شاخص‌های کیفی خرمای رقم استعمران تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن

اسماعیل مهریار[۱]، مرتضی صادقی[۲*]، سید جلیل رضوی[۲] و احسان فرقانی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۹)

چکیده

خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات نه تنها بر رطوبت محصول اثر دارد، بلکه دیگر خواص فیزیکی و شیمیایی محصول از جمله فعالیت آنزیمی، فساد میکروبی، گرانروی، سختی و طعم آن را نیز تغییر می‌دهد. هدف از این تحقیق، مطالعه اثر روش خشک کردن بر ویژگی‌های چروکیدگی، رنگ و جذب مجدد آب خرمای خشک شده رقم استعمران بود. از سه روش هوای داغ، ماکروویو و آون خلأ برای خشک کردن نمونه‌ها استفاده شد. با استفاده از یک دوربین دیجیتال و محفظه نور مخصوص از نمونه‌های محصول نهایی عکس‌برداری شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ، شاخص‌های L^*، a^* و b^* نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. درصد چروکیدگی نمونه‌های محصول خشک‌شده با استفاده از روش جابه‌جایی مایع اندازه‌گیری شد. شاخص‌های ظرفیت جذب آب (WAC)، قابلیت حفظ ماده خشک (DHC) و قابلیت جذب مجدد آب (RA) نیز برای ارزیابی بازجذب آب تعیین شدند. نتایج نشان داد، اثر روش خشک کردن بر سه شاخص WAC، DHC و RA نمونه خرمای خشک شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین این سه ویژگی نشان داد، مقدار تخریب ساختار محصول خشک شده در روش ماکروویو بیشتر از دیگر روش‌ها می‌باشد. تأثیر روش خشک کردن بر چروکیدگی معنی‌دار نبود، لیکن بر شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^* به‌ترتیب در سطوح ۱، ۵ و ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به این‌که دمای ایجاد شده طی فرآیند خشک شدن ماکروویو بسیار بالا می‌باشد، احتمالاً در این روش پدیده کاراملیزاسیون رخ داده و در نتیجه باعث تیرگی رنگ محصول می‌شود.

واژه‌های کلیدی: روش خشک کردن، جذب مجدد آب، شاخص رنگ، چروکیدگی، کاراملیزاسیون

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sadeghimor@cc.iut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

خرما یکی از محصولات عمده کشاورزی ایران و یکی از منابع مهم تحصیل ارز برای کشور می‌باشد. از دلایل بالا بودن اهمیت خرما می‌توان به صادراتی بودن، ارزش غذایی بالا و تولید محصولات متعدد و متنوع حاصل از آن اشاره کرد. ارزش غذایی خرما قابل مقایسه با انواع خشکبار، گوشت گاو و مرغ، نان، تخم‌مرغ، ماهی و سیب‌زمینی می‌باشد (۹ و ۱۲). مزیت دیگر خرما قیمت ارزان‌تر آن در مقایسه با انواع خشکبار مثل گردو، پسته، انجیر و کشمش مرغوب است (۱۲). خرمای خشک شده یکی از محصولاتی است که می‌تواند در تمام طول سال در اختیار مصرف‌کنندگان قرار بگیرد و در جیره غذایی افراد جامعه به‌کار گرفته شود.

خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شناخته شده برای نگهداری مواد غذایی است و برای بسیاری از محصولات کشاورزی و صنعتی قابل استفاده است. خشک کردن به‌عنوان کاربرد حرارت تحت شرایط کنترل شده برای خارج کردن بیشتر آب موجود در غذا به‌صورت تبخیر می‌باشد. میوه‌ها و سبزیجات به‌دلیل رطوبت بالا جزء غذاهای فسادپذیر می‌باشند. فرآیند خشک کردن مقدار قابل توجهی از آب ماده غذایی را کاهش داده و از این طریق فعالیت آبی، میکروبی و آنزیمی محصول را محدود کرده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی حین انبارداری را به حداقل می‌رساند و در نتیجه عمر انبارداری محصول افزایش می‌یابد. بدین ترتیب محصولات جدیدی با خواص کیفی و تغذیه‌ای جدیدی توسعه می‌یابند. این فرآیند هم‌چنین در مصرف بعضی غذاها تنوع و راحتی بیشتری برای مصرف کننده به ارمغان می‌آورد و باعث کاهش وزن و حجم بسته‌بندی و هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری می‌شود (۱۵). خشک کردن تنها یک فرآیند ساده کاهش رطوبت محصول نمی‌باشد، بلکه بر دیگر خواص فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی از جمله فعالیت آنزیمی، فساد میکروبی، گرانروی، سختی، طعم و مطبوعیت محصول نیز تأثیرگذار است. این تغییرات فیزیکی شامل چروکیدگی، پف‌کردن، تبلور و تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی شامل تغییر رنگ، بافت، بو و خواص دیگر غذا می‌باشد. خشک کردن هم‌چنین 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 نامطلوب است که با انتخاب شرایط مناسب برای خشک کردن ماده غذایی محقق می‌شود (۱۰).

برای مطالعه تغییرات به‌وجود آمده در محصول خشک شده، عمدتاً سه ویژگی چروکیدگی، رنگ و جذب آب مجدد ارزیابی می‌شوند (۴). از طرف دیگر، خشک کردن خصوصیات سطحی مواد غذایی را تغییر داده و در نتیجه قابلیت انعکاس نور و رنگ محصول تغییر می‌کند. گرما و اکسیداسیون طی خشک کردن باعث ایجاد تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئیدها می‌شود. معمولاً زمان‌های طولانی‌تر و دماهای بالاتر، اتلاف بیشتر رنگدانه‌ها را باعث می‌شود (۵).

طی تحقیقی با هدف مطالعه اثر روش خشک کردن بر پارامترهای جذب رطوبت قارچ، تأثیر سه روش مختلف بر منحنی‌های هم‌دمای قارچ مطالعه شد. نتایج نشان داد که محصول خشک شده با استفاده از روش خشک کردن انجمادی دارای قابلیت جذب آب بیشتری نسبت به محصول نهایی با استفاده از خشک‌کن ماکروویو و خشک‌کن هوای داغ بود. این پدیده ناشی از توسعه ساختار متخلخل و کم بودن مقدار چروکیدگی محصول با استفاده از خشک‌کن انجمادی می‌باشد (۷). شمایی و امام‌جمعه (۱۴)، اثر پیش‌تیمار و روش‌های مختلف خشک کردن را بر روند خشک شدن، بافت، رنگ، مقدار باز جذب آب ورقه‌های قارچ دکمه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. ایشان گزارش کردند، انرژی ماکروویو زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد و می‌تواند ساختار، رنگ و بافت نمونه نهایی را نیز متعادل کند. هم‌چنین نشان دادند که نمونه‌های ماکروویو دارای بالاترین سرعت بازجذب آب نسبت به نمونه‌های دیگر هستند. در تحقیقی دیگر، به مطالعه تأثیر سه روش خشک کردن انجمادی، خلأ و خورشیدی بر خواص فیزیکوشیمیایی و

Archive of SID

www.SID.ir

آنتی‌اکسیدانی فیبر خرمای سه رقم معروف تونسی پرداخته شد (۵). پس از انجام این تحقیق، پیشنهاد شد که روش خشک کردن انجمادی دارای پتانسیل زیادی است که می‌تواند به‌عنوان یک روش مرسوم برای خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده شود.

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد تحقیقات اندکی در زمینه اثر روش خشک کردن بر خواص کیفی خرما در کشور انجام شده است. هدف از انجام این پژوهش، مطالعه و ارزیابی اثر روش‌های خشک کردن هوای داغ، ماکروویو و آون خلأ بر سه ویژگی کیفی خرمای خشک شده رقم استعمران شامل درصد چروکیدگی، شاخص‌های رنگ و شاخص‌های جذب مجدد آب (ظرفیت جذب آب، قابلیت حفظ ماده خشک و قابلیت جذب مجدد آب) و تعیین روش مناسب بود.

مواد و روش‌ها

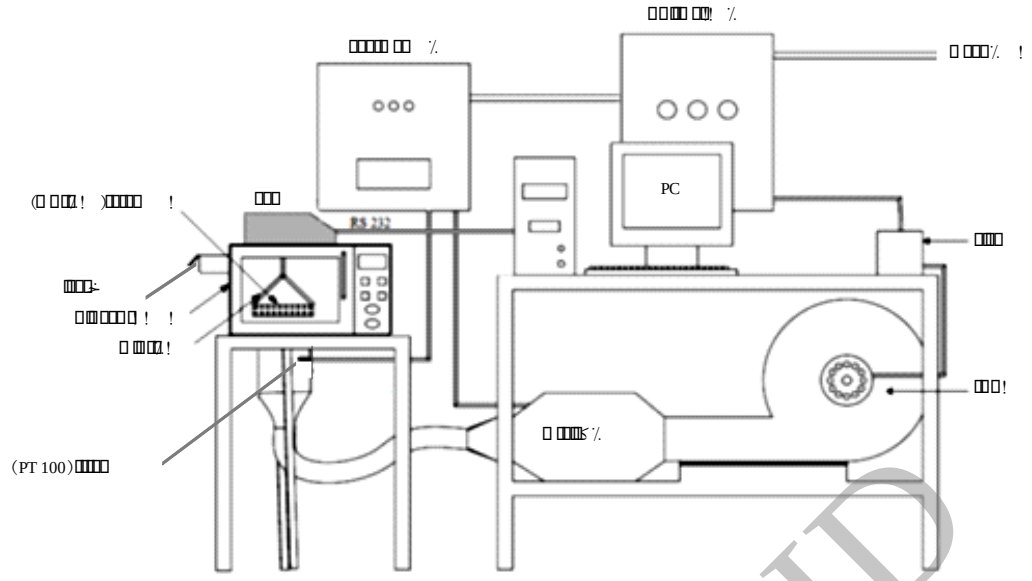
در این تحقیق از خرمای رقم استعمران برداشت شده در مهرماه ۱۳۸۹ از نخلستان‌های شهرستان شادگان، استفاده شد. نمونه‌های خرما پس از انتقال به کارگاه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، در بسته‌های پلی‌اتیلنی در سردخانه در دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه میوه خرما از روش استاندارد خشک کردن در آون خلأ (استاندارد AOAC-1984 شماره ۰۱۸-۲۲، دستگاه آون خلأ Heraeus مدل VS 5050 EK) استفاده شد (۳). بر این اساس، محتوای رطوبتی اولیه محصول برابر با ۱۸/۱ درصد بر پایه تر به‌دست آمد.

پس از تهیه نمونه‌ها، از سه روش مختلف برای خشک کردن آن‌ها استفاده شد: ۱- روش هوای داغ: در این روش از دستگاه خشک‌کن نشان داده شده در شکل ۱ استفاده شد که در آن از محفظه ماکروویو تنها به‌عنوان محفظه خشک‌کن استفاده شد (۱۱). نمونه‌های خرما در این روش تحت‌تأثیر تیمار هوای داغ با دمای ۷۰ درجه‌ی سلسیوس و سرعت ۳ متر بر ثانیه خشک شدند. ۲- روش ماکروویو: برای خشک کردن نمونه‌ها در این روش از یک ماکروویو خانگی به ابعاد ۴۰ × ۳۰ × ۵۰ سانتی‌متر (مدل MC-8047، ساخت شرکت LG، کشور کره جنوبی) استفاده شد. لازم به توضیح است که این مایکروویو با اعمال تغییرات لازم (تعبیه ورودی و خروجی هوا در بدنه آن) به خروجی کوره حرارتی دستگاه خشک‌کن متصل گردید (شکل ۱) و از آن به‌عنوان محفظه خشک‌کن استفاده شد. به بیان دیگر، دستگاه نشان داده شده یک خشک‌کن ترکیبی هوای داغ - مایکروویو می‌باشد. بر اساس تحقیقات گذشته تیمار ۰/۵ وات بر گرم برای محصول تر خرما مورد استفاده قرار گرفت (۱۱). ۳- روش آون خلاء: در این روش از یک آون خلأ (ساخت شرکت SAENG، کشور کره جنوبی) استفاده شد. تیمار اعمال شده در این روش (دمای ۷۰ درجه‌ی سلسیوس به همراه فشار خلاء ۵۴/۶ سانتی‌متر جیوه) نیز بر اساس تحقیقات گذشته انتخاب شد (۱۳). پس از انجام عملیات خشک کردن به روش‌های مذکور، رطوبت نهایی محصول به محدوده ۴-۲ درصد بر پایه تر کاهش داده شد. تمامی آزمایش‌های خشک کردن در آزمایشگاه خشک‌کن گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد.

اغلب مواد غذایی خشک شده قبل از مصرف در معرض جذب مجدد آب قرار می‌گیرند. فرآیند جذب مجدد آب محصول خشک شده معمولاً سه فرآیند همزمان را شامل می‌شود: انتشار آب به داخل ماده خشک، اتساع محصول و خروج مواد جامد محلول خشک شده (۵). جذب مجدد آب موجب تغییرات زیادی در ساختار و ترکیبات بافت محصول می‌شود که حاصل آن صدمه به خواص ساختاری آن می‌باشد. از این‌رو جذب مجدد آب می‌تواند به‌عنوان معیار اندازه‌گیری مقدار صدمات وارد شده به ماده غذایی در نظر گرفته شود که در تحقیق حاضر به این مهم پرداخته شد. آزمایش‌های آب‌گیری مجدد به‌وسیله غوطه‌ور کردن یک عدد خرمای خشک شده (با وزن تقریبی ٦ گرم) در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب ۵۰ درجه‌ی سلسیوس به مدت یک ساعت در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری و در دو تکرار

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. دستگاه خشک‌کن ترکیبی هوای داغ ماکروویو (۱۱)

انجام شد. نمونه‌ها پس از غوطه‌وری از آب بیرون آورده شده و بلافاصله پس از حذف آب سطحی توزین شدند. سپس برای به‌دست آوردن ماده خشک، نمونه‌های جذب آب کرده به ظروف آلومینیومی منتقل شده و در آون خلاء تا رسیدن به وزن ثابت، خشک شده و مجدداً توزین شدند. در نهایت ظرفیت جذب آب (Water absorption capacity) (WAC)، ظرفیت حفظ ماده خشک (Dry matter holding capacity) (DHC) و قابلیت جذب مجدد آب (Rehydration ability) (RA) به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱) تا (۳) محاسبه شدند (۱۵):

$$WAC=\frac{M_r(100-S_r)-M_d(100-S_d)}{M_o(100-S_o)-M_d(100-S_d)} \quad (۱)$$

$$DHC=\frac{M_r\times S_r}{M_d\times S_d} \quad (۲)$$

$$RA=WAC\times DHC \quad (۳)$$

در این روابط، M جرم نمونه (کیلوگرم)، S جرم ماده خشک (کیلوگرم) و اندیس‌های r، o و d به‌ترتیب مربوط به نمونه بعد از جذب مجدد آب، قبل از خشک شدن و پس از آن می‌باشند. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشند، آسیب وارده به ماده غذایی خشک شده طی فرآیند خشک کردن بیشتر است.

تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به‌وسیله جابه‌جایی مایع تعیین شد. در ابتدا نمونه‌ی خرمای خشک شده توزین شد و سپس در یک پیکنومتر بزرگ قرار داده شد. پیکنومتر با تولوئن کاملاً پر شده و پس از خشک کردن جداره آن، توزین گردید و با استفاده از روابط (۴) و (۵) درصد چروکیدگی محاسبه شد (۱۵):

(۴)

[(وزن پیکنومتر+آب)-(وزن پیکنومتر+نمونه+آب)] - وزن نمونه = حجم نمونه

$$Sh(\%)=(1-\frac{V_t}{V_0})\times 100 \quad (۵)$$

که، Sh چروکیدگی، V_t حجم در زمان مورد نظر (در این پژوهش پایان فرآیند خشک کردن) (میلی‌لیتر) و V_0 حجم اولیه نمونه (میلی‌لیتر) است. برای این‌که مقایسه بین حجم‌ها در زمان صفر و t صحیح باشد، حجم‌ها را باید برای ماده خشک یکسان محاسبه کرد.

برای اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ، نمونه‌های خشک شده در محفظه مخصوصی که بدین منظور طراحی شده بود، قرار گرفته و توسط دوربین از آنها عکس‌برداری شد. سپس عکس‌ها در نرم‌افزار فتوشاپ با فرمت *tiff* مورد ارزیابی قرار گرفته و شاخص‌های رنگ L^*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن بر ظرفیت جذب آب، قابلیت حفظ ماده خشک، قابلیت جذب مجدد و چروکیدگی خرمای خشک شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	ظرفیت جذب آب (WAC)	قابلیت حفظ ماده خشک (DHC)	قابلیت جذب مجدد آب (RA)	چروکیدگی
روش خشک کردن	۲	۰/۰۵۵۸**	۰/۰۷۶۹**	۰/۰۵۴۲**	۱۰۹/۴۵۶^{ns}
خطا	۹	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۳۷	۴۵/۲۸۶

** نشانگر معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ns نشانگر عدم معنی‌دار بودن است.

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های ظرفیت جذب آب، قابلیت حفظ ماده خشک، قابلیت جذب مجدد آب و چروکیدگی خرمای استعمران خشک شده تحت‌تأثیر روش خشک کردن

	ویژگی			
	ظرفیت جذب آب (WAC)	قابلیت حفظ ماده خشک (DHC)	قابلیت جذب مجدد آب (RA)	چروکیدگی
روش خشک کردن				
هوای داغ	۰/۵۰۹۲^{B}	۰/۷۸۹۱^{A}	۰/۳۹۸۷^{A}	۶۱/۶۰^{A}
ماکروویو	۰/۴۲۵۸^{B}	۰/۵۱۴۳^{B}	۰/۲۲۸۶^{B}	۵۴/۱۵^{A}
آون خلأ	۰/۶۵۸۹^{A}	۰/۶۸۴۳^{A}	۰/۴۵۱۳^{A}	۶۱/۴۹^{A}

در هر ستون تفاوت بین میانگین‌های دارای حروف متفاوت طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

(شاخص روشنایی (Whiteness/darkness))، a^* (شاخص قرمزی (Redness/greenness)) و b^* (شاخص زردی (Yellowness/blueness)) برای آنها اندازه‌گیری شد (۱).

برای رسم نمودار کالیبراسیون دوربین، صفحات رنگی استاندارد (صفحات RAL) در داخل محفظه قرار گرفته و از آنها عکس گرفته شد. سپس شاخص‌های L^*، a^* و b^* این تصاویر نیز در نرم افزار فتوشاپ تعیین و با جدول مقادیر استاندارد صفحات مقایسه شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر جدول استاندارد و مقادیر به‌دست آمده از عکس‌های گرفته شده توسط دوربین وجود ندارد.داده‌های مربوط به آزمایش‌های جذب مجدد آب، چروکیدگی و اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ به‌عنوان متغیرهای وابسته و دما و روش خشک کردن به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون دانکن نیز در صورت معنی‌دار بودن مقدار F برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن بر ظرفیت جذب آب (WAC)، قابلیت حفظ ماده خشک (DHC)، قابلیت جذب مجدد آب (RA) و چروکیدگی تحت‌تأثیر روش خشک کردن را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشخص است، روش خشک کردن بر سه ویژگی WAC، DHC و RA دارای اثر معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) می‌باشد، درحالی که اثر آن بر چروکیدگی معنی‌دار نبوده است.

نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های WAC، DHC و RA تحت‌تأثیر روش خشک کردن در جدول (۲) نشان داده شده

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن بر شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^* خرمای استعمران

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص روشنایی (L^*)	شاخص قرمزی (a^*)	شاخص زردی (b^*)
روش خشک کردن	۲	۶۲/۲۲۵۴**	۳/۵۵۱۷*	۵۰/۲۴۵۹*
خطا	۲۴	۴/۶۷۹۷	۰/۳۸۴۰	۵/۵۹۱۳

* و ** به‌ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطوح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^* خرمای استعمران خشک شده تحت‌تأثیر روش خشک کردن

	شاخص رنگ		
	شاخص روشنایی (L^*)	شاخص قرمزی (a^*)	شاخص زردی (b^*)
روش خشک کردن			
هوای داغ	۳۱/۵۵۰^{A}	۱۳/۸۴۸۷^{A}	۲۰/۴۸۶^{A}
ماکروویو	۲۶/۲۹۹^{C}	۱۲/۶۰۲۸^{B}	۱۵/۹۸۲^{B}
آون خلأ	۲۹/۱۶۳^{B}	۱۳/۳۶۶۴^{A}	۱۹/۴۷۳^{A}

در هر ستون تفاوت بین میانگین‌های دارای حروف متفاوت طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

است. بر اساس نتایج حاصل، مقدار تخریب ساختار محصول خشک شده به روش ماکروویو بیشتر از دیگر روش‌ها است. در حقیقت، گرما مقدار جذب آب کربوهیدرات‌ها و الاستیسیته دیواره‌های سلولی را کاهش داده و با دناتوره کردن پروتئین‌ها، قابلیت حفظ و جذب آب آنها را کم می‌کند و در اثر افزایش دما به تدریج بافت محصول تخریب می‌شود. مقادیر میانگین ویژگی‌های WAC، DHC و RA نمونه خرمای خشک شده به روش ماکروویو کمتر از مقادیر میانگین دیگر روش‌ها بود. این نتیجه می‌تواند به‌دلیل بالاتر بودن دمای محصول طی خشک شدن در روش ماکروویو در مقایسه با دو روش دیگر باشد. هر چه درصد چروکیدگی کمتر باشد، آسیب وارده به محصول کمتر و در نتیجه محصول دارای ظاهر مناسب‌تری است (۱۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر چروکیدگی خرمای خشک شده در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثر روش‌های مختلف بر چروکیدگی محصول معنی‌دار نشد. از عوامل تأثیرگذار بر چروکیدگی می‌توان به حجم آب خارج شده، تحرک شبکه مواد جامد، شدت خشک کردن یا مدت زمان فرآیند، دما، سرعت و رطوبت نسبی هوا اشاره کرد (۶). تفاوت اصلی روش‌های خشک کردن در این پژوهش، تفاوت در دمای خشک کردن و مدت زمان فرآیند بوده است که این تفاوت نیز اختلاف معنی‌داری در چروکیدگی محصول ایجاد نکرده است. نتایج مشابهی طی فرآیند خشک کردن موز و ژل نشاسته سیب‌زمینی گزارش شده است و نشان داده شده که تأثیر دمای هوای خشک‌کن بر چروکیدگی محصول نهایی، قابل چشم‌پوشی است (۱۵).

جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش خشک کردن بر شاخص‌های رنگ (L^*، a^* و b^*) خرمای خشک شده با استفاده از روش‌های مختلف نشان داد، روش خشک کردن بر این شاخص‌ها به‌ترتیب در سطوح ۱، ۵ و ۵ درصد دارای اثر معنی‌داری بود.

جدول (۴) مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ نمونه‌های خرمای خشک شده تحت‌تأثیر روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که شاخص روشنایی خرمای خشک شده با استفاده از روش ماکروویو کمتر از مقدار این شاخص برای نمونه حاصل از دیگر روش‌ها است و در نتیجه نمونه خرمای خشک شده با این روش تیره‌تر

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد. هم‌چنین مقادیر شاخص‌های قرمزی و زردی نمونه‌های حاصل از روش ماکروویو به‌طور معنی‌داری از مقادیر نمونه‌های خشک شده با دو روش دیگر کمتر هستند.

به‌طورکلی، در تحلیل تیرگی نمونه‌های خرمای حاصل از روش ماکروویو باید گفت، زمانی که قندها بدون وجود آب یا در محلول‌های غلیظ حرارت داده شوند، یک سری واکنش‌هایی اتفاق می‌افتد که در نهایت موجب تشکیل کارامل می‌شود و رنگ محصول تیره می‌شود. با توجه به این‌که دمای ایجاد شده طی فرآیند خشک شدن ماکروویو، بسیار بالا بود ، احتمالاً باعث رخ دادن پدیده کاراملیزاسیون شده و در نتیجه، این پدیده باعث تیرگی رنگ محصول شده است. در دماهای بالا، پدیده کاراملیزاسیون طی سه مرحله کاملاً متمایز در زمان‌های کاملاً جداگانه رخ می‌دهد. مرحله اول در حدود ۳۵ دقیقه حرارت دادن نیاز داشته، حدود ۴/۵ درصد از وزن کاسته شده و دو مولکول آب خارج شده و ترکیباتی مثل ایزوساکاروزان تشکیل می‌شود. مرحله دوم در مدت ۵۵ دقیقه حرارت دادن محصول اتفاق افتاده و حدود ۹ درصد از وزن از دست می‌رود، که به ازای هر دو مولکول ساکاروز چهار مولکول آب خارج می‌شود و پیگمانی به‌نام کاراملان تشکیل می‌شود. این پیگمان در آب و اتانول محلول است و دارای طعم تلخ می‌باشد. مرحله سوم نیز پس از حرارت دادن به مدت ۵۵ دقیقه رخ داده که باعث تشکیل یک پیگمان به‌نام کاراملن می‌شود. این پیگمان بر اثر از دست رفتن حدود ۱۴ درصد از وزن و خارج شدن ۸ مولکول آب به ازای هر سه مولکول ساکاروز تشکیل می‌شود. کاراملن فقط در آب محلول است و حرارت دادن بیشتر موجب تشکیل پیگمانی بسیار تیره‌تر و سیاه‌تر و تقریباً نامحلول به‌نام کاراملین یا هومین می‌شود (۸).

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد: اثر سه روش خشک کردن هوای داغ، ماکروویو و آون خلأ بر شاخص‌های ظرفیت جذب آب، قابلیت حفظ ماده خشک و قابلیت جذب مجدد آب خرمای خشک شده رقم استعمران بیانگر مقدار بیشتر تخریب ساختار محصول خشک شده در روش ماکروویو نسبت به دو روش دیگر بود. این درحالی است که اثر روش خشک کردن بر چروکیدگی معنی‌دار نبود. به بیان دیگر علی‌رغم تفاوت دمایی و زمان خشک شدن در روش‌های به‌کار گرفته شده، این تغییرات باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در چروکیدگی محصول نگردید. باتوجه به ارزیابی شاخص‌های رنگ محصول خشک‌شده نیز می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد، از آنجا که دمای ایجاد شده طی فرآیند خشک شدن ماکروویو بسیار بالا می‌باشد، در این روش پدیده کاراملیزاسیون به‌طور وسیعی رخ داده و در نتیجه باعث تیرگی رنگ محصول می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Afshari-Jouybari, H. and A. Farahnaky. 2011. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering* 106: 170–175.
2. Alirezaei, M. 2010. Estimation of rheological properties of date (cv. Kabkab) under various conditions of product moisture content and environment temperature. MSc. Thesis, Shiraz University. Shiraz, Iran. (In Farsi).
3. AOAC. 1984. Official Methods of Analysis, 14th ed., Association of Officials Analytical Chemists, Washington, DC.
4. Bhandri, B. and T. Howes. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering* 40: 71-79.
5. Borchani, C., S. Besbes, M. Masmoudi, C. Blecker, M. Paquot and H. Attia. 2011. Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fiber concentrates. *Food Chemistry* 125: 1194–1201.
6. Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering* 33: 29-32.
7. Jun, H. L. and J. L. Min. 2008. Effect of drying method on the moisture sorption isotherms for *Inonotus obliquus* mushroom. *LWT-Food Science and Technology* 41:1478-1484.
8. Keramat, J. 2008. Fundamentals of Food Chemistry. Isfahan University of Technology Press. Isfahan. (In Farsi).
9. Mansoori, Y. 2005. Study of physical and mechanical properties of date fruit. PhD. Thesis, Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. (In Farsi).

Archive of SID

www.SID.ir

10. Maskan, M. 2001. Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 35: 267-280.
11. Mirzabeigi, O. 2010. Investigation and modeling of combined convective-microiwave drying of lemon slices. MSc. Thesis, Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi)
12. Mirzamani, S. S., A. Basiri and A. Esfahai. 2009. Estimation of moisture sorption isotherms of date and a determination of the most appropriate model. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 40(2): 191-185. (In Farsi).
13. Sahari, M. A., Z. Hamidi-Esfehani and H. Samadlui. 2008. Optimization of vacuum drying characteristics of date powder. *Drying Technology* 26: 793-797.
14. Shamaee, S. and Z. Emam Jomeh. 2010. The effect of pre-treatments and various drying methods on the progress of the drying process, texture, color, and rehydration rate of button mushroom (*Agricus bisprous*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 6(3): 193-200. (In Farsi).
15. Soleimanifard, S. 2009. Modeling of pistachio (cv. Ohadi) sorption isotherms and optimization of its drying conditions. MSc. Thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi).

Archive of SID

www.SID.ir