نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۱، ص. ۳۹۸-۳۹۳

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 8, No. 4, Winter 2013, p. 393-398

بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرمای مضافتی بوسیله خشک کن کابینی

حسن افشاری جویباری[۱]- عسگر فرحناکی[۲]- مهسا مجذوبی[۳]- غلامرضا مصباحی[۴*]- مهرداد نیاکوثری[۵]

تاریخ دریافت:۱۳۸۹/۱۲/۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۴/۱۹

چکیده

رطب مضافتی 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 می‌شود و به همین علت باید در یخچال نگهداری شود. در این تحقیق اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرمای مضافتی 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 خرمای مضافتی به روش خشک کردن مصنوعی (صنعتی) امکان پذیر است و می توان با کاهش رطوبت، نیاز به سردخانه را مرتفع ساخت.

واژه های کلیدی: خرمای مضافتی، خشک کردن، نگهداری خرما، سرعت جریان هوا

مقدمه

خشک کردن به دو صورت طبیعی یا مصنوعی انجام می‌شود. اولین گزارش ثبت شده در مورد استفاده از خشک کن و خشک کردن مصنوعی خرما، به تحقیقی توسط وینسون در ایالت آریزونای 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 حمله حشرات و پرندگان و نیاز به فضای کمتر اشاره کرد و از معایب آن می‌توان 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 می‌آورد یکی از فرایندهای دشوار در صنعت غذا می‌باشد (Wang *et al*., 2005). اکثر مواد غذایی نسبت به حرارت حساس می‌باشند چون باعث به وجود آمدن تغییراتی نظیر اکسیداسیون، تغییرات رنگ، چروکیدگی[6] یا کم شدن کیفیت بافت در اثر خروج آب و تغییر ارزش تغذیه ای در آنها می‌شود. به علاوه شرایط و تکنیک‌های خشک کردن باعث به وجود آمدن تغییراتی در ساختمان محصول خشک شده می‌شود 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 می‌افتد بستگی دارد. به همین علت استفاده از دمای پایین در طی خشک کردن باعث حفظ بهتر مواد غذایی می‌شود اما باعث طولانی تر شدن زمان خشک کردن می‌شود (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

۱،۲،۳،۴و۵- 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)

6- Shrinkage

Archive of SID
www.SID.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 خرمای خشک شده در تهیه شیرینی، اسنک (تنقلات)، محصولات قنادی و نانوایی 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 خشک‌کن 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.

نمونه‌برداری 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 ۲± درجه سانتی‌گراد و سه سطح دبی هوا ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه با نوسان ۰/۱± 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 ۱متر 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 ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۴، ۰/۰۲۴، ۰/۰۴۳ و ۰/۰۵۳ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک در ساعت بود که در ساعت هفتم آزمایش به حدود ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۲و 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، ۰/۰۴۷و 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

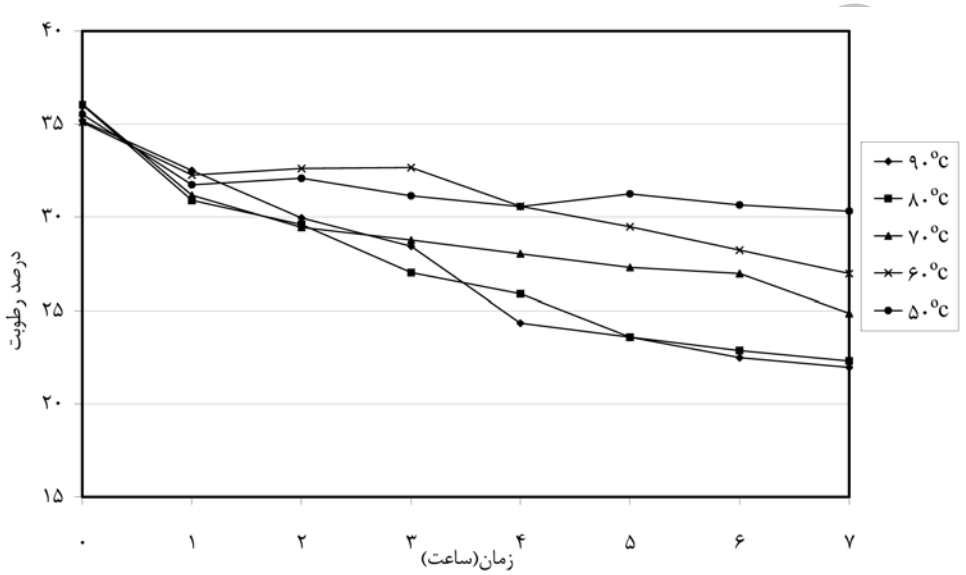
Archive of SID

www.SID.ir

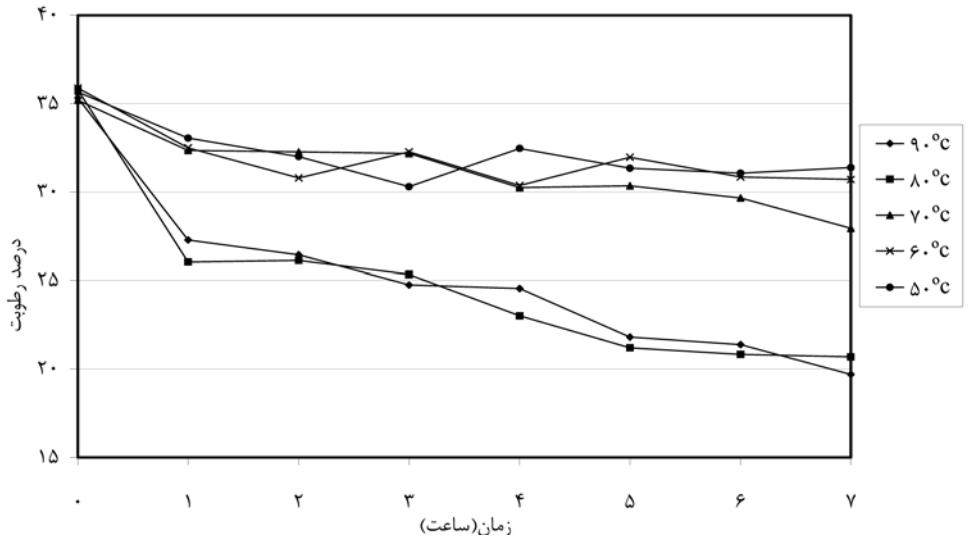
سرعت خشک کردن خرمای مضافتی سریعاً کاهش پیدا می‌کند، هرچند که ظاهراً در برخی از زمان‌ها در دمای ۵۰ °C و ۶۰ ، سرعت خشک شدن ثابت به نظر می‌رسد، اما بررسی دقیق تر نتایج نشان می‌دهد که خشک شدن با سرعت ثابت در خرمای مضافتی وجود ندارد، چون در دوره خشک شدن با سرعت ثابت با افزایش سرعت جریان هوا، سرعت خشک شدن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

۰/۰۰۱۷، ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۲۰ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک در ساعت کاهش یافت. این نتایج بیانگر این است که خرما مضافتی مورد آزمون، در مرحله خشک شدن نزولی قرار داشته است.

تأثیر سرعت‌های جریان هوا و دماهای مختلف بر سرعت خشک شدن خرمای 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 محدوده های مورد بررسی، تاثیر معنی داری بر میزان خشک کردن نداشته است.

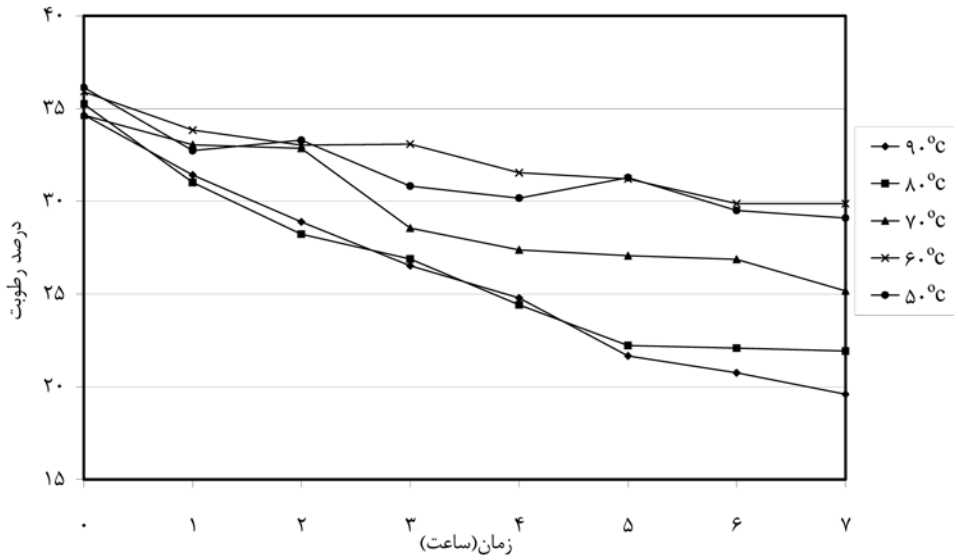


شکل۱- تغییرات رطوبت (بر حسب وزن مرطوب) خرما در طی خشک شدن در دماهای مختلف در سرعت جریان هوای ۱ m/s



شکل۲- تغییرات رطوبت (بر حسب وزن مرطوب) خرما طی خشک شدن در دماهای مختلف در سرعت جریان هوای ۱/۵ m/s

www.SID.ir

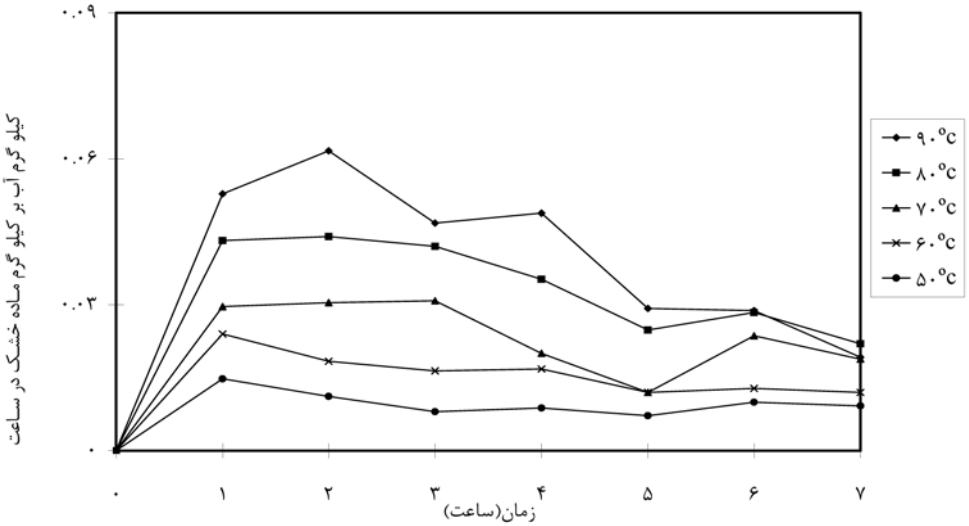


شکل۳- تغییرات رطوبت (بر حسب وزن مرطوب) خرما طی خشک شدن در دماهای مختلف در سرعت جریان هوای۲ m/s

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 نمونه های خرما مضافتی در ناحیه خشک شدن نزولی قرار دارند که این امر عدم تاثیر سرعت جریان هوا بر سرعت خشک شدن و بی اثر 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 انتشار اثر می‌گذارد، این امر باعث تسریع سرعت خشک شدن می‌شود و زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد.

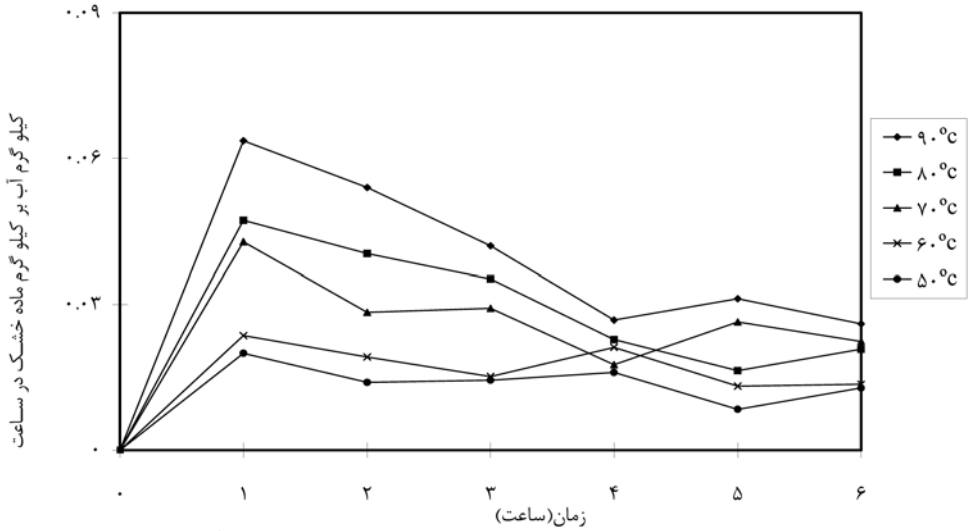
نتایج مشابهی در یافته های سایر محققین نیز گزارش شده است، از جمله Falad و همکاران (۲۰۰۷) در خشک کردن سه واریته خرمای Red به این نتیجه رسیدند که هرسه واریته خرما در ناحیه خشک شدن نزولی قرار دارند و دما بیشترین نقش را بر سرعت خشک شدن آنها دارد. البته در تحقیق آنها در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد سرعت خشک شدن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



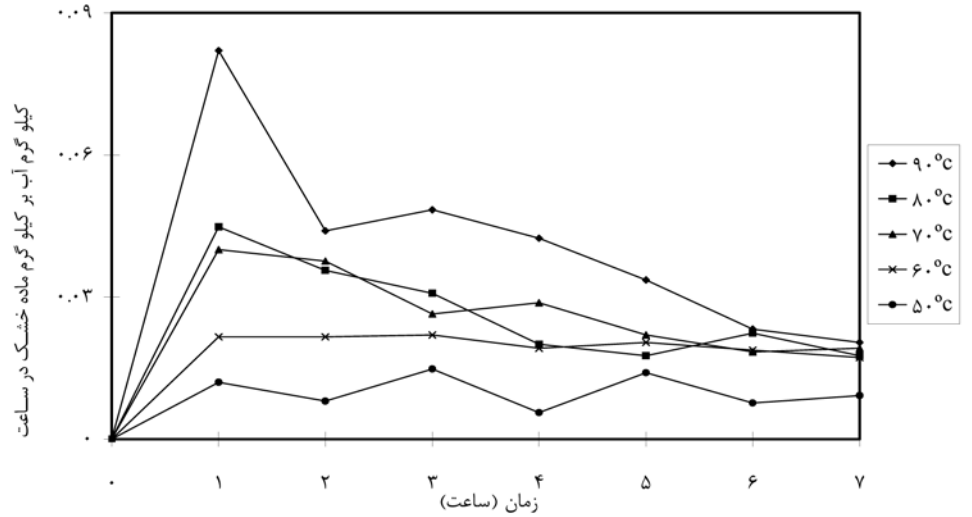
شکل٤- تغییرات سرعت از دست دادن رطوبت در خرما در دماهای مختلف طی خشک شدن در سرعت جریان هوای۱ m/s

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۵- تغییرات سرعت از دست دادن رطوبت در خرما در دماهای مختلف طی خشک شدن در سرعت جریان هوای ۱/۵ m/s



شکل٦- 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)	۵۰	٦۰	۷۰	۸۰	۹۰
۱	۰/۰۰۹ ±۰/۰۰۴ ^{a,A}	۰/۰۱۴ ±۰/۰۰۷ ^{ab,A}	۰/۰۲۰ ±۰/۰۱۰ ^{b,A}	۰/۰۲۹ ±۰۱۵ ^{c,A}	۰/۰۳۵ ±۰/۰۲۰ ^{c,A}
۱/۵	۰/۰۱۲ ±۰/۰۶۲ ^{a,B}	۰/۰۱۵ ±۰/۰۰۷ ^{a,A}	۰/۰۲۴ ±۰/۰۱۲ ^{b,A}	۰/۰۲۵ ±۰/۰۱۵ ^{b,A}	۰/۰۳۳ ±۰/۰۲۰ ^{c,A}
۲	۰/۰۰۹ ±۰/۰۰۶ ^{a,A}	۰/۰۱۸ ±۰/۰۰۸ ^{b,A}	۰/۰۲۴ ±۰/۰۱۳ ^{b,A}	۰/۰۲۴ ±۰/۰۱۳ ^{b,A}	۰/۰۳۶ ±۰/۰۲۳ ^{c,A}

*: هر عدد میانگین ۲۴ عدد مربوط به فاکتور مورد بررسی می‌باشد

**: حروف کوچک متفاوت بیانگر تفاوت آماری معنی دار میان داده‌ها در هر سطر و حروف بزرگ متفاوت بیانگر تفاوت آماری معنی دار میان داده ها در هر ستون می‌باشد ($P<۰/۰۵$)

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 می‌کند. دیگر نکته ای که در تحقیق آنها قابل توجه بود تاثیر خلأ 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

www.SID.ir

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 دانه های کاکائو تخمیری نیز دیده شد.

نتیجه گیری

خشک کردن خرمای مضافتی یکی از روشهایی است که می‌توان 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 راحت تر و بهداشتی تر نسبت به روش خشک کردن طبیعی، می‌تواند گزینه مناسبی بخصوص برای خرماهای صادراتی باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش رطوبت خرمای مضافتی با روش خشک کردن مصنوعی امکان پذیر 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 سرعت های جریان هوای مورد استفاده، مشخص شد که سرعت هوای خشک‌کن تاثیری در سرعت خشک شدن نداشت.

منابع

مصباحی، غ.، زمردیان، ع.، داداش زاده، م.، فرحناکی، ع.، ۱۳۸۵، بررسی مقایسه ای تولید کشمش به وسیله خشک کن خورشیدی و سایر روش های خشک کردن، مجله پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ۲ ، ۷۴-۶۱.

Bondaruk, J., Markowski, M. and Blaszczak, 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 (*Pheonix 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 officials, 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, l, 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

Archive of SID

www.SID.ir