نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۸ شماره ۲/ سال ۱۳۹۷/ صفحات ۲۷ تا ۴۰

بررسی تأثیر نوع طراحی جعبه و مشخصه‌های عملکردی روی فرآیند پیش‌سرمایش هلو در سامانه طراحی شده بر اساس هوادهی اجباری

سید صادق سیدلو*[۱]، حبیبه نعلبندی[۱] و یاور کیومرثی متعلق[۲]

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

[۱] به ترتیب دانشیار و استادیارگروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: E mail: ss_seiedlo@yahoo.com

چکیده

تکنولوژی‌های پس از برداشت مانند عملیات پیش‌سرمایش و بسته‌بندی، نقش مهمی در نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های فسادپذیر دارد. بنابراین طراحی صحیح جعبه‌ها و تعیین مناسب‌ترین مشخصات عملکردی عملیات پیش‌سرمایش، عوامل تعیین‌کننده می‌باشند. در این تحقیق طرح‌های مختلفی از جعبه‌های تجاری مورد استفاده برای بسته‌بندی هلو و نیز سطوح مختلف هوای سرد روی شاخص‌های فرآیند پیش‌سرمایش شامل متوسط زمان ۱۳/٤ام و ۱۷/۸ام سرمایش و نیز انحراف استاندارد زمان ۱۳/٤ام سرمایش در دبی‌ها و جعبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج تحقیق مشخصه‌های عملکردی عملیات و بهترین نوع جعبه انتخاب شد بطوری‌که با افزایش دبی هوای سرد از ۱ به ۱/۵ لیتر در ثانیه، تاثیر معنی‌داری بر روی شاخص انحراف استاندارد زمان ۱۳/٤ام سرمایش مشاهده نشد ولی موجب کاهش ۱۱/۵ درصد در زمان پیش‌سرمایش گردید. در محدوده‌ی دبی ۱ لیتر در ثانیه، متوسط زمان ۱۳/٤ام سرمایش هلو و انحراف استاندارد آن در نقاط مختلف جعبه‌ها به ترتیب برابر ۸۷/۷٤ دقیقه و ۱۵/۳٦ بدست آمد. مقایسه نتایج پیش‌سرمایش سه نوع جعبه متداول در ایران در بسته‌بندی هلو نشان داد که زمان ۱۳/٤ام سرمایش از ۱۰۹/۳ تا ۹٤/۱۰ دقیقه متغیر بود و انحراف استاندارد آنها نیز از ۱۱/۵۵ تا ۲۲/۲۲ تغییر می‌یابد. علی‌رغم اینکه جعبه سه ردیفه و دو ردیفه میوه کمترین زمان سرمایش را دارا بودند ولی با توجه به اینکه احتمال بروز صدمات مکانیکی در محصول حساس هلو در این جعبه‌ها و نیز غیریکنواختی سرمایش زیاد بود، استفاده از جعبه تک ردیفه در دبی ۱ لیتر در ثانیه (با زمان‌های ۱۳/٤ام و ۱۷/۸ام سرمایش به ترتیب برابر ۱۰۱/۳ و ۱۵۵ دقیقه) با پیشنهاد اصلاح شانه‌های محافظ به منظور کاهش زمان پیش‌سرمایش توصیه شد و این موضوع از دیدگاه مصرف انرژی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

واژگان کلیدی: هلو، یکنواختی سرمایش، زمان ۱۳/٤ام سرمایش، هوادهی اجباری

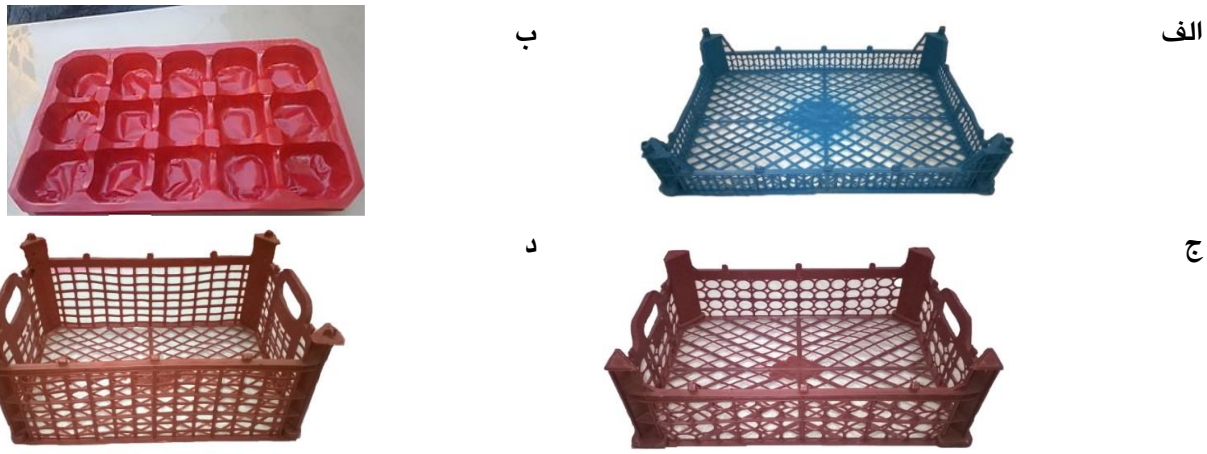
مقدمه

تلفات محصولات باغی به دلیل استفاده از روش‌های نامناسب در مرحله پس از برداشت، به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد که از مهمترین علل این امر می‌توان به عدم استفاده از جعبه‌های مناسب بسته‌بندی، صدمات مکانیکی در حین حمل و نقل محصول، عدم انجام سریع فرآیند پیش‌سرمایش پس از برداشت محصول و نیز نگهداری محصول در شرایط نامناسب در سردخانه اشاره کرد (کادر ۲۰۰۲). از طرف دیگر تکنولوژی بسته‌بندی نقش مهمی در فرآیند پیش‌سرمایش، حمل و نقل، نگهداری و بازاریابی میوه‌ها و سبزی‌های فسادپذیر دارد (دی‌کاسترو و همکاران ۲۰۰۶؛ نکوبو و همکاران ۲۰۱۲ و۲۰۱۳؛ دلیل و همکاران ۲۰۱۲ و۲۰۱۳؛ نعلبندی و همکاران ۲۰۱۶). در حال حاضر در ایران غالبا از جعبه‌های پلی‌اتیلنی برای بسته‌بندی میوه‌ها استفاده می‌شود. جعبه‌های پلی‌اتیلنی منفذدار یکی از مهم‌ترین نوآوری‌ها در زمینه بسته‌بندی محصولات باغی است. منافذ موجود در دیواره‌های این جعبه‌ها موجب انتقال گرمای حاصل از تنفس محصول به محیط سردخانه می‌شود (دی‌کاسترو و همکاران ۲۰۰۵؛ هان و پارک ۲۰۰۷؛ تامسون و همکاران ۲۰۱۰). با این وجود در حال حاضر بسیاری از جعبه‌های مورد استفاده در صنعت باغبانی در انجام بهینه فرآیند پیش‌سرمایش محصولات بسته‌بندی شده به دلیل عدم طراحی صحیح آنها از نظر توزیع یکنواخت جریان هوای سرد در داخل پالت و نیز در هر جعبه منفرد، کارایی کمتری دارند (فوریا و سینگ ۲۰۰۷). تنها معیار مهم لحاظ شده در طراحی این جعبه‌ها به طور عمده مقاومت مکانیکی و سهولت ساخت آنها می‌باشد. بنابراین علی‌رغم انجام فرآیند پیش‌سرمایش در کشورهای دیگر، هنوز تلفات پس از برداشت محصولات باغی و نیز انرژی مصرفی به دلیل غیریکنواختی پیش‌سرمایش میوه‌ها در جعبه‌ها بالا است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که عواملی از قبیل مساحت، اندازه و شکل هر کدام از منافذ جعبه‌ها، مساحت کل منافذ و نیز موقعیت آنها روی وجوه جعبه‌ها، اثر معنی‌داری در میزان افت فشار، دبی هوای مورد نیاز، یکنواختی توزیع هوا در داخل جعبه‌ها و بین پالت‌ها و در نهایت بازدهی فرآیند پیش‌سرمایش دارد (وینبرگر و لامپکین ۲۰۰۷؛ پاداره و همکاران ۲۰۱۲؛ نعلبندی و همکاران ۲۰۱۶). بنابراین برای انجام سریع و یکنواخت فرآیند پیش‌سرمایش در داخل جعبه‌ها و پالت‌ها و نیز بهینه‌سازی مصرف انرژی، باید طراحی جعبه‌ها از نکته نظر هوادهی میوه‌ها در فرآیند پیش‌سرمایش مدنظر قرار گیرد (ویگنیولت و اموند ۱۹۹۸).

در بعضی از محصولات باغی مانند توت‌فرنگی و هلو تاثیر فرآیند پیش‌سرمایش روی مدت انبارمانی و کاهش تلفات مربوطه بسیار چشمگیر است. بر اساس تحقیقات میدانی این گروه پژوهشی در کشت و صنعت مغان، در حال حاضر در باغات کشت و صنعت مغان با تولید سالانه حدود۱۲ هزار تن هلو، بخشی از هلوی برداشت شده برای عرضه به بازار باید به مدت دو هفته ذخیره‌سازی شود ولی متأسفانه به دلیل کمبود سردخانه، عدم آگاهی از نحوه صحیح نگهداری و مهم‌تر از همه عدم انجام فرآیند پیش‌سرمایش روی محصول تازه برداشت شده و نیز نبود جعبه‌های مناسب، سالانه مقادیر زیادی ضایعات به همراه دارد.

هم‌چنین در حال حاضر در ایران از سه نوع جعبه پلی‌اتیلنی تک ردیفه، دو ردیفه و سه ردیفه برای بسته‌بندی هلو استفاده می‌شود. در جعبه‌های تک ردیفه با ظرفیت ٤ کیلوگرم (شکل ۱- الف)، به دلیل حساس بودن محصول هلو به صدمات مکانیکی در حین حمل و نقل، از شانه‌های محافظ ۲۰، ۱۸، ۱۵ و ۱۲ تایی استفاده می‌شود (شکل۱- ب). جعبه‌های دو ردیفه نیز دارای ظرفیت ۸ کیلوگرم بوده که تعداد زیادی منافذ دایره‌ای شکل در دیواره‌های جانبی آن تعبیه شده‌اند (شکل ۱- ج). جعبه‌های سه ردیفه با ظرفیت ۱۲ کیلوگرم دارای منافذ مستطیلی شکل در دیواره‌های جانبی خود هستند (شکل ۱- د). لازم به

ذکر است در جعبه‌های دو ردیفه و سه ردیفه از شانه-های محافظ استفاده نمی‌شود.



شکل ۱- جعبه‌های رایج برای بسته‌بندی هلو در ایران؛ الف: تک ردیفه، ب: شانه ۱۵ تایی، ج: دو ردیفه، د: سه ردیفه

در خصوص طراحی جعبه مناسب عملیات پیش‌سرمایش برای محصولات مختلف و نیز حصول بهترین طرح، درصد منافذ باز، الگوی قرارگیری منافذ در سطوح مختلف جعبه، الگوی مناسب جریان هوا در داخل جعبه، دبی و سرعت هوای سرد و نهایتا زمان و یکنواختی سرمایش محصول در شرایط مختلف و در کشورهای مختلف تحقیقات زیادی صورت گرفته است ولی تحقیقات کاربردی در این خصوص در داخل کشور بسیار محدود و اغلب نتایج آنها صرفا پژوهشی بوده و قابلیت اجرایی ندارند. دینسر و همکاران (۱۹۹۲) مشخصه‌های فرآیند پیش‌سرمایش با آب را برای زردآلو، آلو و هلوی تازه برداشت شده در جعبه‌های ۵ الی ۲۰ کیلوگرمی با آب ۱ درجه سانتی‌گراد تعیین کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که افزایش جرم محصول جعبه‌ها از ۵ به ۲۰ کیلوگرم، زمان نیمه‌ی سرمایش را در زردآلو، ۱۷ درصد و در هلو ۳۹ درصد افزایش می‌دهد. کیم و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که تنفس و تولید اتیلن در هلو پیش-سرمایش شده چهار برابر کمتر از میوه‌ای است که این فرآیند روی آن انجام نشده است. دفرایی و همکاران (۲۰۱۳) نیز فرآیند پیش‌سرمایش را در یک جعبه رایج و دو جعبه جدید منفذدار توسط مدل عددی در محیط دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و نیز به صورت تجربی بررسی کردند. دقت شبیه‌سازی آنها توسط یک آزمایش تجربی تائید شد. این محققین هم‌چنین در سال ۲۰۱٤ فرآیند پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری را در جعبه‌های رایج پرتقال و نارنج و نیز دو جعبه جدید شبیه‌سازی کرده و نشان دادند که آهنگ پیش‌سرمایش در جعبه‌ی جدید طراحی شده، سریع‌تر از جعبه‌های رایج بوده و فرآیند پیش‌سرمایش با یکنواختی بیشتر و انرژی کمتری انجام می‌شود. نتایج همه تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از جعبه‌های مناسب، ضمن بهبود فرآیند پیش‌سرمایش، انرژی مورد نیاز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین برای پیش‌سرمایش هلو نیز باید مناسب‌ترین جعبه انتخاب گردد. ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که در طراحی جعبه علاوه بر رعایت موارد مختلف طراحی برای کاهش زمان سرمایش و یکنواختی عملیات، باید جلوگیری از اعمال صدمات مکانیکی در طی عملیات نگهداری و حمل و نقل به محصول مد نظر قرار گیرد چرا که هدف نهایی افزایش ماندگاری محصول می‌باشد.

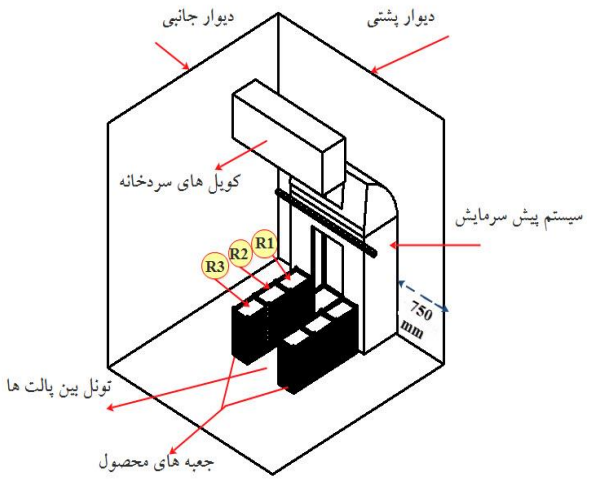
در این تحقیق با توجه به اینکه هیچ گونه تحقیقات کاربردی در زمینه افزایش عمر محصولات باغی با

استفاده از شناخت پارامترهای عملکردی عملیات پیش-سرمایش مختص محصولات داخلی و نیز طراحی جعبه-ها، در داخل کشور به ویژه در کشت و صنعت‌ها صورت نگرفته است با طراحی و ساخت سامانه پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری، تأثیر نوع جعبه در سه سطح شامل جعبه‌های تجاری تک ردیفه، دو ردیفه و سه ردیفه محصول و متداول در کشور و دبی هوای سرد در سه سطح، روی فرآیند پیش‌سرمایش میوه هلو تولیدی کشت و صنعت مغان بررسی شد تا بتوان بهترین نوع جعبه و دبی هوای سرد را به منظور دستیابی به کمترین زمان سرمایش و حداکثر یکنواختی فرآیند سرمایش هلو انتخاب و معرفی کرد.

مواد و روش‌ها

طراحی سامانه پیش‌سرمایش

سامانه پیش‌سرمایش مورد نیاز، مطابق با الگوهای تجاری، در محیط نرم‌افزار کتیا طراحی و سپس مراحل ساخت آن انجام گرفته و در اتاق سرد مستقر گردید. بدنه سیستم از ورق سفید گالوانیزه ۱ میلی‌متری و شاسی آن از نبشی ۳۰ میلی‌متری ساخته شد. ابعاد سطح مقطع کانال هوا، ۱۲۰۰×۵۵۰ میلی‌متر و ارتفاع آن ۲۰۰۰ میلی‌متر بود (شکل۲). دریچه ورودی هوا در سامانه، قابل تنظیم ساخته شد. بر اساس طراحی و انتخاب ابعاد کانال ورودی هوا، سامانه می‌تواند حداکثر تا ۳۸۰ کیلوگرم از انواع محصول را سرد نماید. یک دمنده محوری با دبی ٤١٠٠ مترمکعب در ساعت و توان ۰/۵ اسب بخار برای تأمین جریان هوای مورد نیاز بر روی سامانه نصب و برای تنظیم دبی هوای ورودی به داخل کانال، از یک دستگاه مبدل تک فاز به سه فاز بر روی مکنده استفاده شد.



شکل ۲- سامانه پیش‌سرمایش و اجزای مختلف آن در اتاق سرد

آماده‌سازی نمونه‌ها

میوه‌های هلوی مورد نیاز از رقم تجاری اسپرینگ کرست موجود در مجتمع باغات شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان واقع در استان اردبیل، شهرستان پارس‌آباد مغان تهیه شدند. به دلیل دوری مسافت بین محل تولید میوه (مغان) و محل انجام آزمایش‌ها (تبریز)، امکان سرمایش بلافاصله پس از برداشت محصول وجود نداشت. بنابراین میوه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل و تا زمان انجام آزمایش‌ها، در سردخانه در دمای $^{\circ}C$ ۱ و با رطوبت نسبی ۸۵ الی ۹۰

درصد نگهداری شدند. هدف این تحقیق مطالعه یکنواختی فرآیند پیش‌سرمایش محصول در جعبه‌های مختلف بود و بررسی خصوصیات کیفی محصول پیش‌سرمایش شده آنی و مقایسه آن با کیفیت محصولی که عملیات مذکور روی آن صورت نگرفته و یا با تاخیر صورت گرفته است، مدنظر نبود. بنابراین انتقال میوه‌ها به دانشگاه و انجام آزمایش‌ها روی محصول نگهداری شده در سردخانه، تاثیری در نتایج تحقیق نداشت. با این وجود، برای حذف تاثیر زمان نگهداری میوه‌ها در سردخانه بر روی نتایج، آزمایش‌ها به صورت بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شدند. بنابراین قبل از اجرای آزمایش‌ها، دمای محصول در محیط آزمایشگاه از ۱ به ۲۵ °C افزایش داده شد.

مشخصه‌های مورد ارزیابی و طرح آزمایش‌ها

در این تحقیق اثر نوع جعبه در سه سطح شامل جعبه تک ردیفه با شانه ۱۵ تایی، دو ردیفه و سه ردیفه و دبی هوای سرد در سه سطح شامل ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول روی متوسط زمان ۷/۸ ام و ۳/٤ام سرمایش هلو و نیز یکنواختی فرآیند پیش‌سرمایش میوه‌ها در داخل جعبه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ فاکتور و هر آزمایش در سه تکرار انجام شدند. هم‌چنین دمای زیرپوستی و مرکزی میوه‌ها نیز در طول آزمایش‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد.

نحوه انجام آزمایش

جعبه تک ردیفه

برای ارزیابی فرآیند سرمایش هلو در داخل جعبه‌های میوه‌ی تک ردیفه، این جعبه‌ها در قالب دو پالت در طرفین کانال و هر کدام متشکل از ۳ ستون جعبه (R1، R2 و R3) در مقابل سامانه پیش‌سرمایش چیده شدند (شکل ۲). هر پالت حاوی ۲۷ عدد جعبه بود. ۹ جعبه در هر پالت به شماره‌های ۱ الی ۹، با میوه‌هایی با اندازه مشابه روی شانه‌های ۱۵ تایی پر شدند (شکل ۳). دیواره بیرونی بقیه جعبه‌ها با صفحات کارتن‌پلاست پوشانده شد تا از ورود هوا به این جعبه‌ها ممانعت شود چرا که میوه لازم برای پر کردن هر ۲۷ جعبه موجود نبود. نتایج تحقیقات قبلی انجام شده توسط کیومرثی (۱۳۹٤) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین زمان و نیز یکنواختی سرمایش جعبه‌های شماره‌ی ۱ الی ۹ وجود ندارد. بنابراین جعبه شماره ۵ برای مطالعه چگونگی انجام فرآیند پیش‌سرمایش میوه‌ها و داده‌برداری‌های لازم انتخاب شد و ۷ عدد ترموکوپل در موقعیت‌های نشان داده شده در شکل ٤- الف در مرکز میوه‌ها و یک عدد ترموکوپل نیز برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی به جعبه نصب گردید. هم‌چنین در موقعیت A جعبه شماره ۵ دو عدد ترموکوپل در زیر پوست و مرکز میوه قرار داده شدند تا هم‌زمان دمای سطح و مرکز میوه‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. ترموکوپل‌ها از نوع K و با حساسیت تقریبی ۱ °C ± انتخاب و در دمای ۳۰ °C کالیبره شدند.

در هر آزمایش جرم میوه‌های چیده شده در داخل جعبه-ها توزین شد. با توجه به اینکه آزمایش‌ها در سه دبی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول اجراء شدند، دبی کل مورد نیاز در هر آزمایش از رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه q_i دبی مورد استفاده در هر آزمایش ($L/s.kg_p$)، m جرم محصول استفاده شده (kg)، Q_{total} دبی تنظیمی مکنده (m^3/h) و ۳/٦ ضریب تبدیل می‌باشد. برای تنظیم دور مکنده جهت حصول دبی محاسبه شده، اندازه‌گیری سرعت جریان هوا و متناسب با آن دبی مورد نظر در مقطع ورودی هوای سرد به سامانه و نیز خروجی آن صورت گرفته و با تغییر دور دورانی موتور مکنده از طریق تغییر فرکانس جریان برق ورودی، دبی‌های مورد نظر به دست آمد. هم‌چنین اتاق سرد روی دمای ۱ °C و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۸۰ درصد تنظیم گردید.

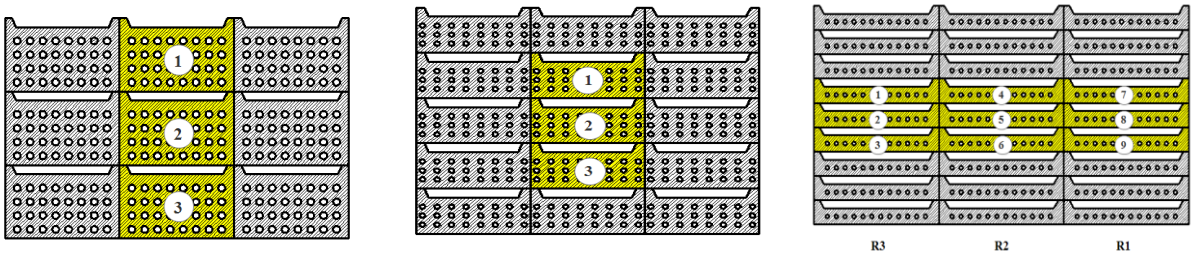
پس از شروع عملیات پیش‌سرمایش، تغییرات دمای میوه‌ها و نیز فضای سردخانه در طول فرآیند به وسیله یک دستگاه دیتالاگر مدل DL2 در فواصل زمانی ۵ دقیقه

ثبت گردید. آزمایش‌ها تا زمان رسیدن دمای مرکز میوه‌ها به حدود دمای ۷/۸ام سرمایش ادامه یافت. دمای ۷/۸ام و ۳/٤ام سرمایش از روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید. در این روابط T_i دمای اولیه میوه و T_{air} دمای هوای سرد می‌باشد.

$$Q_{total} = q_i \times m \times 3.6 \quad (۱)$$

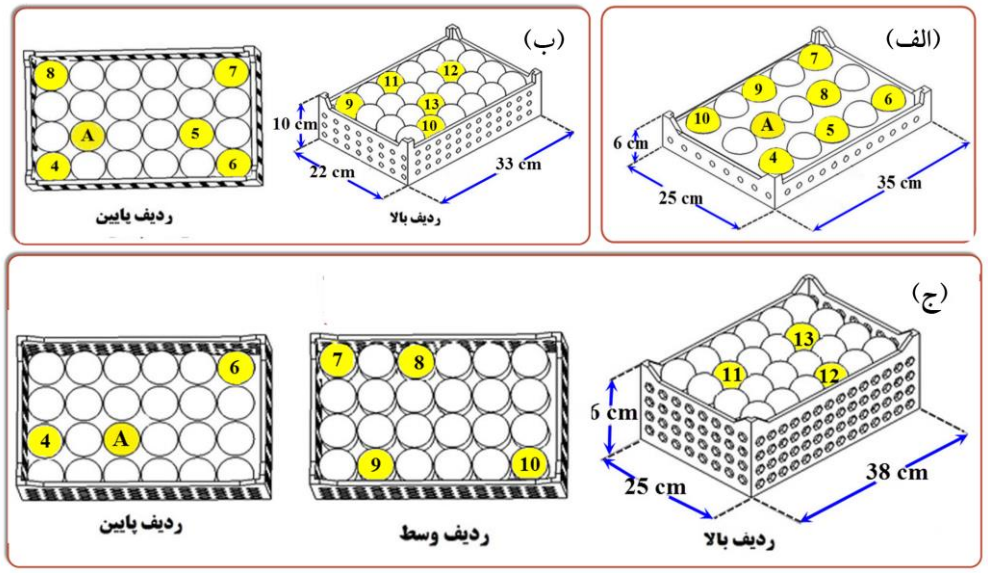
$$T_{\frac{۷}{۸}} = T_i - \frac{۷}{۸}(T_i - T_{air}) \quad (۲)$$

$$T_{\frac{۳}{٤}} = T_i - \frac{۳}{٤}(T_i - T_{air}) \quad (۳)$$



(ج) (ب) (الف)

شکل ۳- ترتیب قرارگیری جعبه‌های هلو در مقابل سامانه پیش‌سرمایش الف: جعبه تک ردیفه، ب: جعبه دو ردیفه، ج: جعبه سه ردیفه



شکل ۴- محل نصب ترموکوپل: الف: جعبه تک ردیفه، ب: جعبه دو ردیفه، ج: جعب سه ردیفه

پس از اتمام فرآیند، منحنی‌های سرمایش میوه‌ها به صورت تغییرات متوسط دمای مرکز میوه‌ها (متوسط دمای مرکز همه میوه‌ها) در هر کدام از تیمارها در برابر زمان سرمایش ترسیم گردید. برای حذف اثر اختلاف‌های جزیی در دمای اولیه میوه‌ها در تیمارهای مختلف، نمودارهای دما - زمان به صورت نسبت دما در مقابل زمان ترسیم شدند. نسبت دما از تقسیم دمای میوه‌ها در هر لحظه بر دمای اولیه آنها محاسبه شد. همچنین به دلیل بروز انحرافات جزیی در منحنی‌های سرمایش در مراحل پایانی فرآیند و عدم حصول دقیق دمای ۷/۸ام سرمایش در همه آزمایش‌ها، اجبارا از زمان رسیدن دمای مرکز میوه‌ها به دمای ۳/٤ام سرمایش (رابطه ۳) که معادل نسبت دمای ۰/۲۵ می‌باشد برای مقایسه تیمارها استفاده شد. میانگین زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌های

داخل جعبه شماره ۵ و انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش (رابطه ٤) میوه‌های موجود در نقاط مختلف جعبه به عنوان شاخص‌های ارزیابی یکنواختی سرمایش در هر جعبه مورد استفاده قرار گرفته و اثر تیمارهای مورد مطالعه روی آنها بررسی شد. تحلیل آماری داده‌ها و تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزارهای MSTATC و EXCEL انجام شد.

$$S=\sqrt{\frac{\sum\left(T_{\frac{3}{4}}-\bar{T}_{\frac{3}{4}}\right)^2}{n-1}} \qquad (٤)$$

که در آن S و $T_{\frac{3}{4}}$ به ترتیب انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌های موجود در هر جعبه و زمان $T_{\frac{3}{4}}$ام سرمایش میوه‌ها، $\bar{T}_{\frac{3}{4}}$ متوسط زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌ها و n تعداد ترموکوپل‌ها یا مشاهدات می‌باشد.

آزمون جعبه دو ردیفه

تعداد ۱۵ عدد جعبه دو ردیفه در هر پالت چیده شد. این جعبه‌ها فاقد شانه محافظ بودند و احتمال لهیدگی میوه‌های ردیف بالا در هنگام چیدن جعبه‌ها روی همدیگر، از معایب آنها می‌باشد. در این جعبه‌ها میوه‌ها در دو ردیف به صورت ۲٤ تایی چیده شدند. مشابه پالت‌های با جعبه‌های تک ردیفه، در پالت‌های با جعبه‌های دو ردیفه نیز فقط از ۳ عدد جعبه برای مطالعه تغییرات دمایی محصول در طول پیش‌سرمایش مطابق شکل ۳- ب استفاده شد. همانند جعبه‌های تک ردیفه، دیواره جانبی بقیه جعبه‌ها با صفحات کارتن پلاست مسدود شد تا از کنارگذر شدن هوای سرد به دلیل پایین بودن افت فشار در آن نقاط جلوگیری شود. به دلیل نبود تفاوت معنی‌دار بین سرمایش جعبه‌های شماره‌ی ۱ الی ۳، برای مطالعه یکنواختی سرمایش، جعبه شماره‌ی ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت و ۱۰ عدد ترموکوپل در ردیف‌های بالا و پایین به میوه هلو متصل شدند (شکل ٤- ب). اندازه‌گیری دمای سطح و مرکز میوه‌ها نیز مشابه جعبه تک ردیفه در موقعیت A انجام شد.

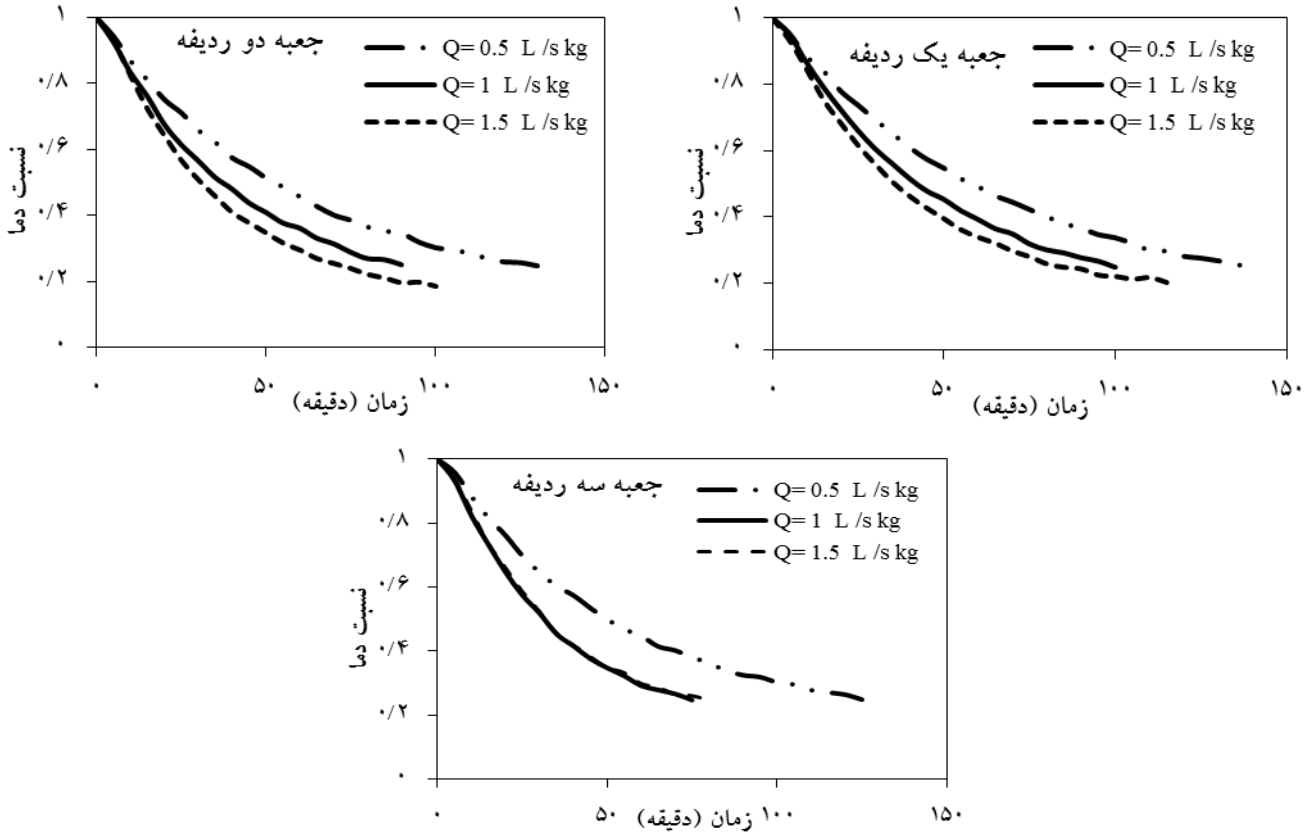
آزمون جعبه سه ردیفه

تعداد ۹ عدد جعبه‌ی سه ردیفه مطابق شکل ۳- ج در هر پالت چیده شد. در این جعبه‌های بدون شانه محافظ میوه‌ها در سه ردیف به صورت ۲٤ تایی چیده شدند. تعداد ۳ عدد جعبه انتخاب و دیواره جانبی بقیه جعبه‌ها با صفحات کارتن پلاست مسدود شد. در نهایت تغییرات دمای میوه‌های مورد نظر (شکل٤- ج) در جعبه شماره ۲ توسط ترموکوپل‌ها ثبت شد. هم‌چنین دمای سطحی و مرکزی میوه واقع در موقعیت A نیز همانند آزمایش‌های قبلی ثبت شد.

نتایج و بحث

منحنی‌های فرآیند پیش‌سرمایش

منحنی سرمایش هلو در جعبه‌ها و دبی‌های مختلف هوای سرد در شکل ۵ نشان داده شده است. تغییرات دمای میوه‌ها در برابر زمان سرمایش از یک تابع نمایی تبعیت می‌کند که نشان می‌دهد کاهش دمای میوه‌ها در مراحل اولیه فرآیند پیش‌سرمایش سریعتر صورت می‌گیرد ولی با گذر زمان آهنگ سرمایش میوه‌ها کندتر می‌شود. یکی از علل این امر، کاهش اختلاف بین دمای هلو و هوای خنک‌کننده با پیشرفت فرآیند پیش‌سرمایش است که منجر به کاهش آهنگ انتقال گرمای همرفتی بین میوه و هوای خنک‌کننده می‌شود. هم‌چنین نمودارها نشان می‌دهد که در همه جعبه‌ها با افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، سرمایش میوه‌ها تا رسیدن به دمای ۳/٤ام سرمایش سریع‌تر انجام شده است. ولی افزایش بیشتر دبی هوای سرد از ۱ به ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول تغییر محسوسی در آهنگ سرمایش میوه‌ها مشاهده نشد.



شکل ۵- منحنی‌های سرمایش هلو در جعبه‌های متفاوت و دبی‌های مختلف هوای سرد

نتایج تجزیه واریانس تاثیر نوع جعبه و دبی هوای سرد بر متوسط زمان ۳/٤ام سرمایش هلو

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌ها و انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش آنها در جدول ۱ آورده شده است. مشاهده می‌شود که اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۳/٤ام سرمایش در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۵ ٪ معنی‌دار بوده است. بر اساس نتایج، افزایش دبی هوای سرد منجر به کاهش زمان پیش‌سرمایش هلو شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که طولانی‌ترین زمان سرمایش معادل ۱۳۳ دقیقه، در دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول حادث شد ولی با افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱ لیتر در ثانیه، زمان سرمایش میوه‌ها به ۸۷/۷٤ دقیقه رسیده و تقریبا ۳٤ درصد کاهش یافته است. افزایش دبی هوای سرد از ۱ به ۱/۵ لیتر در ثانیه موجب کاهش ۱۱/۵ درصدی زمان فرآیند شده است. افزایش سرعت هوای سرد موجب افزایش ضریب انتقال گرمای سطحی شده و نیز اثر مقاومت بیرونی در برابر انتقال گرما را کاهش می‌دهد. لذا آهنگ انتقال گرمای همرفتی بین میوه و هوای خنک‌کننده افزایش یافته و میوه‌ها سریعتر خنک می‌شوند. ولی با افزایش دبی هوای سرد، از روند تاثیر آن بر کاهش زمان سرد شدن کاسته می‌شود و مقاومت درونی میوه در انتقال گرما، عامل کنترل کننده نرخ سرد شدن می‌باشد.

نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط اغلب محققین مطابقت دارد. فرازر (۱۹۹۸) زمان ۷/۸ ام سرمایش هلو به روش هوادهی اجباری را در دبی‌های هوای سرد ۱ و ۰/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، ۱۲۰ الی ۳٦۰ دقیقه گزارش نمود. نعلبندی و همکاران (۲۰۱٤) نیز نشان دادند که حداقل

زمان ۷/۸ ام سرمایش توت‌فرنگی در حداکثر سرعت هوای خنک‌کننده به دست آمد ولی اثر افزایش سرعت هوا از ۰/۰۸ به ۰/۱۶ متر بر ثانیه روی کاهش زمان پیش‌سرمایش نسبت به افزایش آن از ۰/۱۶ به ۰/۲۴ متر بر ثانیه قابل توجه‌تر بود. تامسون (۲۰۰۲)، ویگنولت و همکاران (۲۰۰۶) و دینسر (۱۹۹۵) نیز نتایج مشابهی برای آلو، طالبی، سیب و انگور گزارش کردند.

هم‌چنین بر اساس نتایج جدول ۱ می‌توان اظهار نمود که سرمایش میوه‌ها در همه جعبه‌ها از لحاظ متوسط زمان ۳/۴ام سرمایش به صورت متعادل صورت نمی‌گیرد بطوری‌که زمان سرمایش جعبه‌های سه ردیفه، دو ردیفه و تک ردیفه به ترتیب برابر با ۹۴/۱۰، ۹۵/۰۴ و ۱۰۹/۳ دقیقه به دست آمد و جعبه‌های دو ردیفه و سه ردیفه کمترین زمان سرمایش را دارا بودند (جدول ۳). بنابراین انتخاب جعبه سه ردیفه و دو ردیفه از نظر صرفا زمان خنک‌شدن محصول به نوع دیگر ارجحیت دارند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که متوسط زمان ۷/۸ام سرمایش میوه‌ها در دبی هوای سرد ۰/۵ لیتر در ثانیه در جعبه-های تک ردیفه، دو ردفه و سه ردیفه به ترتیب برابر ۲۰۰، ۱۸۵ و ۱۸۰ دقیقه بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۳/۴ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان ۳/۴ام سرمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		متوسط زمان ۳/۴ام سرمایش	انحراف استاندارد
بلوک	۲	۷۸/۱۸۸ ns	۶۱/۰۶ ns
نوع جعبه	۲	۶۴۸/۳۱۸ **	۲۹۳/۳۶۴ **
دبی هوا	۲	۷۸۲۰/۱۲۶ **	۶۲۲/۸۵۵ **
دبی هوا × نوع جعبه	۴	۱۸۳/۵۱۹	۱۰/۸۸۹ ns
خطا	۱۶	۴۱/۳۰۹	۱۲/۰۶۵

** و * به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۳/۴ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان ۳/۴ام سرمایش

دبی هوای سرد ($L/s\ kg_P$)	میانگین	
	متوسط زمان ۳/۴ام سرمایش (min)	انحراف استاندارد
۰/۵	۱۳۳ a	۲۷/۳۹ a
۱	۸۷/۷۴ b	۱۵/۳۶ b
۱/۵	۷۷/۶۵ c	۱۱/۴۲ b

حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

مطالعه اثر متقابل نوع جعبه و دبی هوای سرد بر روی زمان ۳/۴ام سرمایش نشان داد که جعبه دو ردیفه در دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه با ۷۰/۸۳ دقیقه و جعبه سه ردیفه در دبی ۱ لیتر در ثانیه با زمان ۷۲/۱۳ دقیقه کمترین زمان سرمایش را دارا بودند. این جعبه‌ها از نظر آماری اختلافی با یکدیگر نداشتند. بنابراین استفاده از جعبه‌های دو ردیفه و سه ردیفه صرفا و مجددا از نظر زمان سرمایش کمینه، مورد تائید قرار گرفت، ولی باید در انتخاب نهایی علاوه بر زمان سرمایش یکنواختی سرمایش هم مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه مشابهی توسط ویگنیولت و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است. آنان نشان دادند در جعبه‌هایی که در آنها میوه‌ها توسط مواد بسته‌بندی پلاستیکی یا کاغذ پیچیده شده‌اند، جریان هوا محدود شده و زمان سرمایش افزایش می‌یابد که این نتیجه با نتایج حاصل از افزایش زمان سرمایش برای میوه‌های واقع در جعبه تک ردیفه دارای شانه پلاستیکی مطابقت دارد. هم‌چنین نکوبو و همکاران (۲۰۱۲) نیز عملکرد سه طرح جعبه انگور در مقیاس‌های ٤/٥ کیلوگرم، ٥ کیلوگرم روباز و ٥ کیلوگرم درب‌دار را بررسی کردند. آنها نشان دادند که آستر پلاستیکی و الگوی بسته‌بندی، تأثیر زیادی روی مقاومت به جریان هوا و الگوهای جریان هوا در داخل جعبه‌های انگور دارد. نعلبندی و همکاران (۲۰۱٦) نشان دادند که نوع جعبه، الگوی منافذ و نحوه هوادهی تاثیر به سزایی در کاهش زمان پیش‌سرمایش توت‌فرنگی و افزایش یکنواختی آن دارد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نوع جعبه روی انحراف استاندارد و زمان ۳/٤ام سرمایش

نوع جعبه	انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش	زمان ۳/٤ام سرمایش
جعبه تک ردیفه با شانه محافظ	۱۱/۵۵ [b]	۱۰۹/۳ [a]
جعبه دو ردیفه	۲۲/۲۲ [a]	۹۵/۰٤ [b]
جعبه سه ردیفه	۲۰/۳۹ [a]	۹٤/۱۰ [b]

حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بودن در سطح احتمال ٥٪ می‌باشد.

نتایج تاثیر نوع جعبه و دبی هوای سرد بر یکنواختی سرمایش هلو

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد بر روی انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌های واقع در نقاط مختلف جعبه‌ها در جدول ۱ نشان می‌دهد که تاثیر هر دو متغیر بر روی این شاخص، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل آنها روی شاخص مذکور از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. چنانکه بیان شد انحراف استاندارد به عنوان شاخص یکنواختی سرمایش میوه‌ها در نقاط مختلف جعبه مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا این شاخص، پراکندگی داده‌ها را حول نقطه میانگین نشان می‌دهد و هر اندازه انحراف استاندارد کوچک‌تر باشد سرمایش میوه‌ها و به تبع آن سرمایش کل یک جعبه، با یکنواختی بیشتری صورت می‌گیرد. مطابق جدول ۲ با افزایش دبی هوای سرد انحراف استاندارد کاهش و یکنواختی سرمایش میوه‌ها افزایش یافته است. انحراف استاندارد در دبی ۰/٥ لیتر در ثانیه برابر ۲۹/۲۸ و در دبی‌های ۱ و ۱/٥ لیتر در ثانیه به ترتیب برابر ۱٥/۰٤ و ۱۰/۸۸ می‌باشد. بطوری‌که دبی ۰/٥ لیتر در ثانیه با ۲ دبی دیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد دارد. این مطلب نشان می‌دهد افزایش بیشتر دبی هوای خنک‌کننده از ۱ لیتر در ثانیه، هم‌چنانکه تغییرات زیادی در متوسط زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌ها ایجاد نکرد (حدود ۱۰ دقیقه)، بر روی انحراف استاندارد نیز تاثیر کمتری دارد. بنابراین از لحاظ مدیریت مصرف انرژی استفاده از دبی‌های بیش از ۱ لیتر در ثانیه به ازای کیلوگرم محصول برای سرمایش هلو از نظر هر دو مشخصه مورد مطالعه، توجیه اقتصادی ندارد.

مطابق نتایج جدول ۱، تاثیر نوع جعبه نیز بر روی انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش میوه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد و جعبه تک ردیفه با انحراف استاندارد ۱۱/٥٥ و جعبه دو ردیفه با مقدار ۲۲/۲۲ به ترتیب از بیشترین و کمترین یکنواختی سرمایش برخوردار بودند. چنانکه نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول۳) نیز نشان می‌دهد بین انحراف استاندارد

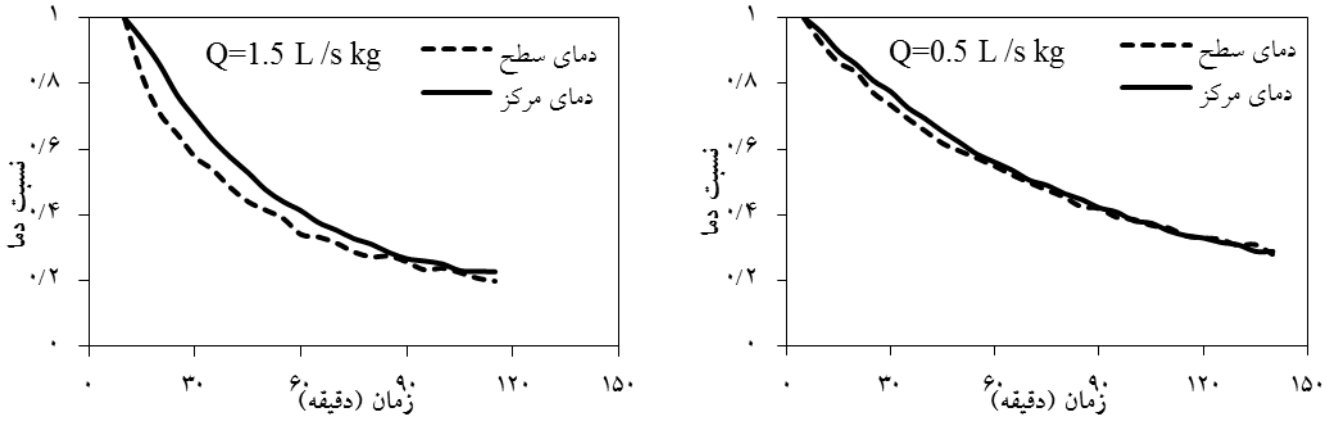
جعبه تک ردیفه با جعبه‌های دو ردیفه و سه ردیفه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد، ولی جعبه-های دو ردیفه و سه ردیفه از لحاظ یکنواختی سرمایش شرایط مشابهی دارند. دلیل پایین بودن انحراف استاندارد، یا به عبارت دیگر، یکنواخت انجام شدن فرآیند پیش‌سرمایش هلو در جعبه‌ی تک ردیفه، استفاده از شانه‌ی محافظ است. این شانه با ایجاد فضای خالی بین میوه‌ها مسیری را برای عبور جریان هوا ایجاد می‌کند و لذا همه میوه‌ها تماس کافی با هوای سرد داشته و یکنواخت‌تر خنک می‌شوند. اگر جعبه‌ها صرفا بر اساس قابلیت آنها در یکنواختی سرمایش محصول مقایسه شوند جعبه تک ردیفه مناسب‌ترین نوع جعبه خواهد بود ولی در انتخاب جعبه و دبی هوای سرد مناسب بایستی علاوه بر یکنواختی سرمایش، به کمینه بودن زمان سرمایش نیز توجه شود.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد جعبه‌ای که دارای کمترین زمان سرمایش است (جعبه سه ردیفه) از انحراف استاندارد بیشتری برخوردار بوده و سرمایش میوه‌ها در آن غیر یکنواخت‌تر انجام می‌شود. پایین بودن زمان سرمایش از لحاظ مصرف انرژی و پایین بودن انحراف استاندارد نیز از لحاظ کیفیت انجام عملیات پیش‌سرمایش حائز اهمیت است. بنابراین جعبه‌ای که به عنوان بهترین جعبه انتخاب می‌شود باید دارای حداقل مقادیر مربوط به زمان سرمایش و انحراف استاندارد باشد. بطورکلی نتایج مبین آن است که جعبه تک ردیفه به دلیل داشتن کمترین انحراف استاندارد از یکنواختی سرمایش بیشتری برخوردار است؛ ولی زمان سرمایش میوه‌ها در این جعبه ۱٤ تا ۱۵ دقیقه طولانی‌تر از سایر جعبه‌ها می-باشد که از نظر عددی تفاوت فاحشی نمی‌باشد. از طرف دیگر هلو از میوه‌های حساس به صدمات مکانیکی است لذا تاثیر جعبه‌ها در کاهش صدمات مکانیکی و لهیدگی میوه در حین حمل و نقل نیز بایستی در کنار شاخص-های ارزیابی عملیات سرمایش مد نظر قرار گیرد. بطورکلی در تجارت میوه‌های حساس به صدمات مکانیکی همیشه از جعبه‌های دارای شانه‌های محافظ استفاده می‌شود تا از میزان صدمات و ضایعات میوه جلوگیری شود. بنابراین کاهش صدمات میوه و به تبع آن کاهش ضایعات هلو، افزایش هزینه‌های انرژی ناشی از ١٤ تا ۱۵ دقیقه سرمایش طولانی‌تر را توجیه می‌کند. بنابراین جعبه تک ردیفه با دبی هوای سرد ۱ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول با زمان ۳/٤ام سرمایش معادل ۱۰۱/۳ دقیقه و انحراف استاندارد زمان ۳/٤ام سرمایش برابر ٦/۰۹ به عنوان بهترین جعبه و دبی هوا برای پیش‌سرمایش هلو انتخاب و معرفی می-گردد. زمان ۷/۸ام سرمایش به دست آمده در این دبی و در جعبه تک ردیفه در حدود ۱۵۵ دقیقه حاصل شد. پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری روی شانه‌های محافظ انجام شود تا از تاثیر منفی آنها در فرآیند پیش سرمایش تا حد امکان کاسته شود.

نتایج دمای مرکز و سطح میوه‌ها

چنانکه بیان شد برای مطالعه تغییرات دمایی مرکز و سطح میوه‌ها در هر جعبه یک عدد ترموکوپل در موقعیت A مطابق شکل۵ قرار داده شد. همان‌طوریکه نمودارهای شکل ٦ نشان می‌دهند در هر دو دبی هوای سرد، در هر لحظه دمای مرکز میوه بیشتر از دمای سطح آن بود ولی در دبی‌های پایین (۰/۵ لیتر در ثانیه) این تفاوت بسیار ناچیز بوده و با افزایش دبی هوای سرد تفاوت بین دمای سطح و مرکز میوه‌ها بیشتر می‌شود. برای سایر جعبه‌ها نیز نتایج مشابهی بدست آمد.

نعلبندی (۱۳۹۳) نیز نتایج مشابهی را برای دمای سطح و مرکز توت‌فرنگی گزارش کردند. بطوری‌که در دبی هوا ۰/٤ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، تفاوت بین دمای مرکز و سطح میوه‌ها محسوس نبود.



شکل ۶- تغییرات دمای مرکز و سطح هلو در دبی‌های مختلف در جعبه تک ردیفه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق فرآیند پیش‌سرمایش هلو در سه جعبه رایج برای بسته‌بندی هلو در سه دبی مختلف هوای سرد مورد مطالعه قرار گرفت و متوسط زمان ۱۳/٤ام سرمایش میوه‌ها و نیز انحراف استاندارد زمان ۱۳/٤ام سرمایش میوه‌ها به عنوان شاخص‌های ارزیابی استفاده شدند. نتایج نشان داد افزایش دبی هوای سرد موجب کاهش هر دو شاخص مورد ارزیابی می‌گردد و دبی هوای ۱ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول به عنوان بهترین دبی انتخاب شد. نتایج تحقیق هم‌چنین نشان داد که تاثیر نوع جعبه روی زمان ۱۳/٤ام سرمایش میوه‌های واقع در آنها و نیز یکنواختی سرمایش محصول در هر جعبه معنی‌دار می‌باشد. با لحاظ اصل محافظت محصول حساسی مانند هلو از صدمات مکانیکی و نیز یکنواختی سرمایش محصول در هر جعبه و لزوم پایین بودن زمان سرمایش، جعبه تک ردیفه در دبی هوای ۱ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول به عنوان بهترین جعبه برای پیش‌سرمایش هلو معرفی گردید.

منابع مورد استفاده

نعلبندی ح، ۱۳۹۳. مطالعه عددی و تجربی فرآیند پیش‌سرمایش توت‌فرنگی به روش هوادهی اجباری، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.

کیومرثی متعلق ی، ۱۳۹٤. مطالعه تاثیر پارامترهای عملکردی و نوع بسته بندی روی عملیات پیش سرمایش به روش هوادهی اجباری محصول هلو باغات کشت و صنعت مغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

De Castro LR, Cortez LAB and Vigneault C, 2006. Effect of sorting, refrigeration and packaging on tomato shelf life. International Journal of Food, Agriculture and Environment 4(1): 70–74.

De Castro LR, Vigneault C and Cortez LAB, 2005. Effect of container openings and airflow on energy required for forced air cooling of horticultural produce. Canadian Biosystems Engineering 47 (3):1 – 9.

Defraeye T, Lambrecht R, Delele MA, Tsige AA, Opara UL, Cronje P, Verboven P and Nicolai B, 2014. Forced-convective cooling of citrus fruit: cooling conditions and energy consumption in relation to package design. Journal of Food Engineering 121: 118-127.

Defraeye T, Lambrecht R, Tsige AA, Delele MA, Opara UL, Cronje P, Verboven P and Nicolai B, 2013. Forced-convective cooling of citrus fruit: package design. Journal of Food Engineering 118: 8-18.

Delele MA, Ngcobo MEK, Getahun ST, Chen L, Mellmann J and Opara UL, 2013. Studying airflow and heat transfer characteristics of a horticultural produce packaging system using a 3D CFD model. Part I: Effect of package design. International Journal of Postharvest Biology and Technology 36: 536-545.

Delele MA, Ngcobo MEK, Opara UL and Meyer CJ, 2012. Investigating the effects of table grape package components and stacking on airflow, heat and mass transfer using 3-D CFD modelling. International Journal of Food Bioprocess Technology 2 (9): 2571-2585.

Dincer I, Yildiz M, Loker M and Gun H, 1992. Process parameters for hydrocooling apricots, plums, and peaches. International Journal of Food Engineering 27(3): 347 - 352.

Dincer I, 1995. Air – flow precooling of individual Grapes. International Journal of Food Engineering 26: 243-249.

Ferrua MJ and Singh RP, 2007. Modelling airflow through vented packages containing horticultural products. In D. W. Sun (Ed.), Computational fluid dynamics in food processing. Florida: CRC.

Fraser HW, 1998. Tunnel Forced-Air Coolers for Fresh Fruits and Vegetables: Ontario Ministry of Agriculture and Food and Rural Affairs.

Han J and Park JM, 2007. Finite element analysis of vent/hand hole designs for corrugated fibreboard boxes. Packaging Technology and Science 20(1): 39–47.

Kader AA, 2002. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops, third ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA Publication 3311.

Kim BS, Choi JH and Kim MJ, 2003. Effects of Precooling Treatments on the Quality of Peaches (Mibaek). Korean Society of Food Science and Technology 35: 1233-1236.

Nalbandi H, Ghasemzadeh HR, Seiiedlou S, Rangbar F and Dehghanniya J, 2014. Mathematical Modeling of Airflow and Heat Transfer during Forced-Air Cooling of Strawberries. International Journal of Science and Technology 10: 69-76.

Nalbandi H, Seiiedlou S, Ghassemzadeh HR and Ranjbar F, 2016. Innovative parallel airflow system for forced-air cooling of strawberries. Journal of Food and Bioproducts Processing 100: 440-449.

Ngcobo MEK, Delele MA, Opara UL, Zietsman CJ and Meyer CJ, 2012. Resistance to airflow and cooling patterns through multi-scale packaging of table grapes. International Journal of Refrigeration 35: 445–452.

Ngcobo MEK, Delele MA, Opara UL, Zietsman CJ and Meyer CJ, 2013. Performance of multi-packaging for table grapes based on airflow, cooling rates and fruit quality. International Journal of Food Engineering 2(166): 613–621.

Pathare P, Opara U, Vigneault C, Delele M and Julanda F, 2012. Design of Packaging Vents for Cooling Fresh Horticultural Produce. International Journal of Food Bioprocess Technology 5: 2031–2045.

Thompson JF, Brecht PE and Hinsh T, 2002. Refrigerated trailer transport of perishable products. Agriculture and Natural resources, University of California, Davis (CA), Publication no. 21614.

Thompson JF, Mejia D and Singh R, 2010. Energy use of commercial forced air coolers for fruit. Applied Engineering in Agriculture 26 (5): 919–924.

Vigneault C and Emond JP, 1998. Reusable container for the preservation of fresh fruits and vegetables. United States Patent number: 5, 727, 711.

Vigneault C, Goyette B and Castro LR, 2006. Maximum slat width for cooling efficiency of horticultural produce in wooden crates. Postharvest Biology and Technology 40: 308–313.

Vigneault C, Thompson J, Stefanie Wu, Hui KPC and LeBlanc DL, 2009. Transportation of fresh horticultural produce. Postharvest Technologies for Horticultural Crops 2: 1-24.

Weinberger K and Lumpkin TA, 2007. Diversification into horticulture and poverty reduction: a research agenda. World Development 35 (8): 1464–1480.

Effect of package designing and performance parameters on the precooling of peach in the designed forced air cooling system

S Seiiedliu[1*], H Nalbandi[1] and Y Kiomarsi Motaallegh[2]

Received: June 12, 2017 Accepted: February 17, 2018
[1]Associate Professor and Assistant Professor, respectivly, Department of Bio Systems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2]MSc Graduated Student, Department of Bio Systems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[*]Corresponding author: E mail: ss_seiedlo@yahoo.com

Abstract
Postharvest technologies such as precooling process and packaging have an important effect in the storage and marketing of fruits and vegetable. Proper designing of package and determination of performance parameters of precooling process affect these technology. In this research, the various design of commercial packages as well as three levels of cooling airflow rate were studied and their effects were evaluated on the $3/4^{th}$, $7/8^{th}$ cooling time and standard deviation of $3/4^{th}$ cooling time. According to the results, the functional parameters and the best package was selected. Increasing in the airflow rate from 1 to 1.5 L/s kg_p had no significant effect on the standard deviation of $3/4^{th}$ cooling time and decreased cooling time just 11.5%. Therefore, the airflow rate of 1 L/s kg_p was selected as the optimum airflow rate in which the $3/4^{th}$ cooling time and that's standard deviation were 87.74 min and 15.36, respectively. The results of precooling process of peach using the commercial packages indicated that the $3/4^{th}$ cooling time of fruit was in the range of 109.3 to 94.10 min and the standard deviation of $3/4^{th}$ cooling time were varied from 11.55 to 22.22. The two and three layers packages had the lowest cooling time, however, using of this package is not proper because of the high probability of fruit mechanical damage and heterogeneity of cooling process. Using the one layer packages in the airflow rate of 1 L/s kg_p (with 101.3 and 155 min of $3/4^{th}$ and $7/8^{th}$ cooling time, respectively) is advisable with modifying its tray to reduce the precooling time because of the energy consumption.

Key words: Cooling Uniformity, Forced Air Cooling, Peach, $7/8^{th}$ Cooling Time