ارزیابی تاثیر دما بر روند خشک شدن محصول سیب و گلابی در خشک کن هوای داغ با بستر ثابت

مرتضی امامی[۱]، مجتبی ناصری[۱*]، فاضل فاضلی[۱]، مصطفی پروانلو[۲]

۱- مدرس، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

۲- فارغ التحصیل کارشناس ارشد مکانیزاسیون از دانشکده کشاورزی دانشگاه رامین خوزستان

* ایمیل نویسنده مسئول: mst.2020@gmail.com

چکیده

نحوه انتقال گرما در فراهم کردن انرژی لازم برای بخار شدن رطوبت به عنوان یک عامل اساسی در مرحله خشک کردن است. در این طرح دو مطالعه جداگانه در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار که در آن سه سطح دمایی (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد) بر روی زمان خشک شدن (رسیدن به میزان رطوبت ۱۳ درصد) را در دو محصول سیب و گلابی با استفاده از خشک کن هوای داغ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی خراسان رضوی در سال ۱۳۹۴ انجام شد. نتایج نشان داد برای خشک کردن (رسیدن به میزان رطوبت مطلوب) محصول هم در سیب و هم در گلابی بین دماهای ۶۰ و دو دمای ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری وجود دارد. نتایج نشان داد که از دست دادن رطوبت میوه ها در اویل زمان خشک شدن سریعتر از زمان های پایانی می باشد و نمودار بدست آمده از یک تابع خطی تبعیت نکرده و به صورت منحنی بود. در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد زمان رسیدن به رطوبت ۱۳ درصد در محصول سیب ۲۰۶ دقیقه طول کشید و با افزایش دما به ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد زمان رسیدن به رطوبت نهایی به ترتیب حدود ۴۱ و ۴۰ درصد کاهش یافت. در محصول گلابی اعمال تیمار دمایی ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد رسیدن به رطوبت ۱۳ درصد به ترتیب در زمان های ۲۲۰، ۱۸۵ و ۱۲۳ دقیقه بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که برای رسیدن به میزان رطوبت نهایی ۱±۱۳ درصد در محصول سیب دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و با زمان ۱۲۰ دقیقه و در محصول گلابی در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۲۳ دقیقه می باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک کن هوای داغ، دما، زمان خشک کردن، سیب، گلابی

مقدمه :

از آنجا که انتقال گرما یکی از فرآیندهای اصلی در فرآیند خشک کردن محصول‌های کشاورزی می‌باشد. نحوه انتقال گرما در فراهم کردن انرژی لازم برای بخار شدن رطوبت به عنوان یک عامل اساسی در مرحله خشک کردن است. به طور کلی روش‌های خشک کردن را می‌توان بر اساس شیوه انتقال گرما به جسم‌تر یا خصوصیات به‌کارگیری و خواص فیزیکی ماده مرطوب طبقه بندی کرد. لذا مکانیزم انتقال گرما به جسم‌تر جهت خشک کردن محصول حائز اهمیت می‌باشد که بر اساس آن مکانیزم‌های خشک

کردن را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: الف) خشک کردن به روش هدایت، ب) خشک کردن به روش همرفت، پ) خشک کردن به روش تابش. در بسیاری از سیستم‌ها هر سه عامل به طورهم‌زمان عمل می‌کنند. به طور معمول خشک کردن به روش همرفت برای همه انواع دانه قابل استفاده است ولی خشک کردن به روش رسانش برای خشک کردن دانه‌هایی که نیاز به درجه حرارت بالا جهت خشک شدن دارند استفاده می‌شود(عسگری اصلی اراده، ۱۳۸۴). خشک کردن میوه ها و سبزی ها یکی از قدیمی ترین روش های شناخته شده برای نگهداری مواد غذایی است از آنجایی که میوه ها و سبزی ها به دلیل رطوبت بالا به عنوان غذاهای فاسد پذیر در نظر گرفته می شوند و فرایند خشک کردن می تواند آب ماده غذایی را در حد قابل قبولی کاهش دهد از این رو خشک کردن می تواند از طریق کاهش آب، فعالیت میکروبی و آنزیمی را محدود کرده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی حین انبارداری را به حداقل برساند و عمر انبارداری را بالا ببرد. همچنین خشک کردن می‌تواند محصولات جدیدی تولیدکرده، وزن و حجم محصولات را کاهش داده، بسته بندی را راحت‌ترکرده و هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری محصولات را کم کند (Domaz, 2007). میوه‌ها و سبزی‌ها در طی خشک شدن به طور تدریجی رطوبت خود را از دست می‌دهند و کاهش رطوبت تا زمان رسیدن به رطوبت تعادلی با محیط ادامه می‌یابد. به عبارت دیگر نرخ خشک شدن، به میزان محتوای رطوبت محصول و محیط وابسته است. همچنین در طی فرآیند خشک شدن انتقال حرارت و انتقال جرم به طور هم زمان اتفاق می افتد. یعنی حرارت به داخل ماده نفوذ کرده و موجب تبخیر رطوبت آن می‌شود و رطوبت تبخیر شده از منافذ ماده به خارج از آن راه می یابد (عسگری اصلی ارده، ۱۳۸۴). خشک کردن می‌تواند باعث کاهش کیفیت خوراکی و ارزش غذایی شود و آسیب‌های ساختاری غیر قابل برگشت در غذا ایجاد کند. هدف از طراحی تجهیزات خشک کردن به حداقل رساندن این تغییرات است که با انتخاب شرایط مناسب برای خشک کردن مواد غذایی محقق می‌شود. ساختار مواد غذایی خشک شده به روش و شرایط خشک کردن مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت هوا و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه محصول بستگی دارد، از آنجا که دما یکی از عوامل مهم این تغییرات است، خشک کردن در دمای پایین برای کیفیت بالای محصول مناسب‌تر است می‌توان جهت کاهش زمان خشک کردن از روش‌های نوین خشک کردن کمک گرفت (Duttaroy and Jorgensen, 2004).

در یک بررسی از پوشش نشاسته ژلاتینه و شرایط دمایی بالا ۱۷۵ درجه سانتی گراد (در مدت زمان ۱۱ دقیقه، برای حجیم کردن سیب) خشک استفاده شد. دانسیته ظاهری گزارش شده تا حدود ۱۶۰ کیلو گرم بر متر مکعب کاهش یافته بود که در مقایسه با مقدار بدست آمده با روش ذکر شده در ا ین تحقیق رقمی قابل توجه است. اما بایستی توجه کرد که در روش بکار گرفته در محصول خشک شده فضاهایی بزرگ و حباب مانند تشکیل میگردد که از نظر ظاهری چندان مطلوب نیست، همچنین در این تحقیق از دماهای بالا استفاده شده که صرفنظر از هزینه بالا موجب تغییراتی نامطلوب در بافت نمونه می‌شود(Torreggiani, 1995).

در تحقیقی تأثیر سرعت هوای خشک‌کننده و نحوه خشک کردن بر روی مدت زمان لازم برای خشک کردن انگور در یک خشک‌کن خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که میزان هوای خشک‌کننده و نحوه بکارگیری دستگاه برای خشک

کردن انگور اثر معنی‌داری بر روی مدت زمان خشک شدن محصول داشت و وجود زمان‌های استراحت دهی مدت زمان لازم برای خشک شدن محصول را کاهش داده است (Lewicki, 1998). محققان سرعت خشک کردن، میزان آبگیری مجدد و چروکیدگی کیوی را طی خشک کردن توسط جریان هوای داغ، ماکروویو و روش ترکیبی ماکروویو- هوای داغ بررسی نمودند. بررسی‌ها نشان داد که در هر سه روش مورد استفاده، خشک کردن درسرعت نزولی صورت می‌گیرد. همچنین خشک کردن توسط انرژی ماکروویو باعث افزایش سرعت خشک کردن، افزایش میزان چروکیدگی و کاهش میزان آبگیری مجدد نسبت به دو روش دیگر می‌شود (Maskan, 2001).

استفاده ترکیبی از فرآیند خشک کردن توسط هوای داغ و ماکروویو می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های ساختاری و حجم توده قارچ خشک شده شود. با این وجود هندسه خاص و ویژگی‌های دی الکتریکی قارچ، باعث حرارت دهی بیش از حد آن و محدودیت استفاده از این فرآیند می‌شود. آبگیری اسمز علاوه بر اینکه باعث کاهش بخشی از آب ماده غذایی و بهبود طعم آن می‌شود، موجب تغییر ویژگی‌های دی الکتریکی آن نیز می‌گردد و استفاده از پیش تیمار اسمز قبل از خشک کردن توسط روش ترکیبی هوای داغ- ماکروویو باعث کاهش زمان خشک کردن و چروکیدگی و بهبود آبگیری مجدد قارچ خشک شده می‌شود. خشک کن‌های تحت خلأ برای محصولات حساس به گرما استفاده می‌شوند(مرتضوی، ۱۳۸۳)، در سال ۱۹۷۸ چارم یک خشک کن خلأیی را مورد بررسی قرار داد و توانست یک فرمول برای محاسبه زمان و سرعت خشک شدن ارائه دهد (Charm,1978).

در مطالعه ای استفاده از دستگاه خشک کن خلأ اثر پارامترهای دما، فشار، ضخامت محصول و اندازه ذرات محصول را در سرعت خشک شدن بررسی شد و نتایج نشان داد که رابطه مستقیمی بین افزایش دما و افزایش فشار خلأ با افزایش نرخ خشک شدن وجود دارد و افزایش ضخامت لایه خشک شونده و اندازه ذرات باعث کاهش سرعت خشک شدن می شوند (Gelasco, 2005). برنان و همکاران (۱۹۹۰) یک خشک کن خلأ نواری ساختند و به بررسی فشارهای مختلف پرداختند که در نهایت آن‌ها فشار مطلق ۷ کیلو پاسکال را پیشنهاد نمودند که این فشار، دمای جوش آب را تا ۳۹ درجه کاهش می‌دهد(Brennan et al. , 1990).

در تحقیقی لی و همکاران(2006) میزان آبگیری مجدد آوا کادو، سیب، موز و سیب زمینی خشک شده به روش انجمادی را بررسی نمودند و بیان کردند که بسته به نوع میوه، میزان رسیدگی و شرایط انجماد، محصول خشک شده تا ۹۰ درصد از رطوبت اولیهٔ خود را طی آبگیری مجدد به دست می‌آورد. همچنین جذب آب در ۳۰ دقیقه اول غوطه‌وری بسیار سریع صورت گرفته، سپس با سرعت آهسته‌تری ادامه می‌یابد و نیز سرعت آبگیری مجدد آوا کادو زمانی که آب در جهت طولی حرکت می‌کند، نسبت به حالت عرضی بیشتر است. در مطالعه ای دیگری استفاده از یک خشک کن خلایی آزمایشگاهی اثر فشار و دما و میزان رطوبت را در سرعت خشک شدن و میزان چروکیدگی بادمجان در شرایط فشار ۲/۵، ۵ و ۱۰ کیلو پاسکال و دمای ۳۰ تا ۵۰ درجه بررسی شد و برای آن یک مدل مناسب نیز ارائه شد که نسبت به مدل‌های دیگر از دقت بالایی برخوردار بود. در این تحقیق بین افزایش دما

سرعت خشک شدن یک رابطه مستقیم وجود داشت در حالی که فشار داخل محفظه در خشک شدن تأثیر معنی داری نداشته است و یک رابطه خطی بین میزان چروکیدگی و محتوای رطوبتی پایه مشاهده شده است (Lee et al, 2007).

در تحقیقی دیگر اثر ضخامت محصول و دما در سرعت خشک شدن تربچه با یک لایه به ضخامت‌های متغیر ۴ و ۶ میلی متر در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار ثابت ۵ کیلو پاسکال با استفاده از یک دستگاه خشک کن خلایی آزمایشگاهی مطالعه کرد، زمان خشک شدن در بازه گرمایی فوق برای ضخامت ۴ میلی متر بین ۳ تا ۷ ساعت و در ضخامت ۶ میلی متر از ۷ تا ۱۰ ساعت گزارش کرد و با یک مقایسه دقیق‌تر زمان خشک شدن در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۴ میلی متر با زمان خشک شدن تربچه در ضخامت ۶ میلی متر ولی دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد یکسان بود (Pathak,2009).

بررسی ها نشان می دهد که در جهت استفاده از روش‌های نوین خشک کردن و ارتقاء آن‌ها به منظور افزایش کیفیت نهایی محصول و افزایش سرعت این فرآیند مطالعات اندکی در ایران وجود دارد؛ لذا این تحقیق با هدف امکان سنجی فرآوری سیب و گلابی توسط خشک کن هوای داغ انجام شد.

مواد و روش ها

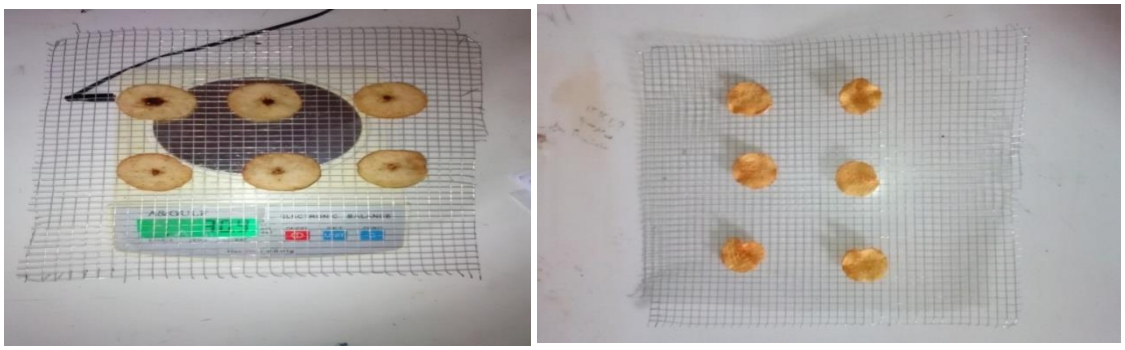
به منظور ارزیابی روش خشک کردن روی ویژگی های محصول سیب و گلابی دو آزمایش به صورت جداگانه در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در سال ۱۳۹۴ انجام شد که در آن سه سطح دمایی (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد) بر روی میزان رطوبت محصول مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به اینکه اکثر مناطق قابل کشت سیب در آسیای مرکزی و گلابی در آسیای غربی و اروپای شرقی به ویژه شمال غرب ایران کشت می شود، که در سیب رقم مالوس و در گلابی از نوع شاه میوه اصفهان گلابی نطنز و محمد علی مشهد می‌باشد. از رقم مالوس در سیب و محمد علی شاه در گلابی برای انجام تحقیق استفاده شد. پس از تهیه این دو رقم در یخچال در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. از لحاظ اندازه، نمونه‌هایی در آزمایش استفاده شدند که دارای اندازه متوسط بودند. قبل از شروع آزمایش‌های خشک کردن، نمونه‌های سیب و گلابی به ورقه‌هایی به ضخامت ۵ میلیمتری با استفاده از برنده ماشین دستی بریده شد، تمام نمونه‌ها تا آخرین آزمایش توسط یک سیلندر با قطر ۲۶ میلیمتر برش زده شد (شکل ۱). برای دست یابی به یک رطوبت مطلوب در نمونه‌ها هر ۳۰ دقیقه یک بار نمونه‌ها توسط ترازی دیجیتال مدلTE214Sبا دقت ۰/۱ گرم ساخت کشور آلمان وزن شدند تا به رطوبت مورد نظر رسیدند (شکل ۲). روش خشک کردن مورد استفاده در خشک کن استفاده از هوای داغ بود. خشک کن قبل از شروع هر آزمایش، به مدت سی دقیقه روشن می شد تا به حالت مطلوب و پایدار برسد.

به منظور تعیین محتوای رطوبتی سیب تازه و خشک شده نمونه ها را وزن کرده و در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. پس از خارج کردن از درون آون و توزین، محتوای رطوبتی بر مبنای وزن مرطوب (MC) از رابطه زیر محاسبه گردید (مرتضوی، ۱۳۸۱).

$$MC = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

در این رابطه *Win* و *Wout* به ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از قرار دادن در آون است. لازم به ذکر است محتوای رطوبتی سیب تازه بر مبنای وزن مرطوب ۱±۸۷/۵درصد و گلابی ±۹۰/۴ درصد بود. داده ها با استفاده از نرم افزای Mstat C آنالیز و میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

شکل ۱- نمونه آزمایشی سیب و گلابی تازه برش خورده توسط ماشین دستی



(ب) (الف)

شکل ۲- نمونه بعد از خشک شدن. الف) سیب ب) گلابی

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر دما بر زمان خشک کردن در هر دو محصول سیب و گلابی معنی دار ($p<0/05$) بود (جدول ۱). در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد زمان رسیدن به رطوبت ۱۳ درصد در محصول سیب ۲۰۶ دقیقه طول کشید و با افزایش دما به ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد زمان رسیدن به رطوبت نهایی به ترتیب حدود ۴۱ و ۴۰ درصد کاهش یافت (جدول ۱).

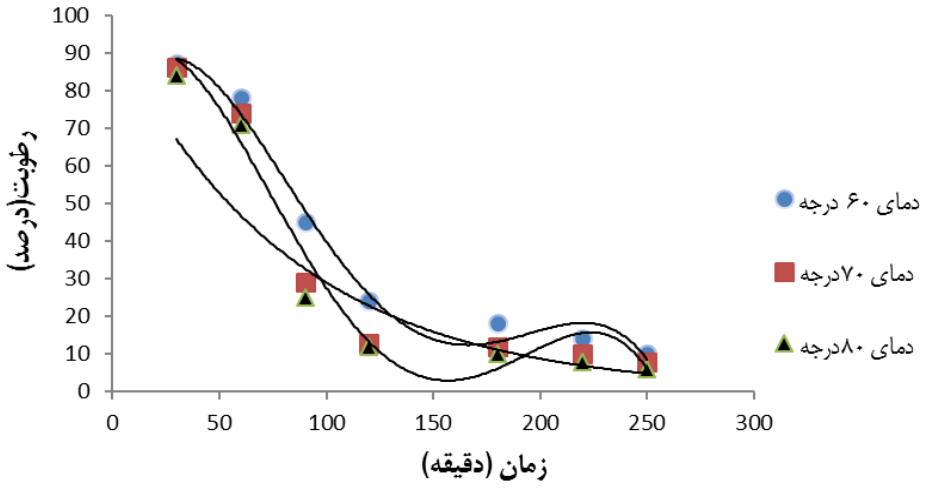
بر اساس شکل ۳ سرعت خشک شدن یا به عبارت دیگر بین مقدار رطوبت نهایی محصول و زمان رابطه‌ای معکوس وجود دارد و شیب منحنی در زمان بین ۱ تا ۲/۵ ساعت در دماهای مختلف متفاوت است. این نتایج، با نتایج فلاحی (۱۳۷۰) و آغباشلو (۱۳۸۷) که گزارش دادند، هنگامی که مواد غذایی خشک می‌شوند درصد رطوبت به میزان ثابت کاهش نمی‌یابد؛ سازگاری داشت. در مطالعه دیگر گلاسکومیتاکلین (۲۰۰۵) گزارش داد رابطه‌ای مستقیم بین افزایش دما و افزایش سرعت خشک شدن در محصول تربچه وجود دارد.

در محصول گلابی اعمال تیمار دمایی ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد رسیدن به رطوبت ۱۳ درصد به ترتیب در زمان های ۲۲۰، ۱۸۵ و ۱۲۳ دقیقه بود (جدول ۱). افزایش زمان رسیدن به درصد رطوبت مربوط به آبدار بودن بافت گلابی نسبت داده شده است. این نتایج با نتایج منفرد که بر روی خشک کردن شلغم درسال (۲۰۱۲)کارکرده بود سازگاری داشت. بر اساس شکل ۴ روند تغییرات رطوبتی محصول گلابی در دمای ۶۰ و ۷۰ از یک شیب همسانی تبعیت می کند در صورتی که با افزایش دما تغییرات چشمگیری در افت میزان دصد رطوبت در محصول گلابی مشاهده می شود.

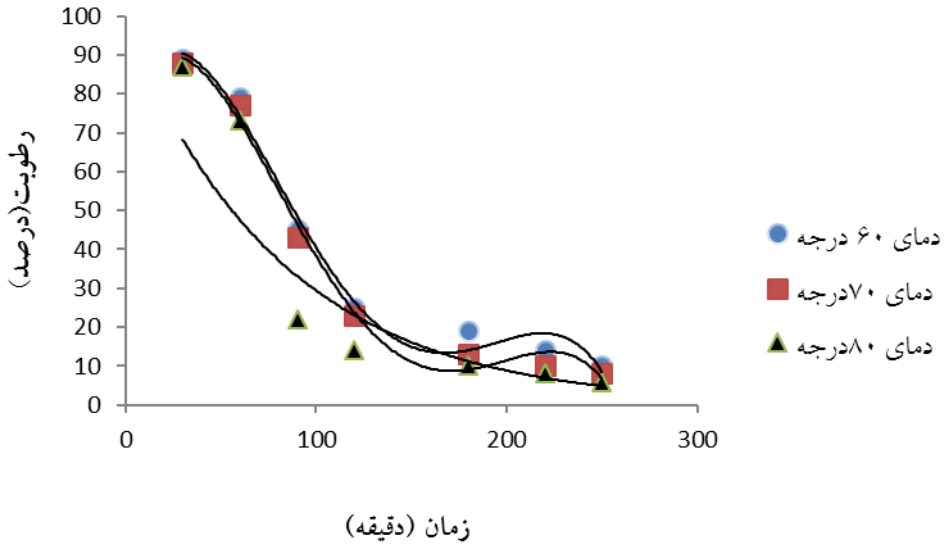
جدول ۱- مقایسه میانگین های زمان خشک شدن در سطوح مختلف دمایی بر روی دو محصول سیب و گلابی

تیمار دما (درجه سانتی گراد)	زمان خشک شدن به دقیقه	
	سیب	گلابی
۶۰	۲۰۶^{a}	۲۲۰^{a}
۷۰	۱۲۰^{b}	۱۸۵^{b}
۸۰	۱۲۳^{b}	۱۲۳^{c}

میانگین های که درارای حروف مشترکند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری با هم ندارند



شکل ۳- میزان درصد طوبت محصول سیب در خشک کن هوای داغ



شکل ۴. میزان رطوبت گلابی در خشک کن هوای داغ

به طور کلی بررسی ها نشان می دهد که روش مطلوب خشک کردن هر نوع محصول بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در شکل، طعم، رنگ، بافت و ارزش غذایی با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین می‌شود. مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی مورد نظر محصول، اندازه قطعات و شکل هندسی آن‌ها می‌باشد. به طور کلی هر چه محصول ضخیم‌تر باشد زمان بیشتری جهت خارج کردن رطوبت مورد نیاز خواهد بود. همچنین هرچه سطح تماس محصول با هوا بیشتر باشد سرعت خشک شدن افزایش می‌یابد. علت آن است که با سطح آزاد بیشتر، سطح بیشتری در تماس با محیط حرارتی قرار گرفته و رطوبت تبخیر شده زیادتر می‌شود.

همچنین با ایجاد ذرات کوچک‌تر یا ورقه‌های نازک‌تر، فاصله‌ای که گرما باید طی کند تا به مرکز محصول برسد کمتر شده و در نتیجه رطوبت زودتر به سطح محصول می‌رسد.

نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که مناسب ترین دما برای خشک کردن سیب ۷۰ درجه سانتی‌گراد در زمان ۱۲۰ دقیقه و در محصول گلابی ۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۲۳ دقیقه به بهترین حالت خشک شدن (رسیدن به میزان رطوبت ۱۳ درصد) می باشد. که حاکی از آن است از دست دادن رطوبت محصول سیب نسبت به محصول گلابی سریعتر بوده و این عامل را می توان ناشی از بافت محصول دانست.

منابع

آغباشلو، م. ۱۳۸۷. ساخت و ارزیابی خشک‌کن آزمایشی نیمه مداوم برای میوه‌های کوچک و سبزیجات بر اساس سینتیک خشک شدن به صورت لایه نازک، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

توکلی پور، ح. ۱۳۸۰. خشک کردن مواد غذایی: اصول و روش‌ها. چاپ اول انتشارات آییژ، تهران.

عسگری اصلی ارده، ع. ۱۳۸۴. تکنولوژی بعد از برداشت غلات، حبوبات، میوه‌جات، سبزیجات. موسسه فرهنگی انتشاراتی یاوران. اردبیل.

فتحی، م. ۱۳۸۸. بررسی کینتیک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بعد بر خالی کیوی خشک شده به روش ترکیبی اسمز هوای داغ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

فلاحی، م. ۱۳۷۰. علم مواد غذایی، کشت و صنعت چین. جلد ۱. ص ۲۸۸.

گوستاو باریوسا ، کانواس هامبرتو ، گامر کارو، ترجمه: سید علی مرتضوی ، مسعود شفافی زنوزیان. روش‌های خشک کردن مواد غذایی ۱۳۸۳. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Brenann, J. G., Butters, J. R., Cowell, N. D., and Lilley, A. E. U. 1990. Dehydration. In *Food Engineering Operations*. Third edition. Elsevier Applied Science, New York.

Charm, S. E. 1978. Dehydration of foods. In *The Fundamental of Food Engineering*, Third edition, AVI Publishing, Westport, CT.

Domaz, I. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes, Journal of Food Engineering, 78: 1291-1297

Duttaroy, A. and Jorgensen,A. 2004. Effects of kiwi fruit consumption on plateletaggregation and plasma lipids in healthy human volunteers.*Platelets*, 15: 287- 292.

Glaxosmithkline, 2005.Vacuum contact drying kinetics :an experimental parametric study. *drying technology*, 23(vacuum drying): p. 15.

Lee, J.H.and Kim, H.J. 2007.Vacuum drying kinetics of Asian white radish (Raphanus sativus L.) slices. LWT - Food Science and Technology, 42(1) : p. 180-186.

Lee,K.T. Farid, M., and Nguang, S.K. 2006.The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits.Journal of Food Engineering, 72: 16-23.

Lewicki, P.P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods, Journal of Food Engineering, 36: 81-87.

Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying.Journal of Food Engineering, 48: 177-182

Pathak, R.A. 2009. Multi-Objective Optimization Problem using Grey Taguchi Method, in Department of Mechanical Engineering.National Institute of Technology: Rourkela.

Torreggiani , D., R. T. Toledo, & G. Bertolo. 1995. Optimization of vapor Induced Puffing in Apple Dehydration. Journal of Food Science –volume 60, No. 1 .