



بررسی ویژگی‌های بافتی میوه گلابی طی فرآیند خشک کردن در خشک کن قفسه‌ای

محمد مهدی حیدری فروشانی^۱، سید مهدی نصیری*^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۱

چکیده

در این تحقیق روند تغییرات ویژگی‌های بافتی گلابی در تیمارهای مختلف خشک شدن به صورت لایه نازک در یک خشک کن قفسه‌ای در تیمارهای مختلف دما و سرعت هوای خشک کن مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. آزمایش‌های خشک کردن در سه سطح دما (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و سه سطح سرعت هوا (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) انجام گرفت و ویژگی‌های بافتی نمونه‌های گلابی در پنج سطح محتوای رطوبتی (۸۲، ۶۶، ۵۱، ۳۵ و ۲۰ درصد بر اساس وزن مرطوب) در شرایط مختلف خشک کردن اندازه‌گیری شد. در این پژوهش از یک سیستم داده برداری بر-خط برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها در طول فرایند خشک کردن تغییر کرده و این تغییرات مرتبط با شرایط خشک کردن است. با کاهش رطوبت محصول طی فرایند خشک شدن سختی بصورت خطی کاهش و قابلیت ارتجاعی و چسبندگی به صورت خطی افزایش یافت. قابلیت جویدن در دامنه رطوبت اندازه‌گیری شده روند سهمی شکل از خود نشان داد به نحوی که بیشترین مقدار آن در محدوده رطوبت ۴۰ تا ۵۰ درصد مشاهده شد. تجزیه واریانس نشان داد تاثیر دما بر ویژگی‌های سختی، قابلیت ارتجاعی و قابلیت جویدن معنی‌دار ($P < 0/01$) بود در حالی که بر پیوستگی و چسبندگی معنی‌دار نبود. افزون بر آن، مشخص شد که اثر سرعت هوا بر تمام این ویژگی‌ها معنی‌دار است. از آنجا که بر اساس نتایج به دست آمده کمترین مقدار قابلیت جویدن (۰/۴۶ ژول) مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱ متر بر ثانیه بوده این تیمار بعنوان مطلوب‌ترین تیمار خشک کردن گلابی پیشنهاد می‌گردد. مدت زمان خشک شدن در این تیمار در حدود ۳۳/۵ ساعت بود که از کمترین زمان خشک شدن در شرایط ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۱/۵ متر بر ثانیه تقریباً ۲۴ ساعت طولانی‌تر و از بلندترین آن در شرایط خشک شدن ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۰/۵ متر بر ثانیه در حدود ۶/۵ ساعت کوتاه‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: گلابی، خشک کردن، ویژگی‌های بافتی، خشک کن قفسه‌ای

مقدمه

دیگر نیازی به تجهیزات سردخانه‌ای برای حفظ آن‌ها نیست. همچنین خشک کردن میوه‌ها امکان تولید محصولات با طعم و بافت متنوع را افزایش می‌دهد. (Earle, 1988; Hayashi, 1989). خشک کردن یک فرایند پیچیده است که هنوز مکانیسم انجام آن بطور کامل درک نشده است. واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی پیچیده‌ای در طول مدت فرایند خشک شدن صورت می‌پذیرد که این واکنش‌ها ویژگی‌های بافتی و ریزساختاری میوه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر کاهش رطوبت تا سطح معین باعث چروکیدگی حجمی^۳ میوه می‌شود (Guine et al., 2007a; Nassiri & Heydari, 2014). چروکیدگی بافت سلولی با کاهش فشار تورمی (ترژسانس) رابطه داشته و نتیجه این امر نیز ایجاد تغییرات در ویژگی‌های بافتی محصول است. ویژگی‌های بافتی نقش مهمی در کیفیت محصول خشک شده دارد و شاخصی مهم برای تعیین میزان بازار پسندی محصول است (Ferreira et al., 2008).

در میان میوه‌ها خشک کردن انگور، انجیر، آلو، زرد آلو و هلو

بطور کلی اکثر میوه‌ها به علت دارا بودن رطوبت بالا، حساس به فساد می‌باشند و پس از برداشت باید به مصرف تازه‌خوری برسند و یا اینکه به روش خاصی نگهداری شوند. یکی از این روش‌ها، خشک کردن می‌باشد. خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها یکی از قدیمی‌ترین روش‌های حفظ آن‌ها بوده و هم اکنون نیز یک روش عملی برای افزایش ماندگاری آن‌ها است. هنگامی که مقدار رطوبت اضافی از میوه خارج شود زمان نگهداری آن از طریق مهار کردن رشد میکروبی و کاهش فعالیت آنزیمی افزایش می‌یابد (Moradi & Zomorodian, 2009). از دیگر مزایای خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها کاهش اندازه‌ی آن بوده که این امر برای حمل و نقل و ذخیره‌سازی قابل اهمیت است. از سوی دیگر با خشک کردن میوه‌ها

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* - نویسنده مسئول: (Email: mnasiri@shirazu.ac.ir)

نگهداری شدند. از این میوه‌ها نمونه‌های آزمایش به دست آمد. برای تهیه نمونه‌ی گلابی اهداف زیر مد نظر قرار گرفت:

الف) نمونه جدا شده از گلابی دارای بافت همگن (بدون پوست و دانه) باشد تا نتایج آزمون بافت حداقل پراکنش داده‌ها را داشته باشد.
ب) نمونه خشک شده به شکلی باشد که بتوان آن را به صورت مستقیم به بازار عرضه کرد.

ج) ابعاد نمونه خارج شده به گونه‌ای باشد که چروکیدگی حجمی نمونه پس از خشک شدن آنقدر نباشد که انجام آزمون بافت بر روی نمونه‌ها را غیرممکن سازد.

با توجه به موارد گفته شده و پس از انجام آزمون‌های اولیه، نمونه‌ها از قسمت بالای گلابی و با ابعاد $2 \times 2 \times 5/2$ سانتی‌متر تهیه شدند. این نمونه‌ها فاقد هسته و پوست بوده و برای کاهش اثر برش بر بافت نمونه‌های گلابی، نمونه‌ها با استفاده از تیغه‌های جراحی از میوه جدا شدند. بمنظور جلوگیری از قهوه‌ای شدن آنزیمی، نمونه‌ها پس از جداسازی از میوه به مدت یک دقیقه در محلول ۱ درصد سدیم متابی سولفیت ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) قرار داده شدند. سپس قبل از قرار گرفتن نمونه‌ها در خشک‌کن، محلول از سطح آن‌ها به وسیله‌ی فیلتر کاغذی جدا شد (Khin *et al.*, 2007)

خشک کردن و اندازه‌گیری محتوای رطوبتی نمونه

برای بررسی اثر هوای خشک‌کن بر محصول سه دما و سه سرعت هوا برای خشک کردن گلابی در خشک‌کن قفسه‌ای انتخاب شد. دماهای هوای خشک‌کن ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Guine *et al.*, 2007b). عملاً این محدوده دمایی امکان استفاده از خشک‌کن‌های تجاری مجهز به منبع حرارتی خورشیدی را نیز ممکن می‌سازد. سرعت هوای مورد استفاده برای خشک کردن نیز $0/5$ ، 1 و $1/5$ متر بر ثانیه تنظیم گردید. این محدوده‌ی سرعت هوا در تحقیقات گذشته نیز استفاده و پیشنهاد شده بود (Akpınar *et al.*, 2003; Guine *et al.*, 2007a)

برای انجام آزمایش‌ها از یک خشک‌کن نوع قفسه‌ای آزمایشگاهی (شکل ۱) که در بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شد بود، استفاده شد (Zomorodian & Amanlou, 2010). تعداد ۶ قطعه آماده شده بر روی سینی توری شکل خشک‌کن قرار داده شد. این توری بصورت معلق در فضای خشک‌کن به زیر یک ترازوی دیجیتال (A&D مدل GF600 با دقت $\pm 0/001$ گرم) آویزان شد تا امکان توزین نمونه‌ها بدون خارج کردن آن‌ها از داخل خشک‌کن را میسر سازد. برای کنترل دمای هوای خشک‌کن از یک کنترل کننده دما (آتین سری SINUS، ساخت ایران) استفاده شد. حسگر این کنترل کننده از نوع ترموکوپل مدل PT100 با دقت $\pm 0/1$ درجه سانتی‌گراد بود. تغییر سرعت هوا

مرسوم و تجاری بوده و خشک کردن سیب، گلابی، موز و آناناس با توجه به سودآوری آن‌ها اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Woods & Phoungchandang, 2000; Togrul & Pehlivan, 2002).

خشک کردن گلابی در ایران بصورت سنتی و با استفاده از انرژی خورشید انجام می‌شود. برای این کار ابتدا قسمت خراش خورده یا ضربه دیده (لکه دار شده) را از میوه جدا کرده سپس میوه را به اندازه‌های مناسب تقسیم کرده در معرض نور خورشید قرار می‌دهند تا مقداری از رطوبت خود را از دست بدهد و پس از آن میوه‌ها را تا رسیدن به رطوبت مطلوب و بافت مناسب در سایه خشک می‌کنند. این شیوه خشک کردن رو باز دارای مشکلات بهداشتی از قبیل، قرار گرفتن در معرض انواع حشرات، کرم‌ها، موش‌ها، پرنده‌گان و گرد و غبار می‌باشد (Moradi & Zomorodian, 2009). صرف نظر از مشکلات بهداشتی، این شیوه خشک کردن به میزان زیادی به شرایط آب و هوا وابسته است. با توجه به این موضوعات این روش خشک کردن لزوماً روش ارزان قیمتی در مقایسه با سایر روش‌های خشک کردن نیست چون قیمت محصول خشک شده تابع کیفیت حاصل شده نهایی است (Guine, 2006).

یکی از روش‌های تجاری خشک کردن میوه‌ها، عبور دادن هوای گرم از روی محصول در خشک‌کن‌های قفسه‌ای می‌باشد (Yagcioglu *et al.*, 1999). در این خشک‌کن‌ها شرایط هوای ورودی (دما و سرعت هوا) باید بگونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر ارزش غذایی محصول، بافت مطلوب (مورد پسند مشتری) را در محصول حفظ نماید (Zomorodian & Amanlou, 2010).

با توجه به موارد ذکر شده، تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات ویژگی‌های بافتی گلابی در حین فرایند خشک شدن تا رسیدن به رطوبت نهایی در یک خشک‌کن قفسه‌ای، در شرایط مختلف هوای ورودی از لحاظ دما و سرعت انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند شرایط بهینه برای طراحی خشک‌کن‌های هوشمند (پارامتر متغیر) را مشخص نماید.

مواد و روش

آماده‌سازی نمونه‌های گلابی

میوه گلابی از رقم شاه میوه از یک باغ واقع در شهرستان خمینی شهر به صورت دست چین تهیه شد و پس از انتقال به دانشگاه شیراز تا زمان آزمایش در یخچال با دمای 1 ± 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. اندازه بزرگ این رقم امکان تهیه نمونه‌های مکعبی با کیفیت تقریباً یکسان را فراهم می‌ساخت. میوه‌ها قبل از انجام آزمون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ژرمیناتور (مدل JTGL 100، ساخت شرکت ژال تجهیز) در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد

مورد استفاده برای انجام آزمون‌ها BONGSHIN مدل DBBP-50 با حداکثر ظرفیت ۵۰ کیلوگرم نیرو (ساخت کشور کره) بود. آزمون فشاری دو سیکیلی به اندازه ۵ میلی‌متر با یک پروب به قطر ۶ میلی‌متر از جنس آلومینیوم و صفحه زیرین آن به قطر ۷۵ میلی‌متر از جنس آلومینیوم صورت پذیرفت. مقدار ۵ میلی‌متر جابجایی پروب پس از تماس آن با سطح نمونه‌ها (شکل ۲) با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه صورت پذیرفت (Khin *et al.*, 2007). ویژگی‌های بافت از روی نمودار نیرو-زمان بر اساس آنچه بورن^۳ (۲۰۰۲) بیان داشته، محاسبه و تعیین شد. این ویژگی‌ها عبارت بودند از:

الف) سختی: حداکثر نیروی اعمال شده طی مرحله نخست فشردن را نشان می‌دهد و این شاخص به صفات نرمی یا سفتی ماده‌ی غذایی مربوط است

ب) چسبندگی: کار لازم برای جدا کردن صفحه‌ی فشار دهنده‌ی دستگاه از ماده‌ی غذایی را نشان می‌دهد و به صفات حسی چسبی و لعابی بودن ماده‌ی غذایی مربوط است

ج) قابلیت ارتجاعی: طول سیکل فشاری در طی مرحله دوم فشردن را نشان می‌دهد و معرف مقدار ارتجاعی است که در مدت زمان بین انتهای مرحله اول فشردن و شروع مرحله دوم فشردن در محصول بازیابی می‌شود. این شاخص به صفات پلاستیک و الاستیک بودن جسم مربوط می‌شود

د) پیوستگی: نسبت کار انجام یافته طی مرحله دوم به کار انجام یافته در مرحله اول فشردن است

ه) قابلیت جویدن: حاصل ضرب سه ویژگی سختی، پیوستگی و قابلیت ارتجاعی بوده و انرژی لازم برای هضم دهانی و جویدن مواد غذایی جامد را نشان می‌دهد.



شکل ۲- پروب و صفحه‌ی زیر نمونه در آزمایش بافت

تعیین روند تغییرات ویژگی‌های بافت در حین خشک شدن

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بافت گلابی در حین فرایند خشک شدن، خصوصیات نام برده شده قبلی در پنج سطح محتوای رطوبتی (۸۲، ۶۶، ۵۱، ۳۵ و ۲۰ درصد بر اساس وزن مرطوب) در

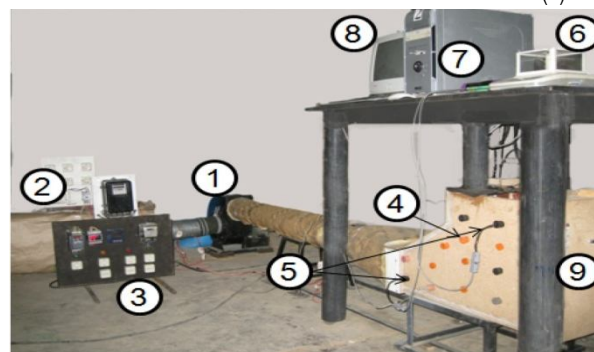
نیز با تغییر گردش دمنده با استفاده از دستگاه الکتریکی کنترل دور یا اینورتور (هیوندای مدل N50، ساخت کشور کره) صورت گرفت. در طی خشک شدن وزن نمونه‌ها از طریق اتصال مستقیم ترازوی دیجیتال به رایانه در هر ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد. در هر بار قرائت وزن که به مدت ۳۰ ثانیه به طول می‌انجامد، حدود ۱۵ داده وزن ثبت گردید. وزن خشک نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به دست آمد و در نهایت رطوبت نمونه‌ها مطابق با روش گوین^۱ و همکاران (۲۰۰۷b) اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که منحنی رطوبتی (سینتیک خشک شدن) تغییرات نسبت رطوبت به زمان را بیان می‌کند. نسبت رطوبت که مشخص کننده فرآیند خشک کردن است با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه در هر لحظه در طی خشک شدن با رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$MR = \frac{M_d - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

که MR نسبت رطوبت، M_d رطوبت نمونه در لحظه حاضر بر پایه خشک، M_e رطوبت تعادلی و M_0 رطوبت اولیه نمونه است.

براساس تحقیقات انجام شده برای محصولات با رطوبت زیاد معادله (۱) به صورت معادله (۲) ساده می‌گردد (Wang & Singh, 1978). در نتیجه برای محاسبه نسبت رطوبت نیازی به اندازه‌گیری رطوبت تعادلی نیست.

$$MR = \frac{M_d}{M_0} \quad (2)$$

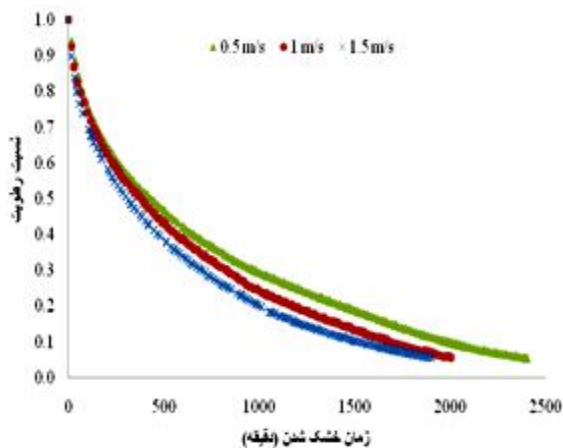


شکل ۱- سامانه خشک‌کن: اجزای این خشک‌کن شامل

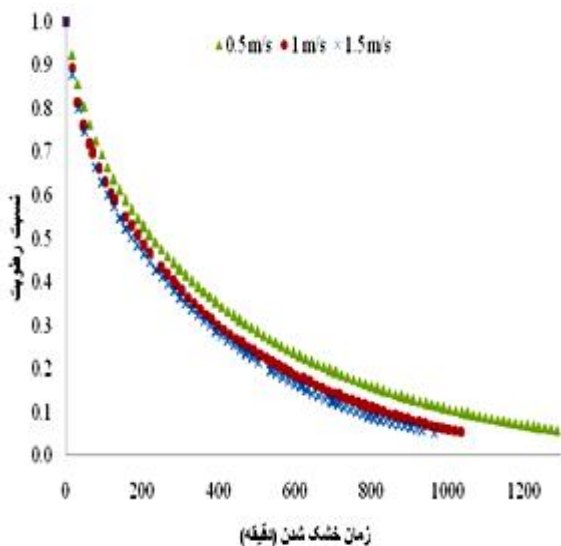
- ۱- دمنده
- ۲- تونل گرم‌کن هوا
- ۳- سیستم کنترل سرعت و دمای خشک‌کن
- ۴- اتاقک خشک‌کن
- ۵- سنسورهای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی در دهانه ورودی و خروجی
- ۶- ترازو
- ۷- دیتالاگر
- ۸- کامپیوتر
- ۹- در خشک‌کن.

تحلیل پروفیل بافت (TPA^۲) نمونه‌ها

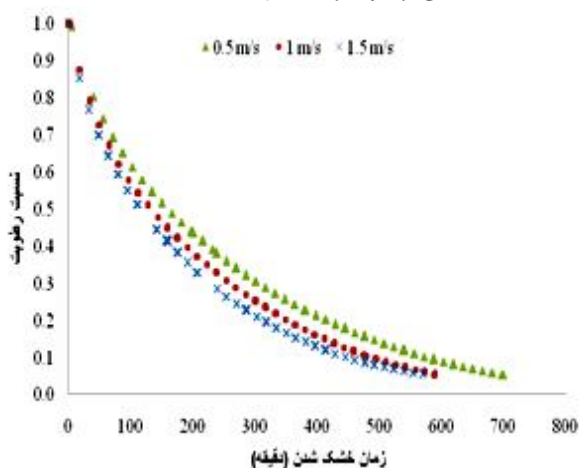
آزمون بافت و اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی با استفاده از دستگاه اینستران (مدل STM 20، ساخت شرکت سنتام) انجام شد. نیروسنج



شکل ۳- تغییرات نسبت رطوبت به زمان در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت‌های مختلف.



شکل ۴- تغییرات نسبت رطوبت به زمان در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت‌های مختلف.



شکل ۵- تغییرات نسبت رطوبت به زمان در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت‌های مختلف.

تیمارهای مختلف خشک کردن با پنج نمونه مورد آزمایش قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

اثرات دما و سرعت هوا طی فرایند خشک شدن گلابی در رطوبت‌های مختلف بر ویژگی‌های بافتی میوه گلابی بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در نرم‌افزار SPSS (16) مورد بررسی قرار گرفت و میانگین بین تیمارهای مختلف با آزمون دانکن در سطح یک درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی روند خشک شدن گلابی

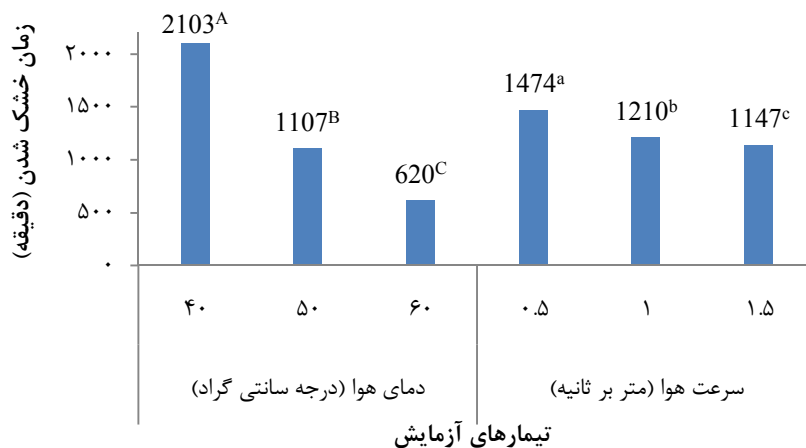
میزان محتوای رطوبتی اولیه نمونه‌ها به صورت میانگینی از ۳۰ نمونه تصادفی برابر با 82 ± 1 درصد بر اساس وزن مرطوب اندازه‌گیری شد. خشک شدن تا زمان رسیدن محتوای رطوبت نمونه‌ها به ۲۰ درصد بر پایه وزن مرطوب ادامه داشت. این میزان با توجه به تحقیق انجام شده توسط گوین (۲۰۰۶) انتخاب شد. این محقق نشان داد که فعالیت آبی در این محتوای رطوبتی در حدی است که فعالیت آنزیمی و میکروبی گلابی را کاهش داده و گلابی خشک شده کیفیت خود را از دست نمی‌دهد. تغییرات نسبت رطوبتی نمونه‌های گلابی طی شرایط مختلف خشک‌کن کابینتی در شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. در این نمودارها رطوبت محصول با نرخ نزولی نسبت به زمان خشک شدن تغییر می‌کند. افزایش دما باعث کاهش رطوبت نسبی هوای خشک‌کردن و در نتیجه افزایش پتانسیل جذب رطوبت هوای خشک‌کن می‌گردد که این امر کاهش زمان خشک کردن را در پی خواهد داشت. افزایش سرعت هوای خشک‌کن نیز به دلیل افزایش حجم کل هوای خشک کردن مورد استفاده با پتانسیل جذب رطوبت بالا، باعث کاهش زمان خشک کردن می‌شود (Heydari & Nassiri, 2015).

مقایسه میانگین اثرات دما و سرعت هوا بر روی مدت زمان خشک شدن با آزمون توکی در شکل ۶ نشان می‌دهد هر سه سطح دما و سرعت هوا در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. این نمودار نشان می‌دهد که تغییر دما تأثیر بیشتری در اختلاف بین مدت زمان خشک شدن تیمارها گذاشته است. همچنین مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف خشک شدن با آزمون توکی در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس شکل تمام تیمارها به جز دو تیمار سرعت ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری (سطح ۱٪) در مدت زمان خشک شدن دارند.

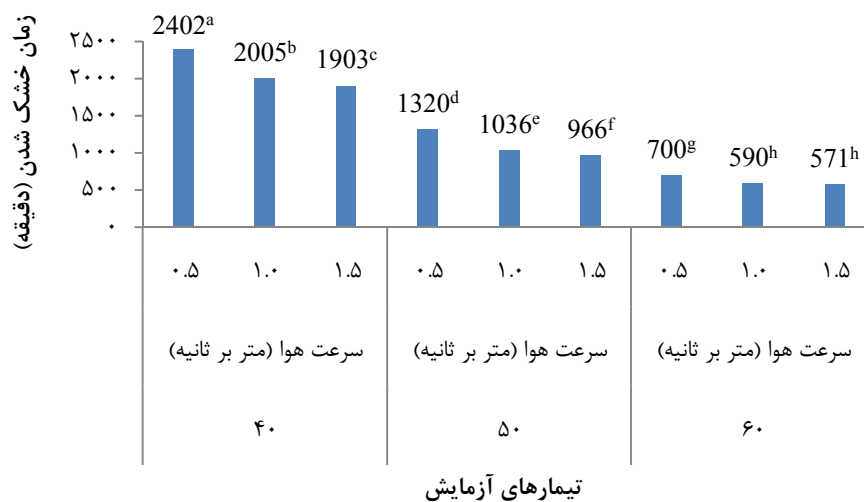
روند تغییرات ویژگی‌های بافتی

چسبندگی، قابلیت ارتجاعی، پیوستگی و قابلیت جویدن به ترتیب ۳۳۶، ۱۸۳، ۱۸۳ و ۲۴۱ و ۱۹ بدست آمد که در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ویژگی‌های بافتی نشان داد که در سطوح مختلف محتوای رطوبتی خصوصیات معنی‌داری در نمونه‌های در حال خشک شدن پدید آمده است. مقدار F برای سختی،



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر عامل‌های اصلی دما و سرعت هوا بر مدت زمان خشک شدن (حروف لاتین متفاوت در هر عامل اصلی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر شرایط هوای خشک‌کن کابینتی بر مدت زمان خشک شدن

(حروف لاتین متفاوت در هر تیمار نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند)

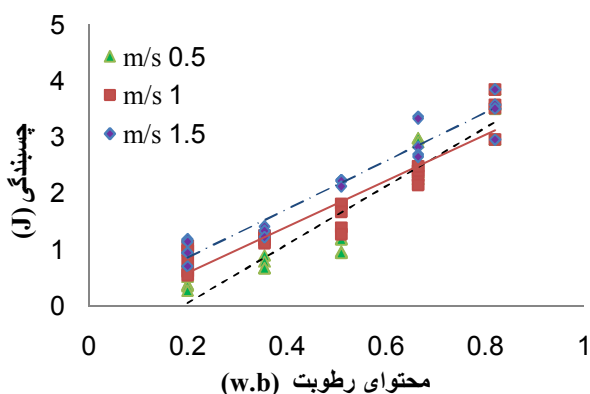
سختی

روند تغییرات سختی در شرایط مختلف خشک شدن در شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد که با کاهش محتوای رطوبت، سختی نمونه‌های گلایی بصورت نمایی کاهش پیدا کرده است. سختی نمونه‌های اولیه قبل از خشک کردن به علت بالا بودن فشار تورمی سلول‌ها بوده و به

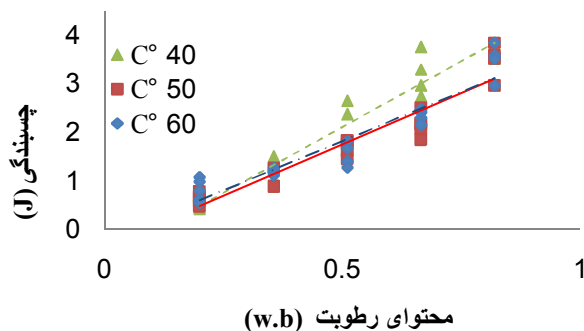
بر اساس نتایج بدست آمده از تیمار حلال‌های مختلف، بیشترین اثر بازدارندگی بر میکروارگانیزم‌های مورد آزمایش مربوط به تیمار سبزه (جدول ۱) می‌باشد. علت این امر را می‌توان درصد استحصال بیشتر عصاره برگ گیاه حرا و در نتیجه استخراج بیشتر مواد موثر در توسط تیمار سبزه ذکر نمود.

چسبندگی

روند تغییرات چسبندگی با تغییرات محتوای رطوبتی نمونه‌ها در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، نشان داده شده است. همان طور که مشخص است با کاهش محتوای رطوبتی، میزان چسبندگی بصورت خطی کاهش پیدا کرده است. این بدان معنی است که کار لازم برای غلبه بر نیروی کشش بین سطح پروب و نمونه‌ها با کاهش رطوبت کم می‌شود. دلیل این امر را می‌توان در کاهش چسبندگی سطحی دانست زیرا چسبندگی به میزان قابل توجهی به رطوبت سطحی نمونه وابسته است (Adhikari et al., 2001) که با خشک شدن لایه‌های سطحی گلابی طی خشک شدن از این میزان کاسته می‌شود.



شکل ۱۰- تغییرات میزان چسبندگی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد



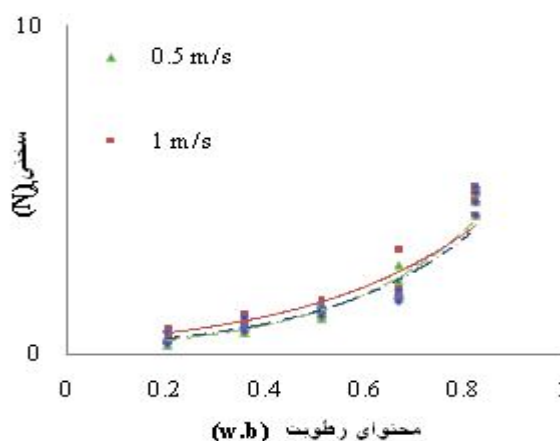
شکل ۱۱- تغییرات چسبندگی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در سرعت ۱ متر بر ثانیه

روند کاهش چسبندگی با کاهش رطوبت در دماهای مختلف به طوری است که چسبندگی نهایی آن‌ها تفاوتی نسبت به هم نشان نمی‌دهند (تاثیر دمای هوای خشک کردن بر ویژگی چسبندگی معنی دار نشده است (جدول ۲)).

قابلیت ارتجاعی

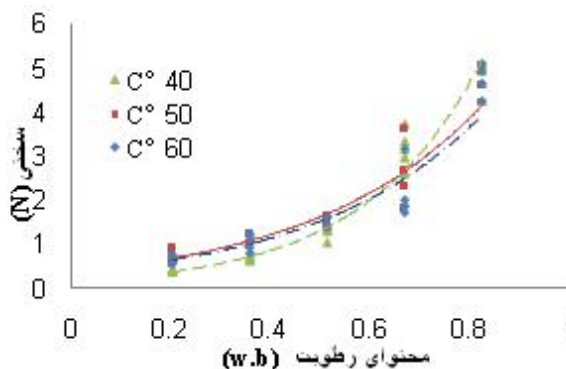
روند تغییرات قابلیت ارتجاعی در شرایط مختلف خشک شدن در

تدریج که این رطوبت از سلول‌ها خارج گردیده از مقاومت آن کاسته شده است (Ferreira, et al. 2008). علاوه بر آن چسبندگی و پیوستگی سلول‌ها به علت کاهش آب میان سلولی نیز کاهش یافته است که این موضوع نیز باعث کاهش مقاومت بافت محصول در مقابل نیروی خارجی می‌شود (Ferreira, et al. 2008). نزدیک شدن محتوای رطوبتی در لایه‌های بیرونی و درونی نمونه‌ها به یکدیگر طی خشک شدن و به عبارتی کاهش شیب (گرادیان) رطوبتی در درون محصول، کاهش سختی در طول خشک شدن را باعث می‌شود (Janjai et al., 2008a).



شکل ۸- تغییرات ویژگی سختی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

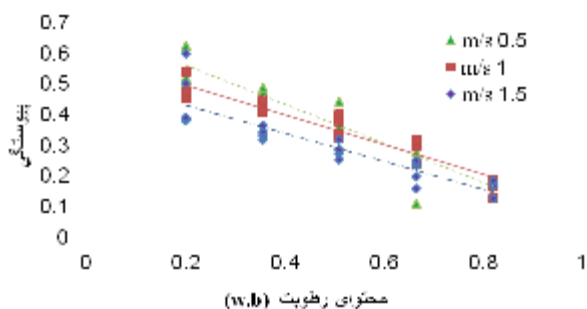
علاوه بر این، نتایج نشان داد که نمونه‌های خشک شده با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سختی کمتری نسبت به دو دمای دیگر داشتند (در جدول ۳ نشان داده شده که سختی نمونه‌های خشک شده با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد دارای تفاوت معنی‌دار با دو دمای دیگر است). دلیل این امر را می‌توان ناشی از خشک شدن یکنواخت‌تر نمونه‌ها از سطح نمونه تا مرکز (شیب رطوبتی کمتر) با توجه به شیب دمای کمتر (Janjai et al., 2008b) و مدت زمان بیشتر قرار گرفتن نمونه‌ها در خشک‌کن برای رسیدن به یک رطوبت یکسان دانست.



شکل ۹- تغییرات ویژگی سختی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در سرعت ۱ متر بر ثانیه

پیوستگی

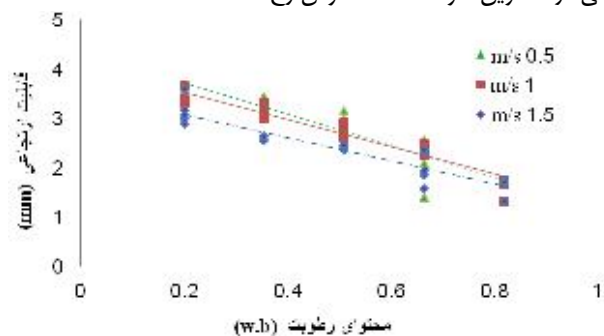
تغییر ویژگی پیوستگی با تغییر محتوای رطوبتی نمونه‌ها در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشخص گردیده است با کاهش محتوای رطوبت پیوستگی به صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین در شکل ۱۴، مشخص است که منحنی‌ها در دمای ثابت و سرعت‌های مختلف شکلی واگرا نسبت به هم دارا هستند که این امر یکنواختی نمونه‌های اولیه از لحاظ بافتی و تاثیر تیمار خشک کردن در پراکنش این ویژگی‌های را نشان می‌دهد. پیوستگی کار انجام شده در سیکل فشاری دوم نسبت به کار انجام شده به سیکل فشاری اول است. به عبارتی میزان انرژی صرف شده طی فشار دوم دندان‌ها به نمونه به این میزان در فشار اول می‌باشد. بنابراین برای بررسی تغییر پیوستگی نیاز به بررسی تغییر سطح زیر نمودار در سیکل فشار اول و دوم می‌باشد. به همین منظور برای نمونه، تغییر این سطوح برای دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در شکل‌های ۱۶ و ۱۷، نشان داده شده است. همانطور که مشخص است با کاهش محتوای رطوبت میزان سطح زیر نمودار (کار انجام شده) در سیکل اول و سیکل فشاری دوم کاهش پیدا کرده است ولی نرخ کاهش مربوط به سطح زیر منحنی در سیکل اول بیشتر از سطح دوم است که این امر در نهایت افزایش پیوستگی را به همراه دارد. مقادیر شیب این منحنی‌ها در محتوای رطوبتی مختلف در جدول ۱، نشان داده شده است.



شکل ۱۴- تغییرات ویژگی پیوستگی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

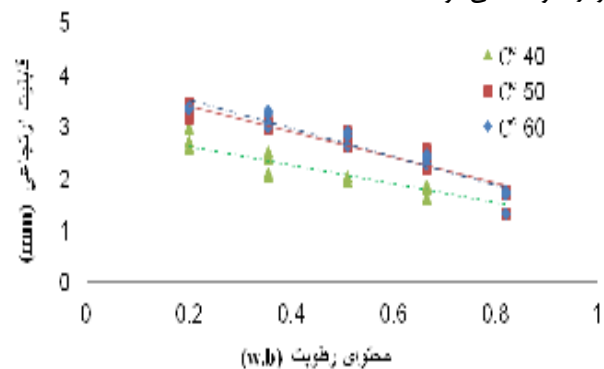
نمودار تغییر پیوستگی در دماهای مختلف و سرعت ۱ متر بر ثانیه در شکل ۱۵، نمایش داده شده است. نمودارهای دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد دارای شیب یکسان است بطوری که پیوستگی در رطوبت‌های یکسان تفاوت معنی‌داری نسبت بهم نشان نمی‌دهند (در جدول ۳ نشان داده شده که دما دارای اثر معنی‌دار بر ویژگی پیوستگی نمی‌باشد) که این امر را می‌توان ناشی از داشتن گرادیان رطوبتی پایین نمونه‌ها در این سرعت هوای خشک شدن با توجه به داشتن دماهای مختلف دانست. به عبارتی دیگر عامل موثر بر پیوستگی، محتوای رطوبتی است که اگر نمونه‌ها دارای محتوای رطوبتی

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد که قابلیت ارتجاعی با کاهش محتوای رطوبت بصورت خطی افزایش یافته است. بنابراین نمونه‌های خشک شده ویژگی ارتجاعی بیشتری نسبت به نمونه‌های با رطوبت بیشتر داشتند (Ferreira *et al.*, 2008). این امر ناشی از رفتار ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی است که با داشتن محتوای رطوبت بیشتر رفتار ویسکوزتر از خود نشان داده و با کاهش محتوای رطوبت رفتارشان الاستیک تر می‌شود (Adhikari *et al.*, 2001). در حالت الاستیک ماده قدرت جذب و بازیابی انرژی ذخیره شده در زمان فشردن را دارا می‌باشد. این نمودار همچنین نشان می‌دهد که نرخ تغییر در سرعت‌های مختلف متفاوت است به نحوی که اختلاف این ویژگی در محصول خشک شده بیشتر از تر است. بیشینه قابلیت ارتجاعی در کمترین سرعت خشک کردن رخ داده است.



شکل ۱۲- تغییرات ویژگی قابلیت ارتجاعی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

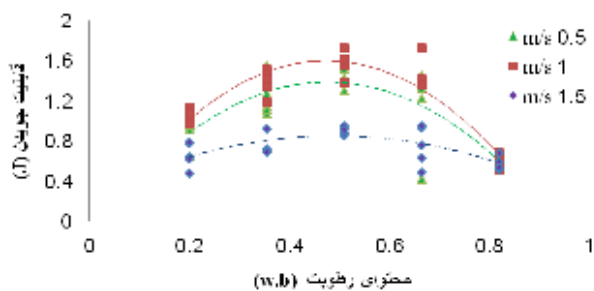
تغییرات قابلیت ارتجاعی در دماهای مختلف و سرعت ۱ متر بر ثانیه در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. نمودار دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد دارای شیب کمتر نسبت به دو دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد است. همان طور که بیان شد علت این مسئله خشک شدن بیشتر لایه‌های سطحی نمونه‌ها در دمایی بالاتر می‌باشد که این امر با توجه به میزان تغییر شکل ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده در نمونه‌های خشک شده با دمای بیشتر باعث بروز ویژگی‌های الاستیک تر از نمونه‌ها می‌شود.



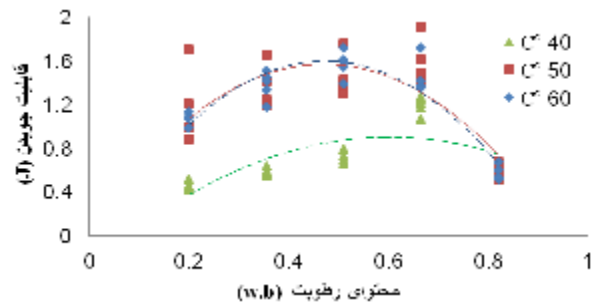
شکل ۱۳- تغییرات ویژگی قابلیت ارتجاعی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در سرعت ۱ متر بر ثانیه

قابلیت جویدن

تغییرات ویژگی قابلیت جویدن در روش‌های مختلف خشک شدن در شکل‌های ۱۸ و ۱۹، نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشهود است قابلیت جویدن با کاهش محتوای رطوبت ابتدا روندی صعودی و سپس نزولی به خود می‌گیرد و باعث شده رفتار این خصوصیت به صورت سهمی باشد به گونه‌ای که قابلیت جویدن نهایی بافت گلابی خشک شده با میوه تازه تفاوت آنچنان نداشته باشد. Ferreira و همکاران (۲۰۰۸) و Shafiu و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی را نیز گزارش کرده‌اند. علت این امر را می‌توان در این دانست که با کاهش محتوای رطوبتی گلابی سختی بافت نمونه‌ها کاهش می‌یابد ولی پیوستگی و قابلیت ارتجاعی افزایش می‌یابد بنابراین حاصل ضرب این سه پارامتر در واقع همان قابلیت جویدن، رفتاری سهمی از خود نشان می‌دهد. البته تغییر شکل کم اعمال شده بر روی نمونه‌ها همانطور که فریرا و همکاران اظهار داشتند (تغییر شکل در تحقیق آن‌ها نیز ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده بود)، بر نداشتن اختلاف بین مقادیر قابلیت جویدن نمونه‌های خشک نشده و خشک شده موثر است.



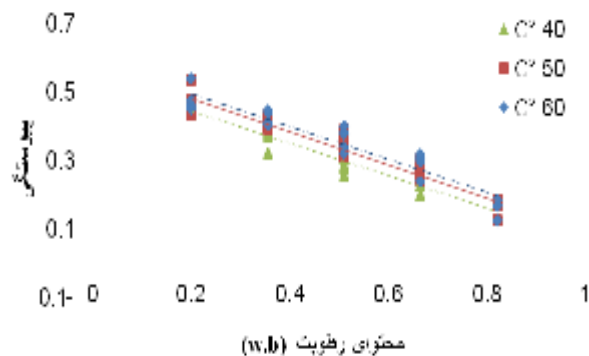
شکل ۱۵- تغییرات ویژگی پیوستگی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در سرعت ۱ متر بر ثانیه



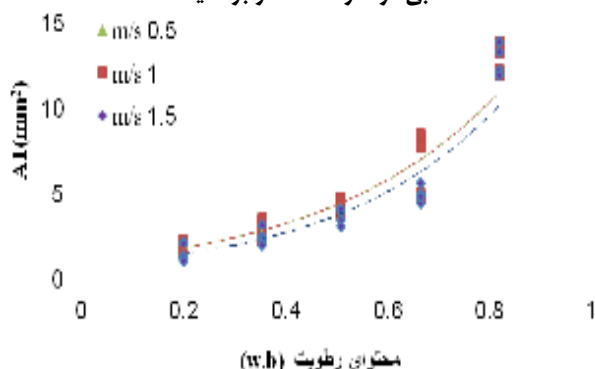
شکل ۱۶- تغییرات ویژگی قابلیت جویدن نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

تغییرات قابلیت جویدن در دماهای مختلف خشک شدن و سرعت ۱ متر بر ثانیه در شکل ۱۸ نشان داده شده است. منحنی دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌دار با هم نشان نمی‌دهند (جدول ۳) و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مقادیر قابلیت جویدن کمتری را

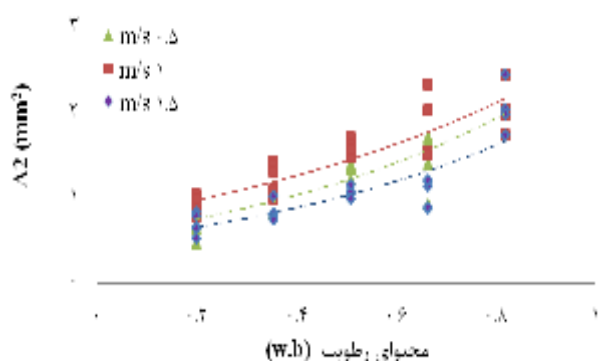
یکنواخت (گرادیان رطوبتی پایین) باشند پیوستگی آن‌ها تفاوتی را نسبت بهم نشان نمی‌دهند. نتایج مشابه توسط مدینا تورس^۱ و همکاران (۲۰۰۸) برای این ویژگی طی خشک کردن انجیر هندی گزارش شده است که تغییرات دما بر این ویژگی تاثیر معنی‌دار نداشته ولی اثر تغییرات سرعت هوای خشک کردن معنی‌دار بوده است



شکل ۱۷- تغییرات ویژگی پیوستگی نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در سرعت ۱ متر بر ثانیه



شکل ۱۸- تغییرات سطح زیر نمودار در سیکل فشار اول نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۱۹- تغییرات سطح زیر نمودار در سیکل فشار دوم نسبت به محتوای رطوبتی گلابی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

نسبت به دو دمای دیگر نشان می‌دهد (همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است این تفاوت معنی‌دار بوده است). دلیل این امر را می‌توان داشتن مقادیر کمتر سختی و قابلیت ارتجاعی در این دما دانست.

جدول ۱- شیب منحنی‌های A_1 و A_2 در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، محتوای رطوبتی مختلف و سرعت هوای خشک‌کن مختلف

محتوای رطوبت گلابی (بر پایه‌ی تر)				سرعت هوا		سطح زیر منحنی
۰/۸۲	۰/۶۶۵	۰/۵۱	۰/۳۵۵	(متر بر ثانیه)	۰/۲	
۳۱/۶۸	۲۰/۲۶	۱۲/۹۵	۸/۲۸	۵/۳۰	۰/۵	A ₁
۳۱/۷۲	۲۰/۲۸	۱۲/۹۷	۸/۲۹	۵/۳۰	۱	
۳۱/۹۲	۱۹/۶۵	۱۲/۱۰	۷/۴۵	۴/۵۹	۱/۵	
۳/۱۳	۲/۴۵	۱/۹۲	۱/۵۱	۱/۱۸	۰/۵	A ₂
۲/۸۰	۲/۲۹	۱/۸۸	۱/۵۳	۱/۲۶	۱	
۲/۵۲	۱/۹۹	۱/۵۸	۱/۲۵	۰/۹۹	۱/۵	

مطابق نتایج جدول ۳، سختی نمونه‌های خشک شده در شرایط دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ۰/۵ و ۱/۵ متر بر ثانیه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. دلیل این امر را می‌توان افزایش پتانسیل جذب رطوبت هوای خشک‌کن در دما و سرعت هوای بالاتر دانست که باعث خروج بیشتر رطوبت از لایه‌های بیرونی نمونه نسبت به لایه‌های درونی نمونه شده و در نتیجه نمونه‌ها در لایه‌های سطحی خود، سختی بیشتری را نشان می‌دهند به نحوی که سختی نمونه خشک شده در این دو دما در مقایسه با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بطور میانگین ۳۳/۳ درصد بیشتر بوده است که در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین از مقادیر جدول مشخص است که سرعت هوای خشک کردن تاثیر معکوس بر ویژگی‌های چسبندگی و قابلیت ارتجاعی دارد به عبارتی با افزایش سرعت هوای خشک کردن چسبندگی افزایش و قابلیت ارتجاعی کاهش یافته است. مقایسه میانگین اثرات دما و سرعت هوا بر ویژگی قابلیت جویدن در جدول ۳ نشان می‌دهد که دماهای هوای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد دارای تفاوت معنی‌دار با هم نیستند و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه با دیگر سرعت‌ها تفاوت معنی‌دار دارد. افزون بر این، مطابق جدول ۲ ویژگی‌هایی که بطور معنی‌دار تحت تاثیر معنی‌دار برهمکنش (اثر متقابل) دما و سرعت هوای خشک‌کن هستند (بجز پوستگی)، در سطوح بالای دما و سرعت دارای اختلاف بیشتری نسبت به سطوح پایین بودند.

تاثیر دما و سرعت هوای خشک‌شدن بر تغییر ویژگی‌های بافتی گلابی حین خشک شدن

مقادیر پارامتر آماری F حاصل از تجزیه واریانس اثر دما و سرعت هوا و اثرات متقابل بین آن‌ها بر ویژگی‌های بافتی گلابی در حین خشک شدن در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که دمای هوای خشک کردن تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر ویژگی‌های سختی، قابلیت ارتجاعی و قابلیت جویدن دارد ولی تاثیر آن بر پیوستگی و چسبندگی معنی‌دار نیست. همچنین مشخص است که تاثیرات سرعت هوا بر تمام این ویژگی‌های معنی‌دار است و با توجه به داشتن مقادیر بالای F نسبت به دمای هوا، شدت اثر آن بیشتر از دمای هوا می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان در تاثیر بیشتر سرعت هوای خشک کردن بر ایجاد اختلاف شیب رطوبتی بیشتر مخصوصاً در لایه‌های سطحی نمونه‌ها دانست.

همانطور که در بخش ۲-۳ بیان شد تغییر محتوای رطوبتی تاثیر معنی‌داری ($p < 0/01$) بر ویژگی‌های بافتی نمونه‌های گلابی دارد و با توجه به مقادیر بیشتر F اثر آن نسبت به سایر پارامترهای آزمون، بجز در مورد ویژگی قابلیت جویدن، در سایر ویژگی‌ها بالاتر می‌باشد. سرعت هوای خشک کردن موثرترین پارامتر بر خاصیت قابلیت جویدن می‌باشد. مقایسه میانگین اثرات عامل‌های اصلی دما و سرعت هوا بر ویژگی‌های بافتی در رطوبت ۲۰ درصد بر پایه وزن مرطوب گلابی خشک شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر پارامتر آماری F برای اثر دما و سرعت هوا بر ویژگی‌های بافتی گلابی در حین خشک شدن

منابع تغییرات	درجه آزادی	سختی (N)	چسبندگی (J)	قابلیت ارتجاعی (mm)	پیوستگی	قابلیت جویدن (J)
دمای هوا	۲	۱۴*	۲/۹ ^{ns}	۳۲/۳*	۵/۳ ^{ns}	۱۹/۹*
سرعت هوا	۲	۲۶*	۴۲*	۵۴/۶*	۶۶/۲*	۱۹/۱۶*
دمای هوا × سرعت هوا	۴	۷/۱*	۷*	۳۹/۶*	۰/۹ ^{ns}	۹/۵*

* نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪ و ns نشان دهنده عدم معنی‌داری است)

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات دما و سرعت هوا خشک کردن بر ویژگی‌های بافتی گلابی خشک شده

تیمار	سختی (N)	چسبندگی (J)	قابلیت ارتجاعی (mm)	پیوستگی	قابلیت جویدن (J)
دمای هوا	۰/۴۲ ^b	۰/۵۶ ^a	۲/۹۶ ^b	۰/۴۶ ^a	۰/۵۷ ^b
(درجه سانتی‌گراد)	۵۰	۰/۵۸ ^a	۳/۲۹ ^a	۰/۴۹ ^a	۰/۹۶ ^a
۶۰	۰/۵۴ ^a	۰/۶۲ ^a	۳/۳۸ ^a	۰/۴۹ ^a	۰/۸۸ ^a
سرعت هوا	۰/۴۵ ^B	۰/۳۳ ^C	۳/۵۹ ^A	۰/۵۵ ^A	۰/۸۸ ^A
(متر بر ثانیه)	۱	۰/۶۶ ^B	۳/۱۴ ^B	۰/۴۶ ^B	۰/۹۰ ^A
۱/۵	۰/۵۰ ^B	۰/۸۸ ^A	۲/۹۰ ^C	۰/۴۴ ^B	۰/۶۳ ^B

(حروف مشابه در ستون هر عامل اصلی نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ است)

نتیجه‌گیری

از نظر قابلیت جویدن تولید گردد. بر این اساس استفاده از روش استراحت‌دهی نیز می‌تواند مد نظر باشد که در پژوهش‌های بعدی قابل بررسی است. با توجه به نتایج عینی بدست آمده کمترین مقدار قابلیت جویدن (۰/۴۶ ژول) مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱ متر بر ثانیه بوده و این تیمار بعنوان مطلوب‌ترین تیمار خشک کردن گلابی پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به نتایج سرعت هوای خشک‌کن مخصوصاً در دماهای بالا باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در ویژگی‌های بافت محصول می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود در صورت نیاز به استفاده از دماهای بالا برای خشک شدن از سرعت هوای پایین‌تر استفاده شود تا با یکنواخت تر شدن شیب (گرادیان) رطوبتی محصول نهایی بهتری

منابع

- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, T., & Truong, V. (2001). Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 1-33.
- Akpınar, E., Midilli, A., and Bicer, Y. (2003). Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management*, 44, 1689-1705.
- Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2nd edition). New York: Elsevier *Science and Technology*.
- Earle, R. (1988). *Unit Operations in Food Processing*, second edition. Oxford: Pergamon Press, Ltd.
- Ferreira, D., Silva, J. L., Delgadillo, I., Coimbra, M., Pinto, G., & Santos, C. (2008). Effect of sun-drying on microstructure and texture of S. Bartolomeu pears (*Pyrus communis* L.). *European Journal of Food Research Technology*, 226, 1545-1552.
- Guine, R. (2006). Influence of drying method on density and porosity of pears. *Food and Bioprocess Technology*, 84(C3), 179-185.
- Guine, R., Ferreira, D., Barroca, M., & Goncalves, F. (2007a). Study of the drying kinetics of solar-dried pears. *Biosystems Engineering*, 98, 422-429.
- Guine, R., Rodrigues, A., & Figueiredo, M. (2007b). Modelling and simulation of pear drying. *Applied Mathematics and Computation*, 192, 69-77.
- Hayashi, H. (1989). Drying technologies of foods – their history and future. *Drying Technology*, 7(2), 315-369.
- Heydari, M.M., Nassiri, S.M. (2015). Mathematical modeling of pear fruit thin layer drying and study on the effects of drying air temperature and velocity on variation of exhaust air relative humidity. *Journal of Food Science and Technology*, 48 (12), 215-229. (in persian)
- Janjai, S., Lamlert N., Intawee P., Mahayothee B., Haewsungcharern M., Bala B.K., Nagle M., Leis H., and Müller, J. (2008a). Finite element simulation of drying of longan fruit. *Drying Technology*, 26, 666-674.
- Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Haewsungcharern, M., Bala, B.K., and Müller, J. (2008b). Finite element simulation of drying of mango. *Biosystems Engineering*, 99, 523-531.
- Khin, M. M., Zhou, W., & Yeo, S. Y. (2007). Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 514-522.
- Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J., Gonzalez-Laredo, R., & Rocha-Guzman, N. (2008). Drying kinetics of nopal (*Opuntia ficus-indica*) using three different methods and their effect on their mechanical properties. *LWT- Food science and Technology*; 41, 1183-1188.
- Moradi, M., & Zomorodian, A. (2009). Thin layer drying of Cuminum Cyminum Grain by means of Solar Cabinet Dryer. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(3), 409-413.
- Nassiri, S. M., & Heydari Foroushani, M. M. (2014). Shrinkage and bulk density of pear fruit cubes as function of moisture content. *Acta Horticulture*, 1054: 253-260.

- Shafiurahman, M., & Sohrab, A. (2005). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. *Journal of Food Engineering*, 66, 505-511.
- Togrul, I., & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55, 209-216.
- Wang, C., & Singh, R. (1978). A single layer drying equation for rough rice. ASAE paper No. 78-3001, MI, USA: St. Joseph.
- Woods, J., & Phoungchandang, S. (2000). Solar drying of bananas: Mathematical model, laboratory simulation, and field data compared. *Journal of Food Science Food Engineering and Physical Properties*, 65(6), 990-996.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., & Cagatay, F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In: Bascetinçelik A, editor. *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*. Turkey.
- Zomorodian, A. A., & Amanlou. (2010). Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer. *Journal of Food Engineering*, 101, 8-15.



Study on Textural Properties of Pear Fruit during Drying in a Cabinet Dryer

M. M. Heydari Foroushani¹, S. M. Nasiri ^{*2}

Received: 2014.01.10

Accepted: 2015.09.12

Introduction: Given that fruit drying is one of the best economical storing methods, in the present study attempt has been made to apply a commercial drying method, namely passing warm air through fruit in a cabinet drier, to pinpoint the change in textural properties of pear fruit during drying at different inlet air temperature and velocity levels. The outcomes of the study can be used for optimizing the drier operation during drying (intelligent driers) to keep suitable textural properties of final product for those who use sweet dried fruit as sweetener due to diabetic issues.

Materials and method: Pear fruits, Shah Miveh cultivar, were collected from a garden near Isfahan city and carried to the laboratory carefully. Experimental samples with 2×2.5×2.5 cubic centimeter dimension were prepared from upper part of pear fruits. A conventional cabinet drier was used for drying the pear cubes with adjustable inlet drying air temperature and velocity. Air temperature and velocity were adjusted at three levels of 40, 50 and 60 °C, and 0.5, 1 and 1.5 m/s, respectively. Initial moisture content was measured by gravimetric methods and samples weight loss measured during drying by an online system comprising hooked type balance with ±0.001 accuracy. Dried samples were then subjected to texture profile analysis (TPA) with Instron (Santam-STM 20). Two-bite test was performed with 20 mm diameter aluminum probe, at 1 mm/s speed rate for 5 mm deformation. Textural properties of samples such as hardness, cohesiveness, adhesiveness, springiness and chewiness were drawn from force-time curve. Textural properties were measured at five sample moisture contents of 82, 66, 51, 35 and 20 percent (w.b.). Data were analyzed according to the factorial experiments based on completely randomized design by SPSS software (version 16), and the means were compared by Duncan multiple range test at 5 percent of significance.

Results and Discussion: Mean comparison of drying time significantly affected by air temperature and velocity, and the effect of temperature was more than air velocity. Results revealed that textural properties of samples have changed during drying process and these changes were related to drying conditions. Hardness decreased exponentially and adhesiveness decreased linearly as fruits were being dried, whereas springiness and cohesiveness increased linearly. Chewiness followed a parabolic trend, reached to the peak in the range of 40 to 50 % moisture content levels (wet basis). ANOVA showed that drying air temperature had significant influence on hardness, springiness and chewiness, while its influence on adhesiveness and cohesiveness was not significant. Moreover, it was found that air drying velocity affected all aforementioned properties. Having considered the results of dried pear chewiness, the minimum chewiness (0.46 J) took place at air drying temperature of 40 °C and velocity of 1m/s, and therefore it is recommended as the best drying condition. Drying time period at this condition was measured nearly 33.5 hours, which was approximately 24 hours more than the shortest one in the drying condition of 60°C and 1.5 m/s and 6.5 hours lower than the longest one in drying condition of 40°C and 0.5 m/s.

Keywords: Pear fruit, Drying, Textural properties, Cabinet dryer.

1 And 2-Msc student and Assistant Professor Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.
(*-Corresponding Author Email: mnasiri@shirazu.ac.ir)