



DOI: 10.22069/ejfp.2020.12961.1417

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی  
جلد یازدهم، شماره دوم، ۹۸  
۹۵-۱۰۸

<http://ejfp.gau.ac.ir>



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

## طراحی و ساخت، آزمون و ارزیابی سامانه پیش سرمایش محصولات باغی به روش هوادهی اجباری

سیدصادق سیدلو هریس<sup>۱\*</sup>، حبیبه نعلبندی<sup>۲</sup>، یاور کیومرثی متعلق<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۲</sup>استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۳</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** بخش قابل توجهی از میوه‌ها و سبزی‌ها در دوره پس از برداشت به صورت ضایعات از دسترس خارج می‌شود. یکی از فرآیندهایی که نقش بسیار مؤثری در کاهش ضایعات محصولات باغی دارد فرآیند پیش‌سرمایش است. هدف از این تحقیق طراحی و ساخت، آزمون و ارزیابی سامانه پیش‌سرمایش محصولات باغی به روش هوادهی اجباری بود.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق سامانه پیش‌سرمایش محصولات باغی به روش هوادهی اجباری، مطابق با الگوهای تجاری موجود، طراحی و ساخته شد. برای ارزیابی عملکرد سامانه، فرآیند پیش‌سرمایش هلو اجرا شد. بنابراین پالت‌های متشکل از سه نوع جعبه‌ی تجاری هلو شامل جعبه تک ردیفه محصول با شانه محافظ ۱۵ تایی، جعبه دو ردیفه و سه ردیفه بدون شانه محافظ به صورت پالت مورد استفاده قرار گرفتند و یکنواختی سرمایش میوه‌ها در نقاط مختلف پالت بررسی شد. هم‌چنین اثر دبی هوای سرد نیز در سه سطح شامل ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول روی عملکرد سامانه مورد ارزیابی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج حاکی از آن بود که در سامانه توسعه داده شده در ابعاد مفروض و قدرت سرمایش تا صفر درجه سانتی‌گراد، توزیع هوای سرد در اطراف سامانه پیش‌سرمایش و در داخل همه جعبه‌های موجود در پالت یکنواخت بود. از بین مشخصه‌های مورد مطالعه، دبی هوای سرد اثر معنی‌داری روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش میوه‌های هلوی موجود در نقاط مختلف پالت داشت. بطوریکه با سه برابر شدن دبی هوای سرد، انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش میوه‌ها ۵۹ درصد کاهش یافت. هم‌چنین نوع جعبه اثر معنی‌داری بر روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش میوه‌ها داشت و کمترین و بیشترین زمان سرمایش به ترتیب متعلق به جعبه سه ردیفه و جعبه یک ردیفه بود ولی اثر آن بر روی انحراف استاندارد معنی‌دار نبود.

\*مسئول مکاتبه: [ss\\_seiedlo@yahoo.com](mailto:ss_seiedlo@yahoo.com)

**نتیجه‌گیری:** این سامانه قابلیت ایجاد و توزیع جریان یکنواخت هوای سرد را در بین جعبه‌های مختلف میوه‌ی هلو، موجود در نقاط مختلف پالت دارا می‌باشد. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین زمان سرمایش مرتبط با دبی ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه و نیز به دلیل مصرف انرژی بالاتر متناظر با دبی‌های بالاتر، استفاده از دبی ۱ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول توصیه می‌شود. با اینکه جعبه سه ردیفه کمترین زمان سرمایش را دارا بود ولی به لحاظ اهمیت محافظت محصول حساسی مانند هلو از صدمات مکانیکی، کاربرد جعبه‌های یک ردیفه نسبت به آن دارای ارجحیت می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** هلو، طراحی، سامانه پیش‌سرمایش، هوادهی اجباری، یکنواختی سرمایش.

## مقدمه

شده به دو واحد پیش‌سرمایش و دمنده با فشار بالا را طراحی و بر یک تریلر سیار نصب کردند. سامانه ساخته شده توانست دمای ۶۹۸ کیلوگرم انگور را در مدت یک ساعت، ۸/۳ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد (۱۰). الانساری و همکاران (۲۰۰۹) سامانه پیش‌سرمایش قابل‌حملی به روش هوادهی اجباری طراحی کردند. از مزایای سامانه توسعه داده شده می‌توان به سادگی، تطابق ابعاد و جرم آن با مقررات بزرگراه‌ها و قابلیت راه‌اندازی با ژنراتورهای دیزلی و برقی اشاره کرد. آن‌ها توانستند حدود ۲/۳ تن توت‌فرنگی را از دمای اولیه ۲۲ درجه سانتی‌گراد به دمای نهایی ۱ الی ۴ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۱۵۰ دقیقه کاهش دهند (۵). هم‌چنین باربین و همکاران (۲۰۱۲) نیز یک سامانه پیش‌سرمایش قابل‌حمل به روش هوادهی اجباری و نوع تونلی را برای پیش‌سرمایش محصولات در داخل سردخانه طراحی کردند (۱). بنابراین سامانه‌های مختلفی برای انواع مختلف محصولات باغی مورد استفاده قرار گرفته است. هلو یکی از مهم‌ترین میوه‌های مناطق معتدل است. در سال ۱۳۹۴ مقدار تولید آن در ایران بالغ بر ۶۰۰ هزار تن بوده و بیشترین سطح زیر کشت متعلق به باغات کشت و صنعت و دامپروری دشت مغان بوده و استان اردبیل مقام اول را در کشور دارد. متأسفانه به دلیل عدم آگاهی تولیدکنندگان از مزایای سامانه‌های مختلف پیش‌سرمایش، افت کیفیت این محصول در زمان نگهداری آن در سردخانه و نیز در زنجیره تولید تا مصرف، بالا بوده و به دلیل سرعت فساد، دسترسی به بازارهای دوردست امکان‌پذیر نمی‌باشد.

به دلیل نبود مطالعات جامع در خصوص عملیات پیش‌سرمایش محصولات باغی در ایران، یکی از اهداف این مطالعه طراحی یک سامانه پیش‌سرمایش

با وجود توسعه قابل‌توجه در افزایش تولید مواد غذایی در سطح جهانی، کمبود آن در بین جوامع مختلف مشهود می‌باشد و تقریباً یک سوم از مواد غذایی تولیدی در جهان برای تغذیه انسان مصرف می‌شود. بر اساس آمار فائو<sup>۱</sup>، حدود ۱۳۰۰ میلیون تن مواد غذایی در هر سال تلف می‌شود (۶). یکی از فرآیندهایی که نقش بسیار مؤثری در کاهش ضایعات در محصولات باغی و افزایش عمر قفسه‌ای آنها دارد، فرآیند پیش‌سرمایش است. در این فرآیند، دمای مزرعه‌ای محصولات بلافاصله پس از برداشت، با روش‌های مختلفی تا دمای مناسب برای نگهداری آنها کاهش داده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که ضایعات در مرحله پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها و بدون اجرای عملیات پیش‌سرمایش، تقریباً ۲۵ الی ۳۰ درصد است در حالی که میزان ضایعات با انجام به موقع این عملیات، به حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد کاهش می‌یابد (۱۴).

از بین روش‌های مختلف پیش‌سرمایش محصولات، پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری برای اولین بار در سال ۱۹۵۰ در ایالت کالیفرنیا برای انگور استفاده شده است. این روش که سریع‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش پیش‌سرمایش است برای طیف گسترده‌ای از محصولات باغی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تحقیقات گسترده‌ای در این خصوص انجام شده است (۲،۳). گرین (۱۹۹۷) یک سامانه پیش‌سرمایش تجاری قابل‌حمل به روش هوادهی اجباری با سه واحد پیش‌سرمایش طراحی کرد که توانایی پیش‌سرمایش هم‌زمان سه پالت از محصول را دارا بود (۷). تالبوت و فلیتچر (۱۹۹۳) نیز یک سامانه پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری تونلی مجهز

۱. FAO

می‌گیرد (شکل ۱: II) و ارتفاع آن توسط پرده انعطاف‌پذیر جمع‌شونده تنظیم می‌گردد. بر اساس طراحی و انتخاب ابعاد کانال ورودی هوا، سامانه می‌تواند حداکثر تا ۳۸۰ کیلوگرم از انواع مختلف محصول را سرد نماید. بنابراین با توجه به حداکثر دبی هوای متداول قابل استفاده (۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول)، دبی مکنده معادل ۲۵۰۰ متر مکعب در ساعت محاسبه شد. با لحاظ ضریب اطمینان مناسب و نیز با توجه به دبی دمنده‌های موجود در بازار، یک دمنده محوری با دبی ۴۱۰۰ متر مکعب در ساعت و توان ۰/۵ اسب بخار برای تأمین جریان هوای مورد نیاز روی سامانه نصب گردید. دلیل انتخاب مکنده از نوع محوری، کارکرد آرام و تقریباً بی صدای آن و نیز افت فشار جزئی در مسیر انتقال هوا بود. مکنده در قسمت فوقانی و خروجی کانال و با زاویه ۸۴ درجه نسبت به خط افق نصب شد تا ضمن مکش هوای داخل کانال، هوای خروجی را به طرف بالا و با زاویه مناسب به پشت سیستم بخارساز گاز مبرد سردخانه هدایت کند. هم‌چنین برای تنظیم دبی هوای ورودی به داخل کانال از یک دستگاه مبدل تک فاز به سه فاز روی مکنده استفاده شد. به این ترتیب دبی‌های مختلف جریان هوای سرد برای محصولات مختلف قابل حصول بود.

محل قرارگیری سامانه پیش‌سرمایش: اتاق سرد مورد استفاده دارای حجم ۲۳/۴ متر مکعب بود. سامانه پیش‌سرمایش ساخته شده نزدیک یکی از دیوارهای اتاق سرد و با فاصله ۷۵۰ میلی‌متر از دو دیوار جانبی اتاق سرد مستقر شد (شکل ۲: I). به این ترتیب هوای گرم حاصل از تبادل گرما بین هوای سرد و میوه‌ها که در تونل مرکزی موجود بین پالت‌ها جمع می‌شود توسط مکنده به داخل کانال و سپس به طرف بیرون و کویل‌های سرد هدایت می‌شد. مسیر حرکت هوا در داخل اتاق سرد در شکل ۲: II

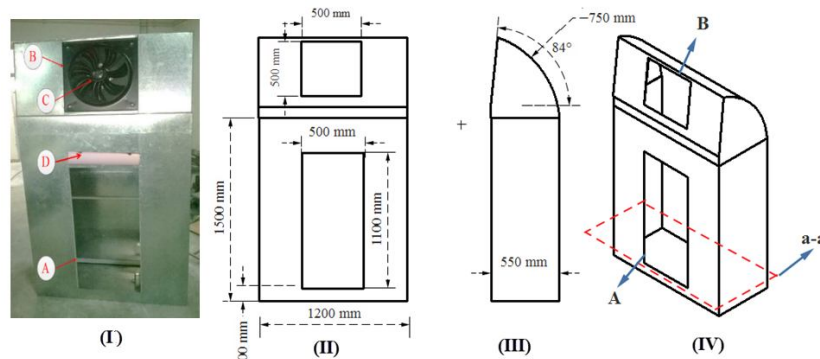
تونلی به روش هوادهی اجباری و مناسب برای باغات کوچک با قابلیت نصب و کاربرد در سردخانه‌های متعارف بود. هم‌چنین امکان کاربرد و ارزیابی این سامانه برای تطابق با انواع جعبه‌های تجاری هلو و نیز بررسی یکنواختی سرمایش میوه‌ها در داخل پالت‌های متشکل از این جعبه‌ها در سردخانه‌ها، از اهداف دیگر این تحقیق بود.

### مواد و روش‌ها

**طراحی و ساخت سامانه پیش‌سرمایش:** سامانه پیش‌سرمایش موردنظر، مطابق با الگوهای تجاری در محیط نرم‌افزار کتیا طراحی و سپس مراحل ساخت آن انجام گرفت و در اتاق سرد آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت و فرآوری محصولات کشاورزی مستقر گردید. سامانه موردنظر (شکل ۱: I) متشکل از یک کانال دو قسمتی بود. به دلیل رطوبت نسبی بالای اتاق سرد، بدنه سامانه از ورق سفید گالوانیزه به ضخامت یک میلی‌متر انتخاب و شاسی سامانه نیز از نبشی ۳۰ میلی‌متری ساخته شد. ابعاد سامانه با توجه به ابعاد اتاق سرد انتخاب شد. برای عملکرد بهینه سامانه و امکان مکش هوای سرد، سامانه باید از دیواره‌های جانبی اتاق سرد حداقل ۵۰۰ میلی‌متر فاصله داشته باشد. بنابراین ابعاد سطح مقطع کانال (شکل ۱: IV) مقطع (a-a) برابر ۱۲۰۰×۵۵۰ میلی‌متر و ارتفاع آن ۱۵۰۰ میلی‌متر لحاظ شد (شکل ۱: I و II و IV). ارتفاع کانال با توجه به ارتفاع پالت‌های تجاری میوه‌ها انتخاب شد. قسمت فوقانی کانال نیز دارای ارتفاع ۵۵۰ میلی‌متر و طول انحنای دیوار پشتی آن ۷۵۰ میلی‌متر بود که این انحنا برای جلوگیری از افت فشار در نظر گرفته شد (شکل ۱: III). این سامانه دارای دریچه ورودی مختص هوا و قابل تنظیم از نظر ارتفاع دریچه و به عرض ۵۰۰ و ارتفاع ۱۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد که در فاصله ۱۰۰ میلی‌متر از سطح زمین قرار

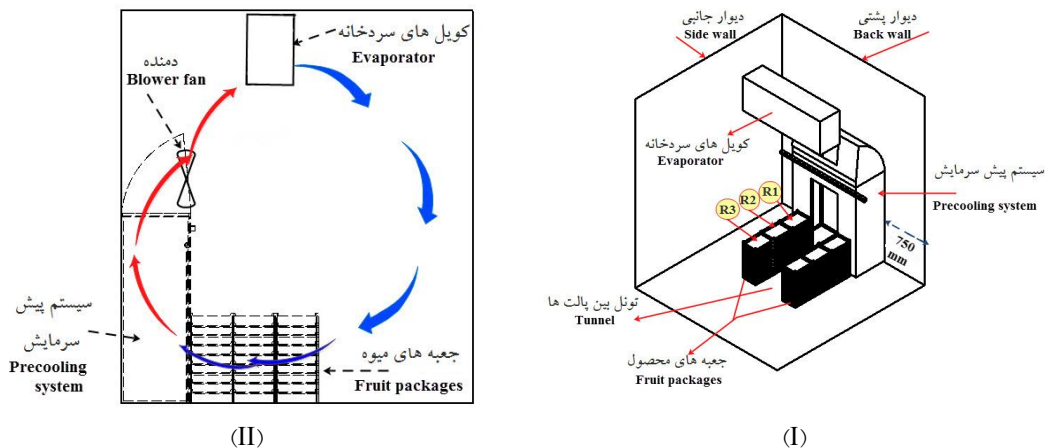
به وسیله سرعت سنج سیم داغ (مدل TES1341) و با دقت ۰/۰۱ متر در ثانیه اندازه گیری و ارزیابی شد (۴).

آورده شده است. برای بررسی جریان هوای سرد در اتاق سرد، سرعت و دمای هوا در ۱۷ نقطه و در سه ارتفاع ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ میلی متر از کف اتاق سرد



شکل ۱- سامانه پیش سرمایش؛ A (I) : درب ورود هوای عبوری از محصول، B : دریچه خروج هوا، C : فن مکنده و D : دریچه جمع شونده؛ (II) نمای جلو، (III) نمای جانبی و (IV) نمای کلی

Figure 1. Precooling system; (I) A: Airflow inlet door, B: Airflow exit door, C: Suction fan and D: Adjustable vent; (II) Front view, (III) Side view and (IV) Isometric view



شکل ۲- موقعیت سامانه پیش سرمایش و پالت های میوه در اتاق سرد و مسیر عبور هوا؛ I: نمای ایزومتریک، II: نمای جانبی

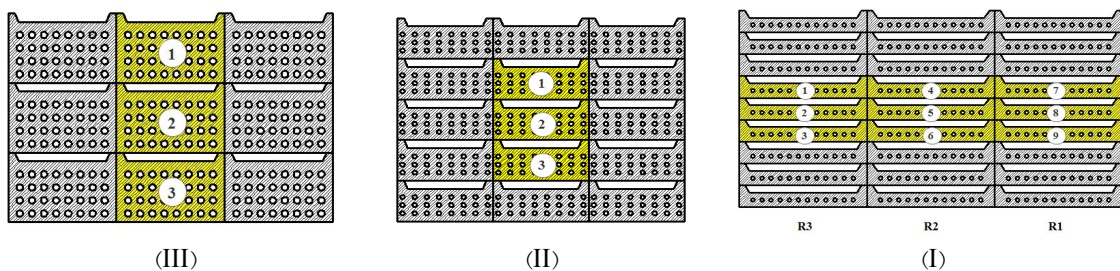
Figure 2. Precooling system and fruit pallets location of precooling in the cold room and air circulation path; I: Isometric view, II: Side view

سامانه به منظور بررسی یکنواختی جریان هوا ثبت شد. سپس برای ارزیابی کامل سامانه، سه نوع جعبه‌ی تجاری هلو شامل جعبه یک ردیفه با شانه محافظ ۱۵ تایی، جعبه دو ردیفه و سه ردیفه بدون شانه محافظ اجرا شد و اثر نوع جعبه در سه سطح و دبی هوای سرد در سه سطح شامل ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول، روی عملکرد سامانه مورد

ارزیابی سامانه پیش سرمایش: چنانکه بیان شد یکنواختی جریان هوا و متناسب با آن سرعت جریان هوای سرد در نقاط مختلف پالت میوه، یکی از مشخصه‌های مهم و تاثیرگذار در کاهش دما و نرخ آن می‌باشد. بنابراین ارزیابی سامانه از این دیدگاه صورت پذیرفت. همچنین میزان تغییرات سرعت هوای سرد در نقاط مختلف دریچه ورودی و نیز دریچه خروجی

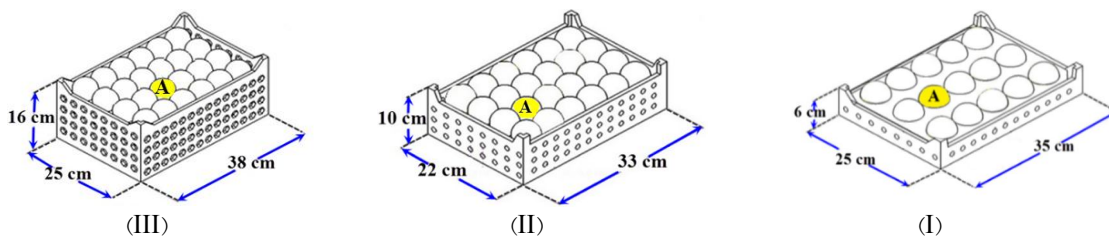
فرآیند پیش‌سرمایش روی آنها انجام گردید. آزمون تأثیر جعبه‌های مختلف روی یکنواختی سرمایش محصول آزمون جعبه تک ردیفه: برای ارزیابی یکنواختی سرمایش در داخل پالت‌های میوه در سامانه پیش‌سرمایش ساخته شده، جعبه‌هایی با میوه تک ردیفه در قالب دو پالت در طرفین کانال و هر کدام متشکل از ۳ ستون جعبه (R1، R2 و R3) در مقابل سامانه پیش‌سرمایش چیده شدند (شکل ۲). هر پالت حاوی ۲۷ عدد جعبه بود که از در هر پالت ۹ جعبه به شماره‌های ۱ الی ۹ با میوه‌هایی با اندازه مشابه و در شماره‌های ۱۵ تایی موجود در داخل هر جعبه پر شدند (شکل ۳: I).

ارزیابی قرار گرفت. هر کدام از آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. آماده‌سازی نمونه‌ها: میوه‌های هلوی مورد نیاز از رقم تجاری اسپرینگ کرسٹ موجود در مجتمع باغات شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان واقع در استان اردبیل، شهرستان پارس‌آباد مغان تهیه شدند. میوه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت و فرآوری محصولات کشاورزی منتقل و تا زمان انجام آزمایش‌ها در سردخانه در دمای بین ۰/۵ الی ۱ درجه سانتی‌گراد و با رطوبت نسبی ۸۵ الی ۹۰ درصد نگهداری شدند. در زمان انجام آزمایش، ابتدا دمای میوه‌ها با قرار دادن آنها در محیط آزمایشگاه به حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و سپس



شکل ۳- ترتیب قرارگیری جعبه‌های تک ردیفه (I)، جعبه‌های دو ردیفه (II)، و جعبه‌های سه ردیفه (III) در مقابل سامانه پیش‌سرمایش (دید از جلو)

Figure 3. One (I), and two rows (II) and three rows (III) boxes arrangement in front of the precooling system; front view



شکل ۴ - محل نصب ترموکوپل: I: جعبه تک ردیفه، II: جعبه دو ردیفه، III: جعبه سه ردیفه  
Figure 4. Thermocouple location; I: One row box, II: Two rows box, III: Three rows box

پالت‌ها نیز به وسیله صفحات نایلونی پوشانده شد. در جعبه‌های شماره ۲، ۴، ۵، ۶ و ۸ به مرکز میوه واقع در موقعیت A یک ترموکوپل وصل شد (شکل ۴: I). ترموکوپل‌ها از نوع K با حساسیت تقریبی  $\pm 1$  درجه

دیواره بیرونی بقیه جعبه‌ها با صفحات کارتن‌پلاست پوشانده شد تا از ورود هوا به این جعبه‌ها مانع شود چرا که میوه لازم برای پر کردن هر ۲۷ جعبه موجود نبود. هم‌چنین سطح فوقانی

$$T_v = T_i - \frac{v}{\lambda} (T_i - T_{air}) \quad (2)$$

$$T_r = T_i - \frac{r}{\lambda} (T_i - T_{air}) \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left( t_{\frac{r}{\lambda}} - \bar{t}_{\frac{r}{\lambda}} \right)^2}{n-1}} \quad (4)$$

در این معادلات  $T_i$  دمای اولیه میوه،  $T_{air}$  دمای هوای سرد،  $S$  انحراف استاندارد زمان  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش میوه‌های موجود در جعبه‌های مختلف هر پالت،  $\bar{t}_{\frac{r}{\lambda}}$  متوسط زمان  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش میوه‌ها،  $t_{\frac{r}{\lambda}}$  زمان  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش میوه‌ها و  $n$  تعداد جعبه‌ها یا مشاهدات می‌باشد.

**آزمون جعبه دو ردیفه:** تعداد ۱۵ عدد جعبه دو ردیفه در هر پالت چیده شد. این جعبه‌ها با دو ردیف میوه و هر کدام به تعداد ۲۵ عدد، فاقد شانه محافظ بودند و لهیدگی میوه‌های ردیف بالا به دلیل فشار جعبه بالایی، از معایب آنها می‌باشد. مشابه پالت‌های با جعبه‌های تک ردیفه، در پالت‌های با جعبه‌های دو ردیفه نیز از تعداد ۳ عدد جعبه مطابق شکل ۳: I استفاده شد و برای مطالعه یکنواختی سرمایش در جعبه‌های موجود در داخل هر پالت، در این جعبه‌ها یک میوه در ردیف پایین و در موقعیت A به ترموکوپل مجهز شد (شکل ۴: II) و تغییرات دمای آن در طول آزمایش ثبت گردید.

**آزمون جعبه سه ردیفه:** تعداد ۹ عدد جعبه با سه ردیف میوه ۲۴ تایی و فاقد شانه محافظ مطابق شکل ۳: III در هر پالت چیده شد. در این پالت‌ها نیز ۳ عدد جعبه انتخاب و یک میوه در پایین‌ترین ردیف و در موقعیت A به ترموکوپل مجهز شد (شکل ۴: III).

#### آنالیز آماری

بودند. جرم میوه‌های موجود در جعبه‌ها برابر ۲۲/۵ کیلوگرم بود. برای تنظیم سامانه روی هر سه دبی موردنظر، ابتدا جرم میوه‌ها به دبی هوای لازم به ازای هر کیلوگرم محصول ضرب و دبی هوای کل به ترتیب برابر ۴۰/۵، ۸۱ و ۱۲۱/۵ مترمکعب در ساعت محاسبه شد. جهت حصول دبی محاسبه شده، با تغییر دور دورانی موتور مکنده از طریق تغییر فرکانس جریان ورودی به آن، دبی‌های موردنظر حاصل شد. همچنین اتاق سرد روی دمای ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد تنظیم گردید.

برای جلوگیری از کنارگذر شدن هوای سرد فضای خالی اطراف پالت مسدود شد. در نهایت تغییرات دمای میوه‌ها در طول فرآیند پیش‌سرمایش به وسیله یک دستگاه دیتالاگر مدل DL2 در فواصل زمانی ۵ دقیقه ثبت گردید. آزمایش‌ها تا زمان رسیدن دمای مرکز میوه‌ها به حدود دمای  $\frac{v}{\lambda}$  ام سرمایش ادامه یافت. دمای  $\frac{v}{\lambda}$  ام و نیز  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش از معادله ۲ و ۳ محاسبه گردید (۲). به دلیل بروز انحرافات جزئی در منحنی‌های سرمایش در مراحل پایانی فرآیند و عدم حصول دمای  $\frac{v}{\lambda}$  ام سرمایش در همه آزمایش‌ها، از زمان رسیدن دمای مرکز میوه‌ها به دمای  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش (معادله ۳) که معادل نسبت دمای ۰/۲۵ می‌باشد برای مقایسه نتایج استفاده شد. میانگین زمان  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش میوه‌ها و انحراف استاندارد زمان  $\frac{r}{\lambda}$  ام سرمایش (معادله ۴) میوه‌های موجود در جعبه‌های مختلف هر پالت که با شماره‌های جعبه‌ها در شکل ۳ مشخص شده‌اند به عنوان شاخص‌های ارزیابی یکنواختی عملکرد سرمایش سامانه مورد استفاده قرار گرفته و اثر تیمارهای مورد مطالعه روی آنها بررسی شد.

۱۵۰۰ میلی‌متر، متوسط سرعت هوا افزایش می‌یافت، بطوریکه حداقل سرعت هوا معادل ۰/۴ متر در ثانیه، در ارتفاع ۵۰۰ میلی‌متر از کف سردخانه و حداکثر سرعت هوا، معادل ۰/۹ متر در ثانیه، در ارتفاع ۱۵۰۰ میلی‌متر از کف سردخانه ثبت گردید. نتایج نشان می‌دهد سرعت جریان هوا در اطراف پالت‌های میوه مورد ارزیابی و در ارتفاع محل قرارگیری جعبه‌های آزمایشی دارای اختلاف کمی بود. بطوریکه در ارتفاع ۵۰۰ میلی‌متر از کف سردخانه که در واقع نقطه میانی ارتفاع پالت‌ها می‌باشد انحراف استاندارد سرعت هوا برابر ۰/۱۵ بدست آمد. به این ترتیب با توجه به ابعاد انتخاب شده و محل قرارگیری سامانه در اتاق سرد، توزیع هوای سرد در اطراف سامانه پیش‌سرمایش و پالت‌ها یکنواخت بود.

برای مطالعه اثر نوع جعبه و دبی هوا روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام‌سرمایش و انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام‌سرمایش بین جعبه‌ها آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شدند. تحلیل آماری داده‌ها و تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز به روش دانکن انجام شد.

### نتایج و بحث

**مشخصات سامانه ساخته شده و روند توزیع هوا در سردخانه:** مشخصات فنی سامانه ساخته شده در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس تحلیل نتایج سرعت هوای اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف اتاق سرد، با افزایش ارتفاع از کف سردخانه از ۵۰۰ به

جدول ۱: مشخصات فنی سامانه پیش‌سرمایش

Table 1. Specifications of precooling system

	ابعاد (میلی‌متر) Dimensions (mm)
4100	دبی مکند (متر مکعب در ساعت) Airflow rate ( $m^3hr^{-1}$ ) 2050×550×1200
380	وزن (کیلوگرم) Weight (kg) حداکثر محصول قابل سرمایش (کیلوگرم) Maximum capacity of precooling system (kg) 80
1000	قدرت مکند (اسب بخار) Fan power (hp) ارتفاع پالت مورد استفاده (میلی‌متر) Height of pallet (mm) 0.5

### سیستیک سرمایش

مطالعه، جعبه شماره ۸ کمترین زمان پیش‌سرمایش (زمان رسیدن دمای مرکز میوه‌ی واقع در موقعیت A (شکل ۴: I) به دمای  $\frac{3}{4}$  ام‌سرمایش) را به خود اختصاص داده است. این جعبه در نزدیک‌ترین موقعیت به دریچه هوای سرد سامانه قرار گرفته بود. در پالت‌های متشکل از جعبه‌های دو ردیفه، در دبی‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه، جعبه‌ی شماره ۲ کمترین و جعبه‌های ۱ و ۳ در دبی‌های مذکور بیشترین زمان سرمایش را داشتند (جدول ۲). همان‌طوریکه ملاحظه می‌شود اختلاف بین زمان سرمایش جعبه‌ها در دبی ۱ لیتر در ثانیه که در عملیات

**جعبه‌های تک ردیفه:** در جدول ۲ زمان  $\frac{3}{4}$  ام‌سرمایش میوه‌ها در جعبه‌ها و دبی‌های مختلف هوای سرد ارائه شده است. مشاهده می‌شود که زمان سرمایش میوه‌ها در همه دبی‌های مورد مطالعه و در جعبه‌های موجود در نقاط مختلف پالت، اختلاف بسیار جزئی و قابل اغماض با همدیگر داشته و تقریباً روی همدیگر منطبق شده‌اند. افزایش دبی هوای سرد هم موجب کاهش زمان رسیدن دمای میوه‌ها به دمای  $\frac{3}{4}$  ام‌سرمایش شده است. در هر سه دبی هوای سرد مورد



موقعیت‌های مختلف، تقریباً یکسان می‌باشد. در جعبه‌های سه ردیفه نیز همانند جعبه‌های قبلی، با افزایش دبی هوای سرد، زمان سرمایش کاهش یافت. بطوریکه در جعبه شماره ۲ با افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱/۵ لیتر در ثانیه، زمان سرمایش میوه‌ها از ۱۱۰ به ۶۰ دقیقه کاهش یافت.

سرمایش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد حدود ۲۰ دقیقه می‌باشد که در مقایسه با مقادیر گزارش شده در سیستم‌های تجاری موجود، رقم پایینی است. با اینکه این اختلاف در دبی ۰/۵ (دبی هوای غیر متداول) بیشتر است. به طور کلی با افزایش دبی هوای سرد، زمان لازم برای سرمایش میوه‌ها در جعبه‌های واقع در

جدول ۲: زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش جعبه‌های مختلف در پالت

Table 2.  $\frac{3}{4}$  th cooling time of fruits in various boxes in the pallet

زمان $\frac{3}{4}$ ام سرمایش			شماره جعبه Box number	نوع جعبه Type of box
$\frac{3}{4}$ th cooling time (min)				
دبی هوای سرد Cold air flow rate (lit s <sup>-1</sup> kg p <sup>-1</sup> )				
1.5	1	0.5		
86	92	135	2	جعبه تک ردیفه با شانه محافظ One row box
90	92	130	4	
90	95	160	5	
80	87	120	6	
75	80	120	8	
90	113	170	1	جعبه دو ردیفه Two rows box
90	93	130	2	
90	113	170	3	
70	90	140	1	جعبه سه ردیفه Three rows box
60	60	110	2	
67	86	130	3	

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی دبی هوا (جدول ۴) نشان می‌دهد که با افزایش دبی هوای سرد زمان سرمایش کاهش یافته است. به طوری که با افزایش دبی هوای سرد از ۰/۵ به ۱ لیتر در ثانیه، متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش میوه‌ها از ۱۳۸/۹ به ۹۲/۵ دقیقه (معادل ۳۳/۴ درصد) کاهش یافت. با افزایش بیشتر دبی هوای سرد از ۱ به ۱/۵ لیتر در ثانیه، متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش میوه‌ها کاهش کمی داشته (۱۳/۹ درصد) و تفاوت معنی‌داری بین زمان سرمایش در این دبی‌ها مشاهده نشد. با این وجود کمترین زمان سرمایش با ۷۹/۶ دقیقه در دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه به

تأثیر نوع جعبه و دبی هوای سرد بر زمان و یکنواختی سرمایش داخل پالت: در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوای سرد روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش جعبه‌های داخل پالت و انحراف استاندارد زمان سرمایش جعبه‌ها در یک پالت نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد که هر دو اثر اصلی دبی هوا و نوع جعبه روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. ولی تنها اثر دبی هوا روی انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش جعبه‌ها معنی‌دار می‌باشد.

تامسون و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان دادند که با دو برابر شدن دبی هوا، زمان پیش‌سرمایش آلو، ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش دبی هوا زمان پیش‌سرمایش انگور و طالبی نیز کاهش می‌یابد (۱۱). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققین گزارش شده است (۹، ۱۲، ۱۳).

دست آمد به عبارت دیگر بین افزایش دبی هوای سرد مورد استفاده و کاهش زمان مرتبط با  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش رابطه خطی برقرار نمی‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه مصرف انرژی مرتبط با دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه به مراتب بیشتر از انرژی مصرفی مربوط به دبی ۱ لیتر در ثانیه می‌باشد پس انتخاب دبی ۱ لیتر در ثانیه نسبت به دبی بالاتر دارای ارجحیت است.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نوع جعبه و دبی هوا روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش جعبه‌ها

Table 3. Variance analyses of box kinds and airflow rate on the  $\frac{3}{4}$  th cooling time and standard error of  $\frac{3}{4}$  th cooling time of boxes

میانگین مربعات Mean squares		درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات S.V.
انحراف استاندارد زمان $\frac{3}{4}$ ام سرمایش بین جعبه‌ها Standard error of $\frac{3}{4}$ th cooling time	متوسط زمان $\frac{3}{4}$ ام سرمایش Mean of $\frac{3}{4}$ th cooling time		
72.574 <sup>ns</sup>	453.868 <sup>ns</sup>	2	بلوک Replication
484.954 <sup>**</sup>	8759.722 <sup>**</sup>	2	دبی هوا Air flow rate
127.227 <sup>ns</sup>	1865.103 <sup>**</sup>	2	نوع جعبه Box type
17.296 <sup>ns</sup>	75.289 <sup>ns</sup>	4	دبی هوا × نوع جعبه Air flow rate × Box type
64.929	230.167	16	خطا Error

\*\* بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>ns</sup> بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

مختلف پالت می‌شود. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری بین دبی‌های ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه از نظر یکنواختی سرمایش بین جعبه‌ها وجود نداشت. نتایج مبین آن است که با افزایش دبی هوای سرد علاوه بر اینکه زمان سرمایش کاهش می‌یابد، یکنواختی سرمایش نیز افزایش نشان می‌یابد. بنابراین شرایط سرمایش در دبی ۱ و ۱/۵ لیتر در ثانیه مناسب می‌باشد. ولی بر اساس آنچه قبلاً بیان شد دبی بالا نیازمند مصرف انرژی بالا،

مقادیر انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش بین جعبه‌های موجود در نقاط مختلف پالت که به عنوان معیاری برای بررسی یکنواختی سرمایش در نقاط مختلف پالت استفاده شده است، نشان داد که با افزایش دبی هوای سرد، انحراف استاندارد کاهش می‌یابد (جدول ۴). به عبارت دیگر افزایش دبی هوای سرد موجب افزایش یکنواختی سرمایش در نقاط

کمپرسور و اواپراتورهای بزرگ و در کل هزینه افزایش می‌باشد. پس مجدداً انتخاب دبی ۱ لیتر در ثانیه به ازای کیلوگرم محصول توصیه می‌شود.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر دبی هوای سرد روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش و انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش جعبه‌ها

Table 4. Mean comparison of airflow rate on the  $\frac{3}{4}$  th cooling time and standard error of  $\frac{3}{4}$  th cooling time

انحراف استاندارد زمان $\frac{3}{4}$ ام سرمایش Standard error of $\frac{3}{4}$ th cooling time of boxes	زمان $\frac{3}{4}$ ام سرمایش $\frac{3}{4}$ th cooling time (min)	دبی هوای سرد Cold air flow rate (lit s <sup>-1</sup> kg p <sup>-1</sup> )
23.86 <sup>a</sup>	138.9 <sup>a</sup>	0.5
13.26 <sup>b</sup>	92.5 <sup>b</sup>	1
9.868 <sup>b</sup>	79.6 <sup>b</sup>	1.5

حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

بالای میوه‌ها در این نوع جعبه نسبت به جعبه‌ی سه ردیفه و نیز تک ردیفه با شانه محافظ باشد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود فقط یک ردیف میوه در جعبه‌های تک ردیفه، این جعبه‌ها با زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش معادل ۱۰۲ دقیقه دارای متوسط زمان سرمایش طولانی‌تری نسبت به جعبه‌های سه ردیفه هستند. علت این امر می‌تواند وجود شانه‌های محافظ در این جعبه‌ها باشد. این شانه‌ها بیش از ۵۰ درصد منافذ باز جعبه‌ها را مسدود نموده و سطح تماس میوه‌ها با هوای سرد را کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج، سه نوع جعبه از نظر یکنواختی سرمایش در نقاط مختلف پالت اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که به دلیل عدم استفاده از شانه‌های محافظ در جعبه‌های دو ردیفه و سه ردیفه احتمال بروز صدمات مکانیکی به میوه‌ها در طول فرآیند حمل و نقل وجود خواهد داشت که این مسئله استفاده از این جعبه‌ها را در حمل و نقل و به ویژه در صادرات میوه محدود می‌کند. بنابراین لازم است طراحی نوع جدیدی از شانه‌های محافظ مورد توجه قرار گیرد تا ضمن

دلیل و همکاران (۲۰۱۳) یکنواختی سرمایش میوه‌ها را در داخل پالت مورد بررسی قرار دادند. آنها از ۴ جعبه در قسمت پایین و بالای پالت برای مطالعه یکنواختی سرمایش داخل پالت استفاده کرده و نشان دادند که بعد از ۴ ساعت سرمایش در سرعت هوای سرد ۰/۱۲۴ متر در ثانیه، بیش از ۱۳ درجه سانتی‌گراد اختلاف دما در نقاط مختلف پالت مشاهده شد. این نتیجه نشان‌دهنده غیر یکنواختی زیاد در فرآیند سرمایش در نقاط مختلف پالت بود (۳).

همچنین نتایج تجزیه واریانس متغیرهای وابسته نشان داد که نوع جعبه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر روی متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش میوه‌ها داشته است (جدول ۳). بطوری‌که جعبه دو ردیفه با متوسط ۱۱۸/۷ دقیقه، بیشترین زمان سرمایش و جعبه‌های سه ردیفه کمترین زمان (۸۹/۹۷ دقیقه) را به خود اختصاص داده است. نتایج نشان داد که بین جعبه دو ردیفه و سه ردیفه از لحاظ زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایش تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بیشتر بودن زمان سرمایش جعبه‌های دو ردیفه می‌تواند به دلیل کم بودن ارتفاع جعبه‌ها و به تبع آن کم بودن فضای آزاد

را به صورت یکنواخت بین جعبه‌های میوه‌ی هلو موجود در نقاط مختلف پالت توزیع کند. عملکرد سیستم توسط شاخص متوسط زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایه‌ی نیز انحراف استاندارد زمان  $\frac{3}{4}$  ام سرمایه‌ی جعبه‌های مختلف موجود در نقای مختلف پالت بیان شد. نتایج نشان داد جعبه‌های با سه ردیف محصول کمترین زمان سرمایه‌ی را دارا بودند. یکنواختی سرمایه‌ی در همه انواع جعبه‌ها و در نقاط مختلف پالت، وجود داشت. از بین متغیرهای مورد مطالعه، انتخاب دبی ۱ لیتر در ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول و نیز جعبه یک ردیفه با شانه محافظ به همراه سیستم سرمایه‌ی توسعه داده شده، توصیه می‌شود.

کاهش زمان سرمایه‌ی میوه‌ها، از بروز صدمات مکانیکی در حین حمل و نقل جلوگیری نماید. بنابراین با توجه به انتخاب دبی ۱ لیتر بر ثانیه به عنوان مناسب‌ترین دبی و با لحاظ نتایج مذکور در بالا، انتخاب جعبه یک ردیفه با متوسط زمان سرمایه‌ی ۱۰۲ دقیقه که دارای زمان سرمایه‌ی متوسط نسبت به دو نوع دیگر جعبه بود و نیز صدمات مکانیکی را کاهش می‌دهد، توصیه می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق سامانه پیش‌سرمایش به روش هواده‌ی اجباری طراحی و ساخته شد. ظرفیت تقریبی این سامانه حدود ۳۸۰ کیلوگرم از هر نوع محصول باغی می‌باشد. این سامانه توانست جریان هوای سرد

### منابع

1. Barbin, D.F., Neves Filho, L.C., and Silveira Junior, V. 2012. Portable forced-air tunnel evaluation for cooling products inside cold storage rooms. *Int. J. Refrig.* 35: 202-208.
2. Chakraverty, A., Paul, S.R. 2001. Post-harvest Technology: Cereals, Pulses and Vegetables, *Sci. Publ., India*
3. Delele, M.A., Ngcobo, M.E.K., Getahun, S.T., Chen, L., Mellmann, J., and Opara, U.L. 2013. Studying airflow and heat transfer characteristics of a horticultural produce packaging system using a 3D CFD model. Part I: Effect of package design. *Int. J. Postharvest Biology and Tech.* 36: 536-545.
4. Duret, S., Hoang, H.M., Flick, D., and Laguerre, O. 2014. Experimental characterization of airflow, heat and mass transfer in a cold room filled with food products. *Int. J. Refrig.* 46: 17-25.
5. Elansari, A.M. 2009. Design of portable forced-air precooling cooling system. *J. the Saudi Society of Agri. Sci.* 8(2): 1-16.
6. FAO. 2013. Food wastage footprint impacts on natural resources, Summary Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp 61. <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>
7. Green, T. 1997. Mobile forced Air Cooling service. 5436 North Sunrise Ave, Fresno, California. Personal contact.
8. Kitinoja, L., and Thompson, J.F. 2010. Pre-cooling systems for small-scale producers. *Stewart Postharvest Review.* 6(2):1-14.
9. Kumar, R., Kumar, A., and Murthy, U.N. 2008. Heat transfer during forced air precooling of perishable food products. *Biosystems Eng.* 99: 228-233.
10. Talbot, M.T., and Flitecher, J.H. 1993. Design and development of portable forced-air cooler. *Proc. Florida State Horticultural Society.* 106: 249-255.
11. Thompson, J.F., Brecht, P.E., and Hinsh, T. 2002. Refrigerated trailer transport of perishable products. *Agriculture and Natural Resources, University of California, Davis (CA), Publication no.* 21614.
12. Vigneault, C. 2006. Traceability: the key tool for integrated quality management. *Stewart Postharvest Review* 2(3): 1-3.

13. Vigneault, C., Thompson, J., Stefanie, Wu., S., Hui, K.P.C., and LeBlanc, D.L. 2009a. Designing container for handling fresh horticultural produce. In N. Benkeblia (3Ed), Postharvest Technologies for Horticultural Crops. University of California. 2: 25–47.
14. Yang, Z., Zheng, M., Zhao, C., and Chen, Y. 2007. Study on forced-air precooling of longan. American Society of Agri. Biolog. Eng. 5 pp.



## Designing and construction, testing and evaluation of a forced air pre-cooling system of horticultural products

S. Seiedlou<sup>1\*</sup>, H. Nalbandi<sup>2</sup>, Y. Kiomarsi Motaalleg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>MSc. graduate, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 2017/03/11; Accepted: 2018/09/30

### Abstract

**Background and objectives:** A considerable amounts of Fruits and vegetables is lost during the post-harvest stages. One of the most important processes that reduces fruit loss and extends their shelf life is pre-cooling. In this process, biological activities of the products are decreased rapidly. The aim of this study was designing and constructing the forced air pre-cooling system for horticultural products.

**Material Martials and methods:** In this study, the forced air pre-cooling system of horticultural products was designed and constructed according to the industrial pattern. To evaluate the performance and uniformity of cooling process in the system, the precooling of Peach was performed using fruit pallets with the three kinds of packages namely one-row package, two and three-row packages. In addition, the airflow rate was evaluated in three levels consists of 0.5, 1 and 1.5 liters per second per kilogram of product.

**Results:** The evaluation of results indicated that the air velocity field was uniform around the constructed precooling system with cross section dimension of 550×1200 mm and the height of 2050 mm. The suction fan power was 0.5 hp and the cooling capacity of the system about zero °C. Therefore, all fruits located in the different location of pallet were cooled with an acceptable uniformity viewpoint of the cooling time and temperature. Also, the standard error of cooling time was not significant. Among the studied factors, the effect of airflow rate on the average 3/4<sup>th</sup> cooling time of fruits in different boxes in the pallet and their standard deviation were significant. Increasing the airflow rate decreases the cooling time and improves the uniformity of cooling between the various packages; so that with three times increasing the airflow rate, the standard deviation decreases 59%. According to the results, the kind of package had a significant effect on the average 3/4<sup>th</sup> cooling time of fruits and the minimum and maximum cooling time were related to the three rows and two rows boxes, respectively; but its effect on the standard deviation was not significant.

**Conclusion:** The developed precooling system could create and distribute of cold air uniformity between the fruits boxes in different locations of the pallet. There were no significant differences between the cooling time of fruit in both airflow rate of 1 and 1.5 lit s<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>. Also, the rate of energy consumption is considerable in the high airflow rates. Therefore, it is recommended usage of cold airflow rate of 1 lit s<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>. Although the three rows box had the lowest cooling time, due to the mechanical damage probability, it's using had no advantage as compared to one-row box.

**Keywords:** Fruit, Designing, Precooling System, Forced Air, Uniformity

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