کاهش ضایعات توت‌فرنگی با انتخاب جعبه مناسب و پیش‌خنک‌کاری

محمدعلی به‌آئین *

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده

توت‌فرنگی، میوه‌ای فسادپذیر و حساس به آسیب‌های مکانیکی و میکروبی است. پیش‌خنک‌کردن با هوای سرد اجباری از مهم‌ترین روش‌های حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری این محصول به شمار می‌آید. نرخ جریان هوای سرد، طراحی جعبه و سینی‌های قرارگیری جعبه توت‌فرنگی از عوامل مهم در افزایش اثربخشی عملیات پیش‌خنک‌کردن است. البته باید توجه داشت که با وجود اجرای عملیات پیش‌خنک‌کردن، به‌دلیل یکنواخت سردنشدن توت‌فرنگی در جعبه‌های حاوی محصول، همچنان بروز ضایعات امری اجتناب‌ناپذیر است. موفقیت در انجام عملیات پیش‌خنک‌کردن، مستلزم جریان هوای سرد به‌صورت یکنواخت در تمام قسمت‌های جعبه توت‌فرنگی است. طراحی شیارهای روی جعبه به برقراری جریان هوای سرد یکنواخت کمک می‌کند. معمولاً شیارهای مستطیل‌شکل و با تعداد متفاوت به صورت درصدی از سطح جعبه از صفر تا ٦٥ درصد تعبیه می‌شود. هوای سرد پس از عبور از شیارهای یک طرف جعبه و سرد کردن محصول، از طرف دیگر جعبه به‌صورت هوای گرم خارج می‌شود. همچنین، جریان هوای سرد در سینی‌های مورداستفاده برای قرارگیری جعبه‌ها و تشکیل پالت نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله، به معرفی چند جعبه و سینی مورداستفاده در بسته‌بندی توت‌فرنگی پرداخته شده است. همچنین، روش پیش‌خنک‌کردن و یکنواخت سردشدن جعبه‌ها توضیح داده شده و جعبه و سینی مناسب در پیش‌خنک‌کردن توت‌فرنگی پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی، پیش‌خنک‌کردن، توت‌فرنگی، جعبه، سینی، نرخ جریان هوا

* نگارندهٔ مسئول: ali_behaeen@yahoo.com

بیان مسئله

در سال‌های اخیر به تولید و عرضه محصولات کشاورزی با کیفیت مطلوب، توجه زیادی شده است. بنابراین، توسعه روش‌های پس از برداشت برای افزایش عمر انبارداری و قفسه‌ای میوه‌ها و سبزی‌ها ضروری است. در میان این روش‌ها، پیش‌خنک‌کردن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. پیش‌خنک‌کردن، رفع سریع گرمای مزرعه از محصولات کشاورزی است. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که دما، مهم‌ترین عامل فساد و ایجادکننده ضایعات در میوه‌ها و سبزی‌های تازه است (میشل[1]، ۱۹۹۲). بهترین زمان کنترل دمای بحرانی محصول، در هنگام برداشت و هم‌زمان با آغاز فساد محصول است. تأخیر در سردکردن و رسیدن دمای محصول به ۳۰ درجه سلسیوس، باعث کاهش کیفیت و خرابی آن می‌شود (تالبوت و چاو[2]، ۱۹۹۱). انتخاب روش پیش‌خنک‌کردن به دمای نهایی محصول، حساسیت محصول به آب یا یخ، تجهیزات و امکانات موجود و نیز ارزش و طبیعت فسادپذیری محصول بستگی دارد.

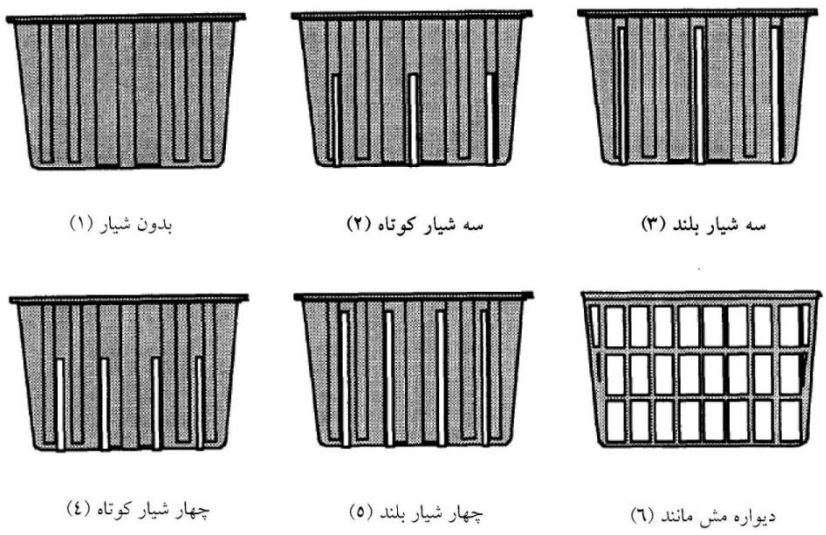
توت‌فرنگی به‌دلیل میزان تنفس بالا، از دست‌دادن سریع آب و حساسیت به صدمات وارده، جزء محصولات با فسادپذیری بالا طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین، تولید این محصول و تحویل آن به بازار مصرف، همواره به‌صورت یک چالش مهم مطرح است. سطح زیرکشت این محصول در ایران ٦٠٥١ هکتار و میزان تولید آن ٧٩١٧٥ تن گزارش شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). بهترین روش برای پیش‌خنک‌کردن توت‌فرنگی، استفاده از هوای سرد اجباری در دماهای نزدیک به صفر درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵-۸۵ درصد است (فروآ و سینگ[3]، ۲۰۱۱). در این روش، با کاهش سریع دمای محصول، تغییر رنگ، کاهش کیفیت بافت و تغییر در وزن به حداقل می‌رسد (اموند و جولین[4]، ۱۹۹۳). بدین‌منظور تعیین نرخ سردشدن، نرخ جریان هوا، طراحی جعبه و سینی‌های سردکردن محصول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با وجود مؤثربودن روش‌های پیش‌خنک‌کردن، سردشدن غیریکنواخت قسمت‌های مختلف جعبه‌های حاوی توت‌فرنگی، همیشه به عنوان یک موضوع مؤثر بر ضایعات این محصول مطرح بوده است. بنابراین، طراحی جعبه‌هایی که بتواند حداکثر یکنواختی سردشدن را در پیش‌خنک‌کردن توت‌فرنگی داشته باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله، روش پیش‌خنک‌کردن، انواع جعبه و سینی‌های بسته‌بندی توت‌فرنگی و نیز راهکارهای سردشدن یکنواخت محصول در جعبه شرح داده شده است.

معرفی دستورالعمل

طراحی شیارهای جعبه توت‌فرنگی

جعبه‌های پلاستیکی که امروزه برای عرضه توت‌فرنگی استفاده می‌شود، از جنس پلیمر است. در دیواره این جعبه‌ها، شش نوع شیار مختلف به شرح زیر قابل تعبیه است (اموند و همکاران، ١٩٩٦). طول، عرض و ارتفاع این جعبه‌ها به ترتیب ۹/۳، ۸/۵ و ٦/٧ سانتی‌متر است (شکل ۱). درصد بازبودن شیارهای این جعبه‌ها در جدول یک آورده شده است.

[1] Mitchell
[2] Talbot & Chaue
[3] Ferrua & singh
[4] Emond & Julien



شکل ۱- انواع مختلف شیار در جعبه‌های توت‌فرنگی برای انجام عملیات پیش‌خنک‌کردن

جدول ۱- درصد بازبودن شیار جعبه‌های حاوی توت‌فرنگی

نوع شیار جعبه	بدون شیار	سه شیار کوتاه	سه شیار بلند	چهار شیار کوتاه	چهار شیار بلند	دیواره مش‌مانند
درصد بازبودن شیار	۰	٤/٤	۷/٦	۵/۸	۱۰/۱	٦۵

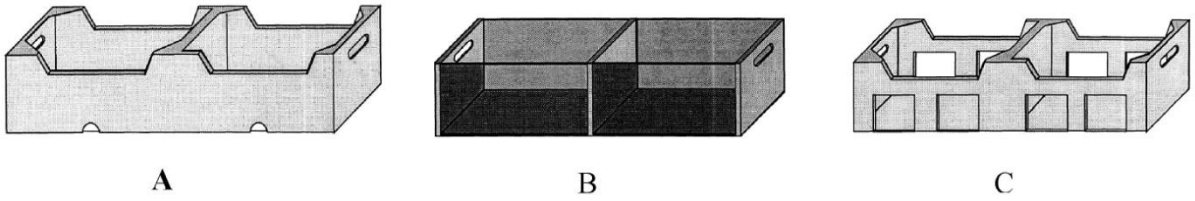
سینی‌های قرارگیری جعبه‌های توت‌فرنگی

سینی‌های قرارگیری جعبه‌های توت‌فرنگی برای انجام عملیات پیش‌خنک‌کردن باید طوری طراحی و ساخته شوند که ۸ جعبه دو ردیفه در آن قرار گیرد. این سینی‌ها به سه شکل زیر است (اموند و همکاران، ۱۹۹٦):

۱- سینی‌های با دو سوراخ نیم‌دایره‌ای در دو طرف دیواره (A)

۲- سینی‌های با روزنه‌های فلزی مش مانند در دو طرف دیواره (B)

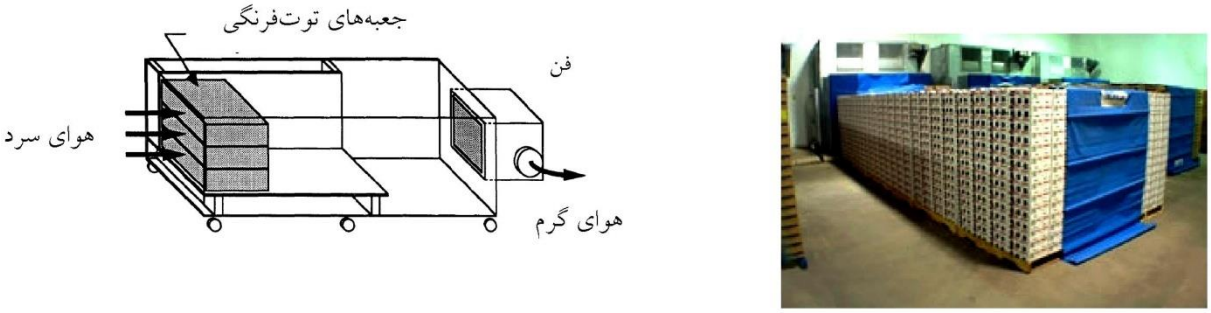
۳- سینی‌های دارای ۸ روزنه مربعی شکل در دو طرف دیواره (C) (شکل ۲).



شکل ۲- انواع سینی‌های قرارگیری جعبه‌های توت‌فرنگی

دستگاه پیش‌خنک‌کردن

دستگاه پیش‌خنک‌کن از یک جعبه از جنس چوب یا پلکسی گلاس تشکیل شده که سینی‌های حاوی جعبه‌های توت‌فرنگی در آن قرار داده می‌شود (شکل ۳). در این دستگاه، هوای سرد توسط سامانه یک یخچال شامل کمپرسور (موتور یخچال)، کندانسور (رادیاتور یخچال)، شیر انبساط و تبخیرکننده تولید می‌شود. هوای سرد از یک طرف دستگاه وارد شده و پس از تماس با توت‌فرنگی درون جعبه‌ها و تبادل گرمایی، از طرف دیگر با دمای گرم خارج می‌شود. حرکت هوای سرد به درون دستگاه و خروج هوای گرم به‌وسیله یک پنکه سانتریفوژ تولیدکننده خلاء و مکش انجام می‌شود. ایجاد خلاء و مکش پنکه باعث می‌شود که هوای سرد از میان شیارهای جعبه‌های حاوی توت‌فرنگی عبور کند. نرخ جریان هوای پنکه، با توجه به سرعت جریان هوا قابل تغییر است. دستگاهی که جعبه‌های توت‌فرنگی در آن قرار می‌گیرند، دارای سطح مقطع ثابت است. بنابراین، با تغییر سرعت جریان هوا توسط یک دیمر که روی پنکه نصب می شود، نرخ جریان هوا قابل تغییر است. باید یادآور شد که اصول پیش‌خنک‌کردن با این سیستم، در اندازه‌های بزرگ‌تر و مقادیر بیشتر محصول نیز می‌تواند به‌کار رود (شکل ۳).



شکل ۳- طرح‌واره یک دستگاه پیش‌خنک‌کردن و پالت‌های توت‌فرنگی در یک اتاق پیش‌خنک‌کردن

نرخ جریان هوای مورداستفاده

جریان هوای مورداستفاده برای انجام عملیات پیش‌خنک‌کردن ۲، ۳ و ٤ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول است. آنمومتر، دستگاهی است که سرعت جریان هوا و بسته به مدل آن، نرخ جریان هوا را اندازه‌گیری می‌کند (شکل ٤). بر اساس دمای اولیه محصول، عملیات پیش‌خنک‌کردن می‌تواند تا ٤ درجه سلسیوس و نزدیک به صفر درجه سلسیوس نیز ادامه یابد.

شکل ٤- آنمومتر، وسیله اندازه‌گیری سرعت و نرخ جریان هوا

مکانیسم پیش‌خنک‌کردن مطلوب

در پیش‌خنک‌کردن محصولات به‌صورت تجاری، زمانی برای رسیدن دمای محصول در حد قابل قبول تعریف می‌شود که زمان هفت– هشتم سرد شدن است. طبق تعریف، زمان هفت– هشتم سرد شدن زمانی است که دمای محصول به ۸۷/۵ درصد اختلاف بین دمای اولیه محصول و دمای هوای سرد مورداستفاده در پیش‌خنک‌کردن برسد. به عنوان مثال، اگر دمای اولیه محصول ۳۲ درجه سلسیوس و دمای هوای سرد، صفر درجه سلسیوس باشد، اختلاف دمای اولیه محصول و هوای سرد، ۳۲ درجه سلسیوس است (۳۲=۰–۳۲). زمانی که طول می‌کشد تا محصول ۸۷/۵ درصد (۰/۸۷۵)، خنک شود، زمان هفت– هشتم سردشدن است که این زمان بستگی به دمای اولیه محصول و دمای هوای سرد دارد. در مثال یاد شده، زمانی که باید دمای محصول، ۲۸ درجه سلسیوس کاهش یافته (۲۸=۰/۸۷۵×۳۲) و دمای محصول به ٤ درجه سلسیوس برسد، زمان هفت– هشتم سردشدن است. افزایش نرخ جریان هوا می‌تواند زمان هفت– هشتم سردشدن را کاهش دهد. همچنین، محل قرارگیری محصول در برخورد با هوای سرد، در کاهش زمان هفت– هشتم سردشدن مؤثر است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش نرخ جریان هوا از ۳ به ٤/۷ لیتر بر ثانیه برای هر کیلوگرم محصول، زمان هفت– هشتم سردشدن کاهش می‌یابد. همچنین، زمان هفت– هشتم سردشدن، در جلو سینی (اولین نقطه برخورد هوای سرد)، کمترین مقدار (۵۰ دقیقه برای نرخ جریان هوای ۳ لیتر بر ثانیه و ۳۹ دقیقه برای نرخ جریان ٤/۷ لیتر بر ثانیه) است. هر چه هوای سرد به عقب سینی (آخرین نقطه برخورد هوای سرد) می‌رسد، این زمان افزایش می‌یابد (۹۸ دقیقه برای نرخ جریان هوای ۳ لیتر بر ثانیه و ٦٥ دقیقه برای نرخ جریان ٤/۷ لیتر بر ثانیه). بنابراین، با افزایش نرخ جریان هوا، می‌توان زمان هفت– هشتم را کاهش داد.

جدول ۲- زمان هفت– هشتم سردشدن در سینی قرارگیری جعبه‌های توت‌فرنگی

نرخ جریان هوا	جلو سینی (دقیقه)	مرکز سینی (دقیقه)	عقب سینی (دقیقه)
۳ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول سینی با روزنه‌های فلزی مش‌مانند + جعبه با چهار شیار کوتاه	۵۰	۷۰	۹۸
٤/۷ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول سینی با روزنه‌های فلزی مش‌مانند + جعبه با چهار شیار کوتاه	۳۹	۵۲	٦۵

روش‌های کاربردی تشخیص یکنواختی سردشدن توت‌فرنگی در جعبه

مطلوب‌ترین حالت در عملیات پیش‌خنک‌کردن، یکنواخت سردشدن تمام قسمت‌های جعبه حاوی توت‌فرنگی است. البته با توجه به اختلاف تبادل گرمایی محل قرارگیری محصول در جعبه، در عمل این اتفاق نمی‌افتد. روش عملی برای تشخیص یکنواختی سردشدن، اختلاف کم بین زمان‌های سردشدن هفت– هشتم سردشدن در جعبه‌های موجود در یک سینی حاوی توت‌فرنگی است. در صورت طراحی مناسب جعبه، زمان هفت– هشتم سردشدن در مرکز و عقب جعبه اختلاف بسیار کمی دارد. شکل‌های مختلف روزنه در سینی و شیارهای متفاوت جعبه‌های توت‌فرنگی، یکنواختی سردشدن را در توت‌فرنگی داخل جعبه تغییر می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، زمان هفت– هشتم سردشدن در سینی با هشت روزنه مربعی به همراه جعبه با چهار شیار کوتاه، اختلافی با هم ندارند. زمان هفت– هشتم سردشدن در جعبه‌های مرکز و عقب سینی ۷۲ دقیقه است و این نشان دهنده یکنواختی سردشدن در سینی و جعبه یاد شده است. اما در سینی با روزنه فلزی مش مانند و تعداد سه و چهار شیار کوتاه در جعبه، اختلاف زمان هفت– هشتم سردشدن، در مرکز و عقب جعبه‌های توت‌فرنگی زیاد است. در پیش‌خنک‌کردن توت‌فرنگی از زمان‌های به‌دست آمده، برای مقایسه جعبه‌های با شیارهای متفاوت، استفاده می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه زمان‌های هفت– هشتم سردشدن در مرکز و عقب جعبه و سینی‌های توت‌فرنگی

نرخ جریان هوا، نوع سینی و جعبه	جعبه جلو سینی (دقیقه)	جعبه مرکز سینی (دقیقه)	جعبه عقب سینی (دقیقه)
٤ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول سینی با روزنه‌های فلزی مش‌مانند + جعبه با سه شیار کوتاه	۵۱	۷۰	۷۵
سینی با روزنه‌های فلزی مش‌مانند + جعبه با چهار شیار کوتاه	٤۵	۵٦	٦٦
سینی با هشت روزنه مربعی + جعبه با چهار شیار کوتاه	٤۷	۷۲	۷۲

انتخاب جعبه و سینی مناسب

در بین جعبه‌های با شیارهای مختلف (شکل ۱)، جعبه با دیواره مش‌مانند به‌دلیل ایجاد زخم و کوفتگی در توت‌فرنگی تا ۲۰ درصد، کاربرد ندارد. همچنین، جعبه‌های با سه شیار، به‌دلیل کم‌بودن تعداد شیارها و افزایش زمان هفت– هشتم سردشدن توصیه نمی‌شود. جعبه با چهار شیار کوتاه، با کاهش در زمان هفت– هشتم سردشدن، کارایی سردشدن را تا ۵۱ درصد نسبت به بقیه جعبه‌ها افزایش می‌دهد. برای افزایش در کارایی سردشدن هر نوع محصول، روزنه‌های سینی باید سازگاری مناسبی با شیارهای جعبه داشته باشند (اموند و جولین، ۱۹۹۳). بنابراین، برای انجام عملیات پیش‌خنک‌کردن در توت‌فرنگی، باید سینی-هایی انتخاب شوند که از نظر روزنه، با شیارهای جعبه تطابق داشته باشند. جعبه‌های با چهار شیار بلند به‌دلیل بسته‌بودن بالای دیواره سینی با روزنه مربعی‌شکل، سازگاری کمتری با روزنه‌های این سینی دارند. این سازگاری در جعبه‌های با چهار شیار کوتاه و سینی با روزنه مربعی‌شکل دیده شده و کارایی عملیات پیش‌خنک‌کردن در توت‌فرنگی را افزایش می‌دهد.

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

۱- با توجه به نرخ بالای تنفس و ازدست‌دادن آب در توت‌فرنگی، پیش‌خنک‌کردن در این محصول و رساندن دمای برداشت به صفر تا ٤ درجه سلسیوس، ضروری است.

۲- مناسب‌ترین روش پیش‌خنک‌کردن برای توت فرنگی، استفاده از هوای سرد اجباری و نرخ جریان هوای ٤-۲ لیتر بر ثانیه برای هر کیلوگرم محصول است.

۳- افزایش در نرخ جریان هوا از ۲ به ٤ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، کاهش زمان هفت– هشتم سردشدن از ۳۰ تا ٤٤ درصد را به دنبال دارد.

٤- استفاده از جعبه‌های با چهار شیار کوتاه همراه با سینی با ۸ روزنه مربعی‌شکل برای عملیات پیش‌خنک‌کردن توت‌فرنگی توصیه می‌شود. این ترکیب جعبه و سینی، افزایش ۵۱ درصدی کارایی و یکنواختی بیشتر در سردشدن در تمام جعبه‌های حاوی توت‌فرنگی را به دنبال دارد.

فهرست منابع

۱- احمدی، کریم، حمیدرضا عبادزاده، فرشاد حاتمی، ربابه حسین‌پور و هلدا عبدشاه. ۱۳۹۹. *آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸*. جلد سوم: محصولات باغبانی. تهران: وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

2. Emond, J.P., F. Mercier, S.O. Sadfa, M. Bourre´ and A. Gakwaya. 1996. Study of parameters affecting cooling rate and temperature distribution in forced-air precooling of strawberry. *Transactions of the ASAE*, 39 (6): 2185-2191.

3. Emond, J.P. and C. Julien. 1993. Evaluation of temperature distribution in a pallet load of strawberries. Tech. Rep. Canada: Universite Laval.

4. Ferrua, M.J. and R.P. Singh. 2011. Improved airflow method and packaging system for forced-air cooling of strawberries. *International Journal of Refrigeration*, 34: 1162-1173.

5. Mitchell, F.G. 1992. Cooling horticultural commodities. In A.A. Kader (Eds.), *Postharvest technology of horticultural crops*, 2nd Ed.,(pp.53-68). Davis: University of California.

6. Talbot, M.T. and K.V. Chau. 1991. *Precooling strawberries*. CIR 942, IFAS Extension, University of Florida.