بررسی روش خنک‌سازی خلاء به عنوان یکی از راه کارهای افزایش زمان ماندگاری و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی و محاسبه پارامترهای فرآیند خنک سازی برای کلم پیچ

سحر راهی[۱*]، هوشنگ بهرامی[۲]، محمد جواد شیخ داوودی[۲]

۱–دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، اهواز، کیان آباد، خیابان نوزدهم غربی، پلاک ۸۴
Rahi.sahar1@gmail.com
۰۹۳۶۲۵۵۵۲۱۰

۲– دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز
آدرس: اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
Bahrami16@gmail.com
Javad1950@gmail.com

چکیده

در کشور ما به دلیل نارسایی‌های موجود در سیستم حمل و نقل، نگهداری، تبدیل و توزیع، مقداری از محصولات کشاورزی ضایع شود که این مقدار نسبتا بالاست. افزایش زمان نگهداری محصولات کشاورزی نیازمند دانشی است که با ایجاد یک فناوری توانمند میزان ضایعات و فساد محصول را به حداقل برساند. خنک سازی سریع محصول تازه برداشت شده قبل از حمل و نقل یا انبار در سردخانه، سرعت تنفس و رشد میکروارگانیسم هایی که باعث فساد می شوند را کاهش میدهد. خنک‌سازی خلائی[۱] به عنوان سریع‌ترین روش خنک‌سازی تبخیری برای هر محصولی که دارای رطوبت آزاد است، شناخته شده است. به منظور تحلیل فرایند خنک سازی محاسبه‌ی پارامترهای خنک‌سازی الزامی است. هدف از این مقاله معرفی و بکاربردن این تکنیک برای نگهداری کلم‌پیچ و نشان دادن تأثیر فشار خلاء بر فاکتور تأخیر[۲]، ضریب و زمان های خنک سازی می‌باشد. برای این منظور فرآیند در سه سطح ۰/۷، ۱ و ۱/۵ کیلوپاسکال انجام شد. نتایج تحلیل فرآیند خنک‌سازی برای کلم‌پیچ نشان می‌دهد که با افزایش فشار فاکتور تأخیر و زمان خنک‌سازی افزایش و ضریب خنک‌سازی[۳] کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از این تکنیک برخلاف ساختار پیچیده‌ی کلم باعث توزیع دمایی همگن در محصول شد. امید است معرفی و استفاده از روش خنک‌سازی خلائی به عنوان یک تکنیک نوین پس از برداشت بتواند در حفظ کیفیت و تازگی محصولات کشاورزی مؤثر باشد.

کلیدواژه‌ها: خنک‌سازی خلائی، ضریب خنک‌سازی ، فشار ، فاکتور تأخیر ، کلم‌پیچ

[1]Vacuum cooling
[2]Lag factor
[3]cooling coefficient

مقدمه

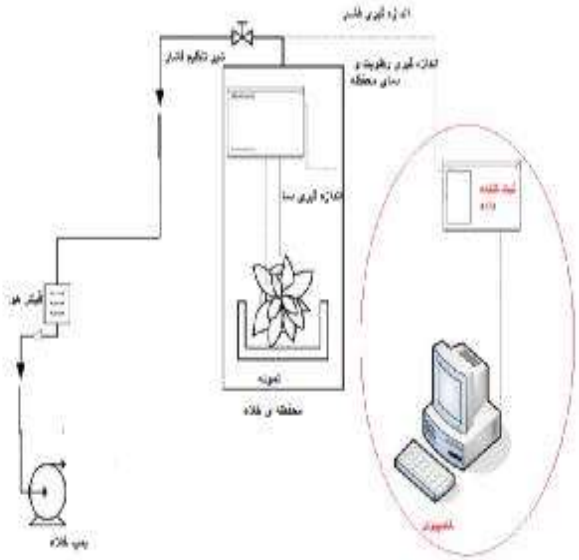
کیفیت محصول به هر دقیقه‌ای که از برداشت می‌گذرد تا زمانی که روی آن عملیات خنک‌کردن یا هر عملیات دیگری جهت نگهداری صورت می‌گیرد وابسته است که در این میان پیش‌خنک‌کردن به صرفه ترین و کارآمدترین روش در دسترس تولیدکنندگان است (Sulivan *et al*., 1996). روش مورد استفاده برای پیش‌خنک‌کردن در درجه‌ی اول بستگی به قابلیت نگهداری محصول دارد. محصولاتی با سرعت تنفس زیاد که عمر کوتاهی دارند، باید بلافاصله پس از برداشت خنک شوند (Tao *et al*., 2006). روش خنک-سازی توسط خلاء برای محصولاتی که به اندازه‌ی کافی آبدار هستند و نسبت سطح به وزنشان زیاد است، کاربرد دارد (Longmore, 1973). هر محصولی که دارای رطوبت آزاد باشد، چنانچه در محفظه‌ای قرار گیرد که فشار آن توسط پمپ خلاء کاهش می‌یابد، اختلاف فشار بخار بین آب درون محصول و هوای اطراف باعث تبخیر آب شده و بخار ایجاد شده از هوای اطراف می‌گریزد. از آن جایی که محصول درون یک سیستم بسته قرار دارد، گرمای نهان مورد نیاز برای تبخیر باید به وسیله خودش و از طریق تبدیل به محتوای گرمایی تهیه شود. خنک‌سازی تا زمانی‌که فشار توسط پمپ کاهش می‌یابد، ادامه خواهد داشت. تحت شرایط خلاء قسمتی از رطوبت محصول به جوش خواهد آمد. دمای نهایی محصول را می‌توان با تنظیم فشار بخار نهایی درون محفظه که معمولا" کمتر از ۶/۵ میلی بار (۴/۹۴ میلی متر جیوه) نیست، به دقت کنترل کرد (Liyan and Sun, 2005). چنگ[1] و همکاران در سال ۲۰۰۷ روش خنک‌سازی خلائی را برای دو محصول اسفناج و کلم به کار گرفتند و نتیجه آزمایشات را برای دو محصول بررسی و مقایسه کردند و بیان کردند که روش خنک‌کردن خلاء اگرچه اغلب برای سبزیجات برگی استفاده می‌شود اما اثر خنک کننده‌ی آن برای استفاده در مورد کلم به دلیل ساختار پیچیده و محکم کلم به نسبت ضعیف‌تر است (Cheng *et al*., 2006). هی[2] و لی[3] در سال ۲۰۰۹ در نتیجه‌ی انجام پژوهشی یک مدل ریاضی برای آنالیز تغییرات پارامترهای فشار خلا، دما و اتلاف وزن برای خنک‌کردن در خلاء برای کاهو اعلام کردند که این مدل برای پیش بینی تغییرات فشار خلاء در محفظه و توزیع دما و تغییرات اتلاف وزن برای کاهو به کار رفت. نتایج آزمایش نشان داد که مقدار آب تبخیر شده از کاهو در مدل شبیه‌سازی ۳/۳۲٪ بود در حالی که نتیجه‌ی آزمایش عملی این نرخ را ۲/۹۷٪ نشان داد، بنابراین حداکثر انحراف این نرخ ۰/۵۹٪ بود که قابل قبول است (Su-yan He and Yun-fei Li, 2009). جاکمن[4] و همکاران در سال ۲۰۰۷ مطالعات آزمایشی برای ترکیب شدن روش‌های خنک‌سازی شامل خنک‌کردن خلائی و خنک‌کردن به کمک باد سرد انجام دادند و نشان دادند اجرای هر دو روش با هم زمان خنک‌سازی را بهینه می‌کند (Juckman *et al*., 2007). ژانگ[5] و سان نیز در سال ۲۰۰۹ نشان دادند که خنک‌کردن در خلاء بیشترین بهره‌وری را بین چهار روش دارد. اتلاف وزن طی روش خنک‌کردن در خلاء بطور قابل

[1]Cheng
[2] He
[3] Li
[4]Jackman
[5]Zhang

ملاحظه‌ای توسط اسپری کردن آب روی سبزیجات کاهش یافت و این روش در مقایسه با سه روش دیگر هیچ نتیجه‌ی منفی روی کیفیت محصولات نداشت (Zhang and Sun, 2009; Dincer, 1994).

مواد و روش ها

برای بررسی تأثیر فاکتور فشار سیستم بر روی پارامترهای خنک‌سازی، از یک دستگاه خنک‌کن خلائی در مقیاس آزمایشگاهی موجود در کارگاه گروه آموزشی مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز، استفاده شد. شکل۱ دیاگرام شماتیک کلی دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱.دیاگرام شماتیک سیستم خنک‌سازی خلاء

اجزاء اصلی دستگاه شامل محفظه‌ی استوانه‌ای خلاء به حجم $۰/۳۳۵\ m^3$ و یک پمپ خلاء (مدل پیستونی) می‌باشد. درون محفظه استوانه‌ای تعدادی میله به طور افقی و موازی با هم جهت قرار دادن محصول تعبیه شده است. قطر داخلی محفظه استوانه‌ای شکل cm ۱۰۰ می‌باشد. از چندین سنسور دما (سنسور دیجیتال TPM-10 برای دامنه دما بین ۵۰- تا ۷۰ درجه سلسیوس با دقت ±۱ درجه سلسیوس، ساخت کانادا) برای اندازه گیری دمای مرکز و سطح محصول و همچنین دمای محفظه استفاده گردید. سنسورها از قسمت فوقانی وارد کانال دستگاه شدند و تمام فضاهای خالی که امکان ورود و خروج هوا از آنها وجود داشت بوسیله‌ی چسب آکواریوم کاملا" درزبندی شد. همچنین رطوبت کانال با استفاده از یک رطوبت سنج دیجیتال (سنسور HC838/101 مخصوص برای دامنه رطوبت ۰ تا ۱۰۰ درصد با دقت ۱٪ rh، با مشخصات فنی: AC,DC 100-265v/50-60 H و خروجیRELAY N.O/N.C 5A، ساخت ایران) اندازه گیری شد. قابل ذکر است فشار محفظه ی خلاء به واسطه‌ی خلاء سنج موجود روی دستگاه به طور مداوم چک گردید. برای هر

آزمایش محصول مورد نیاز (کلم پیچ سفید) در روز آزمایش خریداری شد. دمای نمونه‌ها به دمای محیط (۳۰ درجه سلسیوس) نزدیک بود. دمای نهایی محصول که نقطه ی پایان فرآیند خنک‌سازی را مشخص می‌کند با توجه به دمای نگهداری معین (۷ درجه سلسیوس)، که دمای توصیه شده توسط کارشناسان برای انبارداری صحیح محصول کلم‌پیچ می‌باشد، انتخاب شد (Thompson, 2003). در هر آزمایش سه عدد محصول کاملا" مشابه از لحاظ وزن انتخاب شده و شماره‌گذاری شدند. سه کلمی که برای هر آزمایش به کار برده شد کاملا" تازه بوده و قبلا هیچ عملیات خنک‌سازی روی آنها صورت نگرفته بود. جرم محصولات آزمایشی قبل و بعد از آزمایش با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. داده‌برداری در فواصل زمانی ۴ دقیقه‌ای انجام شد. در آزمایش هر کدام از محصولات، چیدمان کلم‌ها برای تکرارهای مختلف تا حد امکان مشابه بود. محصولات در قسمت مرکزی محفظه‌ی خلاء قرار داده شدند و دستگاه روشن شده و شروع به کار کرد. در طی آزمایش تا پایان فرآیند دمای مرکز و سطح محصول، دما و رطوبت محفظه‌ی خلاء، فشار محفظه و زمان رسیدن به دمای ۷ درجه سلسیوس در فواصل ۴ دقیقه ای قرائت و یادداشت شد.

محاسبه ضریب خنک‌سازی

سرعت سردشدن را معمولا با "زمان نیم‌کاهش" (Z) یا "ضریب سردشدن" (C) نشان می‌دهند. زمان نیم کاهش، مدت زمان لازم برای رساندن اختلاف دمای محصول با محیط سرد کننده، به یک دوم اختلاف اولیه است. زمان نیم‌کاهش، از نظر تئوری مستقل از دمای اولیه محصول است و در طول سرد کردن ثابت باقی می‌ماند.رابطه ریاضی Z و C به صورت رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

$$Z=\text{Ln } 0.5/C \quad (۱)$$

محاسبه فاکتور تأخیر

به طور کلی روند منحنی خنک‌سازی در مقابل زمان، به صورت یک تابع نمایی می‌باشد.

$$Y= j \exp(-ct) \quad (۲)$$

در این رابطه :

C= ضریب خنک‌سازی (1/s)، j= فاکتور تاخیر و t= زمان (s) می‌باشد.

با برازش یک منحنی نمایی به داده‌های تجربی (منحنی تغییرات دمای بی بعد نسبت به زمان)، فاکتور تأخیر به دست می‌آید.

محاسبه ی زمان های نیم و هفت-هشتم کاهش

با جایگذاری Y= 0.5 و Y=0.125 به ترتیب در رابطه‌ی ۳ و ۴ زمان نیم‌خنک‌سازی (Z) و هفت-هشتم خنک‌سازی (S) به دست می‌آید (۲).

$$Z=\text{Ln}(2j)/C \quad (۳)$$

$$S=Ln(8j)/C \quad (۴)$$

ابتدا اطلاعات به دست آمده از آزمایشات به اکسل منتقل شد و ضریب خنک‌سازی، فاکتور تأخیر، جرم از دست رفته و زمان خنک‌سازی نیز محاسبه شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل رسم شد.

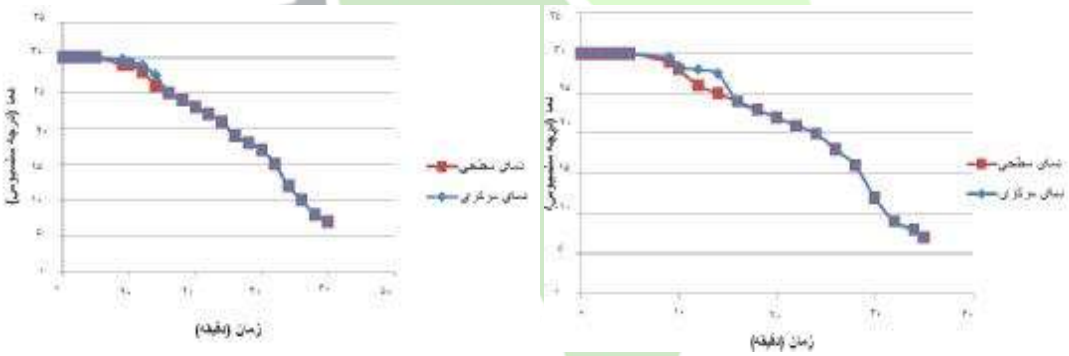
نتایج و بحث

برای تحلیل فرآیند خنک‌سازی با خلاء، فرضیه‌های زیر در نظر گرفته شد:

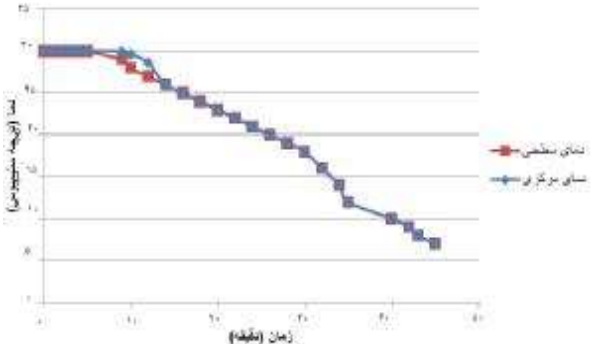
۱- محصول همگن و دارای خواص یکسان در همه ابعاد می‌باشد.

۲- توزیع دمای اولیه در محصول کاملا یکنواخت می‌باشد.

نمودارهای اشکال ۲ تا ۴ تغییرات دمای بی بعد نسبت به زمان را برای کلم‌پیچ در فشارهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از نمودارها مشخص است با افزایش فشار شیب منحنی‌ها کاهش می‌یابد که این امر دلالت بر کاهش ضریب خنک‌سازی و افزایش زمان رسیدن دمای مرکز کلم به حد مشخص می‌باشد.



شکل ۲- تغییرات دما نسبت زمان در فشار ۰/۷ کیلوپاسکال **شکل۳**- تغییرات دما نسبت به زمان در فشار ۱ کیلوپاسکال



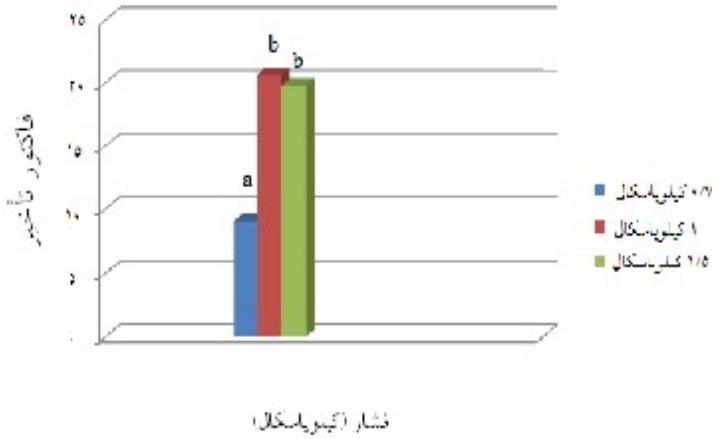
شکل ۴- تغییرات دما نسبت به زمان در فشار ۱/۵ کیلوپاسکال

با افزایش سطح فشار زمان خنک سازی از ۳۵ به ۴۰ و ۴۵ دقیقه افزایش پیدا کرد. فاکتور تأخیر و ضریب خنک‌سازی با استفاده از تحلیل رگرسیون و از رابطه ۱ و ۲ بدست آمدند. زمان نیم خنک‌سازی (Z) و هفت _هشتم خنک‌سازی (S) نیز براساس روابط ۳ و ۴ به دست آمدند. مقادیر محاسبه شده‌ی این پارامترها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱– مقادیر فاکتور تأخیر، ضریب و زمان‌های خنک‌سازی

فشار (kp)	j	c	(s) Z	(s) S
۰/۷	۹/۰۵	۰/۰۰۸۱۸۹	۴۰۶/۶۴۸	۶۰۴/۶۹
۱	۲۰/۶۲	۰/۰۰۶۲۵۰	۵۵۳/۳۲۹	۸۹۹/۹۰۲
۱/۵	۱۹/۷۹	۰/۰۰۵۲۹۴	۱۱۱۰/۴۸۱	۱۵۷۲/۵۷۰

با افزایش مقدار فشار خلاء مقدار Z و S به طور کلی برای تمام سطوح دما و وزن نرخ رو به افزایشی داشته است. تغییرات در زمان های نیم و هفت–هشتم خنک سازی دلالت بر برتری داشتن فشار ۰/۷ به ۱ و ۱/۵ کیلو پاسکال دارد. از آنجاییکه میزان Z و S به طور مستقیم خنک سازی با زمان خنک سازی مرتبط است بنابراین هرچه مقدار آنها کمتر باشد فرآیند خنک سازی سریعتر و قابل قبول تری خواهیم داشت. هم چنین ضریب خنک‌سازی (c)، تابعی از خواص فیزیکی و حرارتی محصول می‌باشد. ضریب خنک سازی با افزایش فشار کاهش می‌یابد. فشار ۰/۷ کیلوپاسکال باعث افزایش ۳۱٪ نسبت به فشار ۱ کیلو پاسکال و ۵۴٪ نسبت به فشار ۱/۵ کیلوپاسکال در ضریب خنک‌سازی شد. فاکتور تأخیر نیز با استفاده از تحلیل رگرسیون و رابطه‌ی ۲ به دست آمد. همانطور که قبلا اشاره شد فاکتور تأخیر تابعی از خواص فیزیکی (شکل و اندازه) و خواص حرارتی محصول می‌باشد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود اعمال فشار ۰/۷ کیلو پاسکال به عنوان فشار ثابت و نهایی در محفظه باعث کاهش چشم‌گیری در فاکتور تأخیر گردیده است.



شکل ۴- تفاوت در مقدار فاکتور تأخیر برای سطوح مختلف فشار

از آن جایی که استفاده و پیشنهاد این روش به دنبال فراهم‌سازی بهترین شرایط برای محصول مورد نظر می‌باشد، به عنوان یک نتیجه کلی بهترین سطح فشار با توجه به تأثیرگذاری بر فاکتورهای خنک‌سازی (ضریب خنک‌سازی و فاکتور تأخیر) و زمان خنک سازی، فشار ۰/۷ کیلو پاسکال می-باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه تأثیر سه فشار خلاء متفاوت بر زمان خنک‌ساز ی، ضریب خنک‌سازی و فاکتور تأخیر برای خنک‌کردن خلائی کلم مورد بررسی قرار گرفت. منحنی خنک‌سازی برای همه فاکتورها در تمامی سطوح روند مشابهی داشت. بعد از یک تأخیر اولیه دمای مرکز محصول به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند. نتایج نشان داد که بکار بردن روش خنک‌سازی خلاء موجب توزیع دمایی همگن در طول فرآیند شد. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد هرچه فشار ثابت شده نهایی در محفظه بیشتر، زمان خنک‌سازی افزایش، ضریب خنک‌سازی کاهش و فاکتور تأخیر نیز به طور ناپیوسته افزایش می‌یابد. هر چه زمان بیشتری سپری شود کلم‌ها رطوبت بیشتری از دست می‌دهند، همانطور که قبلا نیز به آن اشاره شده بود یکی از معایب روش خنک کردن خلاء از دست دادن رطوبت محصولات می‌باشد، بنابراین بهترین سطح فشار ۰/۷ کیلوپاسکال انتخاب گردید تا در نهایت میزان ماندگاری بیشتر و از طرفی تازگی و ضایعات کمتری داشته باشیم. . این روش در حال حاضر در میان کشاورزان و در کشور ما ناشناخته و جدید می‌باشد، لیکن امید است با انجام تحقیقات بیشتر زمینه معرفی این روش به دست اندرکاران کشاورزی فراهم گردد. با توجه به اینکه در نهایت برای معرفی این روش جهت استفاده ی جایگاه‌های صنعتی بایستی این روش برای تمامی محصولات کشاورزی اجرا و فاکتورهای خنک سازی محاسبه و تجزیه تحلیل شود، بنابراین این پژوهش تلاشی برای استفاده از روش خنک سازی خلائی به عنوان یکی از دستورالعمل های مناسب فن آوری پس از برداشت محصولات کشاورزی برای افزایش و حفظ کیفیت و ایمنی محصول کلم‌پیچ بود.

منابع:

1- Cheng, H.P and Hsueh,C.F.2006.Multi-stage vacuum cooling process of cabbage. Journal of Food Engineering.79:37-46.

2 Dincer, I. 1994. Air Flow Precooling of Individual Graps. Journal of Food Engineering, 26: 243-240.

3- Jackman, P., Sun, D.W., Zheng, L. 2007. Effect of combined vacuum cooling and air blast cooling on processing time and cooling loss of large cooked beef joints. Journal of Food Engineering, 81: 266–271.

4- Liyun, Z. and Sun, D.W. 2005. Vacuum Cooling of Foods. Food Refrigeration and Computerised Food Technology Group. National University of Ireland, Dublin, Ireland. 115: 261-266.

5- Longmore, A.p.1973.The pros and cons of vacuum cooling.Food Industries of South Africa. 24: 6-11.

6- Sulivan, G.H. and Davenport,L.R.,and Julian,j.w.1996.Progress in new crops:precooling:key factor for assuring quality in new fresh market.Vegetabales Crops. 103:521-524.

7- Su-yan He and Yun-fei Li.2009.Experimental study and process parameters analysis on the vacuum cooling of iceberg lettuce.Energy Conversion and Management.49:2720-2726.

8- Tao, F., Zhang, M., Hangqing, Y., and Jincai, S. 2006. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling. Journal of Food Engineering.77: 545-549.

9- Thompson, A.K. 2003. Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage. Black Well Publishing Ltd, New York, P. 320.

10- Zhang, Z. and Sun,D.W.2009. Effects of cooling methods on the cooling efficiency and quality of cooked rice. Journal of Food Engineering.79: 269-274.

Using vacuum cooling method of precooling process as one of the ways to increase the shelf life and reduce waste agricultural products and the calculation of process cooling parameters for cabbage

Sahar Rahi[1*], Houshang Bahrami[2] and Mohammad Javad Sheikhdavoodi [2]

1- MSc Student,Department of Agricultural Mechanization Shahid Chamran University of Ahvaz
Rahi.sahar1@gmail.com
2- Associate professor in Department of Engineering Mechanics of Agricultural Machinery and Mechanization, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Abstract

In our country due to deficiencies in the transportation system, maintenance, conversion and distribution, some of agricultural products waste that the amount is very high. To enhancement the efficiency of cooling operations for foods, it is necessary to optimally design the refrigeration equipment to fit the specific requirements of the particular cooling application. Rapid cooling of fresh produce harvested before transportation or cold storage reduces respiration rate and growth of microorganisms that cause spoilage. Vacuum cooling is known as a rapid evaporative cooling technique for any porous product which has free moisture. The evaluation of cooling process requires the calculation cooling parameters. The aim of this research is to apply vacuum cooling technique for cooling of the cabbage and show the vacuum pressure effect on the lag factor, cooling time and cooling coefficient. The experiments were carried out in the three pressure levels, 0.7,1 and 1.5 Kp. Analysis result for process cooling of cabbage showed with the rising the set chamber pressure, cooling coefficient decrease, lag factor and cooling time increase. It has been also found that temperature distribution within the products during vacuum cooling despite the cabbage complex structure was homogeneous. Therefore, the use of vacuum cooling can be a new post harvest technique to preserve the quality and freshness of agricultural products.

Keywords: Vacuum cooling, pressure, cabbage, Lag factor, cooling coefficient