سامانه پیش‌خنک‌کن دمشی ساده مناسب برای مناطق گرم و مرطوب برای افزایش ماندگاری سبزی‌های برگی

مریم رواقی[1]*، آذرخش عزیزی[2] و لیلا بهبهانی[3]

[1] استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

[2] مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

[3] مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

چکیده

سالانه بخش زیادی از محصولات کشاورزی به‌دلیل عدم مدیریت صحیح پس از برداشت از بین می‌روند. پیش‌خنک‌کردن جزء اولین اقدامات پس از برداشت است که نقش مهمی در افزایش ماندگاری میوه و سبزی دارد. مدیریت کاهش دمای محصولات کشاورزی اغلب به‌دلیل ضعف امکانات مناسب و هزینه‌ها اجرا نمی‌شود. ساخت یک پیش‌خنک‌کن ساده با امکانات در دسترس برای کشاورزان خرده‌مالک می‌تواند در این راستا کمک‌کننده باشد. این مقاله، به معرفی دستگاه پیش‌خنک‌کن دمشی ساده مبتنی بر کولر گازی پرداخته است. این دستگاه برای پیش‌خنک‌کردن محصولات کشاورزی فسادپذیر به‌ویژه سبزی‌های برگی مناسب بوده و برای مناطق گرم و مرطوب کشور قابل کاربرد است. در صورت پیش‌خنک‌کردن سبزی‌های برگی بلافاصله پس از برداشت با این دستگاه و رعایت زنجیره سرد در طی حمل و نقل و نگهداری، سبزی‌های برگی، ماندگاری مناسبی تا ٦ روز دارند و میزان تلفات آنها، کمتر از ١٠ درصد است.

واژگان کلیدی: پیش‌خنک‌کردن، زنجیره سرد، سبزی‌های برگی، فساد، کاهش ضایعات، ماندگاری

* نگارنده مسئول: ravaghi.maryam@gmail.com

بیان مسئله

محصولات کشاورزی با زحمت فراوان و هزینه زیاد تولید می‌شوند. پراکندگی روستاها و فاصله زیاد تا محل فرآوری، بسته‌بندی نامناسب، شرایط غیربهداشتی و عدم زنجیره سرد، سبب افزایش میزان تلفات محصولات کشاورزی می‌شود. بی‌توجهی برنامه‌ریزان به تجربیات و دانش بومی روستائیان، عدم وجود زیرساخت‌های کافی و الگوی ناصحیح مصرف نیز در ایجاد ضایعات در محصولات کشاورزی نقش دارند (راوت[1] و همکاران، ۲۰۱۹). برآوردهای جهانی، حاکی از وقوع حدود ۵۰-۳۰ درصد ضایعات محصولات کشاورزی در سال است. در ایران حدود ۱۲ درصد ضایعات مربوط به مرحله تولید و حدود ۳۵ درصد به مراحل برداشت و پس از برداشت اختصاص دارد. در مورد ضایعات سبزی‌ها وضع به مراتب بدتر است. در کشورهای در حال توسعه، بیش از ٤٣ درصد سبزی‌ها در فاصله تولید تا رسیدن به دست مصرف‌کننده از بین می‌روند. تلفات سبزی‌ها در ایران، ٥٤ درصد گزارش شده است (میرمجیدی و همکاران، ١٣٩٦). این مسئله با کمبود منابع آبی، افزایش قیمت نهاده‌ها و کاهش کیفیت عرصه‌های قابل‌کشت اهمیتی دوچندان یافته‌است. هزینه بالای ضایعات باعث آسیب به بخش کشاورزی و محیط زیست می‌شود. به علاوه، به‌دلیل سهیم بودن این بخش در تولید ناخالص داخلی، بر اقتصاد کشور و منابع ملی نیز مؤثر است.

پیش‌خنک‌کردن[2]، کاهش سریع دمای اولیه محصول تا دمای مناسب نگهداری در ساعات اولیه پس از برداشت است (هان[3] و همکاران، ۲۰۲۱). پیش‌خنک‌کردن، راهکاری ساده و بسیار مؤثر است که سبب حفظ کیفیت، افزایش زمان ماندگاری و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی می‌شود. عواقب بی‌توجهی به این مسئله، معمولاً منجر به مرجوعی بار، کاهش فروش و نارضایتی مصرف‌کننده می‌شود. برای پیش‌خنک‌کردن از روش‌های متعددی مانند اتاق خنک، خنک‌کردن با یخ، خنک‌کردن با آب، خنک‌کردن تحت خلأ و خنک‌کردن دمشی[4] استفاده می‌شود که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. برخی از روش‌های پیش‌خنک‌کردن مانند روش تحت خلاء، کارایی و سرعت بالایی دارند، اما هزینه اولیه زیادی را می‌طلبند که برای بسیاری از کشاورزان مقدور نیست. به همین دلیل، امروزه روش‌های ساده بسیاری متناسب با امکانات و بضاعت مالی کشاورزان توسعه‌یافته است (جارمن[5] و همکاران، ۲۰۲۳). در بسیاری از کشورهای کم‌درآمد مانند نیجریه، فیلیپین و بخش‌هایی از هند، استفاده از سامانه‌هایی که با تبخیر آب عملیات پیش‌خنک‌کردن را انجام می‌دهند، مورد توجه قرار گرفته‌است. البته چنین روش‌هایی در مناطق با دسترسی محدود به منابع آبی و در مناطق شرجی کاربرد ندارند (رواقی و همکاران، ١٤٠٣).

استفاده از دمش هوای سرد، یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای پیش‌خنک‌کردن محصولات کشاورزی است. از آن‌جا که دسترسی به تجهیزات سرمایش مکانیکی اغلب گران است، استفاده از تجهیزات ساده، در اولویت قرار دارد. مناطق گرم کشور بسیار مستعد کشت انواع سبزی است، ولی امکانات موردنیاز برای سردسازی در این مناطق مهیا نیست. ساخت و کاربرد دستگاه

[1] Raut
[2] Precooling
[3] Han
[4] Forced-air cooling
[5] Jarman

پیش‌خنک‌کن ساده با امکانات موجود، به‌نحوی که بتواند دمای محصول را پیش از ورود به سردخانه یا حمل به کمک وسایل نقلیه سردخانه‌دار تا حد قابل‌قبولی کاهش دهد، از جمله ملزومات موردنیاز است. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله، به معرفی و کاربرد یک پیش‌خنک‌کننده ساده برای مناطق گرم و مرطوب پرداخته می‌شود.

معرفی دستورالعمل

برای افزایش سرعت خنک‌کردن از روش دمش هوای سرد استفاده می‌شود. احداث سامانه‌های سرمایشی مکانیکی اغلب هزینه زیادی دارند. با دست‌کاری کولر گازی می‌توان به عنوان روش جایگزین استفاده کرد. دستگاه پیش‌خنک‌کننده دمشی برای کشاورزان خرده‌مالک در مناطق گرم و شرجی بسیار کاربردی است. برای ساخت یک پیش‌خنک‌کن ساده با استفاده از کولر گازی باید مطابق دستورالعمل زیر عمل شود.

محفظه پیش‌خنک‌کن

مراحل ساخت دستگاه پیش‌خنک‌کن در شکل ۱ تا ٤ نشان داده شده است. حجم محفظه پیش‌خنک‌کننده بایستی متناسب با حجم برداشت روزانه و توان خنک‌کنندگی کولر گازی در نظر گرفته شود. برای حدود ۱۵۰–۱۰۰ کیلوگرم سبزی برگی، ساخت اتاقک با ابعاد ۱×۱×۲ مترمکعب کفایت می‌کند. در ساخت چهارچوب اتاقک، می‌توان از نبشی گالوانیزه استفاده کرد که استحکام و دوام نسبتاً خوبی دارد. ابتدا چهار عدد نبشی دو متری از وسط خم و به کمک گوشه گالوانیزه و پیچ و مهره به یکدیگر محکم می‌شوند (شکل۱). از چهار عدد نبشی دیگر برای ساخت طول اتاقک استفاده می‌شود. اطراف این محفظه، فوم پلی‌اتیلن (به عنوان یک عایق ارزان‌قیمت) به ضخامت یک سانتی‌متر کشیده شده و فوم پلی‌اتیلن توسط سیم مفتولی به دیواره اتاقک محکم می‌شود (شکل ۲). برای استحکام بیشتر، در محل درب اتاقک دو عدد نبشی یک‌متری نیز به اتاقک اضافه می‌شود و با پیچ و مهره محکم می‌شود (شکل ۳). یک دریچه در انتها (برای نصب کولر گازی) و یک دریچه برای قراردادن و برداشتن محصول، کنار محفظه در نظر گرفته می‌شود (شکل ٤). برای استحکام بهتر و پیشگیری از پارگی احتمالی فوم پلی‌اتیلن، یک چادر برزنتی کانتینری نیز به عنوان روکش دستگاه توصیه می‌شود. از ابتدا نیز می‌توان از یک چادر برزنتی اسکلت‌دار دولایه که بین دولایه آن فوم پلی‌اتیلن قرارگرفته، استفاده کرد.

شکل ١- خم‌کردن نبشی دو متری (راست) و اتصال با پیچ و مهره (چپ)

شکل ٢- اتصال فوم پلی‌اتیلن به چهارچوب اتاقک توسط سیم مفتولی

شکل ٣- اتصال دو نبشی یک‌متری در محل درب اتاقک

شکل ٤- نصب کولر گازی در یک انتها و تعبیه یک دریچه کنار محفظه

کنترل‌کننده و اتصال آن به کولر گازی

برای خنک‌کردن این محفظه یک کولرگازی ۱۸۰۰۰ بی‌تی‌یو بر ساعت[٦] با برند جنرال کفایت می‌کند. در ابتدا، ترموستات کولر، خارج و به بیرون محفظه پیش‌خنک‌کن منتقل می‌شود. ترموستات مکانیکی یکی از اجزای کولر گازی است که وظیفه قطع و وصل جریان برق به‌منظور کنترل دمای محیط را بر عهده دارد. عملکرد این قطعه به این صورت است که با افزایش دمای محیط، جریان برق به کمپرسور وصل می‌شود و کمپرسور شروع به کار می‌کند تا دما را کاهش دهد. پس از رسیدن دما به حد مطلوب، ترموستات، جریان برق را قطع می‌کند و کمپرسور خاموش می‌شود. در صورت حذف ترموستات مکانیکی از کولر و محفظه، کولر گازی به‌صورت مداوم کار خواهد کرد. برای کنترل بهتر عملکرد، می‌توان از یک کنترل‌کننده الکترونیکی مجهز به حسگر[٧] اندازه‌گیری دما و رطوبت استفاده کرد که در مسیر جریان برق ورودی کولر قرار می‌گیرد. این کنترل‌کننده می‌تواند به‌صورت هوشمند کولر را روشن یا خاموش کند. حسگرها داخل محفظه و بین محصول قرار می‌گیرند (شکل ٥). با تنظیم دمای داخل دستگـاه توسط کنترل‌کننده، کولر گازی شروع به کار می‌کند. دما در فصول با رطوبت بالا (شرجی) روی ۱۲ و در هـوای

شکل ٥- دستگاه کنترل‌کننده (راست) و حسگرها (چپ)

[٦] در صنعت تهویه مطبوع از واحد بی‌تی‌یو بر ساعت برای محاسبه بار سرمایشی و همچنین تعیین ظرفیت تجهیزات سرمایشی کوچک استفاده می‌شود. هر وات معادل ٤١٢ بی‌تی‌یو بر ساعت است.

[7] DHT22, Aosong Electronics Co., Ltd

خشک روی ٤ درجه سلسیوس (در صورتی‌که زمان کار دستگاه کوتاه باشد) قابل‌تنظیم است. کنترل‌کننده بلافاصله پس از رسیدن دمای محفظه به دمای تعیین‌شده، برق را قطع و در صورت گرم‌شدن مجدد محفظه، کولر را روشن می‌کند. معمولاً نوسان دمایی ٣-٢ درجه سلسیوس برای دمای داخل محفظه، روی کنترل‌کننده تنظیم می‌شود. این کار مانع از آسیب‌دیدن محصول حین خنک‌کردن می‌شود.

نحوه کار با دستگاه پیش‌خنک‌کن دمشی

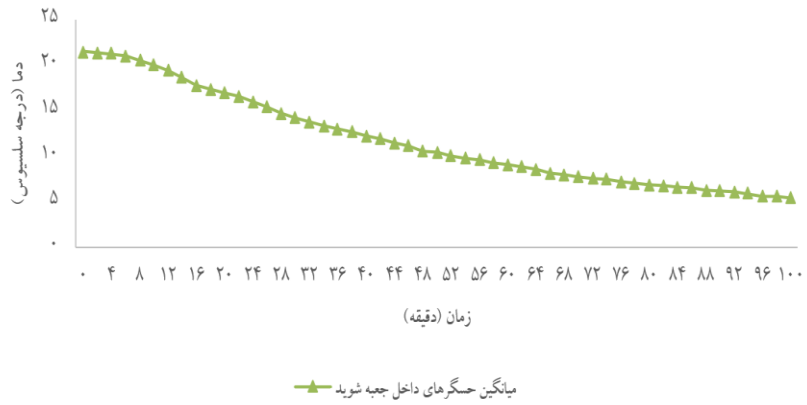
در ابتدا، دریچه کولر در وضعیت بسته قرار می‌گیرد و شدت باد زیاد همراه با حالت چرخشی برای کولر فعال می‌شود. سبزی برگی با بسته‌بندی یا بدون بسته‌بندی، در سبدهای پلاستیکی ١٠ کیلوگرمی قرار می‌گیرد (شکل ٦). محصولاتِ بدون بسته‌بندی در معرض جریان باد کولر کمی دچار افت وزنی می‌شوند. سبدهای پلاستیکی حاوی محصول روی پالت به ارتفاع ١٠ سانتی‌متر قرار می‌گیرند. فاصله بین ردیف سبدها با یکدیگر و با جداره، حداقل ١٠ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. حداقل سه حسگر داخل سبدهای مختلف و بین محصول، قرار داده می‌شوند تا زمان مناسب برای خروج محصول از داخل محفظه بررسی شود. یکی از حسگرها نیز داخل محفظه آویزان می‌شود و دمای مناسب برای خاموش و روش‌کردن کولر را به کنترل‌کننده ارسال می‌کند. محصول پس از رسیدن به دمای مناسب، از محفظه پیش‌خنک‌کن خارج می‌شود و به سردخانه یا وسایل نقلیه سردخانه‌دار منتقل می‌شود.

شکل ٦- تنظیمات کولر گازی (راست) و قرارگرفتن جعبه‌های محصول روی پالت (چپ)

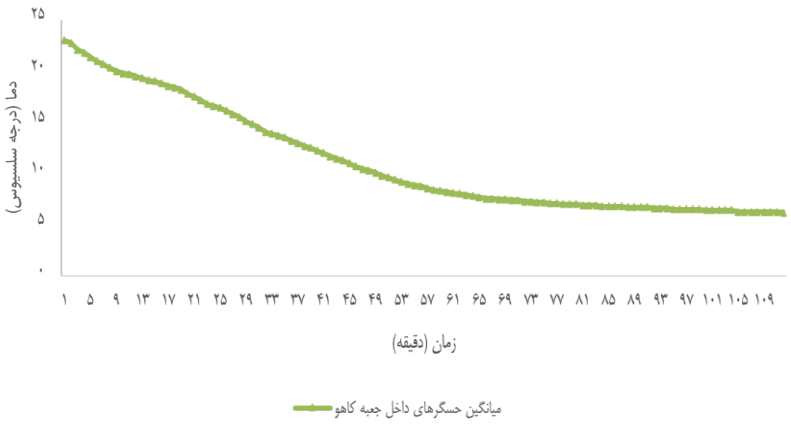
پیش‌خنک‌کردن شوید و کاهو در دستگاه پیش‌خنک‌کن دمشی

روند تغییرات دمای دو سبزی برگی شوید و کاهو در شکل‌های ٧ و ٨ نشان داده شده است. با تنظیم دمای پیش‌خنک‌کننده روی ٤ درجه سلسیوس، پیش‌خنک‌کن دمشی، دمای محصول را طی زمان کاهش می‌دهد. زمان لازم برای رسیدن دمای محصول

به هفت‌هشتم اختلاف دمای اولیه محصول با دمای محیط سردسازی به عنوان یکی از زمان‌های استاندارد در صنعت سردکردن شناخته می‌شود. دمای هفت‌هشتم بسیار نزدیک به دمای نگهداری یا جابه‌جایی آن است و پس از این مرحله، محصول به سردخانه منتقل می‌شود تا مابقی دما با صرف انرژی کمتر در سردخانه از محصول خارج شود (امامی‌فر، ۱۳۹۶). مطابق شکل ۷، اگر دمای اولیه شوید ۲۱/۵ درجه سلسیوس باشد و بخواهیم محصول را در سردخانه ٤ درجه سلسیوس نگهداری کنیم، زمان لازم برای رسیدن دمای شوید به دمای هفت‌هشتم (٦/١ درجه سلسیوس) برابر ۹۲ دقیقه است. این زمان برای کاهو به‌دلیل وجود لایه‌های متعدد در ساختار کاهو و همچنین وجود هوا بین این لایه‌ها، برابر ۲۰۸ دقیقه است. رطوبت نسبی در محفظه پیش‌خنک‌کن بیش از ۸۰ درصد است. نمونه‌های پیش‌خنک‌شده شوید و کاهو که با بسته‌بندی پلاستیک پلی‌اتیلن سوراخ‌دار و سبد پلاستیکی یا کارتن مقوایی در سردخانه ٤ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی بیش از ۹۵ درصد نگهداری شوند، تا ٦ روز ماندگاری مناسبی دارند. طی این زمان، درصد تلفات کمتر از ۱۰ درصد است.



شکل ۷- روند تغییرات دمای شوید در دستگاه پیش‌خنک‌کن دمشی



شکل ۸- روند تغییرات دمای کاهو در دستگاه پیش‌خنک‌کن دمشی

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

کاهش سریع دمای سبزی برگی و ایجاد زنجیره سرد بلافاصله پس از برداشت، موجب افزایش ماندگاری و کاهش تلفات آن می‌شود. پیش‌خنک‌کردن، نخستین مرحله در فرآیند کاهش دمای محصول است که بهتر است در همان مزرعه انجام شود. پیش‌خنک‌کردن دمشی یک روش ساده، کم‌هزینه و در عین حال نسبتاً سریع است. دستگاه پیش‌خنک‌کننده دمشی برای کشاورزان خرده‌مالک در مناطق گرم و شرجی که به کشت سبزی‌های برگی مشغول هستند، بسیار کاربردی است. این روش، کارایی مناسبی در مورد شوید و کاهو دارد. البته رعایت صحیح زنجیره سرد در کل زنجیره، ضروری است. محصول پس از رسیدن به دمای مناسب از محفظه پیش‌خنک‌کن خارج و به سردخانه یا وسایل نقلیه سردخانه‌دار منتقل می‌شود. اگر مرحله پیش‌خنک کردن و بسته‌بندی به‌طور ناقص رها شود، تلفات سبزی افزایش می‌یابد.

فهرست منابع

١- امامی‌فر، آریو. ١٣٩٦. تأثیر پیش‌سردکردن بر پایداری میکروبی و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دو رقم توت‌فرنگی طی دوره انبارداری. *علوم غذایی و تغذیه*، ١٤، ص ٩٧-١١٤.

٢- رواقی، مریم، آذرخش عزیزی و لیلا بهبهانی.١٤٠٣. *اثر پیش‌سردکردن و بسته‌بندی در مزرعه بر ماندگاری کلم، کاهو و شوید*. کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهائی، شماره ثبت ٦٥٥٨٦.

٣- میرمجیدی، عادل، رضا فامیل‌مؤمن و فرزاد گودرزی. ١٣٩٦. *کاهش ضایعات محصولات کشاورزی راهبرد اصلی در ارتقاء امنیت غذایی*، در عباسی، نادر (ویراستار)، تحلیل‌های فنی در مدیریت و مهندسی کشاورزی ایران جلد اول، کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص ١١٩-١٢٨.

4. Han, J.W., M. Zuo, W.Y. Zhu, J.H. Zuo, E.L. Lü and X.T. Yang. 2021. A comprehensive review of cold chain logistics for fresh agricultural products: Current status, challenges, and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 109: 536-551.
5. Jarman, A., J. Thompson, E. McGuire, M. Reid, S. Rubsam, K. Becker and E. Mitcham. 2023. Postharvest technologies for small-scale farmers in low- and middle-income countries: A call to action. *Postharvest Biology and Technology*, 206: 1-14.
6. Raut, R.D., B.B. Gardas, V.S. Narwane and B.E.Narkhede. 2019. Improvement in the food losses in fruits and vegetable supply chain- A perspective of cold third-party logistics approach. *Operations Research Perspectives*, 6: 100117.