهکار: نمودار خلاصه موانع صادرات سیب ایران و پیشنهادهای اجرایی برای رفع آن‌ها

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سیب پس از برداشت، به دلیل ادامهٔ تنفس، تولید اتیلن، حساسیت به ضربه و کاهش رطوبت، مستعد افت کیفیت و ضایعات است. از این رو، بسته‌بندی مناسب فقط وسیله‌ای برای حمل محصول نیست، بلکه بخشی مهم از مدیریت پس از برداشت به‌شمار می‌آید. بسته‌بندی می‌تواند با محافظت از میوه در برابر فشار و آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی، کمک به حفظ رطوبت، فراهم کردن تهویهٔ مناسب و تسهیل جابه‌جایی، کیفیت سیب را تا زمان رسیدن به مصرف‌کننده حفظ کند.

مطالب این دستنامه نشان می‌دهد که انتخاب نوع بسته‌بندی باید با کیفیت و درجه (گرید) محصول، شرایط حمل‌ونقل، مدت نگهداری و نیاز بازار هدف هماهنگ باشد. بسته‌بندی مقاوم، بهداشتی و دارای برچسب مناسب علاوه بر کاهش ضایعات به افزایش اعتماد مصرف‌کننده، بهبود فروش و تقویت جایگاه سیب ایران در بازارهای داخلی و صادراتی کمک می‌کند. رعایت زنجیرهٔ سرد، اصول درجه‌بندی، اطلاعات‌گذاری صحیح و قابلیت ردیابی محصول نیز برای عرضهٔ موفق سیب، به‌ویژه در بازارهای صادراتی، ضروری است.

برای بهبود وضعیت بسته‌بندی و عرضهٔ سیب، پیشنهادهای زیر به‌ترتیب اولویت ارائه می‌شود:

۱. **باغ و هنگام برداشت:** میوه‌ها با دقت برداشت شوند، از پرتاب‌کردن و وارد شدن ضربه جلوگیری شود و سیب‌های آسیب‌دیده از محصول سالم جدا شوند.

۲. **واحد بسته‌بندی:** محصول سورت و درجه‌بندی شود و برای هر درجه (گرید) بسته‌بندی متناسب انتخاب گردد. بسته‌بندی باید تمیز، مقاوم، دارای تهویهٔ کافی و متناسب با وزن محصول باشد.

۳. **زنجیرهٔ سرد و حمل‌ونقل:** محصول پس از برداشت در کوتاه‌ترین زمان به محل پیش‌سرد و سردخانه منتقل شود و با رعایت دما و جلوگیری از فشار و لرزش حمل شود.

۴. **استفاده از فناوری‌های نوین:** استفادهٔ تدریجی از مواد زیست‌تخریب‌پذیر، بسته‌بندی‌های هوشمند و روش‌های نوین حفظ کیفیت می‌تواند در کاهش ضایعات و افزایش ماندگاری مؤثر باشد.

۵. **صادرات و بازاریابی:** اطلاعات لازم شامل رقم، درجه (گرید)، وزن، تاریخ بسته‌بندی، شرایط نگهداری و مشخصات تولیدکننده روی برچسب درج شود. رعایت استانداردهای بازار هدف، دریافت گواهی‌های لازم و ایجاد امکان ردیابی محصول باید مورد توجه قرار گیرد.

منابع

آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۳، جلد سوم: گزارش محصولات باغی، قارچ و گلخانه‌ای، معاونت آمار مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات، شهریور ۱۴۰۴.

ایوانی، ا.، بدیعی، ف.، شواخی، ف. ۱۳۹۲. مقایسه روشهای پایش غیر مخرب آکوستیکی و مخرب مکانیکی برای بررسی ماندگاری سیب گلاب ضربه دیده و پوشش داده شده با متیل سلولز. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره ۴۴۷۵۳. ۱۲۰ صفحه.

بدیعی، ف.، هاشمی، م.، مفتون آزاد، ن.، رفیعی، ز.، کشاورز، ن. خیام‌نکویی، س. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر یک نوع پوشش نانوامولسیون برپایه کیتوزان در افزایش ماندگاری سیب رقم گلاب کهنر. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره ۴۴۰۰۸. ۸۸ صفحه.

بدیعی، ف.، مفتون آزاد، ن.، بهمدی، ه.، شریف‌نسب، ه.، حسینی، گ. و کشاورز، ن. ۱۳۹۱. تولید فیلم‌های قابل بازیافت نانو کامپوزیت نشاسته به منظور بسته

- بندی محصولات کشاورزی و بررسی خصوصیات آنها. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره ۴۲۲۱۷ مورخ ۱۳۹۱/۱۰/۱۹.
- روزنامه اقتصادی تعادل. نگاهی به مهم‌ترین کشورهای واردکننده سیب. ۲۹ شهریور ۱۴۰۵.
<https://www.taadolnewspaper.ir/fa/news/133562>
- زمردی، ش. ۱۳۸۴. تاثیر بسته بندی و پرمنگنات پتاسیم بر کیفیت و عمر انباری سه رقم سیب در سردخانه. تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۶، شماره ۲۵، صفحات ۱۵۶-۱۴۳.
- زمردی، شهین و کریمی، مهدی ۱۳۸۴. بررسی جعبه‌های پلاستیکی همراه با شانه‌های مخصوص میوه و جاذب اتیلن در نگهداری سیب درختی و مقایسه آن با جعبه‌های چوبی. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره ۸۹۶ مورخ ۱۳۸۳.
- زمردی، شهین. ۱۳۹۶. بررسی و ارائه روش‌های مناسب بسته‌بندی سیب درختی. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره ۵۲۷۸۳ مورخ ۱۳۹۶/۹/۲۹.
- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۹۲. میوه سیب - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۷، تجدیدنظر اول.

راهنمای عملیاتی بسته‌بندی سیب برای بازارهای داخلی و صادراتی

مفتون آزاد، ندا و مریم شاه‌امیریان. ۱۴۰۴. راهنمای عملیاتی بسته‌بندی انجیر برای بازارهای داخلی و صادراتی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (دستنامه فنی). شماره ۶۸۵۵۴.

مجله الکترونیکی بازار. جایگاه نهم ایران در صادرات سیب در ۲۰۲۵؛ ارزاترین سیب صادراتی ایرانی است. ۲ تیر

<https://www.tahlilbazaar.com/news.۱۴۰۵>

Anonymous. 2026a. <https://www.amazon.se/-/en/WOOD-Wooden-Fruit-Boxes-Decoration/dp/B08F9Z11Y1?th=1>

Anonymous. 2026b. <https://agahiroz.com/ads/-سیب-صادراتی->
[لیبل-سیب](#)

Anonymous. 2026c. <https://bestbp.ir/product/sabad-200t>

Anonymous. 2026d. <https://tabrizchasb.ir/wp-content/uploads/2020/07/shrink-film.jpg>

Anonymous. 2026e. <http://different types of bumpers in apple fruit packaging>

Anonymous. 2026f. <https://wisesorbent.fr/en/food-packaging/ethylene-absorber/>

Anonymous. 2026g. <https://shutterstock.com423060451>

Anonymous. 2026h. <https://persiansanat.com/the-importance-of-using-plastic-pallet-boxes-in-the-export-and-import-of-goods>

- Anonymous. 2026i. <https://taksazansanat.ir>-انواع
سورتینگ-در-خط-تولید
- Anonymous. 2026j. <https://behsazanmachine.com/fruit-vegetable-washing-machine/>
- Anonymous. 2026k. <https://www.ulmapackaging.com/en/packaging-solutions/produce/fresh-fruit-in-trays/apples-tray-packaging-in-stretch-film>
- Anonymous. 2026l. <https://elmfood.com/smart-packaging-for-food>
- Anonymous. 2026m. <https://kisenano.ir/>-خرید
آنلاین-مستقیم-کیسه-نانو-سیب
- Acican, T., Alibas, K., O. and zelkok, I. S. 2007. Mechanical damage to apples during transport in wooden crates. Biosystems Engineering Journal. 96: 239–248.
- Aung, M. M. and Chang, Y. S. 2014. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. Food Control. 39: 172-184.
- Awalgaonkar G, Beaudry R. and Almenar E. 2020. Ethylene-removing packaging: basis for development and latest advances. Comprehensive Reviews in Food Science and Food. 19: 3980–4007.
- CBI. 2022. The European market potential for dried fruit. <https://www.cbi.eu/market-information/processed-fruit-vegetables-edible-nuts/dried-tropical-fruit/market-potential>

- Bhat, S. A., Rizwan, D., Ahmad Mir, S., Wani, S. M. and Masoodi, F. A. 2023. Advances in apple packaging: a review. *Journal Food Science and Technology*. 60(7):1847–1859.
- Bozbuğan F. and Pırlak, L. 2012. Determination of Phenological and pomological characteristics of some apple cultivars in NIĞDE-TURKEY Ecological Conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 22(1): 183-187.
- Codex Alimentarius Commission. (2010). Standard for apples (CXS 299-2010). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & World Health Organization (WHO). <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/>
- Eissa, A.H.A., Albaloushi, N.S. and Azam, M.M. 2013. Vibration analysis influence during crisis transport of the quality of fresh fruit on food security. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 15: 181–190.
- Erdem, T. 2020. Competitiveness of dried sector: A case study of world and Turkey. *Agricultural Economics*. 66: 365-372.
- FAO. 2012. Good practice in the design, management and operation of a fresh produce packing-house. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- FAO. 2018. Preventing post-harvest losses in the apple supply chain. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAOSTAT. 2024. [https:// www.fao. org/ faostat/ en/# data/ QCL](https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL).
- GACC. 2021. Decree No. 248. <https://www.gacc.app/overseas-facilities-registration-regulation-decree-248>
- García García, D., Carbonell, A., Samper, M. D. and Garcia Sanoguera, D. 2023. Sustainable and bio based food packaging: A review on past and current design innovations. *Polymers*, 15(5): 1234.
- Gross, K. C., Wang, C. Y. and Saltveit, M. (Eds.). 2016. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks (Agriculture Handbook No. 66). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/oc/np/CommercialStorage/CommercialStorage.pdf>
- GSO. 2013. GSO 9:2013: Labelling of prepackaged foodstuffs. <https://www.gso.org.sa/store/standards/GSO:615544/GSO%209:2013?lang=en>
- Bala, S. and Kumar, J. 2018. Packaging of fruits and vegetables in India: A Review. *Chemical Science Review and Letters*. 7(25): 62-69.
- Henson, S. and Humphrey, J. 2010. Understanding the Complexities of Private Standards in Global Agri-Food

- Chains as They Impact Developing Countries. The Journal of Development Studies. 46(9): 1628-1646.
- Hortgro. 2024. South African pome fruit industry packaging material guidelines 2024.
- Hussein, Z., Fawole, O.A. and Opara, U.L. 2020. Harvest and postharvest factors affecting bruise damage of fresh fruits. Horticulture Plant Journal. 6:1–13.
- Jarimopas, B., Singh, S.P., Sayasoonthorn, S. and Singh, J.P. 2007. Comparison of package cushioning materials to protect post-harvest impact damage to apples. Packaging Technology and Science an international Journal. 20(5): 315-324.
- JETRO. 2021. *Guide to Japanese Import Regulations*.
<https://www.customs.go.jp/english/summary/import.htm>
- Kader, A. A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops (No. Ed. 3, pp. vii+-535).
- Kitinoja, L. and Kader, A. 2002. Small-scale post-harvest handling practices. Davis, Calif.: Department of Pomology, University of California, p.260.
- Kochhar, A. and Prasad, P. 2014. Active packaging in food industry: a review. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 8:1–07.
- Market Data Forecast. 2026. Fresh Apple Market Report. Market Data Forecast.

- Retrieved from: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/fresh-apple-market>
- Majid, I., Ahmad Nayik, G., Mohammad Dar, S. and Nanda, V. 2018. Novel food packaging technologies: innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17:454-462
- Mukama, M., Ambaw, A. and Opara, U.L. 2020. Advances in design and performance evaluation of fresh fruit ventilated distribution packaging: a review. *Food Packaging Shelf Life*. 24: 100472.
- Panou, A., Lazaridis, D.G. and Karabagias, I.K. 2025. Application of smart packaging on the preservation of different types of perishable fruits. *Foods*, 14(11): 1878.
- Pathare, P.B. and Opara, U.L. 2014. Structural design of corrugated boxes for horticultural produce: a review. *Biosystems Engineering Journal*. 125:128–140.
- Pinto, L., Palma, A., Cefola, M., Pace, B., D'Aquino, S., Carboni, C. and Baruzzi, F. 2020. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit. *Food Packaging Shelf Life*. 26, 100573
- Robertson, G. L. 2014. Food packaging. In: *Encyclopedia of agriculture and food systems*. Elsevier, pp 232–249

- Salehi, B., Sharifi-Rad, R., Sharopov, F., Namiesnik, J., Roointan, A., Kamle, M., Kumar, P., Martins, N. and Sharifi-Rad, J. 2018. Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. *Nutrition*. 62: 201–208.
- Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*. 43(3): 381-392.
- Saltveit, M.E. 2004. Respiratory Metabolism.” The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. USDA Agriculture Handbook 66. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/respiratoryMetab.pdf>.
- Seckin Aday, M. and Caner, C. 2013. The shelf life extension of fresh strawberries using an oxygen absorber in the biobased package. *LWT - Food Science and Technology*. 52, 102-109.
- Shafei, R., Rastaad, A. and Allahdadi, M. 2018. Survey of the companies’ intersectional marketing maturity (IMM) and its relation to the entry timing and segmentation of export target markets (evidence from a developing country). *The Journal of Indian Management & Strategy*. 23(4): 36-46.
- Schwallier, P. 2012. Checking apple maturity: What to look for. Available at: http://msue.anr.msu.edu/news/checking_ap

- ple_maturity_what_to_look_for (Accessed: 8 November 2016).
- Sharma, R.R., Pal, R.K., Singh, D, Samuel, D.V.K., Sethi, S. and Kumar, A. 2013. Evaluation of heat shrinkable films for shelf life, and quality of individually wrapped royal delicious apples under ambient conditions. *Journal Food Science and Technology*. 50: 590–594.
- Seckin Aday, M., & Caner, C. 2013. The shelf life extension of fresh strawberries using an oxygen absorber in the biobased package. *LWT - Food Science and Technology*, 52(2): 102–109.
- Subedi, G.D., Gautam, D.M., Baral, D.R. and KC, G.B. 2017. Evaluation of packaging materials for transportation of apple fruits in CFB boxes. *International Journal of Horticulture*. 7(8): 54-63.
- Thakur, A.K., Kumar, R., Bhushan Shambhu, V. and Shekhar Singh, I. 2017. Effectiveness of shrink-wrap packaging on extending the shelf life of apple. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6: 3365–3374.
- The Business Research Company. 2026. Global Apples Market Report. The Business Research Company. Retrieved from: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/apples-global-market-report>

- Yahia, E. M. and Carrillo Lopez, A. 2018. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Woodhead Publishing.
- Wallace, C. A., Sperber, W. H. and Mortimore, S. E. 2018. Food Safety for the 21st Century. John Wiley & Sons.
- Wang, Y., Xu, J., Iskakov, J. M., Jia, X. 2025. Ethylene scavengers for extended freshness: A critical comparison between physisorption and chemistry process. Applied Food Research. 5: doi.org/10.1016/j.afres.2025.101267