

بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرماي مضافتي بوسيله خشک کن کابيني

حسن افشاري جويباري^۱ - عسگر فرحناكي^۲ - مهسا مجذوبي^۳ - غلامرضا مصباحي^{۴*} - مهرداد نياكوثری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۱۹

چکیده

رطب مضافتي از ارقام مرطوب و نیمه خشک به رنگ قرمز تیره متمایل به سیاه و دارای کیفیت مطلوب می باشد. از مشکلات اصلی این رقم، نگهداری آن است، زیرا مقدار رطوبت بالای آن باعث فساد آن در دمای محیط می شود و به همین علت باید در یخچال نگهداری شود. در این تحقیق اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرماي مضافتي با استفاده از هوای گرم در سه سطح سرعت جریان هوا (۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه) و پنج سطح دمایی (۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰°C) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که همه نمونه ها در مرحله خشک شدن نزولی قرار دارند و مهمترین عامل در افزایش سرعت خشک کردن، دما است. دبی هوای خشک کننده تاثیری در افزایش سرعت خشک شدن نداشت. به طور کلی نتایج نشان داد که کاهش رطوبت خرماي مضافتي به روش خشک کردن مصنوعی (صنعتی) امکان پذیر است و می توان با کاهش رطوبت، نیاز به سردخانه را مرتفع ساخت.

واژه های کلیدی: خرماي مضافتي، خشک کردن، نگهداری خرما، سرعت جریان هوا

مقدمه

فرایندهای دشوار در صنعت غذا می باشد (Wang et al., 2005). اکثر مواد غذایی نسبت به حرارت حساس می باشند چون باعث به وجود آمدن تغییراتی نظیر اکسیداسیون، تغییرات رنگ، چروکیدگی یا کم شدن کیفیت بافت در اثر خروج آب و تغییر ارزش تغذیه ای در آنها می شود. به علاوه شرایط و تکنیک های خشک کردن باعث به وجود آمدن تغییراتی در ساختمان محصول خشک شده می شود که برخی از این تغییرات فیزیکی و شیمیایی از نظر مصرف کننده مطلوب نیست. چون کیفیت غذاهای خشک شده به میزان تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی که در طول خشک کردن اتفاق می افتد بستگی دارد. به همین علت استفاده از دمای پایین در طی خشک کردن باعث حفظ بهتر مواد غذایی می شود اما باعث طولانی تر شدن زمان خشک کردن می شود (Miranda et al., 2009). در تحقیق انجام شده در ایران، در مورد خشک کردن انگور و تولید کشمش به روش های مختلف از جمله استفاده از خشک کن خورشیدی و کابینتی، ضمن بررسی پارامتر های مختلف مؤثر بر خشک کردن، تأثیر روش های مختلف خشک کردن را بر کیفیت

خشک کردن به دو صورت طبیعی یا مصنوعی انجام می شود. اولین گزارش ثبت شده در مورد استفاده از خشک کن و خشک کردن مصنوعی خرما، به تحقیقی توسط وینسون در ایالت آریزونا، آمریکا بر می گردد. از مزایای خشک کردن مصنوعی (صنعتی) می توان به کاهش ضایعات، کنترل دمای فرایند، حفاظت از محصول در مقابل عوامل نا مساعد جوی، سرعت بالاتر خشک کردن، رعایت راحت تر و بهتر اصول بهداشتی، کنترل آسانتر فرایند و درصد رطوبت محصول، حفاظت محصول در برابر حشرات و پرندگان و نیاز به فضای کمتر اشاره کرد و از معایب آن می توان هزینه بالای آنها و کاهش رنگ محصول نسبت به روش طبیعی در برخی موارد را نام برد (Rotti, 2000, Sagoy et al., 2005, Waewsak et al., 2006). خشک کردن به دلیل تغییرات نامطلوب فیزیکی و شیمیایی که در اثر حرارت و حذف آب در ماده غذایی به وجود می آورد یکی از

۵، ۴، ۳، ۲، ۱ - به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیاران و استادیاران گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
* - نویسنده مسئول: (Email: mesbahi@shirazu.ac.ir)

محصول تولیدی مورد مطالعه قرار دادند (مصباحی و همکاران، ۱۳۸۵).

خشک کردن میوه تازه خرما به دلیل اینکه دارای رطوبت بالایی است و عمر نگهداری آن را کاهش می‌دهد ضروری است. به طور سنتی به میوه خرما اجازه داده می‌شود که تا حدودی روی نخل خشک شود و سپس آن را برداشت کرده و در معرض آفتاب خشک می‌کنند تا کیفیت نگهداری آن را افزایش دهند. از خرما خشک شده در تهیه شیرینی، اسنک (تنقلات)، محصولات قنادی و نانوبی استفاده می‌شود (Falade et al. 2007, Kulkarni et al. 2008).
خرمای مضافتی از نوع مرطوب و نیمه خشک به رنگ قرمز تیره متمایل به سیاه و دارای بافت نرمی است. بازار مصرف آن عمدتاً بازارهای داخلی می‌باشد. این واریته به دلیل داشتن رطوبت زیاد، نسبت به فساد حساس است به همین علت عدم استفاده از سردخانه در حین نگهداری و بازاریابی باعث فاسد شدن مقدار قابل توجهی از این واریته با ارزش می‌شود. در این تحقیق بررسی تاثیر دما و دبی هوا بر خشک کردن به عنوان یک راهکار جهت افزایش ماندگاری خرمای مضافتی با استفاده از هوای گرم مورد ارزیابی قرار گرفت تا دما و دبی مناسب برای خشک کردن این واریته خرما مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

خرمای مورد نیاز به صورت بسته بندی شده در کیسه های پلی اتیلنی که در جعبه مقوایی قرار داشت از شهرستان بم تهیه شد. چون این خرماها از قبل دست چین و تمیز شده بودند نیازی به تیمار اولیه نداشتند. به منظور داشتن یک نمونه یکنواخت و تصادفی به گونه‌ای که به آنها صدمه ای وارد نشود از جعبه‌ها خارج کرده و عمل مخلوط کردن و یکنواخت سازی بر روی آنها انجام شد. برای خشک کردن خرما مضافتی از خشک کن کابینی (Proctor & Schwartz SCM Corporation, USA) که اصلاحاتی در آن جهت بهبود کارایی و بالابردن دقت آن انجام شده بود استفاده گردید. برای بررسی روند خشک شدن نمونه خرما به صورت تک لایه بر روی سینی‌های خشک کن ۱۵ دقیقه بعد از رسیدن به دمای مورد آزمون قرار گرفت و جریان هوا با دما و دبی مشخص از روی آن عبور داده شد. نمونه برداری از خرما در طی زمان خشک شدن هر ۶۰ دقیقه انجام پذیرفت. اندازه گیری رطوبت نمونه ها با روش توزین و تعیین تفاوت وزنی نمونه در قبل و بعد از هر مرحله انجام شد. بررسی روند خشک شدن در پنج سطح دمایی ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی گراد با نوسان ± 2 درجه سانتی گراد و سه سطح دبی هوا ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه با نوسان ± 0.1 متر بر ثانیه انجام شد.

طرح مورد استفاده در این پژوهش، آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار بوده و آنالیز آماری آن بوسیله نرم افزار SPSS13 صورت گرفت. ابتدا مقایسه میانگین در سطح ۰/۰۵ انجام

شد و سپس با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن گروه بندی و مقایسه نتایج صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقدار رطوبت در طی زمان خشک شدن خرما مضافتی در تمامی سرعت‌ها و دماها تفاوت معناداری را نشان داد. اندازه گیری رطوبت خرمای مضافتی نشان داد که رطوبت اولیه آن بین ۳۶/۵-۳۴/۵٪ (بر مبنای وزن مرطوب) بوده است (شکل‌های شماره ۱، ۲ و ۳)، که در طی خشک شدن از مقدار آن کاسته می‌شود، به گونه ای که پس از ۷ ساعت خشک کردن این مقدار در سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰°C به ترتیب به حدود ۳۰/۳۱، ۲۶/۹۶، ۲۴/۸۵، ۲۲/۲۹ و ۲۱/۹۵ درصد رسید. به جز در مورد تیمار ۵۰°C در سرعت ۱ متر بر ثانیه که تنها نمونه کنترل با بقیه داده‌ها تفاوت آماری داشت، در بقیه دماها، زمان خشک کردن تاثیر معناداری بر مقدار رطوبت داشت. احتمالاً علت اینکه در دمای ۵۰°C در بین بقیه نمونه‌ها تفاوتی دیده نشد، به خاطر افت کم رطوبت و یکنواخت نبودن مقدار رطوبت نمونه‌ها بود که باعث شده تفاوت‌ها معنادار نشود. در دو سرعت دیگر جریان هوا (۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه) حتی در دمای ۵۰°C هم تفاوت معناداری بین داده‌ها مشاهده شد که در دماهای بالاتر این تفاوت‌ها بیشتر بود، رطوبت نهایی نمونه ها در پایان فرایند خشک کردن ۳۱/۳۸، ۳۰/۶۹، ۲۷/۹۳، ۲۰/۶۸ و ۱۹/۷۰ درصد برای سرعت ۱/۵ و ۲۹/۱۰، ۲۹/۸۷، ۱۷/۲۵ و ۱۹/۵۹ درصد برای سرعت ۲ متر بر ثانیه بود.

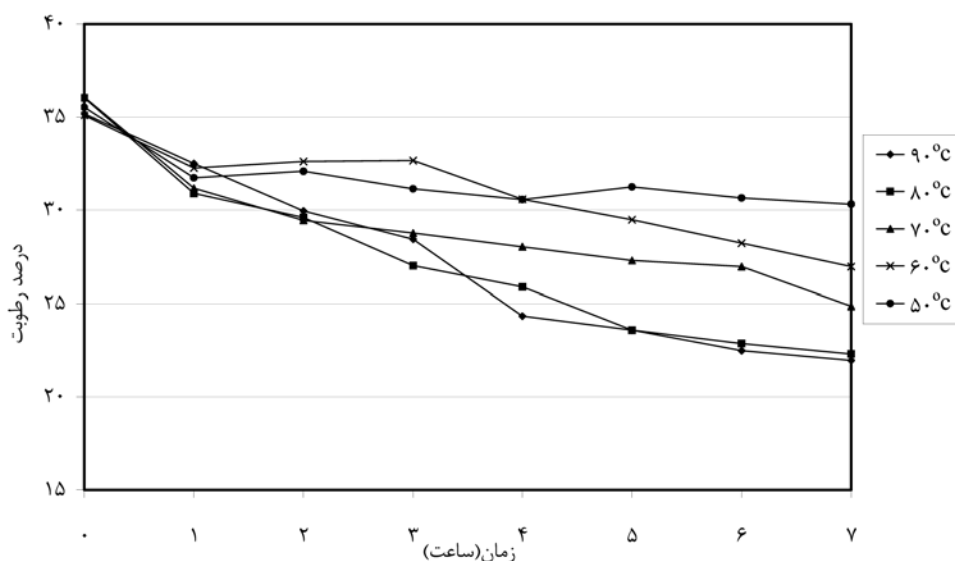
مطالعه تغییرات سرعت خشک شدن خرمای مضافتی در زمان‌ها، دماها و سرعت‌های مختلف نشان داد که سرعت خشک شدن با گذشت زمان کاهش می‌یابد. نتایج حاکی از تغییر سرعت افت رطوبت در طی زمان خشک کردن است. بجز دمای ۵۰°C که این تغییرات روند منظمی نداشت، در بقیه دماها بعد از افزایش اولیه، سرعت خشک کردن دارای روند کاهشی منظمی بود (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). برای سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰°C سرعت خشک کردن در ساعت اول برابر ۰/۰۲۴، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۴، ۰/۰۲۴ ساعت بود که در ساعت هفتم آزمایش به حدود ۰/۰۱۲، ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۹ واحد رسید.

این مقادیر برای سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه در دماهای مذکور، در ساعت اول به ترتیب برابر ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۴، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۶۴ بود که در ساعت آخر به ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۶، ۰/۰۲۳، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۱۶ واحد رسید، همچنین برای سرعت جریان هوای ۲ متر بر ثانیه در دماهای مذکور در ساعت اول به ترتیب برابر ۰/۰۱۲، ۰/۰۲۲، ۰/۰۴۰، ۰/۰۴۴ و ۰/۰۸۲ بود که در ساعت آخر به ۰/۰۰۹، نتایج حاصل از سرعت خشک شدن خرما مضافتی نشان می‌دهد که

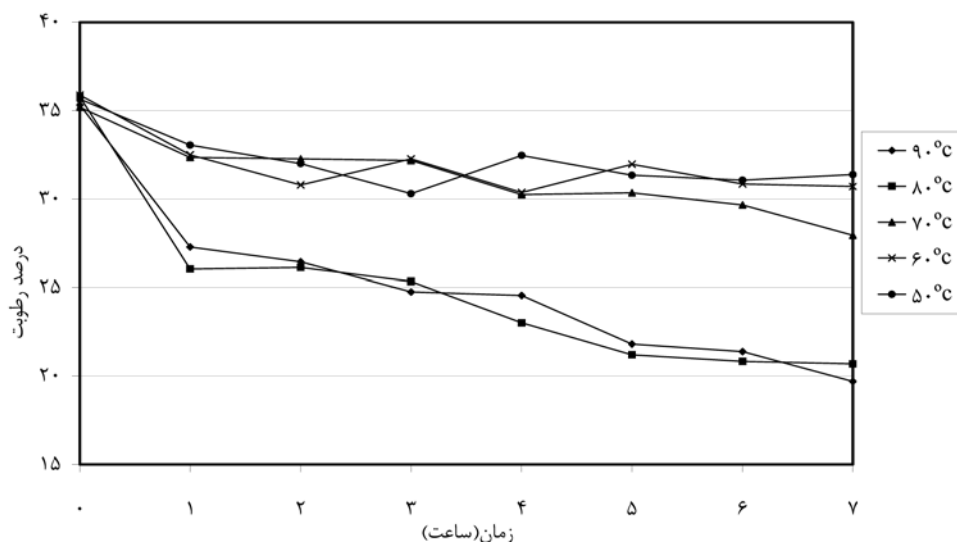
مضافتی مورد آزمون، در مرحله خشک شدن نزولی قرار داشته است. تأثیر سرعت‌های جریان هوا و دماهای مختلف بر سرعت خشک شدن خرماى مضافتی در جدول شماره ۱ آمده است. مقایسه میانگین‌های سرعت خشک کردن در دماهای مختلف در سه سرعت جریان هوای مورد مطالعه نشان داد که در تمامی سرعت‌ها، بالاتر بردن دمای خشک کن باعث بیشتر شدن سرعت خشک شدن گردیده است، ولی میانگین سرعت‌های مختلف در پنج دمای مورد آزمون (بجز در دمای ۵۰°C) نشان داد که دبی هوا، در محدوده‌های مورد بررسی، تأثیر معنی داری بر میزان خشک کردن نداشته است.

سرعت خشک کردن خرماى مضافتی سریعاً کاهش پیدا می‌کند، هرچند که ظاهراً در برخی از زمان‌ها در دمای ۵۰°C و ۶۰°C، سرعت خشک شدن ثابت به نظر می‌رسد، اما بررسی دقیق‌تر نتایج نشان می‌دهد که خشک شدن با سرعت ثابت در خرماى مضافتی وجود ندارد، چون در دوره خشک شدن با سرعت ثابت با افزایش سرعت جریان هوا، سرعت خشک شدن افزایش می‌یابد، در حالی که نتایج آزمایشات خرماى مضافتی نشان داد که افزایش دبی هوا در این دو دما، تأثیری بر سرعت خشک شدن ندارد.

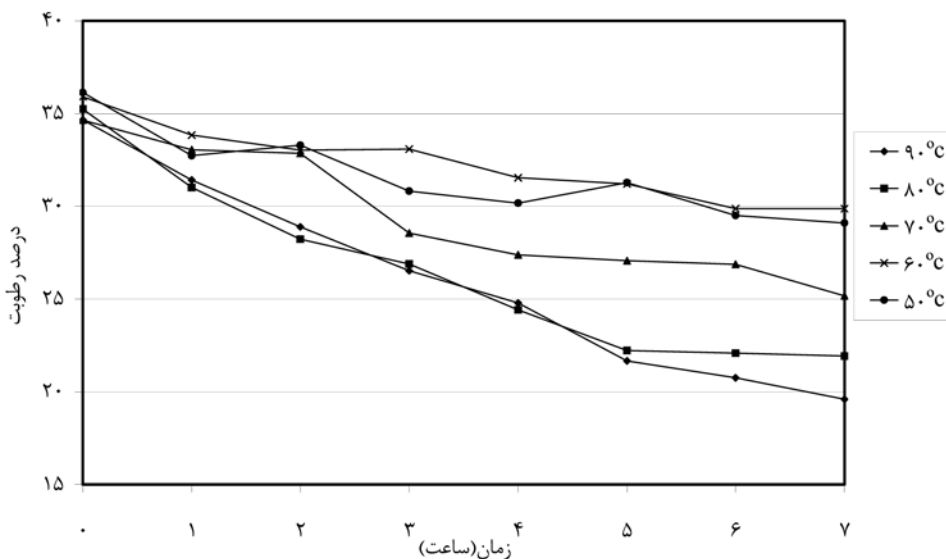
۰/۰۱۷، ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۲۰ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک در ساعت کاهش یافت. این نتایج بیانگر این است که خرما



شکل ۱- تغییرات رطوبت (بر حسب وزن مرطوب) خرما در طی خشک شدن در دماهای مختلف در سرعت جریان هوای ۱ m/s



شکل ۲- تغییرات رطوبت (بر حسب وزن مرطوب) خرما طی خشک شدن در دماهای مختلف در سرعت جریان هوای ۱/۵ m/s



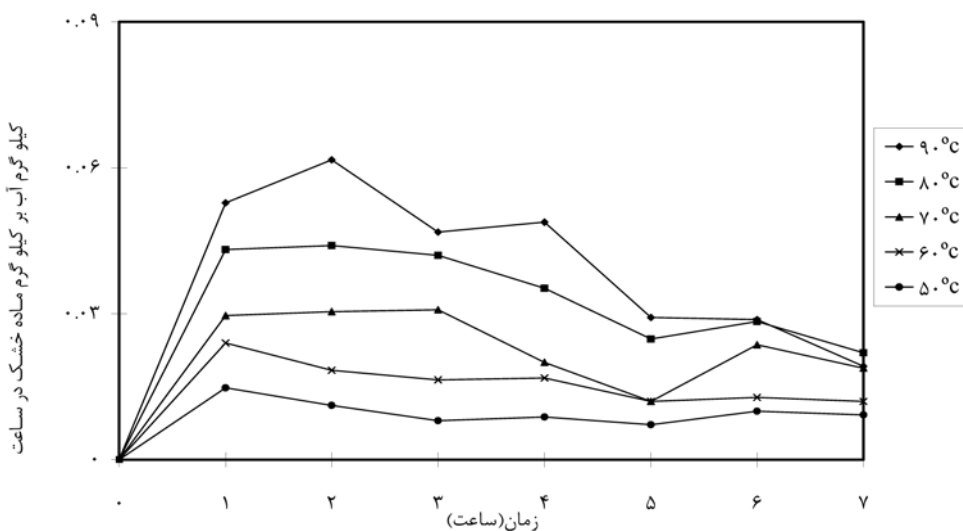
شکل ۳- تغییرات رطوبت (بر حسب وزن مرطوب) خرما طی خشک شدن در دماهای مختلف در سرعت جریان هوای ۲ m/s

انتشار اثر می‌گذارد، این امر باعث تسریع سرعت خشک شدن می‌شود و زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد.

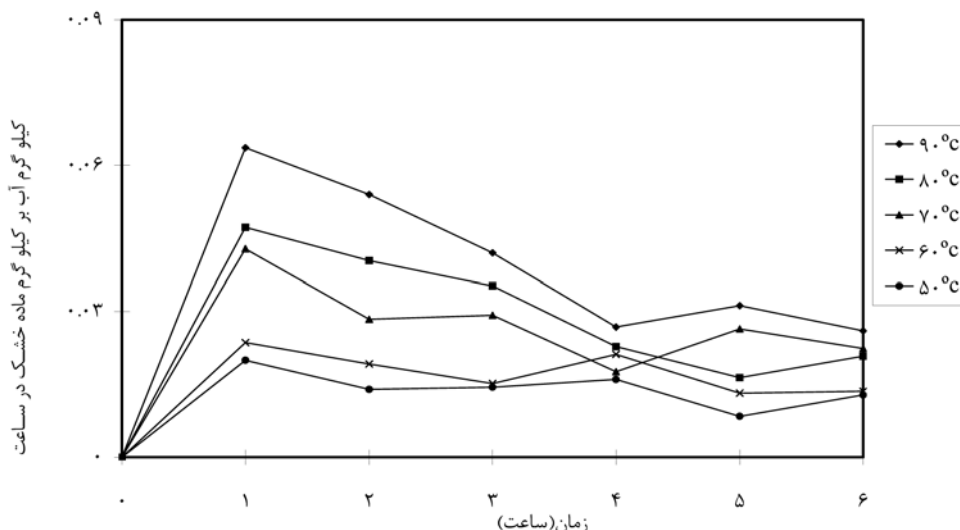
نتایج مشابهی در یافته‌های سایر محققین نیز گزارش شده است، از جمله Falad و همکاران (۲۰۰۷) در خشک کردن سه واریته خرما Red به این نتیجه رسیدند که هر سه واریته خرما در ناحیه خشک شدن نزولی قرار دارند و دما بیشترین نقش را بر سرعت خشک شدن آنها دارد. البته در تحقیق آنها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد سرعت خشک شدن کمتر از دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بود که آن را به کمک پدیده سخت شدن پوسته توجیه کردند، ولی ظاهراً این اتفاق در خرما مضافتی با این شدت اتفاق نمی‌افتد که شاید به دلیل پوست ضخیم خرما واریته مضافتی باشد. همچنین کاهش سرعت خشک شدن در تحقیق Bondaruk و همکاران (۲۰۰۷) دیده شد.

در دمای ۵۰°C هم افزایش جریان هوا روند مشخصی را نشان نداد، گرچه تا حدودی جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه میزان خشک کردن بهتری نسبت به دو جریان دیگر داشت و بین دو سرعت دیگر تفاوتی مشاهده نشد.

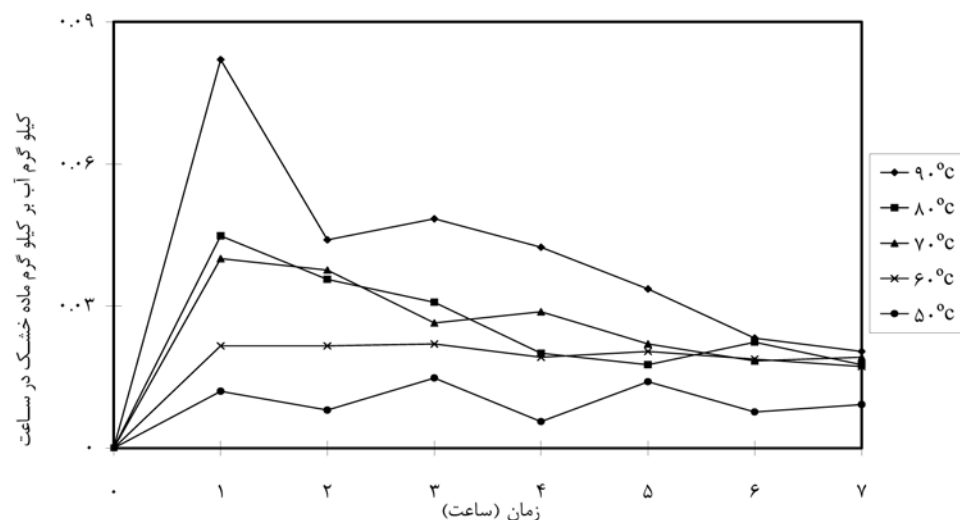
با توجه به داده‌های تغییرات رطوبت و سرعت خشک شدن می‌توان به این نتیجه رسید که نمونه‌های خرما مضافتی در ناحیه خشک شدن نزولی قرار دارند که این امر عدم تاثیر سرعت جریان هوا بر سرعت خشک شدن و بی‌اثر بودن میزان جریان هوا را در تغییرات رطوبت آنها را توجیه می‌کند، چون در این مرحله آنچه که سرعت خشک شدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد پدیده انتشار و حرکت مولکولهای آب در داخل ماده غذایی است و شرایط هوای خشک کن نظیر سرعت و فشار بر آن تاثیری ندارد، اما چون دما روی میزان



شکل ۴- تغییرات سرعت از دست دادن رطوبت در خرما در دماهای مختلف طی خشک شدن در سرعت جریان هوای ۱ m/s



شکل ۵- تغییرات سرعت از دست دادن رطوبت در خرما در دماهای مختلف طی خشک شدن در سرعت جریان هوای ۱/۵ m/s



شکل ۶- تغییرات سرعت از دست دادن رطوبت در خرما در دماهای مختلف طی خشک شدن در سرعت جریان هوای ۲ m/s

جدول ۱- مقایسه میانگین سرعت خشک شدن (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک در ساعت) خرما در طی فرایند خشک شدن در دبی ها و دماهای مختلف،**

دما (°C)	دبی (m/s)	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰
۹۰	۱	۰/۰۳۵ ± ۰/۰۲۰ ^{c, A}	۰/۰۲۹ ± ۰/۰۱۵ ^{c, A}	۰/۰۲۰ ± ۰/۰۱۰ ^{b, A}	۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۷ ^{ab, A}	۰/۰۰۹ ± ۰/۰۰۴ ^{a, A}
۸۰	۱/۵	۰/۰۳۳ ± ۰/۰۲۰ ^{c, A}	۰/۰۲۵ ± ۰/۰۱۵ ^{b, A}	۰/۰۲۴ ± ۰/۰۱۲ ^{b, A}	۰/۰۱۵ ± ۰/۰۰۷ ^{a, A}	۰/۰۱۲ ± ۰/۰۰۶ ^{a, B}
۷۰	۲	۰/۰۳۶ ± ۰/۰۲۳ ^{c, A}	۰/۰۲۴ ± ۰/۰۱۳ ^{b, A}	۰/۰۲۴ ± ۰/۰۱۳ ^{b, A}	۰/۰۱۸ ± ۰/۰۰۸ ^{b, A}	۰/۰۰۹ ± ۰/۰۰۶ ^{a, A}

*: هر عدد میانگین ۲۴ عدد مربوط به فاکتور مورد بررسی می باشد

** حروف کوچک متفاوت بیانگر تفاوت آماری معنی دار میان داده ها در هر سطر و حروف بزرگ متفاوت بیانگر تفاوت آماری معنی دار میان داده ها در هر ستون می باشد

(P < ۰/۰۵)

تاثیر خلاً به عنوان یک پارامتر بیرونی بر سرعت خشک کردن با روش مایکروویو بود که تاثیر چندانی بر روی سرعت خشک کردن نداشت. در تحقیقی که Waewsak و همکاران (۲۰۰۶) در مورد

در تحقیق آنها مشاهده شد که در خشک کردن سیب زمینی با هوای گرم، پس از یک افزایش اولیه، سرعت خشک شدن به تدریج کاهش پیدا می کند. دیگر نکته ای که در تحقیق آنها قابل توجه بود

از آن برای نگهداری خرما بدون نیاز به سردخانه استفاده کرد. خشک کردن مصنوعی با توجه به مزایایی که دارد نظیر زمان کوتاه‌تر خشک کردن و کنترل راحت‌تر و بهداشتی‌تر نسبت به روش خشک کردن طبیعی، می‌تواند گزینه مناسبی بخصوص برای خرماهای صادراتی باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش رطوبت خرما مضافی با روش خشک کردن مصنوعی امکان‌پذیر است و با این روش می‌توان نیاز به سردخانه را طی نگهداری مرتفع ساخت. دما عامل مهمی در افزایش سرعت خشک کردن در خرما است. در سرعت‌های جریان هوای مورد استفاده، مشخص شد که سرعت هوای خشک‌کن تأثیری در سرعت خشک شدن نداشت.

خشک کردن سه نوع محصول زراعی گورگیاه^۱، فلفل قرمز^۲ و لیموترش^۳ انجام دادند، مشخص شد که در این سه محصول سرعت خشک شدن در طی خشک کردن به تدریج کاهش می‌یابد که به این معنی است که این سه محصول در مرحله خشک شدن نزولی قرار دارند. همچنین در تحقیق آنها گزارش شد که دما نقش مهمی در کاهش زمان خشک کردن این سه محصول داشته است. این نتیجه در مطالعه Doymaz (۲۰۰۸) نیز مشاهده شد، ایشان گزارش دادند که خشک شدن تره فرنگی تماماً در مرحله خشک شدن نزولی قرار دارد. نتایج مشابهی در مطالعه Nindo و همکاران (۲۰۰۳) در مورد خشک کردن مارچوبه و تحقیق Hii و همکاران (۲۰۰۹) در مورد خشک کردن دانه‌های کاکائو تخمیری نیز دیده شد.

نتیجه گیری

خشک کردن خرما مضافی یکی از روش‌هایی است که می‌توان

منابع

- مصباحی، غ.، زمردیان، ع.، داداش زاده، م.، فرحناکی، ع.، ۱۳۸۵، بررسی مقایسه‌ای تولید کشمش به وسیله خشک کن خورشیدی و سایر روش‌های خشک کردن، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۲، ۶۱-۷۴.
- Bondaruk, J., Markowski, M. and Blaszcak, W., 2007, Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes, *Journal of Food Engineering*, 81, 306-312.
- Doymaz, T., 2008, Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices, *Chemical Engineering and Processing*, 47, 41-47.
- Falade, K. O. and Abbo, E. S., 2007, Air-drying and rehydration characteristics of date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.), *Journal of Food Engineering*, 31, 724-730.
- Hii, C. L., Law, C. L. and Cloke, M., 2009, Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa, *Journal of Food Engineering*, 90, 191-198.
- Kulkarni, S. G., Vijayanand, P., Aksha, M., Reena, P. and Ramana K. V. R., 2008, Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (*Phoenix dactylifera*), *Swiss Society of Food Science and Technology*, 41, 278-283.
- Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K. and Vegalvez, A., 2009, Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel, *Journal of Food Engineering*, 91, 297-304.
- Nindo, C. I., Sunb, T., Wangb, S. W., Tanga, J. and Powersb, J. R., 2003, Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.), *Swiss Society of Food Science and Technology*, 36, 507-516.
- Ratti, C., 2001, Hot air and freeze drying of high value foods: a review, *Journal of Food Engineering*, 49, 311-319.
- Saguy, I. S., Marabi, A. and Wallach, R., 2005, New approach to model rehydration of dry food particulates utilizing principles of liquid transport in porous media, *Trends in Food Science & Technology*, 16, 495-506.
- Waewsak, J., Chindaruksa, C. and Chindaruksa, S., 2006, A mathematical modeling study of hot Air drying for some agricultural products, *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 1, 112-121.
- Wang, J. and Xi, Y. S., 2005, Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process, *Journal of Food Engineering*, 68, 505-511.

1- Lemon grass

2- Red chili peppers

3- Leach lime leave