

# بررسی فرآیند پیش‌سرمایش سیب در جعبه‌های تجاری و جعبه‌هایی با طراحی جدید

سید صادق سیدلو هریس<sup>۱\*</sup>، حبیبه نعلبندی<sup>۱</sup> و سولماز جلالی رومی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲  
۱- گروه مهندسی بیو سیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز  
\*مسئول مکاتبه [ss\\_seiedlo@yahoo.com](mailto:ss_seiedlo@yahoo.com)

## چکیده

پیش‌سرمایش یک فرآیندی است که برای پیشگیری از فساد و افزایش عمر نگهداری میوه‌ها انجام می‌شود. سیب یکی از محصولات مهم است که عملیات پیش‌سرمایش روی آن صورت نمی‌گیرد. در این تحقیق با هدف تجاری‌سازی این عملیات و معرفی جعبه‌هایی که مبنای مهندسی مربوطه روی آنها پیاده شده است، جعبه‌های جدیدی طراحی و ساخته شد و تاثیر مشخصه‌های عملکردی در عملیات پیش‌سرمایش از قبیل دبی هوای سرد، نوع جعبه بسته‌بندی روی زمان ۷/۸ام سرمایش و افت رطوبت سیب بررسی شد تا بهینه‌ترین طرح جعبه به‌صنعت مربوطه معرفی شود. نتایج نشان داد جعبه پلی‌اتیلنی دارای کمترین زمان ۷/۸ام سرمایش می‌باشد ولی به دلیل افت رطوبت محصول در حین پیش‌سرمایش (۲۳ الی ۲۶ درصد) نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. جعبه کارتن پلاست رایج به دلیل طراحی نامناسب منافذ آن، دارای زمان سرمایش طولانی‌تر و سرمایش غیریکنواخت‌تری بود. در حالی که زمان لازم سرمایش جعبه کارتن پلاست طرح جدید، نسبت به کارتن پلاست رایج در دبی هوای ۰/۵ و ۱/۵ لیتر در ثانیه، به ترتیب ۳۰/۵ و ۲۵/۹ درصد کاهش یافت و فرآیند سرمایش در این جعبه یکنواخت‌تر بود. افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱/۵ لیتر در ثانیه، منجر به کاهش زمان سرمایش بین ۱۶/۸ و ۳۹/۷ درصد در همه جعبه‌ها شد. ناچیزبودن افت رطوبت در جعبه‌های کارتن پلاست طرح جدید، یکنواختی سرمایش در جعبه و پایین بودن زمان سرمایش نسبت به طرح‌های موجود جعبه، مناسب‌بودن این جعبه‌ها را برای نگهداری محصول نشان می‌دهد؛ بنابراین این جعبه به‌عنوان بهترین جعبه برای فرآیند پیش‌سرمایش و نگهداری سیب انتخاب و معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌سرمایش سیب، یکنواختی عملیات، طراحی جعبه، منافذ جعبه

## ۱- مقدمه

۲۰۰۲ و زو و همکاران، ۲۰۰۶). علی‌رغم انجام فرآیند پیش‌سرمایش که از طریق مکش جریان هوای سرد از داخل جعبه‌های منفذدار محصول انجام می‌شود، هنوز تلفات پس از برداشت محصولات باغی و انرژی مصرفی در این عملیات به دلیل توزیع غیر یکنواخت هوای سرد در داخل جعبه و در نتیجه غیریکنواختی فرآیند پیش‌سرمایش، بالاست.

از مهم‌ترین عوامل موثر در توزیع هوای داخل جعبه‌ها می‌توان به شکل، فاصله، الگوی قرارگیری محصول در جعبه، شکل و اندازه جعبه، طراحی منافذ شامل شکل و موقعیت و نیز درصد فضای باز جعبه‌ها اشاره کرد. در میان این عوامل، طراحی منافذ نقش مهمی در الگوی جریان هوا در داخل جعبه ایفا می‌کند (تانر و همکاران، ۲۰۰۲؛ ون دراسمان، ۲۰۰۲). محققین مختلفی تاثیر موقعیت و الگوی توزیع منافذ بر میزان سرمایش و یکنواختی سرمایش محصولات مختلف را بررسی کردند. نتایج همه تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که برای انجام بهینه فرآیند پیش‌سرمایش، منافذ جعبه‌ها باید با اندازه و الگوی مناسب بر روی دیواره‌های جانبی جعبه‌های همه محصولات از جمله سیب توزیع گردد (هاس و همکاران، ۱۹۷۶؛ اریفین و همکاران، ۱۹۸۸؛ برید و همکاران، ۱۹۸۸؛ ویگنیولت و

دما یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در عمر قفسه‌ای و کیفیت محصولات باغبانی می‌باشد. با کاهش سریع دمای محصول بلافاصله پس از برداشت آن سرعت تنفس کاهش یافته و به‌تبع آن فساد محصول نیز کاهش خواهد یافت. از این رو محققان بسیاری بر ضرورت پیش‌سرمایش تاکید کرده و از آن به‌عنوان کلید موفقیت در انبارداری محصولات باغی یاد می‌کنند. بنابراین قبل از انبار کردن و یا انتقال محصول به‌مکان‌های دوردست، به‌وسیله روش‌های مختلف دمای آنها تا دمای بهینه نگهداری کاهش داده می‌شود (کادر، ۲۰۰۲). در ایران به‌غیر از موارد جزئی خصوصاً در مورد توت‌فرنگی و انگور که به‌صورت کاملاً ابتدایی فرآیند پیش‌سرمایش روی آنها انجام می‌گیرد، در سایر محصولات غالباً عملیات پیش‌سرمایش صورت نمی‌گیرد. این در حالی است که استفاده از فناوری‌های نوین در فرآیند پیش‌سرمایش در سطح دنیا متداول شده است. پیش‌سرمایش به‌صورت هوادهی اجباری رایج‌ترین و کارآمدترین روش پیش‌سرمایش مورد استفاده در صنعت کشاورزی به‌ویژه برای محصولات حساس نسبت به آب می‌باشد (هاردنبرگ و همکاران، ۱۹۸۶؛ کادر،

جعبه نیز مشخص شود. وجود منافذ مناسب در جعبه‌های سیب، علاوه بر تاثیر در فرآیند پیش‌سرمایش، در دوره نگهداری در سردخانه نیز موثر می‌باشند. به طوری که منافذ باز بیش از مقادیر بهینه، موجب افت سریع رطوبت از میوه در طی دوره نگهداری خواهد شد. هدف از این تحقیق مطالعه فرآیند پیش‌سرمایش سیب با استفاده از روش هوادهی اجباری، طراحی یک جعبه جدید از دیدگاه بهینه-سازی توزیع یک‌نواخت جریان هوای سرد در داخل بسته و بررسی عملکرد آن در مقایسه با سایر جعبه‌ها از قبیل جعبه‌های پلی‌اتیلن و کارتن‌پلاست از لحاظ زمان سرمایش و افت رطوبت محصول بود تا بتوان ضمن بررسی عملکرد جعبه طراحی شده، بهترین طرح جعبه و الگوی منافذ را به منظور دستیابی به سرمایش یک‌نواخت و سریع محصول انتخاب کرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- طراحی و ساخت جعبه‌ی مختص عملیات

#### پیش‌سرمایش

طراحی جعبه مختص عملیات پیش‌سرمایش سیب قبلا طی یک طرح پژوهشی جداگانه توسط تیم تحقیقاتی حاضر در نرم‌افزار کامسول (*Comsol Multiphysics*) مورد مطالعه قرار گرفته است. در این نرم‌افزار معادلات انتقال منتوم، گرما و جرم به صورت هم‌زمان به روش اجزاء محدود حل شده و فرآیند پیش‌سرمایش سیب در داخل جعبه‌ها شبیه‌سازی شده است. در شبیه‌ساز توسعه‌یافته توسط محققین، طرح‌های مختلف جعبه سیب و الگوی منافذ آن مورد بررسی قرار گرفته و بهترین طرح در محیط نرم‌افزار انتخاب شد. این جعبه دارای ابعاد  $190 \times 290 \times 390$  میلی‌متر است که چهار منفذ روی دیواره جانبی آن تعبیه شده است (شکل ۱- الف). در تحقیق حاضر طرح منتخب جعبه سیب، از ورق کارتن‌پلاست ساخته شد و فرآیند پیش‌سرمایش سیب در جعبه‌های طراحی شده مورد مطالعه قرار گرفت تا عملکرد جعبه از لحاظ تاثیر الگوی منافذ آن روی زمان پیش‌سرمایش، یکنواختی فرآیند سرمایش و افت رطوبت محصول در دی‌های مختلف هوای سرد بررسی شود. هم‌زمان با جعبه کارتن‌پلاست طرح جدید، دو جعبه دیگر که در حال حاضر در ایران برای بسته‌بندی سیب استفاده می‌شود نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. یکی از جعبه‌ها، جعبه‌ی پلی‌اتیلنی (شکل ۱- ب) بود که به طور معمول در داخل کشور استفاده می‌شود. جعبه‌ی دیگر جعبه‌ی کارتن‌پلاست رایج به ابعاد  $190 \times 290 \times 390$  میلی‌متر بود که از شرکت ورق‌پلاست غرب واقع در ارومیه که به منظور صادرات سیب طراحی شده است تهیه گردید (شکل ۱- ج).

گویت، ۲۰۰۲؛ اندرسن و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاسترو و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاسترو و همکاران، ۲۰۰۵؛ کورتیاوی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ویگنیولت و همکاران، ۲۰۰۶ و کومار و همکاران، ۲۰۰۸).

ذکر این نکته حائز اهمیت است که سیب یک محصول کشاورزی با اهمیت در ایران است که از سطح زیر کشت زیادی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی برخوردار بوده به طوری که تولید آن در سال ۱۳۹۴ در کل کشور ۳/۴ میلیون تن را شامل می‌شود. متاسفانه به دلیل کمبود سردخانه، بالا بودن مسافت محل تولید تا مراکز مصرف و نگهداری، کافی نبودن کارخانجات تبدیلی، عدم آگاهی از نحوه صحیح نگهداری و مهم‌تر از همه عدم انجام عملیات پیش‌سرمایش روی محصول تازه برداشت شده، سالانه مقدار زیادی محصول به صورت ضایعات از دسترس خارج می‌شود. بدیهی است در صورت انجام عملیات پیش‌سرمایش، میزان این ضایعات به صورت چشمگیری کاهش و دسترسی به بازارهای دوردست به دلیل افزایش عمر انبارمانی پس از برداشت، امکان‌پذیر خواهد بود. نتیجه همه این محاسن، افزایش سود باغدار و امکان صادرات بیش‌تر محصولات را فراهم خواهد نمود. بنابراین موفقیت در صادرات سیب منوط به انجام صحیح فرآیند پیش‌سرمایش و انجام بهینه این فرآیند نیز تابع انتخاب نوع بسته‌بندی و طراحی مناسب بسته می‌باشد. در حال حاضر در ایران بیشتر از جعبه‌های پلی‌اتیلنی برای بسته‌بندی سیب استفاده می‌شود. این جعبه‌ها نسبت به جعبه‌های چوبی وزن کمتری داشته و ارزان‌تر می‌باشند. قوانین تجارت جهانی استفاده از جعبه‌های پلی-اتیلنی برای صادرات میوه را محدود کرده است. بنابراین استفاده از جعبه‌هایی از جنس کارتن‌پلاست در سطح دنیا و نیز ایران رواج یافته است. جعبه‌های جدیدی اخیرا توسط شرکت ورق‌پلاست غرب برای صادرات سیب طراحی شده است که میوه‌ها به صورت دو لایه در جعبه‌ها چیده می‌شوند. در این جعبه‌ها منافذ کوچکی در دیواره‌های جانبی تعبیه شده است که هدف اصلی از ایجاد آنها، سهولت حمل و نقل جعبه‌ها می‌باشد. علی‌رغم مناسب بودن این جعبه‌ها برای صادرات میوه، در مورد عملکرد آنها در فرآیند پیش‌سرمایش سیب اطلاعاتی در دسترس نیست که نبود منافذ خاص در دیواره‌های جعبه نیز موید این مطلب است که در طراحی این جعبه‌ها، به مناسب بودن آنها برای فرآیند پیش‌سرمایش توجه نشده است.

به طور کلی کم‌بودن فضای باز جعبه‌ها موجب افزایش زمان سرمایش و افزایش مصرف انرژی می‌گردد. درصد فضای باز بهینه‌ای وجود دارد که در آن زمان سرمایش حداقل می‌باشد که باید برای هر محصول و هر نوع جعبه مقدار بهینه تعیین شود. هم‌چنین توزیع منافذ روی دیواره بر الگوی جریان جریان هوا در داخل بسته تاثیرگذار است. زیرا حتی اگر درصد فضای باز بهینه تحقق یابد ولی به صورت مناسب روی دیواره توزیع نگردد، فرآیند پیش‌سرمایش در حداقل زمان ممکن انجام نخواهد گرفت. بنابراین لازم است ضمن تعیین درصد فضای باز بهینه، الگوی قرارگیری منافذ روی دیواره‌های



شکل ۱- انواع جعبه‌های مورد استفاده: (الف) جعبه کارتن پلاست طرح جدید، (ب): جعبه پلی اتیلن، (ج): جعبه کارتن پلاست رایج

مورد مطالعه، سیب مورد نیاز انتخاب و اجازه داده شد قبل از هر آزمایش، دمای میوه‌ها به دمای محیط آزمایشگاه برسد.

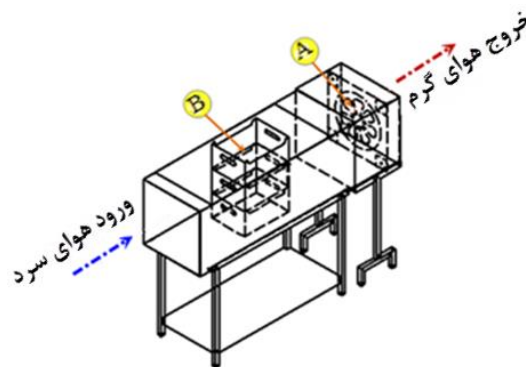
## ۲-۲-۳- آزمون و ارزیابی جعبه‌های کارتن پلاست طرح

### جدید و قدیم

در هنگام استفاده از جعبه‌ی کارتن پلاست، در هر جعبه تقریباً ۷ کیلوگرم میوه مورد استفاده قرار گرفت. در هر آزمایش جرم متوسط، ابعاد، حجم، دانسیته و محتوی رطوبت میوه‌ها اندازه‌گیری شدند و در نهایت کاهش رطوبت محصول با اندازه‌گیری جرم اولیه و نهایی محصولات محاسبه شد. در هنگام استفاده از جعبه کارتن پلاست طرح رایج، با توجه به ابعاد تونل و جعبه‌ها، سه جعبه روی همدیگر داخل تونل قرار داده شده (شکل ۳- الف، ب) و میوه‌ها به صورت دو لایه در هر جعبه چیده شدند. جعبه میانی به‌عنوان جعبه هدف برای مطالعات دمایی در نظر گرفته شد. برای ثبت دما از دیتالاگر ۱۵ کاناله مدل DL2 استفاده شد که ۱۲ ترموکوپل نوع K برای اندازه‌گیری دمای میوه‌ها و ۲ عدد برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی و خروجی از تونل باد و ۱ ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای محیط آزمایشگاه اختصاص یافت. در تمام آزمایش‌ها ۸ عدد سیب از جعبه میانی به ترموکوپل مجهز شدند. محل نصب ترموکوپل‌ها بر اساس نتایج شبیه‌سازی طوری انتخاب شد تا همه نقاط جعبه مانند محل ورود و خروج هوای سردکننده و نیز تمام لایه‌های میوه را شامل شود تا بتوانند به‌عنوان نماینده مناسبی از همه میوه‌های واقع در جعبه باشند. در جعبه‌های کارتن پلاست رایج، با توجه به این‌که فقط دو ردیف محصول درون جعبه‌ها چیده شده بود ۴ عدد سیب در ردیف تحتانی و ۴ عدد سیب در ردیف فوقانی جعبه به ترموکوپل‌ها مجهز شدند. شکل ۴- الف و ب موقعیت سیب‌های تجهیز شده با ترموکوپل را نشان می‌دهند. پس از قرارگیری جعبه‌ها در داخل تونل طراحی شده، چهار طرف آنها توسط صفحات یونولیتی پر شد تا مانع کنارگذر شدن هوای داخل تونل از اطراف جعبه‌ها شود. سپس از پوشش پلی-اتیلن برای پوشاندن سطح فوقانی استفاده شد.

## ۲-۲-۲- نحوه انجام آزمایش‌ها

برای مطالعه فرآیند پیش‌سرمایش سیب، میوه‌های مورد نیاز از واریته رد دلشیز و از باغی واقع در شهرستان مراغه در استان آذربایجان شرقی تهیه و تا زمان انجام آزمایش در دمای  $1^{\circ}\text{C}$  نگهداری شدند. برای انجام آزمایش‌ها، یک واحد تونل باد افقی آزمایشگاهی ساخته شد که ابعاد سطح مقطع تونل،  $500 \times 500$  میلی‌متر و طول آن، ۱۸۰۰ میلی‌متر بود. این تونل روی چهار عدد پایه از پروفیل با مقطع مربعی شکل  $40 \times 40$  میلی‌متر و در ارتفاع یک متری از سطح زمین قرار داده شد. تونل باد شامل دو قسمت مجزا بود: ۱- محل نصب دمنده ۲- محل قرارگیری جعبه‌ها (شکل ۲).



شکل ۲- تونل باد افقی: (A) دمنده، (B) جعبه‌های میوه

به‌منظور تامین جریان هوای مورد نیاز، از یک واحد دمنده در انتهای تونل استفاده شد تا با ایجاد مکش، جریان هوای سرد را از بین جعبه‌ها عبور دهد. دمنده دارای توان ۱ اسب بخار و دبی ۴۴۰۰ مترمکعب در ساعت بود. برای تثبیت دبی هوای ورودی به داخل تونل در سطح مقطع مورد نظر، از یک دیمر متصل به‌مکنده استفاده شد که با استفاده از آن مقدار جریان ورودی به‌داخل جعبه‌ها کنترل می‌شد. مقدار درصد رطوبت نسبی هوای محفظه سردخانه روی  $70\%$  درصد تنظیم شد و رطوبت هوا در هر لحظه به‌وسیله رطوبت‌سنج مدل DSFOX اندازه‌گیری شد. در کلیه آزمایش‌ها دمای سردخانه روی  $1^{\circ}\text{C}$  تنظیم شد. برای انجام هر آزمایش متناسب با اندازه جعبه

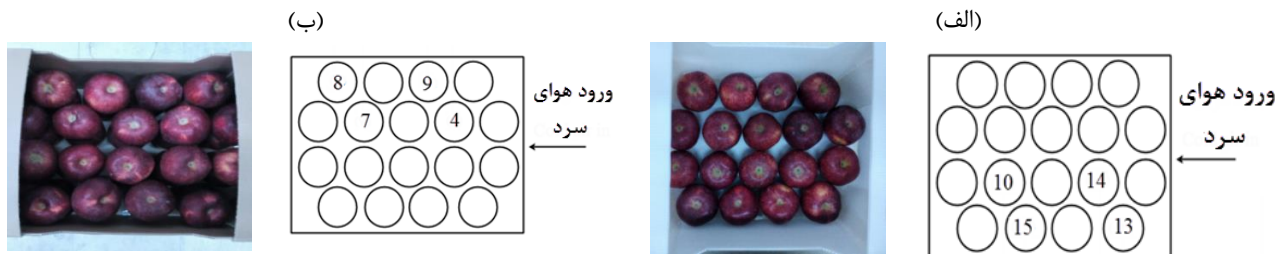
دمای همه میوه‌ها به دمای مورد نظر، سیستم خاموش شده و جعبه‌ها از سردخانه خارج و مجدداً میوه‌های درون هر جعبه توزین شدند. در پایان فرآیند میزان افت رطوبت میوه‌ها نیز در طی فرآیند پیش-سرمایش محاسبه شد.

$$T_7 = T_i - \frac{7}{8}(T_i - T_{air}) \quad (1)$$

آزمایش‌ها در دو دبی هوای سرد ۰/۵ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول انجام شد. سرعت هوا در هر تیمار، با سرعت-سنج پره‌ای (TESTO 435) اندازه‌گیری شد و با شروع فرآیند پیش-سرمایش، دمای محصولات در فواصل زمانی ۵ دقیقه‌ای اندازه‌گیری و توسط دیتالاگر ثبت گردید. دمای اولیه میوه‌ها قبل از شروع آزمایش پیش‌سرمایش، ۲۰°C و دمای هوای اتاق سرد روی ۱°C تنظیم شد. بنابراین دمای ۷/۸ام سرمایش از رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه  $T_i$  دمای اولیه میوه و  $T_{air}$  دمای هوای سرد می‌باشد. در هر آزمایش، فرآیند سرمایش میوه‌ها تا رسیدن دمای همه میوه‌ها به-دمای ۷/۸ام سرمایش یعنی ۳/۳۸°C ادامه یافت. پس از رسیدن



شکل ۳- موقعیت قرارگیری جعبه‌ها در داخل تونل باد افقی: (الف) جعبه کارتن پلاست رایج، (ب) جعبه کارتن پلاست طرح جدید، (ج) جعبه پلی اتیلن



شکل ۴- موقعیت سیب‌های تجهیز شده به ترموکوپل در جعبه‌های کارتن پلاست رایج (دید از بالا): (الف) ردیف تحتانی، (ب) ردیف فوقانی

## ۲-۴- آزمون و ارزیابی جعبه پلی اتیلنی

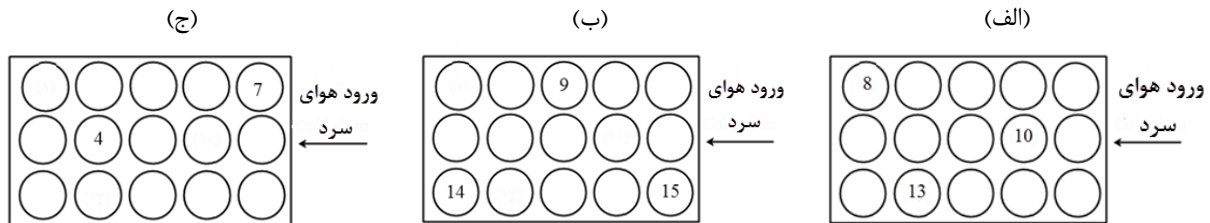
هنگام استفاده از جعبه پلی اتیلنی و با توجه به ابعاد آن (۲۳۰×۲۸۰×۴۰۰ میلی‌متر)، فقط امکان آزمون یک جعبه در داخل تونل وجود داشت (شکل ۲- ج). حدود ۱۰ کیلوگرم میوه در سه لایه مورد استفاده قرار گرفت. در این جعبه ۲ عدد سیب در ردیف تحتانی، ۳ عدد سیب در ردیف وسط و ۳ عدد سیب در ردیف فوقانی و در جاهای مختلف و تصادفی، به ترموکوپل مجهز شدند (شکل ۵). در نهایت همانند جعبه‌های کارتن پلاست از صفحات یونولیتی روی جعبه و فضاهای خالی اطراف آن استفاده شد. سپس از پوشش پلی اتیلن برای پوشاندن سطح فوقانی تونل استفاده و همانند جعبه‌های کارتن پلاست آزمایش‌ها انجام شدند.

## ۲-۵- شاخص‌های ارزیابی عملکرد سرمایش

پس از اتمام فرآیند، منحنی‌های سرمایش میوه‌ها به صورت تغییرات دمای مرکز میوه‌ها در برابر زمان سرمایش ترسیم گردید. به دلیل وجود اختلاف‌های جزئی در دمای اولیه میوه‌ها در برخی آزمایش‌ها و برای حذف اثر آن در تیمارهای مختلف، نمودارهای دما در مقابل زمان سرمایش، به صورت نسبت دما در مقابل زمان ترسیم شدند. نسبت دما از تقسیم دمای میوه‌ها در هر لحظه بر دمای اولیه آنها محاسبه شد. متوسط زمان ۷/۸ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان ۷/۸ام سرمایش میوه‌های واقع در نقاط مختلف هر جعبه، به-عنوان شاخص‌های ارزیابی یکنواختی سرمایش میوه‌ها در هر جعبه مورد استفاده قرار گرفته و تاثیر تیمارهای مورد مطالعه، روی آنها بررسی شد. برای محاسبه متوسط زمان ۷/۸ام سرمایش هر سیستم بسته‌بندی، از زمان ۷/۸ام سرمایش میوه‌های داخل هر جعبه میانگین‌گیری شد. انحراف استاندارد زمان ۷/۸ام سرمایش میوه‌های

مختلف جعبه را نشان می‌دهد. بنابراین مقادیر کم انحراف استاندارد، بیانگر طراحی مناسب جعبه و یک‌نواختی بیشتر فرآیند سرمایش در داخل جعبه بوده به‌طوری‌که میوه‌های واقع در نقاط مختلف هر جعبه به‌صورت هم‌زمان و یکنواخت‌تر خنک می‌شوند.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_{i7/8} - \overline{t_{7/8}})^2}{N-1}} \quad (2)$$



شکل ۵- موقعیت سیب‌های تجهیز شده به ترموکوپل در جعبه‌ی پلی‌اتیلن (دید از بالا): (الف) ردیف فوقانی، (ب) ردیف میانی، (ج) ردیف تحتانی

نمودارها استنتاج کرد این است که تفاوت محسوسی بین آهنگ و زمان سرد شدن میوه‌ها تا رسیدن به دمای ۷/۸ام سرمایش یعنی C ° ۳/۳۸، در جعبه‌های مورد مطالعه وجود داشت. به‌طوری‌که جعبه پلی‌اتیلنی و جعبه کارتن پلاست رایج به‌ترتیب کمترین و بیش‌ترین زمان پیش‌سرمایش را داشتند. هم‌چنین در کلیه جعبه‌های مورد مطالعه با افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول، آهنگ سرد شدن میوه‌ها افزایش و زمان سرمایش کاهش یافته است.

### ۲-۳- تاثیر نوع جعبه و دبی هوای سرد بر زمان ۷/۸

#### ام سرمایش میوه‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۷/۸ام سرمایش سیب در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طوریکه مشاهده می‌شود تاثیر اثرات اصلی نوع جعبه و دبی هوای سرد و نیز اثر متقابل آنها روی زمان ۷/۸ام سرمایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. بنابراین انتخاب نوع جعبه و دبی هوای سرد می‌تواند تاثیر به‌سزایی روی زمان فرآیند سرمایش جهت رسیدن به دمای ۷/۸ام سرمایش داشته باشد.

### ۲-۶- طرح آماری آزمایش‌ها

چنان‌که بیان شد پس از طراحی جعبه، طراحی تونل باد افقی و ساخت آنها اثر مشخصه‌های مختلف شامل نوع جعبه در سه سطح و دبی هوای سرد در دو سطح شامل ۰/۵ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول بر فرآیند پیش‌سرمایش سیب مورد بررسی قرار گرفت. نوع جعبه شامل جعبه کارتن پلاست طراحی جدید و جعبه‌های پلی‌اتیلنی و کارتن پلاست رایج بودند. به‌این‌ترتیب آزمایش‌ها در شش ترکیب تیماری و هر تیمار با سه تکرار و جمعاً به تعداد ۱۸ آزمایش انجام گرفتند. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز به‌روش دانکن و در نرم افزارهای MSTATC انجام شد. در نمودارها و جداول، جعبه کارتن پلاست طرح رایج با عنوان kp، جعبه کارتن پلاست طرح جدید با عنوان kp<sub>new</sub> و جعبه پلاستیکی با عنوان PL معرفی شده‌اند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- منحنی‌های سرمایش

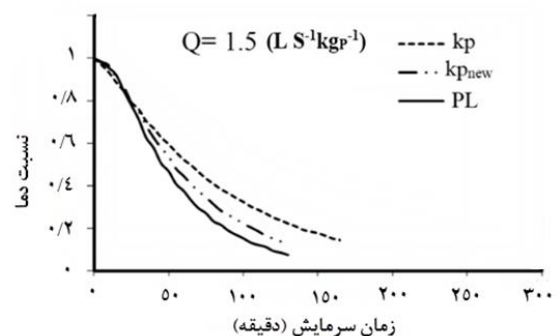
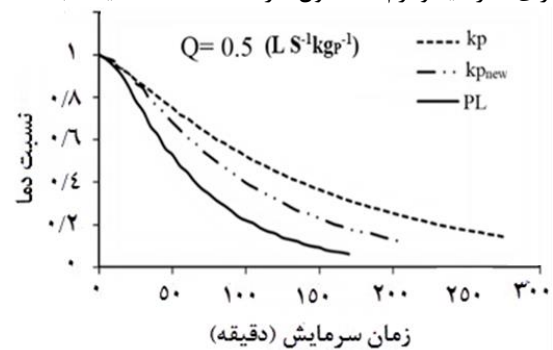
در شکل ۶ منحنی‌های سرمایش میوه‌های موجود در سه نوع جعبه‌ی مورد مطالعه در دبی‌های مختلف هوای سرد نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود در کلیه جعبه‌ها، با افزایش زمان سرمایش دمای محصول کاهش و با نزدیک شدن به پایان فرآیند، شیب منحنی‌ها کاهش پیدا کرده و نسبت دما یا دمای سیب به‌صورت یک نمودار نمایی به‌صورت تابعی از زمان تغییر کرده است. به‌عبارت‌دیگر در زمان‌های پایانی سرمایش، به‌علت کاهش گرادیان دمایی مرکز محصول و جریان هوای سرد ورودی به‌جعبه، ضریب نفوذ حرارتی کاهش و انتقال گرما از مرکز میوه به‌بیرون آن و به‌تبع آن کاهش دما در مرکز محصول، کندتر انجام شده است. آنچه می‌توان از



۷/۸ ام سرمایش رسیده است درحالی که در جعبه کارتن پلاست طرح رایج که به‌تصور سازندگان برای صادرات سیب ساخته شده بود این زمان به ۱۵۴ دقیقه افزایش یافته است. به‌این ترتیب با توجه به- نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها می‌توان دریافت که سیب‌های موجود در جعبه کارتن پلاست رایج به زمان سرمایش طولانی‌تری نیاز داشته درحالی که در جعبه پلی‌اتیلنی زمان سرمایش میوه‌ها به‌مراتب کمتر بود. در کلیه آزمایش‌ها، کمترین زمان سرمایش مربوط به جعبه پلی‌اتیلنی در دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول و معادل ۹۸/۳۳ دقیقه و بیش‌ترین مقدار آن معادل ۲۵۵/۴ دقیقه در دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول در جعبه کارتن پلاست رایج بود. بنابراین سرمایش میوه‌ها در جعبه‌ی پلی‌اتیلنی سریع‌تر صورت می‌گیرد.

در حال حاضر برای انبارداری سیب غالباً از جعبه‌های پلی‌اتیلنی استفاده می‌شود. ولی این جعبه‌ها برای اهداف صادرات زیاد مناسب نبوده و باعث افت رطوبت و کاهش کیفیت ظاهری محصول در طول نگهداری می‌شوند. در نتیجه باید از جعبه‌های مناسب دیگری مانند کارتن پلاست استفاده شود. از طرف دیگر جعبه‌های کارتن پلاست رایج از لحاظ زمان سرمایش نسبت به جعبه‌های پلی‌اتیلنی، از وضعیت مناسبی برخوردار نیستند و استفاده از آنها برای انجام فرآیند پیش‌سرمایش، به‌دلیل افزایش زمان فرآیند، هزینه مرتبط را افزایش خواهد داد. لذا لازم است طراحی منافذ آن مجدد مدنظر قرار گیرد تا بتوان مشکلات آن را مرتفع نمود. بنابراین به‌منظور کاهش زمان سرمایش میوه‌ها در جعبه کارتن پلاست رایج، طراحی جدیدی روی منافذ آن بر اساس تجربه تیم تحقیقاتی حاضر و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در این خصوص صورت گرفت و آزمایش‌ها مجدداً روی طرح جدید اجرا شد. نتایج نشان داد که افزودن منافذ جدید، به‌شکل محسوسی موجب کاهش زمان سرمایش می‌شود. به‌طوری‌که متوسط زمان ۷/۸ ام سرمایش در جعبه کارتن پلاست طرح جدید نسبت به- طرح رایج، در دبی ۰/۵ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول، به‌ترتیب ۷۰ و ۵۰ دقیقه کاهش یافت (جدول ۲).

در جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۷/۸ ام سرمایش نشان داده شده است. در همه جعبه‌های مورد مطالعه با افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱/۵ لیتر در ثانیه به‌ازای هر کیلوگرم محصول، زمان ۷/۸ ام سرمایش کاهش یافته است. به‌طوری‌که در جعبه پلی‌اتیلنی تفاوتی در حدود ۲۰ دقیقه (۱۶/۸ درصد) وجود داشت. تفاوت سرمایش در دو دبی در جعبه‌های کارتن پلاست رایج و کارتن پلاست طرح جدید به‌ترتیب برابر ۱۰۱ و ۶۳ دقیقه معادل ۳۹/۷ و ۳۵/۷ درصد بود. هم‌چنین نتایج حاکی از آن است که در هر دو سطح مورد مطالعه‌ی دبی هوای سرد، جعبه کارتن پلاست طرح رایج و جعبه پلی‌اتیلنی به‌ترتیب بیشترین و کمترین زمان ۷/۸ ام سرمایش را داشتند. جعبه پلی‌اتیلنی در دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه به- ازای هر کیلوگرم محصول، در مدت ۹۸/۳۳ دقیقه به‌دمای



شکل ۶- منحنی‌های سرمایش سیب در جعبه‌های مختلف در دبی‌های هوای سرد مورد مطالعه

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۷/۸ ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان ۷/۸ ام سرمایش جعبه‌ها

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
متوسط زمان ۷/۸ ام سرمایش	انحراف استاندارد زمان ۷/۸ ام سرمایش		
۱۱۸/۴۳۵ <sup>**</sup>	۱۴۱۹۱/۰۳۷ <sup>**</sup>	۲	نوع جعبه
۹۵۸/۰۵۶ <sup>**</sup>	۱۷۰۳۵/۵۰۳ <sup>**</sup>	۱	دبی هوای سرد
۲۴/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۲۵۰۴/۷۰۹ <sup>**</sup>	۲	نوع جعبه × دبی هوای سرد
۲۷/۶۴۶	۷۷/۹۰۸	۱۲	خطا

<sup>\*\*</sup>، <sup>ns</sup>: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان ۱۷/۸ ام سرمایش جعبه‌های مختلف

نوع جعبه	دبی هوای سرد ( $L S^{-1} kg_p^{-1}$ )	متوسط زمان ۱۷/۸ ام سرمایش (دقیقه)
Kp	۱/۵	۱۵۴ C
	۰/۵	۲۵۵/۴ A
kp <sub>new</sub>	۱/۵	۱۱۴ DE
	۰/۵	۱۷۷/۳ B
PL	۱/۵	۹۸/۳۳ E
	۰/۵	۱۱۸/۱ D

حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

### ۳-۳- تاثیر نوع جعبه و دبی هوای سرد بر یک-نواختی سرمایش میوه‌ها

معیار دیگری که برای مقایسه جعبه‌ها و انتخاب بهترین جعبه استفاده شد شاخص انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش میوه-های واقع در نقاط مختلف هر نوع جعبه بود به طوری که پایین بودن این شاخص، نشان‌دهنده یک‌نواختی سرمایش داخل جعبه است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نوع جعبه و دبی هوای سرد در سطح احتمال ۱٪ روی انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش جعبه‌ها معنی‌دار بوده ولی اثرات متقابل آنها معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۱). بنابراین یک‌نواختی سرمایش میوه‌ها در داخل هر کدام از جعبه‌ها و در دبی‌های هوای سرد منتخب، متفاوت می‌باشد که این موضوع از دیدگاه مصرف انرژی مهم تلقی می‌شود. معنی‌دار بودن اثر اصلی دبی هوای سرد بر شاخص یک‌نواختی عملیات سرمایش (انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش) مبین آن است که با افزایش دبی هوای سرد، انحراف استاندارد کاهش می‌یابد. به طوری که کمترین انحراف استاندارد در دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول برابر ۱۹/۹۷ و بیشترین مقدار آن در دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول معادل ۳۴/۷ به دست آمد. به این ترتیب با افزایش دبی هوای سرد، ضمن کاهش زمان ۱۷/۸ ام سرمایش، انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش نیز کاهش یافته و فرآیند پیش‌سرمایش با یک‌نواختی بیشتری انجام می‌شد (جدول ۳). نوع جعبه نیز اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ روی شاخص انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش جعبه‌ها داشته است. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر اصلی نوع جعبه روی شاخص مذکور (جدول ۴) می‌توان دریافت که بین جعبه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشته و جعبه کارتن پلاست دیگر بیشترین انحراف استاندارد معادل ۳۲/۲۳ را دارا بود. به عبارت دیگر در این نوع جعبه، سرمایش میوه‌ها با غیریک‌نواختی بیشتری نسبت به سایر جعبه‌ها انجام می‌شد. محققین دیگری نیز به نتایج مشابهی دست یافته و گزارش نمودند که طراحی مناسب منافذ ضمن کاهش زمان سرمایش، موجب افزایش یک‌نواختی فرآیند در داخل جعبه‌ها

محققین دیگری نیز به نتایج مشابه دست یافتند. کاسترو و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقی ۱۳ طرح مختلف منفذ جعبه شامل چهار سطح مساحت (۲، ۴، ۸ و ۱۴ درصد سطح هر وجه جعبه) و چهار دبی هوای سرد (۰/۵، ۱، ۲ و ۴ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول) مورد مطالعه قرار دادند. محققین با تعیین اثر دبی هوای سرد و میزان سطح منافذ جعبه، دریافتند که دبی هوا در زمان نیمه‌سرمایش محصول موثر می‌باشد و سطح منفذ در حدود ۱۴ درصد، برای حصول حداکثر راندمان خنک‌سازی مناسب است. در تحقیق دیگری تاثیر تعداد منافذ بر روی دیوار جعبه‌های چوبی (درصد فضای باز دیوار جعبه‌ها) بر فرآیند سرمایش را مورد بررسی قرار گرفت. محققین دریافتند که با افزایش درصد فضای باز از ۲/۴ به ۷/۲ درصد (افزایش تعداد منافذ از یک عدد به سه عدد) زمان نیمه‌سرمایش محصول کاهش می‌یابد. ولی افزایش بیشتر درصد فضای باز، موجب افزایش زمان سرمایش می‌گردد (ویگنولت و همکاران، ۲۰۰۶). محققین دیگری نیز گزارش کردند که با افزایش سطح دبی هوای سرد از ۱ به ۳ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، سرمایش میوه‌ها سریع‌تر صورت می‌گیرد (کورتباوی و همکاران، ۲۰۰۶). هم‌چنین نتایج تحقیقات انجام شده روی پیش‌سرمایش گوجه‌فرنگی و پرتقال نشان داده که با افزایش دبی هوای سرد و به تبع آن سرعت هوا، آهنگ سرمایش میوه‌ها سریع‌تر انجام می‌گیرد. محققین ضریب سرمایش میوه‌ها را به صورت شیب منحنی سرمایش محاسبه کرده و دریافتند که با سه برابر شدن سرعت هوا، ضریب سرمایش گوجه‌فرنگی و پرتقال به ترتیب ۷۸ و ۳۸ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین تاثیر افزایش دبی و سرعت جریان هوا بر میزان سرمایش، وابسته به نوع و شکل محصول نیز می‌باشد (کومار و همکاران، ۲۰۰۸). به طوری که برخی محققین به این نتیجه رسیدند که افزایش دبی هوا هر چند موجب کاهش زمان سرمایش می‌گردد، ولی در عین حال موجب افزایش قابل توجه میزان افت فشار نیز می‌شود. در جعبه‌های دارای یک منفذ، افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۳ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، موجب کاهش ۴۰ دقیقه‌ای در زمان سرمایش و افزایش ۱۳۵۰ پاسکال در افت فشار شده بود (ویگنولت و همکاران، ۲۰۰۶).

دو جعبه دیگر در هر دو دبی مورد مطالعه بسیار بالا بود. میزان افت رطوبت در جعبه پلی اتیلنی نسبت به دو جعبه دیگر در دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول در حدود ۲۳ تا ۴۶ برابر بیشتر بود. نکته مهم دیگری که باید به آن توجه ویژه معطوف شود این است که هم در مدت زمان انجام عملیات پیش‌سرمایش (حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ دقیقه) افت رطوبت در جعبه پلی اتیلنی بسیار بالاتر بوده و هم اگر محصول به مدت ۳ تا ۶ ماه در این جعبه‌ها در سردخانه نگهداری شود حتماً افت رطوبت قابل توجه خواهد بود و مطمئناً از مقدار مجاز تجاوز خواهد کرد. به طوری که اثرات پژمردگی روی محصول ظاهر خواهد شد. بررسی منابع علمی مربوطه نشان می‌دهد محصولی مانند سیب در صورتی که ۲ الی ۳ درصد وزن خود، رطوبت از دست دهد اثرات پژمردگی روی آن کاملاً مشهود خواهد بود. بنابراین پیش‌سرمایش و نگهداری محصول در جعبه‌های پلی اتیلنی توصیه نمی‌شود. ناچیز بودن افت رطوبت در جعبه‌های کارتن پلاست طرح جدید و قدیم، مناسب بودن این جعبه‌ها را برای فرآیند پیش‌سرمایش و نگهداری محصول نشان می‌دهد؛ بخصوص جعبه کارتن پلاست طرح جدید که در دبی های پایین هوای سرد، دارای افت رطوبت کمتری نسبت به طرح رایج می‌باشد که دلیل دیگری بر برتری این جعبه نسبت به سایر جعبه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

#### جدول ۵- درصد افت رطوبت سیب در جعبه‌های مختلف در طول فرآیند پیش‌سرمایش

فرآیند پیش‌سرمایش		نوع جعبه
افت رطوبت (%)		
دبی هوای سرد ( $L s^{-1} kg_p^{-1}$ )		
۰/۵	۱/۵	
۲/۷۹	۲/۶۵	PL
۰/۱۲	۰/۰۴	kp
۰/۰۳	۰/۰۶	kp <sub>new</sub>

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق بر اساس نتایج شبیه‌سازی انجام شده در تحقیقات قبلی، طرح جدیدی از جعبه‌های سیب طراحی و ساخته شد و تاثیر مشخصه‌های مختلف از قبیل دبی هوای سرد و نوع جعبه روی مقدار افت رطوبت در حین پیش‌سرمایش و نیز روی زمان ۱۷/۸ ام سرمایش سیب بررسی شد تا بهترین طرح جعبه برای انجام فرآیند پیش‌سرمایش و نگهداری سیب شناسایی و معرفی شود. نتایج نشان داد که جعبه کارتن پلاست با طراحی جدید، از لحاظ شاخص‌های ارزیابی نسبت به جعبه کارتن پلاست رایج شرایط بهتری را دارا می‌باشد. در این جعبه هوای سرد با یک‌نواختی بیشتری بین میوه‌ها توزیع می‌شود و فرآیند پیش‌سرمایش در زمان کمتری انجام می‌شود. میزان افت رطوبت میوه‌ها در این جعبه نسبت به سایر جعبه‌های مورد مطالعه حداقل می‌باشد. جعبه پلی اتیلنی در مقایسه با دو نوع جعبه دیگر در هر دو دبی هوای سرد ۰/۵ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر

می‌شود (کاسترو و همکاران، ۲۰۰۵؛ ویگنولیت و همکاران، ۲۰۰۶ و نعلبندی و همکاران، ۲۰۱۶).

به طور کلی نتایج مبین آن است که منفذ موجود در جعبه کارتن پلاست رایج، در زمان سرمایش عملکرد مناسبی نداشته و همان‌طوری که قبلاً اشاره شد غیریک‌نواختی محسوس در سرمایش میوه‌های واقع در موقعیت‌های مختلف جعبه به چشم می‌خورد و در هر دو دبی هوای سرد مورد مطالعه زمان سرمایش طولانی می‌باشد. در حالی که در جعبه کارتن پلاست طرح جدید، با طراحی مناسب ابعاد و محل منافذ عبور هوای سرد، زمان ۱۷/۸ ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش کاهش یافته است و فرآیند سرمایش با یک‌نواختی بیشتری انجام شده است. به این ترتیب جعبه کارتن پلاست طرح جدید با زمان ۱۷/۸ ام سرمایش معادل ۱۱۴ دقیقه و انحراف استاندارد ۲۵/۹، به عنوان بهترین جعبه از لحاظ شاخص‌های ارزیابی فرآیند پیش‌سرمایش انتخاب و معرفی می‌شود. بدیهی است کاهش زمان سرمایش موجب کاهش مصرف انرژی و هزینه عملیات مرتبط با سرمایش می‌شود. این مسئله ضرورت توجه به طراحی منافذ جعبه‌های بسته‌بندی محصولات کشاورزی را نشان می‌دهد تا بتوان ضمن حفظ زمان سرمایش در حداقل مقدار خود، از افت رطوبت محصول جلوگیری کرده و استحکام جعبه را در حداقل مقدار مورد نیاز حفظ نمود.

#### جدول ۳- مقایسه میانگین اثر دبی هوای سرد روی انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش جعبه‌ها

دبی هوای سرد ( $L S^{-1} kg_p^{-1}$ )	انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش
۰/۵	۳۴/۷A
۱/۵	۱۹/۷B

حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

#### جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع جعبه روی انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش جعبه‌ها

نوع جعبه	انحراف استاندارد زمان ۱۷/۸ ام سرمایش
Kp	۲۲/۲۳A
kp <sub>new</sub>	۲۵/۹۱AB
PL	۲۳/۸۵B

حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

#### ۳-۴- افت رطوبت

با توجه به نتایج جدول ۵، میزان افت رطوبت محصول سیب در فرآیند پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری در همه جعبه‌های مورد مطالعه مشاهده شد. ولی مقدار آن در جعبه‌های پلی اتیلنی نسبت به-



توصیه نمی‌شود. بنابراین جعبه کارتن پلاست طراحی شده به‌عنوان بهترین جعبه از بین جعبه‌های مورد مطالعه انتخاب و معرفی گردید.

کیلوگرم محصول با اینکه زمان ۷/۸ ام سرمایش و انحراف استاندارد کمتری داشت اما به دلیل افت رطوبت زیاد و غیرقابل استفاده بودن آنها در صادرات، استفاده از آنها برای پیش‌سرمایش و نگهداری سیب

## منابع

- Anderson, B.A., Sarkar, A., Thompson, J. F. and Singh, R. P. 2004. **Commercial scale forced air cooling of strawberries**. Transactions of the ASAE. 47 (1): 183-190.
- Arifin, B.B., and K.V. Chau. 1988. **Cooling of strawberries in cartons with new vent hole designs**. ASHRAE Transactions. 92: 1415-26.
- Baird, C., Gaffney, J. and Talbot, M. 1988. **Design criteria for efficient and cost effective forced-air cooling systems for fruits and vegetables**. ASHRAE Transactions. 94(1): 1434-1454.
- Castro, L.R., Vigneault, C. and Cortez, L.A.B. 2004. **Container opening design for horticultural produce cooling efficiency**. Journal of Food, Agriculture and Environment. 2 (1): 135-140.
- Castro, L.R., C. Vigneault, C. and Cortez, L.A.B. 2005. **Cooling performance of horticultural produce in containers with peripheral openings**. Postharvest Biology and Technology. 38: 254-261.
- Cortbaoui, P., Goyette, B., Garipey, Y., Charles, M.T., Raghavan, V.G.S. and Vigneaul, C. 2006. **Forced air cooling system for Zea mays**. Journal of Food, Agriculture and Environment. 4 (1): 100-104.
- Hardenburg, R. E., Watada, A. E. and Wang, C. Y. 1986. **The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks**. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, 136 pp.
- Hass, E., Felsenstein, G., Shitzer, A. and Manor, G. 1976. **Factors affecting resistance to air flow through packed fresh fruit**. ASHRAE Transactions. 82(2): 548-554.
- Kader, A.A. 2002. **Postharvest technology of horticultural crop**, third. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication, Oakland, CA. 3311pp.
- Kumar, R., Kumar, A. and Murthy, U.N. 2008. **Heat transfer during forced air precooling of perishable food products**. Biosystems Engineering. 99: 228-233.
- Nalbandi, H., Ghasemzadeh, H.R., Seiedlou, S. and Rangbar, R. 2016. **Innovative parallel airflow system for forced-air cooling of strawberries**. Journal of Food and Bioproducts processing. 100: 440-449.
- Tanner, D.J., Cleland, A.C., Opara, L.U. and Robertson, T.R. 2002. **A generalized mathematical modeling methodology for design of horticultural food packages exposed to refrigerated conditions: part 1, Formulation**. International Journal of Refrigeration. 25: 33-42.
- Van der Sman, R.G.M. 2002. **Prediction of airflow through a vented box by the darcy forchheimer equation**. Journal of Food Engineering. 55: 49-57.
- Vigneault, C. and Goyette, B. 2002. **Design of plastic container opening to optimize forced-air precooling of fruits and vegetables**. Applied Engineering in Agriculture. 18(1): 73-76.
- Vigneault, C., Goyette, B. and Castro, L.R. 2006. **Maximum slat width for cooling efficiency of horticultural produce in wooden crates**. Postharvest Biology and Technology. 40: 308-313.
- Zou, Q., Opara, L. U. and McKibbin, R. 2006. **A CFD modeling system for airflow and heat transfer in ventilated packaging for fresh foods: I. Initial analysis and development of mathematical models**. Journal of Food Engineering. 77(4): 1037-1047.

# Studding the Precooling Process of Apple in the Commercial and the New Designed Package

S. Seiedlou<sup>1\*</sup>, H. Nalbandi<sup>1</sup> and S. Jalali Romi<sup>1</sup>

Received: 3 February 2018

Accepted: 22 January 2019

<sup>1</sup>Associate Professor in Biosystems Engineering, Agricultural Faculty, University of Tabriz.

\*Corresponding author: ss\_seiedlo@yahoo.com

## Abstract

Precooling is an important process that carried out on the fruits such as Apple due to extend the shelf life. In this research, the new package was designed and constructed. Then, the effect of various performance parameters during the precooling process such as the airflow rate and types of packages was studied on the 7/8<sup>th</sup> cooling time and cooling uniformity to select and introduce the best package. The results indicated that the Polyethylene package had the lowest 7/8<sup>th</sup> cooling time; however, it is not suitable for export of apple due to the high moisture loss during the precooling (23-26%). The highest cooling time and lowest cooling uniformity was related to the commercial package because of its unsuitable vents design. The results showed that the cooling time of fruit in the new designed of package decreased 30.5 and 25.9 % as compare with the commercial package in the airflow rate of 0.5 and  $L s^{-1}kg_p^{-1}$ , respectively. In addition, the cooling process was uniformity and the standard error between the 7/8<sup>th</sup> cooling time of fruit was 19.6 % lower than that one for the commercial package. Increasing the airflow rate from 0.5 to 1.5  $L s^{-1}kg_p^{-1}$  led to decreasing the 7/8<sup>th</sup> cooling time in the range of 16.8 to 39.7 % in the all packages. Because of the lowest moisture loss, highest cooling uniformity and lowest cooling time, the new designed package was introduced as the best packages to cooling process of apple and its cold storage.

**Keywords:** Apple, Package designing, Precooling, Uniformity, Vent