تأثیر روش رفرکتنس ویندو بر سینتیک خشک شدن و خواص فیزیکی برش‌های گوجه‌فرنگی و مقایسه آن با روش‌های آفتابی، هوای داغ و مایکروویو

شهین زمردی*

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۸)

چکیده

در این تحقیق، سینتیک خشک شدن و خواص فیزیکی برش‌های گوجه‌فرنگی خشک شده با استفاده از روش خشک‌کردن رفرکتنس ویندو با روش‌های مایکروویو، هوای داغ و روش آفتابی مقایسه شد. با توجه به نتایج حاصله، سرعت خشک شدن گوجه فرنگی‌ها ابتدا در روش مایکروویو و متعاقب آن در روش رفراکتنس ویندو بیشتر از هوای داغ و روش آفتابی بود. در منحنی‌های خشک شدن در روش‌های رفرکتنس ویندو و مایکروویو، دوره خشک کردن ثابت مشاهده نشد. کمترین و بیشترین مقدار چروکیدگی به ترتیب مربوط به نمونه‌های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو و هوای داغ بود. بیشترین و کمترین مقدار قابلیت جذب مجدد آب به ترتیب در نمونه‌های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو و هوای داغ مشاهده شد. شاخص‌های L*، b* و a* در نمونه‌های خشک شده به روش رفراکتنس ویندو بطور معنی داری بیشتر و در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ کمتر از سایر نمونه‌ها بود. با توجه به ارزیابی حسی رنگ، نمونه‌های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو بطور معنی داری بیشترین امتیاز رنگ و در روش مایکروویو کمترین امتیاز رنگ را کسب کردند. گرچه زمان خشک شدن برش‌های گوجه فرنگی در روش مایکروویو، بسیار کوتاه‌تر از روش رفرکتنس ویندو بود، اما خصوصیات رنگی نمونه‌های تهیه شده با روش مایکروویو بطور معنی‌داری پایین‌تر از روش رفرکتنس ویندو بود. بنابراین، نتیجه‌گیری می‌شود که از روش رفرکتنس ویندو می‌توان به عنوان یک جایگزین مناسب برای خشک کردن برش‌های گوجه فرنگی در هوای داغ و مایکروویو استفاده نمود.

کلید واژگان: خشک کردن آفتابی، رفراکتنس ویندو، مایکروویو، هوای داغ، گوجه فرنگی.

* مسئول مکاتبات: s.zomorodi@areeo.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۱- مقدمه

با وجود روش‌های جدید نگهداری مواد غذایی هنوز هم خشک کردن در سطح وسیعی برای نگهداری مواد غذاییاستفاده می‌شود. زیرا محصولات خشک شده دارای حجم و وزن کمتر بوده و بسته بندی، حمل ونقل و نگهداری آن آسان‌تر و کم هزینه می‌باشد. برای خشک کردن از روش‌های آفتابی و صنعتی استفاده می‌شود. که هر یک دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند. روش خشک کردن آفتابی موجب کاهش رنگ، ویتامینC، قابلیت جذب آب مجدد وآلودگی محصول خشک شده می‌گردد. در روش‌های صنعتی، بطور معمول برای خشک کردن از هوای داغ استفاده می-شود. در این روش، ماده غذایی در معرض دمای بالا قرار می‌گیرد که موجب افزایش چروکیدگی، سفتی و کاهش قابلیت جذب مجدد آب و خواص حسی محصول خشک شده می‌شود. بعلاوه، افزایش زمان خشک کردن و مصرف انرژی بالاتر در اثر استفاده از دمای بالا، از معایب این روش است [۱]. در این راستا سیستم خشک کردن رفرکتنس ویندو[1] (RW) به عنوان فناوری جدید به منظور تولید محصولات خشک با کیفیت بالا و هزینه پایین مورد توجه قرار گرفته است [۲]. این روش خشک کردن نسبتاً کم هزینه و دارای راندمان حرارتی بسیار خوبی است و جهت خشک کردن مواد غذایی در دمای پایین و زمان کوتاه طراحی شده است. در این خشک کن، از چرخش آب داغ به عنوان منبع حرارتی با حداکثر دمای ۹۵ تا ۹۸ درجه سانتی‌گراد در فشار اتمسفر استفاده می‌شود. انرژی گرمایی حاصل، از طریق یک ورق پلاستیکی مایلار[2] به محصول مرطوب منتقل می‌شود. جهت خشک شدن، نمونه‌های غذایی روی یک صفحه پلاستیکی شفاف پهن شده و قسمت زیرین آن در تماس با آب داغ حاصل از یک ظرف کم عمق قرار می‌گیرد. استفاده از آب داغ به عنوان محیط انتقال حرارت و در دمای جوش، از مزایای منحصر به فرد این سیستم است. ورق‌های مایلار انرژی خالص رسیده از آب گرم را از طریق هدایتی و تابش عبور می‌دهند. ضخامت کم لایه مایلار همراه با شفافیت بالای آن، اجازه عبور به اشعه مادون قرمز را می‌دهد تا مقدار زیادی از تابش به محصول مایع منتقل شود [۲]. در روش خشک کردن با مایکروویو نیز انرژی مایکروویو به سرعت جذب ملکول‌های آب شده و موجب تبخیر سریع آب و بالا رفتن نرخ خشک شدن می‌گردد. در نتیجه، استفاده از مایکروویو برای خشک کردن، ازطریق کاهش قابل توجه زمان خشک کردن و جلوگیری از افزایش دمای سطح ماده غذایی، موجب صرفه جویی در مصرف انرژی می‌گردد [۳].

گوجه‌فرنگی یک محصول جهانی بوده و تولید سالیانه آن در سال ۲۰۱٤، در حدود ۲۲۳/۵ میلیون تن برآورد شده است. تولید کنندگان عمده آن به ترتیب کشورهای چین، هند، ایالات متحده آمریکا، ترکیه، مصر و ایران هستند. در این بین، ایران ششمین کشور تولید کننده گوجه فرنگی در دنیا است [٤]. عمر انباری گوجه فرنگی تازه، بسیار کوتاه بوده و از این رو، در فصولی که تولید گوجه‌فرنگی زیاد است، فرآوری آن امری اجتناب ناپذیر است. از محصولات گوجه فرنگی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، می توان به برگه گوجه فرنگی اشاره کرد. موارد مصرف برگه گوجه فرنگی بسیار متنوع بوده که عمدتاً در غذایی فرموله شده از قبیل سوپ، پیتزا و تنقلات استفاده می‌شود؛ مخصوصاً در کشورهایی که به دلیل شرایط آب و هوایی خاص، گوجه فرنگی کاشته نمی‌شود [۵]. مطالعات اپیدمیولوژی نشان می‌دهند که مصرف منظم گوجه فرنگی و محصولات تهیه شده از آن موجب کاهش بروز بعضی از انواع سرطان و بیماری‌های قلبی می‌گردد [٦].

ماسکان (۲۰۰۱) اثر سه روش خشک کردن در مایکروویو، هوای داغ و هوای داغ همراه با مایکروویو را بر ویژگی‌های خشک شدن، چروکیدگی و قابلیت جذب مجدد آب کیوی بررسی نمودند. آنها گزارش دادند که خشک کردن در مایکروویو و نیز هوای داغ همراه با انرژی مایکروویو منجر به افزایش نرخ خشک شدن و کاهش قابل ملاحظه زمان خشک شدن گردید. اما چروکیدگی کیوی در طی خشک کردن در مایکروویو بیشتر از هوای داغ بود [۱]. آبونی و همکاران (۲۰۰۲) پوره هویج و توت فرنگی را با استفاده از خشک‌کن RW، غلتکی، پاششی و انجمادی خشک کردند و نشان دادند که ویتامین C پوره‌های

1. Refractance Window (RW)
2. Mylar sheet

مایلار یک علامت تجاری ثبت شده متعلق به Dupont Tejjin Films خانواده خاصی از محصولات ساخته شده از رزین پلی اتیلن ترفتالات (PET)است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

خشک شده با روش رفرکتنس ویندو بالاتر از روش انجمادی با رطوبت برابر بود [۷]. ناندو و همکاران (۲۰۰۳) پوره مارچوبه را با روش رفرکتنس ویندو از رطوبت اولیه حدود ۹۸ درصد به ٤ درصد (براساس وزن مرطوب) در مدت ٤/٥ دقیقه خشک کردند [۲]. اکوا-مارتینز و همکاران (۲۰۱۲) برش‌های انبه با ضخامت ۱ و ۲ میلی‌متر را با استفاده از روش رفرکتنس ویندو در دمای ۹۲ درجه سانتی‌گراد و خشک‌کن قفسه‌ای با دمای ٦۲ درجه سانتی-گراد و سرعت هوای ۰/۵۲ متر بر ثانیه خشک کردند. نتایج نشان داد زمان خشک شدن در روش رفرکتنس ویندو حدود ۱ ساعت و در خشک‌کن قفسه‌ای حدود ٤ ساعت بود؛ در حالی که رطوبت و فعالیت آبی محصول خشک شده در رفرکتنس ویندو کمتر از سایر روش‌ها بود [۸]. میکلوکچ و همکاران (۲۰۱۲) خواص کیفی گوجه فرنگی خشک شده با خشک کن خورشیدی مستقیم، خشک کردن در آفتاب در هوای باز و خشک کردن با مایکروویو با توان‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که خشک کردن گوجه فرنگی با مایکروویو سریعتر از خشک شدن در هوای آزاد و خشک‌کن خورشیدی مستقیم بود [۹]. عباسید و همکاران (۲۰۱٤) برش‌های گوجه فرنگی را با استفاده از خشک کردن هوای داغ و رفرکتنس ویندو در دمای ۷۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد خشک کردند و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محصول را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که فرایند خشک شدن نمونه ها در رفرکتنس ویندو به صورت مرحله نزولی بوده و فاقد مرحله خشک شدن با آهنگ ثابت می‌باشد [۱۰]. هدف از این تحقیق، مقایسه ستتیک خشک شدن، خواص کیفی، چروکیدگی و شاخص‌های رنگ برگه گوجه فرنگی تهیه شده با استفاده از روش‌های مختلف (رفرکتنس ویندو، مایکروویو، هوای داغ و آفتابی) بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و تجهیزات

گوجه فرنگی (رقم کورال) از بازار میوه فروشان شهرستان ارومیه تهیه شد. ویژگی‌های گوجه فرنگی تازه از جمله میانگین قطر و وزن، رطوبت، بریکس، اسیدیته و pH تعیین شد. در این راستا، تعداد ۱۰ عدد گوجه فرنگی بطور تصادفی انتخاب شد. سپس، نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم (مدل متلیر[1] ساخت کشور چین) توزین شد. قطر و طول نمونه‌ها نیز توسط کولیس تعیین گردید. سپس، میانگین وزن و قطر نمونه‌ها محاسبه شد. مواد جامد محلول در آب (بریکس) به روش رفراکتومتری (مدل گارلزایس جینا[2]، ساخت آلمان) تعیین شد. برای تعیین pH، نمونه همگن شده گوجه فرنگی با ۵۰ میلی لیتر آب رقیق شد و پس از صاف کردن، زیر الکترود دستگاه (متر مدل متروهوم-[3]٦۹۱ ساخت سوئیس) قرار گرفت و pH قرائت شد. برای تعیین اسیدیته، مقدار ۵ گرم از نمونه همگن شده با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد و با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲ تیتر گردید. سپس، درصد اسیدیته بر حسب اسید سیتریک محاسبه شد. ویژگی‌های بدست آمده شامل میانگین وزن گوجه فرنگی در حدود ۱۷/۳±۱٤٤/۷ گرم، میانگین قطر و طول به ترتیب ۰/٤±۵/۷ و ۰/۸±۷/۵ سانتی‌متر و بریکس درحدود ۰/۰۷±۳/۹۵، اسیدیته ۰/۰۷±۱/۱ درصد برحسب اسید سیتریک و pH حدود ۰/۰٤±٤/۲۵ بودند.

گوجه فرنگی‌ها پس از شستشو، با چاقو تیز به قطعات در حدود یک سانتی‌متر و تقریبا یکسان برش داده شدند. سپس، برش‌ها به ٤ قسمت تقسیم و با استفاده از چهار روش زیر خشک شدند.

۱-روش آفتابی: حدود یک کیلوگرم از برش‌های گوجه فرنگی بطور منظم و یک لایه روی سینی پلاستیکی مشبک با قالب چوبی در ابعاد ٤۰× ۷۵ سانتی‌متر چیده شدند و به ردیف در معرض نور مستقیم آفتاب قرار گرفتند و خشک شدن تا ثابت شدن تقریبی وزن نمونه‌ها ادامه یافت. در طول خشک کردن، رطوبت نسبی محیط بین ۱۵ تا ٦۵/٤ درصد و میانگین درجه حرارت هوا بین ۱۵/٤ تا ۳٦/٦ درجه سانتی‌گراد و سرعت باد ٤ تا ۱۹۰ متر بر ثانیه بود. خشک کردن در آفتاب به مدت ۱۲ ساعت انجام شد.

۲- روش هوای داغ: در این روش از دستگاه آون (ممرت، ساخت کشور آلمان) دارای چرخش هوا استفاده شد. برای تعیین دقیق سرعت جریان هوا از آنومتر سیم داغ[4] (مدل ۱۳٤۰ -TES ساخت کشور تایوان) استفاده شد.حدود یک کیلوگرم ورقه‌های گوجه‌فرنگی بطور منظم و یک لایه روی یک سینی استیل مشبک

1. Mettler
2. Garlzeiss Jena
3. Metrohm
4. Hot wire anemometer

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

به ابعاد ٤٥× ٧٠ سانتی‌متر چیده شده و در دمای ٧٠ درجه سانتی-گراد با سرعت جریان هوای در محدود ١/٢ متر بر ثانیه خشک گردید. خشک شدن تا ثابت شدن تقریبی وزن نمونه‌ها ادامه یافت.

٣-خشک کردن با مایکروویو: در این روش از یک مایکروویو خانگی به ابعاد ٤٠×٣٠×٥٠ سانتیمتر (مدل ٨٠٤٧ ساخت شرکت LG، کشور کره جنوبی) استفاده شد. خشک کردن در فرکانس ٢٤٥٠ مگاهرتز و توان ٣٥٠ وات انجام شد. جهت خشک کردن، برش‌های گوجه فرنگی به مقدار ٣٥٠ گرم در داخل سینی شیشه‌ای به قطر ٣٠ سانتی‌متر در محفظه مایکروویو قرار گرفت. خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن نمونه‌ها ادامه داشت [١١].

٤- دستگاه رفراکتنس ویندو: سیستم دستگاه رفراکتنس ویندو در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد. فیلم پلی استر مایلار به عنوان غشاء پلاستیکی استفاده گردید. به منظور گرم کردن آب از بن ماری (ممرت، ساخت کشور آلمان) استفاده گردید که برای به گردش در آوردن آب گرم، پمپی به آن متصل شده بود. فیلم پلی استر روی بن ماری نصب گردید (شکل ١). ورقه‌های گوجه-فرنگی بطور منظم و یک لایه روی غشاء پلاستیکی چیده شدند. خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن نمونه‌ها ادامه یافت [٢].

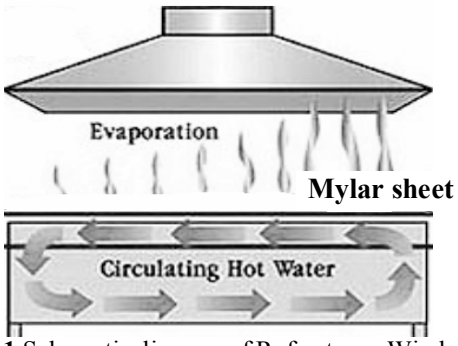

Fig 1 Schematic diagram of Refractance Window

در حدود ١٠٠ گرم از نمونه‌های خشک شده از هر روش تهیه شد. تمام نمونه‌ها پس از خشک شدن به مدت ٦٠ دقیقه در دمای اتاق ٢٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا سرد شوند. در نهایت، به منظور به حداقل رساندن عوارض تخریب نور، در کیسه‌های آلومینیومی چند لایه و ضد نور بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایش در یخچال نگهداری شدند.

٢-٢-تعیین سینتیک خشک شدن

یکی از منحنی‌های سینتیکی، منحنی تغییرات رطوبت نمونه با زمان فرایند می‌باشد. با توزین نمونه‌ها در فواصل زمانی مشخص در طول دوره خشک شدن و تعیین رطوبت با محاسبه تغییرات وزن در بازه زمانی، می‌توان روند تغییرات رطوبت در زمان را تعیین نمود. برای تعیین سنتیک خشک شدن، تعداد ٤ برش از گوجه فرنگی (با میانگین وزن هر برش ٢/٥±٢٢ گرم) با ترازوی دقیق توزین و در هر یک از خشک‌کن‌ها قرار گرفت. در طی خشک شدن، تغییرات وزن نمونه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ٠/٠١ گرم، در روش مایکروویو هر ٥ دقیقه و در سایر روش‌ها هر یک ساعت ثبت گردید. یادآور می گردد که بعد از هر مرحله توزین، نمونه‌ها سریعاً به خشک‌کن بازگشت داده شد تا خطای حاصل از جذب رطوبت به حداقل ممکن کاهش یابد [١٢].

در اکثر موارد، سینتیک خشک کردن بر اساس شاخص نسبت رطوبت (MR) گزارش شده است. در پژوهش حاضر نیز برای محاسبه نسبت رطوبت برش‌های گوجه فرنگی در طول فرآیند خشک کردن از رابطه ١ استفاده شد که MR نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t رطوبت نمونه بر مبنای وزن خشک در زمان t، M_0 رطوبت اولیه بر مبنای خشک و M_e مقدار رطوبت تعادلی بر مبنای خشک بود [١٣].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

رابطه ١

٢-٣-روش‌های آزمایش

برای تعیین pH گوجه فرنگی‌های خشک شده مقدار ٥ گرم پودر همگن شده با ٥٠ میلی لیتر آب رقیق شد و پس از صاف کردن، زیر الکترود دستگاه قرار گرفت و pH قرائت شد.

برای تعیین اسیدیته گوجه فرنگی‌های خشک شده، مقدار ٥ گرم از نمونه پودر گوجه فرنگی با ١٠٠ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد پس از ٣٠ دقیقه، با سود ٠/١ نرمال تا رسیدن به pH ٨/٢ تیتر شد. سپس درصد اسیدیته بر حسب اسید سیتریک محاسبه شد [١٤].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

برای تعیین چروکیدگی نمونه ها، ابعاد ظاهری برش‌های گوجه فرنگی شامل قطرهای خارجی و داخلی و ضخامت آنها با استفاده از کولیس در ابتدا و انتهای فرایند خشک کردن دقیقاً اندازه گیری و درصد کاهش حجم و به تعبیری میزان چروکیدگی بافت با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید که در آن SH ، میزان چروکیدگی به درصد، V_i و V_{AD} به ترتیب حجم برش حلقه‌ای قبل و پس از خشک کردن است [۱۵].

رابطه ۲

$$SH = \frac{V_i - V_{AD}}{V_i} \times ۱۰۰$$

رطوبت از طریق خشک کردن در آون ۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد.

برای اندازه گیری میزان قهوه‌ای شدن، حدود ۸ گرم نمونه همگن شده، با مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اتانول ۵۰ درصد حجمی، به مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. پس از صاف کردن با کاغذ صافی واتمن شماره ۲، میزان جذب نور و به بیانی دیگر میزان دانسیته نوری، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤٤۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [۱۵].

برای اندازه گیری جذب آب مجدد:مقدار ۵ گرم از هر نمونه در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر غوطه‌ور شد. پس از صاف کردند. پس از ٦ ساعت، صاف شد و دقیقاً توزین گردید. نسبت جذب آب نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد که RH نسبت جذب آب و W_1 و W_2 به ترتیب وزن نمونه قبل و پس از جذب آب می‌باشد [۱۵].

رابطه ۳

$$RH = \frac{W_2}{W_1}$$

رنگ نمونه‌ها با تعیین فاکتورهای رنگ‌سنجی شامل b* (نشان دهنده طیف رنگی آبی تا زرد)، a* (نشان دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز) و L* (نشان دهنده طیف سیاه تا سفید) با استفاده از روش رنگ‌سنجی و نرم افزار image J انجام شد. نمونه‌های خشک شده توسط اسکنر (برادر، مدل DCP-1510، ساخت کشور ژاپن) اسکن و با فرمت JPEG ذخیره شد. سپس توسط نرم افزاراز فضای رنگی RGB به Lab تبدیل شد [۱٦].

برای ارزیابی حسی رنگ برگه‌های گوجه فرنگی از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد. برای این منظور، امتیاز ۵ برای کیفیت مطلوب و امتیاز ۱ برای کیفیت نامطلوب اختصاص داده شد.

۲-٤-تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ٤ تکرار انجام شد. نتایج با استفاده از برنامه آماری Minitab (نسخه ۱۷) تجزیه آماری گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از روش توکی استفاده شد.

۳-نتایج و بحث

۳-۱-سینتیک خشک شدن

شکل ۲ منحنی تغییرات آهنگ خشک شدن بر اساس رطوبت ماده بر پایه خشک (سینتیک خشک شدن) برش‌های گوجه‌فرنگی را در طول خشک کردن با روش‌های مختلف نشان می‌دهد. رطوبت اولیه برش‌های گوجه فرنگی ۱۸/۷٦ درصد بر پایه ماده خشک بود که در نهایت از طریق خشک کردن در روش‌های آفتابی و هوای داغ به حدود ۰/۲٦ درصد و در روش مایکروویو و رفراکتنس ویندو به حدود ۰/۲۲ درصد رسید. زمان مورد نیاز برای رسیدن نمونه‌ها به حالت خشک در آفتاب۷۸۰ دقیقه، در هوای گرم ٦٦۰ دقیقه، در رفراکتنس ویندو ۳٦۰ دقیقه و در مایکروویو ۵۵ دقیقه بود. این نتایج نشان داد که سرعت خشک شدن نمونه‌ها، ابتدا در روش مایکروویو، سپس به ترتیب در روش رفراکتنس ویندو و روش هوای داغ بیشتر بود.. در طول خشک شدن در مایکروویو، مولکول‌های آب انرژی را سریعاً جذب و منتقل می‌کنند؛ زیرا حجم گرمای تولید شده در نمونه مرطوب بیشتر بوده و در نتیجه دمای داخلی بالاتر می‌رود و در مقایسه با سایر روش‌های خشک شدن، به سرعت به نقطه جوش خود می‌رسند [۳ و ۱۷]. نتایج مشابهی توسط میکلوکچ و همکاران (۲۰۱۲) و ماسکان (۲۰۰۱) در روش خشک کردن با مایکروویو گزارش شده است [۱ و ۹].

چون در روش RW، در محل تماس محصول مرطوب با صفحه پلاستیکی مایلار، انرژی مادون قرمز تولید می‌شود. لذا در این مرحله انتقال حرارت با هر سه روش هدایت، جابجایی و تابش

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

بطورهمزمان اتفاق افتاده که منجر به انتقال سریع حرارت و خروج آب از محصول می‌گردد. همچنین به دلیل نازک بودن صفحه مایلار، تقریباً بلافاصله دمای محصول به دمای آب در گردش می‌رسد [۲]. بنابراین سرعت خشک شدن گوجه فرنگی‌ها در خشک کن RW، در مقایسه با روش آفتابی و هوای داغ سریعتر است.

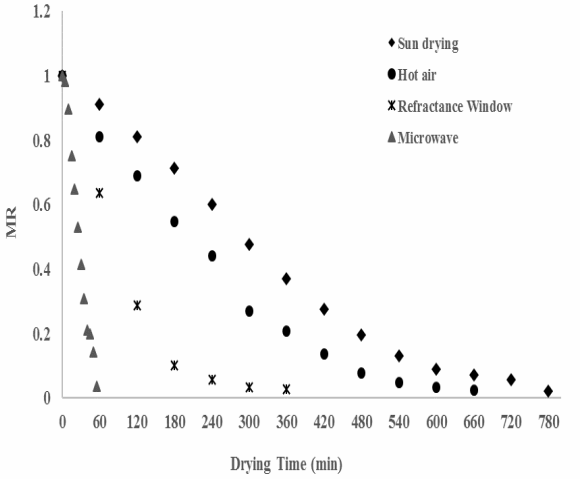

Fig 2 Drying curves for different drying methods

کاهش زمان خشک شدن در روش RW توسط اکوا-مارتینز و همکاران (۲۰۱۲) نیز برای برش‌های انبه خشک شده به روش رفرکتنس ویندو نسبت به روش خشک کن قفسه‌ای گزارش شده است [۸].

با توجه به منحنی خشک شدن (شکل ۲)، در نمونه‌های خشک شده به دو روش آفتابی و هوای داغ، دو قسمت سرعت ثابت و سرعت نزولی قابل مشاهده است. از آنجا که دما در خشک کردن هوای داغ بالاتر از روش آفتابی بود، لذا رسیدن دمای سطح ماده غذایی به دمای خشک کن، سریع‌تر بود. درنتیجه، خشک شدن سریع‌تر شروع شده و موجب بالا رفتن سرعت خشک کردن هوای داغ نسبت به روش آفتابی شد. بابارندی و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که زمان خشک شدن گوجه‌فرنگی‌ها در هوای داغ کمتر از روش آفتابی بود [۱۸] که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

اما در نمونه‌های خشک شده به روش RW و مایکروویو، دوره خشک کردن ثابت مشاهده نشد. در این نمونه‌ها تنها دوره نزولی وجود داشت. همان طور که از شکل ۲ نیز مشخص است، آهنگ خشک کردن در لحظات اولیه فرایند سریعتر است، در حالی که در پایان عملیات خشک کردن، کندتر شده است. بعضی از عوامل در برابر خروج رطوبت مقاومت نشان می‌دهند. از جمله این عوامل می‌توان به وقوع چروکیدگی و تشکیل یک لایه سخت در سطح ماده غذایی، در اثر وجود مواد قندی و سایر مواد محلول با غلظت بالا، اشاره کرد [۲]. عباسید و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که فرایند خشک شدن برش‌های گوجه فرنگی در خشک‌کن RW به صورت مرحله نزولی بوده و فاقد مرحله خشک شدن با آهنگ ثابت می‌باشد [۱۰]. نتایج مشابهی نیز توسط آبونی و همکاران (۲۰۰۲) گزارش شده است [۷].

۳-۲-تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر اسیدیته و pH

در جدول ۱ خلاصه تجزیه واریانس تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن برخی خواص فیزیکی برش‌های گوجه فرنگی خشک شده آورده شده است. همانطوری‌که از جدول مشخص است، تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر اسیدیته معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$)؛ اما بر pH تأثیر معنی داری نداشت ($p>۰/۰۵$)..

Table 1 Analysis of variance of some physical properties of dried tomatoes

Source	Degrees of Freedom	Mean Square			
		pH	Acidity (%)	Rehydration	Shrinkage (%)
Drying methods	3	0.0198ns	0.734*	0.749**	11.474*
Error	12	0.005	0.085	0.033	0.772
Total	15				

Statistically significant, **P < 0.01, *P<0.05 and ns: not significant

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

با توجه به جدول ۲، میزان اسیدیته در نمونه‌های خشک شده در هوای داغ، مایکروویو و رفراکتنس ویندو تاثیر معنی داری با یکدیگر نداشت. اما مقدار اسیدیته در نمونه‌های تهیه شده به روش آفتابی بطور معنی داری کمتر از سایر روش‌ها بود. دلیل این امر، بالا بودن رطوبت و غلظت یون هیدروژن در نمونه‌های خشک شده در آفتاب است.

بابارندی و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که اسیدیته نمونه‌های گوجه فرنگی خشک شده در آفتاب کمتر از هوای داغ بود [۱۸]. این پژوهشگران دلیل آن را به مقدار ماده خشک نمونه‌های خشک شده نسبت دادند، بطوری که اگر با افزایش مواد جامد ، اسیدیته نیز افزایش خواهد یافت [۱۹]. مختاریان و همکاران (۱۳۸۷) نیز گزارش کردند که اسیدیته تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن قرار گرفت. کمترین و بیشترین میزان اسیدیته به ترتیب برای پودرهای گوجه فرنگی تهیه شده به روش آفتابی نمونه های خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حاصل شد [۲۰].

Table 2 The effect of different drying methods on some physicochemical properties of dried tomatoes

Drying Methods	pH	Acidity (%)	Rehydration	Shrinkage (%)
Sun drying	4.29±0.01	3.66±0.01b	4.78±0.17a	14.47±0.86b
Hot-air	4.13±0.04	4.34±0.24ab	3.85±0.22b	18.62±1.17a
Microwave	4.14±0.05	4.65±0.48ab	4.03±0.21b	15.57±1.05b
Refractance window	4.05±0.07	5.10±0.23a	4.64±0.17a	11.97±0.13c

Each value represent mean of four replicates ± Standard deviation of the mean value
Means with the same letter in a columns are not significantly different from each other (p>0.01).

سلیمان و همکاران (۲۰۱۳) و بشیر و همکاران (۲۰۱٤) به ترتیب نشان دادند که پودر و برش‌های گوجه فرنگی تهیه شده با روش آفتابی کمتر از اسیدیته پودر و برش‌های گوجه فرنگی تهیه شده با روش هوای داغ بود [۱٤ و ۲۱]. میکلوکچ و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که اسیدیته قابل تیتر محصول به طور معنی‌داری تحت تاثیر فرایند خشک شدن قرار گرفت؛ بطوری که بیشترین مقدار اسیدیته در نمونه گوجه فرنگی خشک شده توسط خشک‌کن خورشیدی مستقیم و کمترین آن در نمونه‌های خشک شده به روش آفتابی حاصل شد [۹]. نتایج حاصل از این تحقیقات، با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد.

۳-۳-تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر قابلیت جذب مجدد آب و چروکیدگی برگه‌ها

قابلیت جذب آب یک شاخص کیفی برای ماده غذایی خشک شده می‌باشد. در طی خشک کردن، تغییرات نامطلوبی مانند تغییرات بافتی، مهاجرت مواد محلول و خروج مواد فرار در محصول ایجاد می شود. علاوه براین، گرما الاستیسیته دیواره سلولی را کاهش داده و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب در محصول خشک شده کاهش و چروکیدگی افزایش می‌یابد. از این رو، جذب مجدد آب می‌تواند به عنوان معیار اندازه‌گیری مقدار آسیب‌های ساختاری وارد شده به ماده غذایی در طی خشک کردن در نظر گرفته شود [۱۵]. همچنین، کاهش رطوبت طی خشک شدن با وقوع چروکیدگی و تغییرات ساختمان داخلی همراه است [۲٤].

تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر قابلیت جذب آب مجدد و چروکیدگی گوجه‌فرنگی خشک شده معنی‌دار بود. همان طور که از جدول ۲ مشخص است، نمونه‌های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو بطور معنی‌داری کمترین مقدار چروکیدگی و بیشترین مقدار قابلیت جذب آب مجدد و نمونه‌های خشک شده با هوای داغ نیز بیشترین چروکیدگی و کمترین قابلیت جذب آب مجدد را داشتند. اما اختلاف بین قابلیت جذب آب مجدد نمونه-های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو و روش آفتابی و نیز بین نمونه‌های خشک شده با هوای داغ و مایکروویو معنی‌دار نبود. همچنین، بین چروکیدگی نمونه‌های خشک شده به روش آفتابی و مایکروویو اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

از آنجایی‌که مقدار جذب آب مجدد وابسته به درجه تخریب سلولی و ساختاری و میزان تخلخل است. می‌توان نتیجه گرفت در روش خشک کردن آفتابی و روش رفراکتنس ویندو، صدمه کمتری به بافت نمونه‌ها وارد شده و در نتیجه، با ایجاد تخلخل بیشتر، موجب افزایش قابلیت جذب آب مجدد و کاهش چروکیدگی در این نمونه‌ها شده است [۱۳]. شدت چروکیدگی و قابلیت جذب آب مجدد به نوع محصول و شرایط خشک کردن

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

بستگی دارد. میوه‌ها و سبزی‌ها در فضای داخل سلولی مقدار زیادی هوا دارند که در طول تبخیر رطوبت و در اثر چروکیدگی، این هوا می‌تواند خارج شود [۲۵ و ۲۶]. کرالیدا و ماروبولیس (۱۹۹۷) نیز نشان دادند که چروگیدگی در نمونه‌های خشک کردن با هوای داغ بیشترین از روش‌های خشک کردن در خلاء، مایکروویو، خشک کردن انجمادی و اسمزی بود [۲۷] که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نوری و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که در نمونه‌های خشک شده با مایکروویو، میزان جذب مجدد آب بیشتر از نمونه‌های خشک شده با هوای داغ بود [۲۲] که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت ندارد. دلیل آن می‌تواند مربوط به اختلاف در توان مایکروویو و دمای هوای داغ مورد استفاده برای خشک کردن باشد.

۳-٤-تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر شاخص‌های رنگ

خشک کردن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ماده را تغییر می‌دهد و در نتیجه رنگ ماده غذایی نیز دستخوش تغییر می شود. همانطوریکه از جدول ۳ مشخص است تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر شاخص‌های رنگ معنی دار بود (p<۰/۰۵). با توجه به جدول ٤، شاخص‌های *L ، *b و *a در نمونه‌های خشک شده به روش رفراکتنس ویندو بطور معنی‌داری بیشتر و در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ کمتر از سایر نمونه‌ها بود. هرچه شدت روشنایی (*L) و شدت سبزی (*a) بالاتر باشد، قهوه‌ای شدن کم تر اتفاق می‌افتد [۲۵]. بنابراین، میزان قهوه‌ای شدن در نمونه‌های خشک شده به روش رفراکتنس ویندو کمتر و در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ بیشتر از سایر روش‌ها بود. همچنین، با توجه به جدول ٤، نمونه‌های خشک شده با مایکروویو دارای کمترین مقدار شاخص *L بودند؛ در حالی که شاخص‌های *b و *a این نمونه‌ها بیشتر از نمونه‌های خشک شده با روش‌های آفتابی و هوای داغ بود؛ زیرا – در محصول خشک شده با مایکروویو لکه‌های تیره به علت سوختن در توان ۳٦۰ وات ایجاد شد که با نتایج چیلن و کاووسی (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۱۱].

Table 3 Analysis of Variance of different drying methods on the color indexes and sensory evaluation of dried tomatoes

Source	Degrees of Freedom	Mean Square			
		L*	a*	b*	Color Score
Drying methods	3	127.68*	182.62*	402.47**	3.715**
Error	12	18.57	14.94	4.242	0.047
Total	15				

Statistically significant, **P < 0.01, *P<0.05

Table 4 The effect of different drying methods on the color indexes and sensory evaluation of dried tomatoes

Drying Methods	L*	a*	b*	Color score
Sun Drying	59.01±5.66b	59.21±0.44b	27.29±2.46c	3.85±0.21b
Hot-air	41.05±4.92c	44.0±2.46c	13.92±1.98d	2.91±0.14c
Microwave	38.54±4.13c	54.86±2.02a	32.23±2.61b	1.75±0.35d
Refractance window	65.73±0.96a	63.48±7.03a	46.00±0.44a	5.0±0.01a

Each value represent mean of four replicates ± Standard deviation of the mean value
Means with the same letter in a columns are not significantly different from each other

شاخص *a با مقدار لیکوپن گوجه فرنگی مربوط است که مسئول ایجاد رنگ قرمز گوجه فرنگی بوده و وابسته به درجه رسیدگی محصول است. در اثر حرارت دادن، لیکوپن ممکن است از ماتریکس سلولی آزاد شود و در اثر ایزومریزاسیون از حالت ترانس به سیس تبدیل می‌شود. لذا شاخص*a کاهش می‌یابد [۱۹]. کاهش مقدار شاخص *L نیز می‌تواند مربوط به واکنش-های قهوه‌ای غیرآنزیمی یا واکنش میلارد و اکسیداسیون اسید آسکوربیک باشد که در دماهای نسبتاً بالا و قرار گرفتن طولانی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

مدت محصول در معرض خشک شدن رخ می دهد. کرنیشوف و سلیگون (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که تیرگی رنگ به طور مستقیم با تجمع هیدروکسی متیل فورفورال در طول فرآیند خشک کردن متناسب است [۲۸].

٤-٤-تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر خواص حسی رنگ

رنگ غذا اولین پارامتر کیفی است که توسط مصرف کننده ارزیابی می‌گردد و در پذیرش محصول نقش اساسی دارد. همچنین، رنگ می‌تواند نشان دهنده تغییرات شیمیایی در مواد غذایی در ضمن فرآیندهای حرارتی مثل قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون باشد [۱۵]. تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر امتیار ارزیابی حسی رنگ معنی‌دار بود ($p<۰/۰۱$). با توجه به جدول ٤، امتیاز رنگ نمونه-های خشک شده به روش رفراکتنس ویندو در مقایسه با سایر روش‌ها بطور معنی‌داری بیشتر بود و کمترین مقدار نیز برای نمونه‌های خشک شده با مایکروویو حاصل شد. این نتایج با نتایج به دست آمده برای شاخص رنگی L^* نیز مطابقت دارد. همان-طورکه در قسمت شاخص‌های رنگ نیز بیان گردید، به دلیل ایجاد لکه‌های تیره روی سطح محصول به علت سوختن در مایکروویو، پایین‌تر بودن امتیاز رنگ این نمونه‌ها دور از انتظار نبود.

۵-نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده، سرعت خشک شدن گوجه فرنگی‌ها در مایکروویو بسیار سریعتر از سایر روش‌ها بود. سپس، به ترتیب سرعت خشک شدن نمونه‌ها در روش رفراکتنس ویندو و هوای داغ بیشتر از روش آفتابی بود. در منحنی‌های خشک شدن برای دو روش RW و مایکروویو، دوره خشک کردن ثابت مشاهده نشد. درصد اسیدیته در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ، مایکروویو و رفراکتنس ویندو تأثیر معنی داری با یکدیگر نداشت؛ اما مقدار اسیدیته در نمونه‌های تهیه شده به روش آفتابی بطور معنی داری کمتر از سایر روش‌ها بود. علاوه بر این، نمونه-های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو بطور معنی‌داری کمترین مقدار چروکیدگی و بیشترین مقدار قابلیت جذب آب مجدد را بین سایر نمونه‌ها داشتند. نمونه‌های خشک شده با هوای داغ نیز دارای بیشترین چروکیدگی و کمترین قابلیت جذب آب مجدد بودند. شاخص‌های L^* ، b^* و a^* در نمونه‌های خشک شده به روش رفراکتنس ویندو بطور معنی داری بیشتر و در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ کمتر از سایر نمونه‌ها بود. در نهایت، نمونه‌های خشک شده به روش رفراکتنس ویندو بطور معنی داری بیشترین امتیاز و در روش مایکروویو کمترین امتیاز را کسب کردند. اگرچه در روش مایکروویو زمان خشک شدن بسیار کمتر از روش رفرکتنس ویندو بود، اما محصول تولیدی در روش مایکروویو دارای خصوصیات رنگی بسیار پایین‌تری بود. لذا روش رفرکتنس ویندو برای خشک کردن گوجه فرنگی، به عنوان، جایگزین مناسب برای خشک کردن هوای داغ و مایکروویو توصیه می‌شود.

۵- منابع

[1] Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering. 48: 177-182.
[2] Nindo, C. I. and Tang, J. 2007. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. Drying Technology. 25: 37–48.
[3] McLoughlin, C. M., McMinn, W.A.M. and Magee, T.R.A. 2003. Microwave drying of multicomponent powder systems. Drying Technology. 21: 293–309.
[4] FAO. 2017. Statistical Database. Available at: www.faostat.fao.org
[5] Lewicki, P. P., Hoa, V. and Pmaranska – Lazuka, W. 2002. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. Journal of Food Engineering. 54: 141-146.
[6] Clinton S. K. 1998. Lycopene; chemistry, biology and implications for human health and diseases. Nutrition Review. 56(2): 35-51.
[7] Abonyi, B.I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. G., Mattinson, D. S. and Fellman, J. K. 2002. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window® System. Journal of Food Science. 67: 1051-1056.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[8] Ochoa-Martínez, C.I., Quintero , P.T., Ayala, A. A. and Ortiz, M.J. 2012. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. Journal of Food Engineering. 109: 69–75.

[9] Mechlouch, R. F., Elfalleh, W., Ziadi, M., Hannachi, H., Chwikhi, M., Aoun, A. B., Elakesh, I. and Cheour, F. 2012. Effect of different drying methods on the physico-chemical properties of tomato variety 'Rio Grande'. International Journal of Food Engineering. 8 (2): 1-13.

[10] Abbasid, A., Niakousari, M. and Yasini Ardekani, S. A. 2015. The advantages of the Refractance Window method of dehydrating fresh tomato slices and the relevant characteristics thereof. Journal Applied Environmental Biology Science. 4(11S): 6-13.

[11] Çelen, S. and Kahveci, K. 2013. Microwave drying behaviour of tomato slices. Czech Journal Food Science. 31: 132–138.

[12] Roustapour, O. R., Maftoonazad, N. and Khaloahmadi, A. 2014. Study of drying kinetics and shrinkage of potato slice in a parallel flow dryer. Journal of Food Science and Technology (JFST). 12 (47): 109-112 (In Parsian).

[13] Doymaz, I. 2008. Air-drying characteristics of tomatoes: Journal of Food Engineering. 78: 1291- 1297.

[14] Sulieman, A M E., Abdalla, S. A. and Salih, Z. A. 2013. Effect of conventional and oven drying on the physicochemical properties of two tomato cultivars fruit powder. Food and Public Health. 3: 346-351.

[15] Zomorodi, Sh. 2012. Dried fruits processing technology and quality control. Urmia, Jihad of Urmia University Publications.

[16] Driscoll, R., Madamba, P. 1994. Modelling the browning kinetics of garlic. Food Australia. 46:66-71.

[17] Khraisheh, M. A. M., Cooper, T. J. R. and Magee, T. R. A. 1995. Investigation and modeling of combined microwave and air-drying. Food Bioproduct Process. 73:121–126.

[18] Babarinde, G. O., Akande, E. A. and Anifowose, F. 2009. Effect of different drying method on physico-chmeical and microbial properties of tomato var Roma. Fresh Produce. 3 (11): 37-39.

[19] Toor, R.K. and Savage, G.P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. Food Chemistry. 94: 90-97.

[20] Mokhtarian, M., Nobahar, F., Tavakolipour, H. and Armin, M. 1999. Optimization of effective parameters in the production of tomato powder. 18th Congress of Food Science and Technology. Mashhad. (In Parsian).

[21] Bashir, N., Ahmad Bhat, M., Dar, B. N. and Shah, M. A. 2014. Effect of different drying methods on the quality of tomatoes. Advances in Food Sciences. 36 (2): 65-69.

[22] Noori, M., Kashaninejad, M., Daraei Garmekhani, A. and Bolandi, M. 2012. Optimization of drying process of parsley using the combination of hot air and microwave methods. Electronic Journal of Food Processing and Preservation (EJFPP). 4 (2):103-122.

[23] Ahmadzadeh Ghavidel, R. and Ghiafeh Davoodi, M. 2010. Studies on Physiochemical properties of tomato powder as affected by different dehydration methods and pretreatments. World Academy of Science, Engineering and Technology. 69: 596-605.

[24] Mujumdar, A.S. 2007. An overview of innovation in industrial drying: current status and R&D needs: Transport in Porous Media. 66: 3-18.

[25] Lewicki, P. P., Witrowa Rajchert, D. and J. Mariak, J. 1997. Changes of structure during dehydration of dried apples. Journal Food Engineering. 32(2): 347-350.

[26] Mayor, L. and Sereno, A.M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. Journal Food Engineering. 61:373–386.

[27] Krokida, M. K. and Z. B. Maroulis. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. Drying Technology. 15: 2441–2458.

[28] Cernîşev, S. and Şleagun. G. 2007. Influence of dehydration technologies on dried tomato biological quality and value. Cercetări Agronomice în Moldova. 3 (131): 63-67

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

Study on drying kinetics and physical properties of tomato slices Dried by refractance window in comparison with microwave, hot air and sun drying methods

Zomorodi, SH. [1*]

1. Department of Engineering Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

(Received: 2017/09/16 Accepted:2018/01/08)

In this study, the drying kinetics and physical properties of tomato slices dried using refractance window were compared with microwave, hot air and sun drying methods. According to the results obtained, the drying rate of tomato slices was the highest in the microwave and subsequently in refractance window in comparison with hot air and sun drying methods. In the drying curves of both microwave and refractance window methods no constant period of drying was observed. The lowest and highest rate of shrinkage belonged to the samples dried by refractance window and hot air methods, respectively. The highest and the lowest rehydration ratio were observed in the samples dried in refractance window and hot air method, respectively. The indexes of L*, b* and a* were significantly higher for the samples dried by refractance window and lower in the samples dried using hot air method. The results of sensory evaluation showed that the samples dried using refractance window gained the highest score for color and the samples dried by microwave method gained the lowest color score. However, the drying period of slices dried by microwave was much shorter than that of the refractance window, but the color properties score of samples dried by microwave was significantly lower than of the samples dried by refractance window. Therefore, it can be concluded that the refractance window method can be used as an alternative to hot air and microwave methods.

Keywords: Sun drying, Refractance window, Microwave, Hot-air drying, Tomato

*Corresponding Author E-Mail Address: s.zomorodi@areeo.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]