

بررسی کارایی سیستم پیوسته رفراکتنس ویندو بر سنتیک خشک شدن و خواص فیزیکی ورقه های سیب و هلو و مقایسه آن با خشک کردن با هوای داغ و آفتابی

الهام آذرپژوه^{۱*}، پروین شرایعی^۲، حسین چاجی^۳، مجید رضایی فریمانی^۴

^۱ - دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد- ایران.

^۲ - استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد- ایران.

^۴ - دانشجوی دکتری دپارتمان ماشین های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

چکیده

سیستم رفراکتنس ویندو سیستم جدید خشک کردن به منظور تولید مواد غذایی خشک یا تغلیظ شده با کیفیت بالاست. در این تحقیق از خشک کردن رفراکتنس ویندو پیوسته طراحی و ساخته شده در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی استفاده گردید. برای بررسی کارایی سیستم رفراکتنس ویندو، ورقه های نازک میوه (اسلایس) سیب و هلو با استفاده از این سیستم خشک شد و با نمونه های خشک شده توسط خشک کن با هوای داغ و روش خشک کردن آفتابی مقایسه گردید. منحنی های زمان خشک کردن و آزمون های فیزیکوشیمیایی (رنگ، بافت، میزان ویتامین ث) و ارزیابی چشایی روی نمونه ها رسم شد. نتایج بررسی ها نشان داد که روش خشک کردن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی میوه سیب و هلو اثر معنی داری دارد. مدت زمان خشک شدن در روش رفراکتنس ویندو نیز به طور معنی داری کمتر بود تا در روش خشک کردن در آفتاب و خشک کن با هوای داغ. مواد جامد انحلال پذیر پس از خشک کردن افزایش یافت. بیشترین مقدار ویتامین ث در سیب و هلو خشک شده با روش رفراکتنس ویندو به ترتیب (۸/۴۱ و ۶/۸۳ میلی گرم در ۱۰۰ گرم)، به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۰۶ درصد در میوه سیب و ۰/۳۴ و ۰/۱۷ درصد در میوه هلو بیش از نمونه های خشک شده با روش های خشک کن آفتابی و خشک کن با هوای داغ بود.

نتایج تحقیق همچنین نشان داد که نیروی لازم برای شکستن بافت میوه سیب در روش خشک کردن با رفراکتنس ویندو در مقایسه با روش های خشک کردن با خشک کن های آفتابی و هوای داغ، به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۱۲ درصد و در میوه هلو ۰/۳۰ و ۰/۱۵ درصد کمتر است. میزان روشنایی در میوه سیب و هلو در روش خشک کردن با رفراکتنس ویندو به طور معنی داری بیشتر بود تا در روش های خشک کن آفتابی و خشک کن با هوای داغ. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که محصول خشک شده با روش رفراکتنس ویندو از لحاظ پارامترهای رنگ، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی نسبت به دو روش دیگر خشک کردن امتیاز بالاتری دارد.

واژه های کلیدی: خشک کن رفراکتنس ویندو، ارزیابی کیفی، سیب، هلو

مقدمه

آهنگ ثابت را به خود اختصاص می‌دهند. اثرهای هدایتی تا زمانی که محصول به میزان رطوبت بحرانی می‌رسد، به تبخیر رطوبت کمک می‌کنند، در نتیجه، اثر خنک‌کننده تبخیری را توجیه می‌کنند که دمای محصول همیشه کمتر از دمای آب در هر نقطه خشک شدن است. با کاهش میزان انتقال حرارت، محصول در مقابل گرمایش بیش از حد محافظت می‌شود (Ortiz-Jerez *et al.*, 2015). در پایان فرایند خشک‌کردن، محصول از روی آب سرد حرکت می‌کند و پس از خنک شدن، توسط کاردک از تسمه جدا می‌شود (Nindo & Tang, 2007). دلیل اجرای این کار آن است که دمای محصول را تا زیر دمای انتقال شیشه کاهش دهد و از چسبناکی محصول جلوگیری کند. آب در حال گردش اغلب بعد از گرم شدن مجدد دوباره استفاده می‌شود تا راندمان حرارتی سیستم را ارتقا دهد (Azizi *et al.*, 2017).

نیندو و تانگ (Nindo & Tang, 2007) گزارش کردند که دستگاه‌های خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو به ۵۰-۷۰ درصد هزینه‌های اولیه کمتر نیاز دارند و با ۵۰ درصد انرژی کمتر نسبت به فرآیندهای خشک‌کردن انجمادی کار می‌کنند. باقبالی و همکاران (Baeghbali *et al.*, 2017) مقادیر انرژی موردنیاز برای خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو، نسبت به خشک‌کردن پاششی را ۳۳ درصد کمتر گزارش کردند. به جز صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از نظر تجاری نیز دستگاه‌های خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو می‌توانند گزینه ارزان‌قیمت برای تولید مداوم پودرهای باکیفیت بالا باشند. تمام طرح‌های شناخته‌شده سیستم خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو برای مواد غذایی تحت فشار اتمسفری عمل می‌کنند. محصولی که قرار است خشک شود، قبل از اینکه به طور مساوی روی سطح فیلم پخش شود، باید به صورت سوسپانسیون و پوره باشد (Da silva, 2015). زوتارلی و

روش‌های خشک‌کردن نوین تأثیر مثبتی بر صنایع غذایی به لحاظ بهره‌وری انرژی، هزینه و کیفیت محصول نهایی در آینده خواهد داشت. خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو^۱ (RW) یکی از این روش‌هاست که در سال‌های اخیر به دلیل مزایای متعدد، توجه زیادی به خود جلب کرده است. این روش شامل خشک‌کردن پوره‌ها و مایعات روی فیلم شفاف نازک فرورسرخ^۲ است. در این روش، دمای محصولات پایین نگه‌داشته می‌شود و خشک‌کردن سریع اتفاق می‌افتد، زیرا هر سه حالت انتقال حرارت حضور دارند. خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو کاربردهای متعددی نه تنها در صنایع غذایی بلکه در صنایع دارویی، غذا-دارویی و آرایشی پیدا کرده است.

مواد غذایی و محصولات کشاورزی مدت کوتاهی پس از تولید و برداشت در صورت استفاده‌نکردن از اصول نگهداری مناسب فاسد می‌شوند. خشک‌کردن فرایند پیچیده انتقال گرما و جرم و شامل حذف رطوبت از مواد غذایی است. محصول نهایی ممکن است به صورت ورق، پولک، فیلم، پودر یا گرانول باشد. خشک‌کردن یک عملیات واحد است که احتیاج به انرژی زیادی حدود ۱۲ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرف شده در صنایع غذایی را به خود اختصاص داده است. در سیستم رفرکتانس ویندو، مواد غذایی به طور یکنواخت روی ماده شفاف فرورسرخ^۳ نازک (مانند شیشه پیرکس) یا فیلم پلی‌اتیلن به نام فیلم مایلار^۴ روی سطح آب داغ قرار داده می‌شود (Baeghbali *et al.*, 2017).

زوتارلی و همکاران (Zotarelli *et al.*, 2015) انتقال حرارت را در جریان فرآیند خشک‌کردن به روش رفرکتانس ویندو تجزیه و تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که انتشارات حرارتی آب گرم تنها حدود ۳ درصد از کل گرمای داده‌شده به محصول در طول دوره خشک شدن با

1- Refractance Window

2- Infrared Transparent material

3- Infrared transparent

4- Mylar

لاکتوز موجود در *آلوئه ورا* در هنگام خشک شدن با استفاده از روش‌های مختلف از جمله خشک کردن به روش رفراکتنس ویندو گزارش کردند. محققان یادشده وقوع این امر را به دلیل تغییرات ترکیبی و کاهش وزن مولکولی طی فرآیند خشک شدن می‌دانند. برخلاف *آلوئه ورا*، تفاله‌های خشک شده انار به روش رفراکتنس ویندو، میزان آنتوسیانین‌ها، پونیکالاجین و الاجیک اسید بیشتری را حفظ کردند (Tontul & Topuz, 2017). میزان آنتوسیانین، رنگ آنتوسیانین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و انحلال‌پذیری بالاتری در انار خشک شده به روش رفراکتنس ویندو گزارش شده است. سیب‌زمینی‌های بنفش خشک شده به روش رفراکتنس ویندو افزایش قابل توجهی در میزان کل فنولیک‌ها، در مقایسه با غده خام، دارند که امکان توسعه محصولات غذایی با ارزش افزوده بالا را فراهم می‌آورد (Nayak, 2011).

دمای محصول تعیین‌کننده اساسی کیفیت محصول نهایی است و اثرهای انتخاب همرفت اجباری یا طبیعی به‌عنوان حالاتی برای حذف رطوبت سطحی تبخیری، به‌طور قابل توجهی بر مشخصات دما در زیر لایه‌های مختلف محصول پخش شده بر روی فیلم، تأثیر می‌گذارد. این امر را اوچا-مارتینز و همکاران (Martinez et al., 2012) با توجه به اثرهای ضریب انتقال حرارت متغیر توضیح داده‌اند. افزایش دمای نسبی محصول در روش رفراکتنس ویندو پایین‌تر است تا در روش خشک کردن با هوای همرفتی که پیامدهای مستقیم بر کیفیت محصول بهبود یافته را توجیه می‌کند. سوچاک و همکاران (Sojak et al., 2014) گزارش داده‌اند که دماهای فیلم مایلار حدود ۱۰ درجه سلسیوس کمتر از دمای آب گرم در وان است. رطوبت و دمای انبار محصول به‌طور مستقیم بر پایداری انبار پودرهای خشک شده به

همکاران (Zotarelli et al., 2015) گزارش نمودند، رطوبت پوره تمشک با روش رفراکتنس ویندو، از ۹۲ درصد به کمتر از ۴ درصد در مدت ۵ دقیقه رسید نیندو و همکاران (Nindo, et al 2003) تغییرات رطوبت موجود در پوره مارچوبه در خشک‌کن رفراکتنس ویندو را گزارش کردند. این محققان می‌گویند رطوبت پوره به هنگام پخش شدن بر فیلم مایلار در حال حرکت روی آب داغ در ۹۵ درجه سلسیوس و با سرعت ۲/۹۸ (متر بر دقیقه) در مدت زمان ۴/۵۰ دقیقه از ۸۰ درصد به ۲۰ درصد کاهش یافته است. در دوره خشک شدن، مقادیر بازتاب ماده غذایی افزایش اما مقدار جذب کاهش می‌یابد (Clarke et al., 2004). هیچ‌گونه نیازی به افزودنی‌های شیمیایی در خشک کردن به روش رفراکتنس ویندو وجود ندارد. محصولات باکیفیت بالاتر به‌طور کلی از طریق خشک کردن به روش رفراکتنس ویندو در مدت زمان کمتری به دست می‌آیند. این امر با تحقیقات (Abony et al., 2002) در زمینه خشک کردن به روش رفراکتنس ویندو پوره توت‌فرنگی مطابقت دارد. در میان ویژگی‌های مختلف حسی، رنگ تعیین‌کننده اساسی در مورد کیفیت محصول است. خشک کردن به روش رفراکتنس ویندو، در مقایسه با سایر روش‌های خشک کردن، در اکثر موارد رنگ مطلوبی نتیجه می‌دهد (Jafri et al., 2016). نیندو و تانگ (Nindo & Tang, 2007) می‌گویند که روش رفراکتنس ویندو به‌طور مؤثر می‌تواند برای خشک کردن محصولات با شکر بالا استفاده شود. با این همه، اثر آن‌ها بر پلی-ساکاریدها که باعث ایجاد تغییرات برگشت‌ناپذیر ساختاری و تغییرات در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و داروشناختی می‌شود، به ویژه در مورد منابع غذایی غنی در زیست-فعال‌ها، باید به‌طور کامل بررسی شود (Minajares-Fuentes et al., 2017). برای مثال، همان نویسندگان تلفات قابل توجهی (در حدود ۴۰ درصد) را در تجزیه گاو

خشک شدند و برای مقایسه عملکرد آن نمونه‌های ذکر شده توسط یک خشک‌کن با هوای داغ دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوا ۲/۱ متر بر دقیقه ساخت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و روش خشک‌کردن آفتابی در دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس مقایسه گردیدند.

خشک کن فرکتنس ویندو پیوسته (RW)

خشک کن فرکتنس ویندو از صفحه مایلار (فیلم پلاستیکی شفاف با ضخامت ۰/۲۶ میلی‌متر و مساحت ۶۰۰ × ۶۰ سانتی‌متر مربع) به عنوان غشای پلاستیکی به منظور ساخت دستگاه به کار گرفته شد. موتور گیربکس (Star Worm Reducer, Model; NPVO) برای چرخش نوار نقاله و به منظور حذف بخارهای حاصل از تبخیر رطوبت مواد خشک شونده از دو فن الکتریکی صنعتی دمنده مدل ایلکا ۵۰ سانت ۱۴۰۰ دور مدل VIE-50T4S ظرفیت هوادهی بالا تا ۶۰۰۰ مترمکعب در ساعت استفاده گردید. برای تأمین آب داغ سیستم، از دو حرارت دهنده الکتریکی استفاده شد و برای به گردش درآوردن آب داغ، پمپ آب سانتریفوژ نیمه استیل تکفاز CDX70/75 با سرعت ۲۹۰۰ دور در دقیقه به کار گرفته شد. قطعات دستگاه روی یک اسکلت استیل با طول ۶ متر نصب گردید و تجهیزات کنترل الکترونیکی دمای آب، کنترل موتور، پمپ و هواکش‌ها در یک تابلو کنترل نصب شد. خشک‌کن فرکتنس ویندو از یک حمام حرارتی استاتیکی از جنس استیل ۲۰۰ لیتری تشکیل و سطح آب با فیلم مایلار پوشیده شد (شکل ۱)

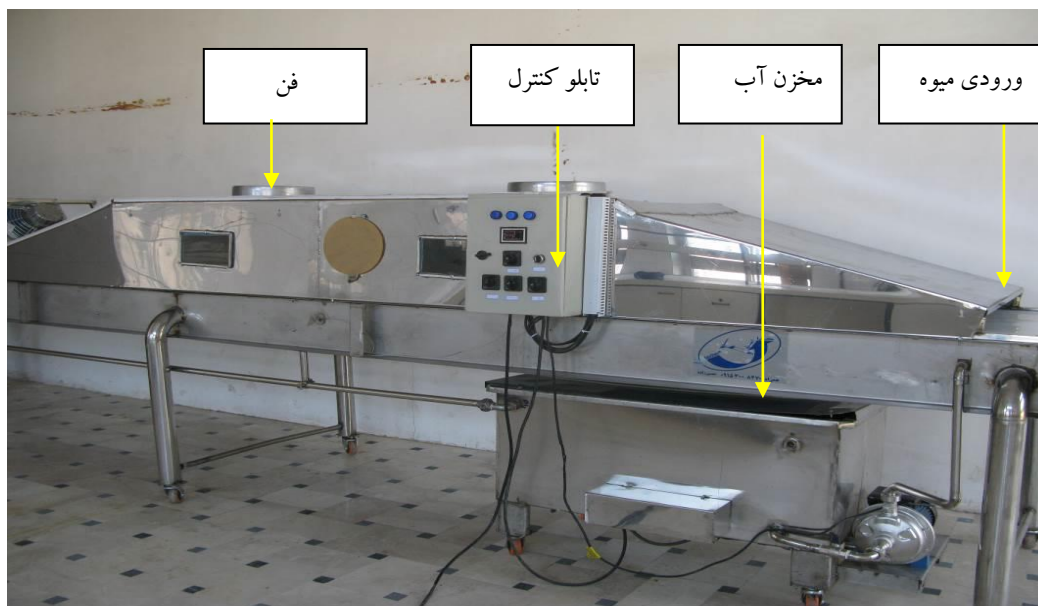
روش فرکتنس ویندو تأثیر می‌گذارد. مطالعات کاپارینو و همکاران (Caparino *et al.*, 2013) روی پودر انبه خشک‌شده به روش فرکتنس ویندو نشان داد که دمای انبار بالاتر می‌تواند باعث تیره شدن رنگ پودر، کاهش ویتامین ث و سطوح بتاکاروتن، به هم چسبندگی و تغییرات نامطلوب در بافت محصول شود. ترکیب بندی گاز و نحوه بسته بندی نیز از نکات ضروری به هنگام انبار کردن محصولات خشک‌شده به روش فرکتنس ویندو هستند. پاون و همکاران (Pavan *et al.*, 2010) بر اساس مطالعات خود روی آب‌میوه پالم نتیجه‌گیری کردند که خشک‌کردن با روش فرکتنس ویندو می‌تواند پودرهایی با فعالیت آبی کم و قابلیت انبار خوب تولید کند. به جز مطالعات معدودی که در ارتباط با خشک‌کردن به روش فرکتنس ویندو هویج وجود دارد، دانش محدودی در مورد تأثیر این روش بر کیفیت و رفتار سایر سبزی‌ها و ریشه‌ها وجود دارد (Hernandez- Santos *et al.*, 2016).

این تحقیق با هدف ارزیابی دستگاه خشک‌کن فرکتنس ویندو پیوسته برای خشک‌کردن میوه سیب و هلو و مقایسه آن با روش‌های خشک‌کن هوای داغ و آفتابی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

میوه‌های تازه سیب رقم گلدن دلشیز و هلو رقم آلبرتا از باغ تحقیقاتی ایستگاه گلمکان (خراسان رضوی، ایران) تهیه شد. میوه‌ها تا هنگام استفاده، در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. نمونه‌ها، پس از پوست‌گیری، به ضخامت ۹ میلی‌متر و قطر ۲۸ میلی‌متر برش داده شدند. نمونه‌های سیب و هلو با استفاده از سیستم فرکتنس ویندو با دمای ۹۰ درجه سلسیوس



شکل ۱- شمای کلی دستگاه خشک‌کن رفراکتانس ویندو پیوسته

Fig. 1- General scheme of continuous refractance dryer

یک بار، اندازه‌گیری و ثبت شد. خشک‌کردن نمونه‌ها تا رسیدن به میزان رطوبت ثابت ادامه یافت.

خشک‌کن هوای داغ^۳ (AD)

نمونه‌های سیب و هلو در دمای هوای خشک‌کننده ۶۵ درجه سلیسیوس و سرعت هوای ۲/۱ متر بر دقیقه با استفاده از خشک‌کن لایه‌نازک آزمایشگاهی خشک‌شدند. محفظه خشک‌کن دستگاه، شامل ۳ طبق سوراخ‌دار آلومینیمی به ابعاد ۲۵ × ۳۵ سلیسیوس به فاصله ۷/۵ سانتی‌متر از یکدیگر بود که با استفاده از دو عدد مفتول به قطر ۵ میلی‌متر به ترازوی دیجیتالی (مارک AND مدل AI-K3200 ساخت ژاپن) با حداکثر ظرفیت توزین ۳۲۰۰ گرم با دقت ۰/۰۱ گرم آویزان شده بود. گرمای موردنیاز خشک‌کن توسط هیتر الکتریکی با ۳ المنت جداگانه با توان‌های به ترتیب ۲۵۰۰، ۲۵۰۰ و ۱۵۰۰ وات (جمعاً ۶۵۰۰ وات) و با برق سه فاز تأمین شد. این المنت‌ها بعد از دمنده و قبل از محفظه خشک‌کن، درون کانال قرار گرفته بودند (شکل ۲). حدود نیم ساعت قبل از شروع فرآیند خشک‌کردن، دستگاه خشک‌کن روشن و دمای آن متناسب با دمای موردنیاز تنظیم شد تا دمای هوای داخل خشک‌کن به حالت پایدار برسد. پس از آن ۵۰۰ گرم

روش خشک‌کردن با رفراکتانس ویندو^۱ (RW)

دمای آب در ۹۰±۵/۵ درجه سلیسیوس بر اساس آزمایش‌های اولیه تنظیم شد. دمای بالاتر باعث ایجاد تلاطم و ایجاد حباب هوا در آب می‌شود که در انتقال انرژی از طریق کمربند اختلال ایجاد می‌کند که قبلاً توسط کلارک (Clarke, 2004) نیز اشاره شده بود. تمام کارهای تجربی در شرایط آزمایشگاهی (۲۴ درجه سلیسیوس و ۷۳ درصد رطوبت نسبی) اجرا شد. رطوبت اضافی توسط دو فن موجود در مسیر خشک‌کردن و یک فن در انتهای مسیر خارج شد. نمونه سیب و هلو پس از اسلایس شدن روی صفحه مایلار، به‌طور یکنواخت و تک لایه قرار داده شد و کاهش وزن آن‌ها در فاصله‌های زمانی تعیین‌شده، هر ۳۰ دقیقه یک بار، اندازه‌گیری و ثبت شد (Shrivastav et al., 2021).

خشک‌کردن آفتابی^۲ (SD)

نمونه سیب و هلو در دمای محیطی ۳۰ تا ۳۵ درجه سلیسیوس و رطوبت نسبی ۶۰ درصد خشک شد. نمونه‌ها پس از اسلایس شدن روی سینی توری دار، به‌طور یکنواخت و تک لایه در افتاب قرار داده شدند و کاهش وزن آن‌ها در فاصله‌های زمانی تعیین‌شده، هر ۳۰ دقیقه

1- Refractance Window
2- Sun drying

3- Air drying

اسلایس سیب و هلو روی ۳ سینی خشک‌کن به‌طور یکنواخت و یک لایه قرار داده شد و کاهش وزن آنها در فاصله‌های زمانی تعیین‌شده، هر ۳۰ دقیقه یک‌بار، با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم ثبت و خشک‌کردن نمونه‌ها تا رسیدن به وزن ثابت ادامه داشت (Calderón-Chiu *et al.*, 2020).

شکل ۲- خشک‌کن هوای داغ آزمایشگاهی

Fig. 2- Laboratory hot air dryer



آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

اندازه‌گیری رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت، ابتدا ظروف فلزی مخصوص خشک‌کردن در آون مدل Memmert 600 ساخت آلمان با دمای ۱۱۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد و پس از سرد شدن در دسیکاتور توزین و وزن ثابت ظروف فلزی به دست آمد. حدود ۳ گرم میوه سیب و هلو همگن و در ظروف فلزی ریخته شد و در آون ۱۱۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت مطابق با استاندارد (AOAC, 2005) قرار گرفت و پس از سرد شدن در دسیکاتور توزین گردید. رطوبت نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۲ برحسب وزن مرطوب به دست آمد.

$$\text{رابطه ۲} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 = \text{درصد رطوبت}$$

سینتیک خشک‌کردن

متداول‌ترین مدل‌ها منحنی‌های خشک‌کردن که در اغلب پژوهش‌ها برای برازش داده‌های آزمایشگاهی به کار می‌رود از رسم تغییرات نسبت رطوبت (MR) برحسب زمان خشک‌کردن حاصل می‌شود. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده محصول در هر لحظه طی خشک شدن با رابطه ۱ محاسبه می‌شود. (Azarpazhooh & Ramaswamy, 2012)

$$\text{رابطه ۱} \quad MR = \frac{M_d - M_e}{M_0 - M_e}$$

در این رابطه، MR نسبت رطوبت، M_d رطوبت نمونه در لحظه جاری بر پایه وزن خشک، M_e رطوبت تعادلی نمونه بر پایه وزن خشک و M_0 رطوبت اولیه نمونه بر پایه وزن خشک است.

اندازه‌گیری مواد جامد انحلال‌پذیر میوه خشک‌شده

نمونه‌های میوه خشک (تقریباً ۵۰ گرم) با ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از مخلوط‌کن مخلوط شدند. مواد جامد انحلال‌پذیر با استفاده از دستگاه رفراکتومتر رومیزی مدل Shouchit tangliang ساخت چین در سه تکرار تجزیه و تحلیل شدند (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگی

رنگ میوه خشک‌شده در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از خشک شدن از طریق تعیین سه مؤلفه L^* ، a^* و b^* آنالیز شد. برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها، ابتدا تصاویر با اسکنر (HP Scanjet G3010) گرفته شد. به منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با پارچه کاملاً سیاه و ضخیم پوشانیده شد. تصاویر با وضوح dpi ۳۰۰ و فرمت JPEG ذخیره گردیدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه، مختصات رنگی آنها در فضای رنگی Lab با نرم‌افزار Image z (version 1.40g) استخراج شد. مدل رنگی Lab مرکب از مولفه L (روشنی) با محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، مولفه a (قرمزی) نامحدود با طیف رنگی سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت)، و مولفه b (زردی) نامحدود با طیف رنگی آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) بود (Sun, 2008).

اندازه‌گیری ویتامین ث

ویتامین ث با روش رنگ سنجی محلول ۲-۶ دی‌کلرو ایندوفنل طبق روش باروس و همکاران (Barros *et al.*, 2007) با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد. نمونه‌های میوه خشک (تقریباً ۵ گرم) با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از مخلوط‌کن مخلوط شدند. یک میلی‌لیتر از عصاره به دست آمده به ۱۰ میلی‌لیتر محلول متافسفریک اسید ۱ درصد اضافه و ۱۵ دقیقه با سرعت $4000 \times g$ سانتریفوژ شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی برداشته و به ۱۰

میلی‌لیتر محلول رنگی ایندوفنل (۰/۰۰۲۵ درصد) اضافه شد. نمونه‌ها ۱۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و جذب آنها در ۵۱۵ نانومتر خوانده شد. با مقایسه جذب با منحنی استاندارد، مقدار ویتامین ث نمونه‌ها محاسبه شد. برای تهیه منحنی استاندارد غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم ویتامین ث در یک لیتر متافسفریک ۱ درصد تهیه شد و از این محلول‌ها ۱ میلی‌لیتر به ۱۰ میلی‌لیتر محلول رنگی ایندوفنل اضافه گردید و مانند نمونه‌ها آزمایش دنبال شد.

بررسی بافت

برای بررسی کیفیت بافت نمونه‌ها، از دستگاه بافت سنج QTS مدل CNSFarnell ساخت انگلستان و مجهز به نرم‌افزار کامپیوتری استفاده شد. بدین منظور چند نمونه به ارتفاع ۲۰ میلی‌متر روی هم قرار داده شدند، سپس از بروب استوانه‌های به قطر ۵۰ میلی‌متر، با سرعت ۵ میلی‌متر بر ثانیه فشرده شدند. سرعت بروب ۲ میلی‌متر بر ثانیه قبل و بعد از شکستن بافت و ۱ میلی‌متر بر ثانیه هنگام لمس نمونه بود و نمونه تا رسیدن به تغییر شکل ۷۵ درصدی فشرده شدند (Robbers *et al.*, 1997).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی محصول نهایی بر اساس رنگ، طعم، بافت (سفتی و تردی) و پذیرش کلی انجام پذیرفت. نمونه خشک‌شده توسط ۱۰ ارزیاب آموزش دیده با مقیاس هدونیک ۵ نقطه ارزیابی گردید. امتیاز ۱ برای نمونه خیلی بد و امتیاز ۵ برای نمونه خیلی خوب در نظر گرفته شد (Jafari *et al.*, 2016).

تحلیل آماری داده‌ها

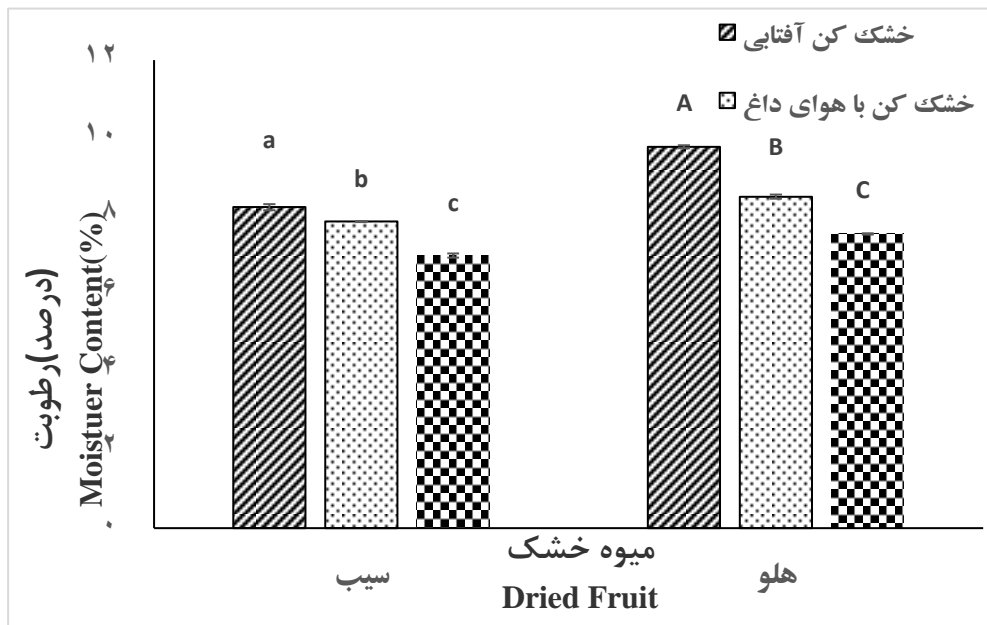
تجزیه و تحلیل آماری برای هر نمونه به‌طور جداگانه دنبال شد. داده‌ها بر پایه طرح کاملاً تصادفی گردآوری و در نرم‌افزار SPSS (version 20.0, IBM SPSS Inc. Armonk, NY) با سه روش خشک‌کردن AD، RW و SD در سه تکرار ذخیره شدند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن $p < 0.05$ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

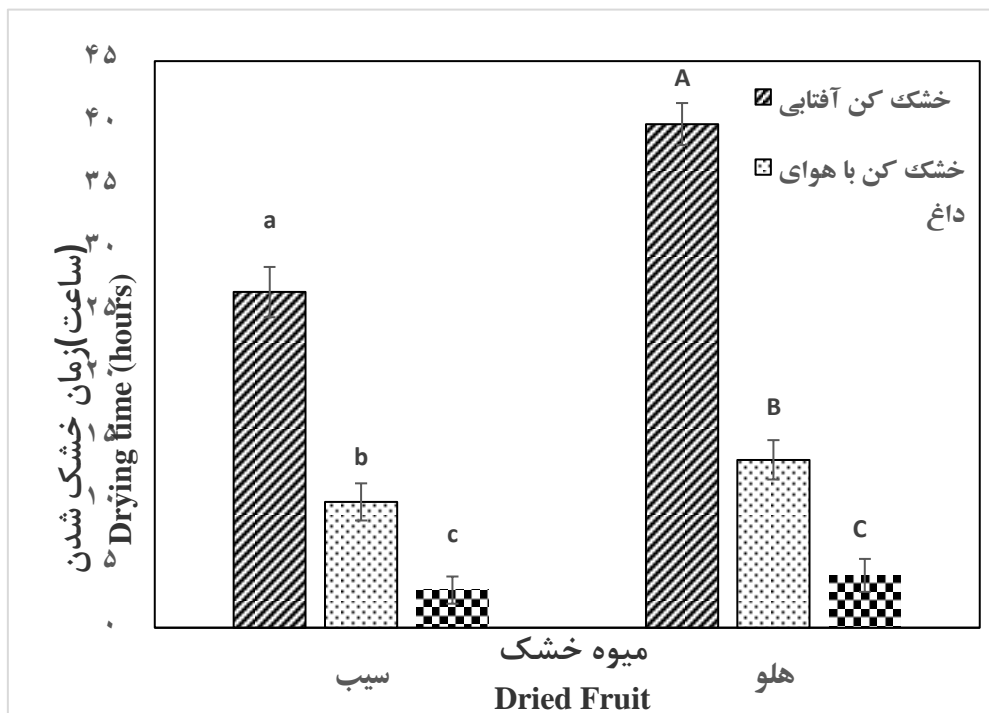
شکل ۳ (الف) رطوبت نمونه‌های سیب و هلو را با سه روش خشک‌کردن آفتابی، خشک‌کردن با هوای داغ و رفراکتنس ویندو نشان می‌دهد. در تمامی موارد، رطوبت نمونه‌های خشک‌شده با سیستم رفراکتنس ویندو به‌صورت معنی‌داری کمتر از رطوبت نمونه‌های خشک‌شده با روش آفتابی و هوای داغ بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که رطوبت بافت میوه سیب در روش خشک‌کردن با رفراکتنس ویندو ۰/۱۷ و ۰/۱۲ درصد و در میوه هلو ۰/۳۰ و ۰/۱۵ درصد کمتر بود تا به ترتیب در روش‌های خشک‌کن آفتابی و خشک‌کن با هوای داغ. این پدیده می‌تواند به دلیل استفاده از حرارت کنترل‌شده در روش رفراکتنس ویندو باشد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات ابونی و همکاران (Abonyi et al., 2002) در تحقیقی در زمینه مقایسه خواص پوره‌های هویج و توت‌فرنگی خشک‌شده با خشک‌کن‌های مختلف، از جمله تصعیدی و رفراکتنس ویندو، با این نتایج مطابقت دارد.

شکل ۳ (ب) زمان خشک شدن نمونه‌های سیب و هلو را با سه روش خشک‌کردن آفتابی، خشک‌کردن با هوای داغ و رفراکتنس ویندو نشان می‌دهد. مدت‌زمان خشک شدن در روش RW در میوه سیب و هلو به ترتیب ۵ و ۷ ساعت بود که در روش خشک‌کردن با رفراکتنس ویندو در میوه سیب

۷/۳۰ و ۱/۲۰ درصد و در میوه هلو ۱۰/۷۱ و ۱/۶۱ درصد کمتر از مدت‌زمان خشک شدن به ترتیب در روش‌های خشک‌کن آفتابی و خشک‌کن با هوای داغ بود. این نتیجه با تحقیقات هراندز و همکاران (Hernández et al., 2020) مطابقت دارد. به‌هنگام خشک‌کردن به روش رفراکتنس ویندو تمام سه حالت انتقال حرارت فعال هستند (Zotarelli et al., 2015). هدایت، همرفت و تابش در سطح تماس آب گرم-فیلم، هدایت و تابش از طریق فیلم و تابش در سطح تماس هوا-فیلم رخ می‌دهد. جابه‌جایی و تابش حرارتی از طریق فیلم مایلار بر اساس خواص نوری فیلم است (Ortiz-Jerez et al., 2015). انرژی حرارتی آب در حال گردش با دمای بین ۹۴ تا ۹۸ درجه سلسیوس، گرمای محسوسی را به مواد غذایی که به‌صورت لایه‌ای نازک روی فیلم قرار دارند، از طریق هدایت و تابش انتقال می‌دهد. این شیوه، ویژگی مشخص خشک‌کردن به روش رفراکتنس ویندو است. آب ماده غذایی به دلیل انتقال سریع انرژی حرارتی به سرعت تبخیر و منجر به تعادل حرارتی می‌شود. علاوه بر این، اثرهای تابش نیز بسته به خواص مواد، متفاوت است. این مکانیسم به‌طور ایده‌آل شامل یک «پنجره» است که از طریق آن انتقال گرما و جرم اتفاق می‌افتد. این پنجره اجازه عبور انرژی تابشی را از طریق مواد مرطوب قرار داده‌شده بر سطح غشای پلاستیکی می‌دهد. در حدود نیمی از کل تابش حرارتی به مواد غذایی پخش شده روی فیلم می‌رسد (Zotarelli et al., 2015). گرما به‌طور مستقیم به مولکول‌های آب منتقل می‌شود و دمای محصولات تا ۷۴ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد (Castodi et al., 2015).



الف



ب

الف: رطوبت، ب: زمان خشک کردن نمونه‌های سیب و هلو در روش‌های مختلف خشک کردن

حروف غیرمشابه بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر میوه برای هر روش‌های مختلف خشک کردن در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهد

Fig. 3- A: Humidity, B: Drying time of apple and peach samples in different drying method. ($P < 0.05$)

Uppercase and lowercase dissimilar letters indicate significant differences, respectively, in each fruit for each drying method at the 5% level based on Duncan's test ($P < 0.05$).

آهنگ خشک شدن

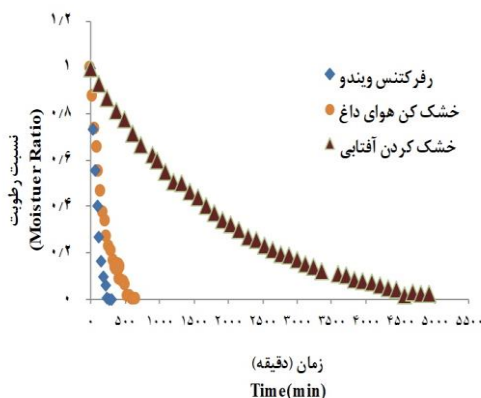
مطالعه سینتیک افت رطوبت به منظور رسیدن به اطلاعاتی درباره زمان مورد نیاز برای خشک کردن صحیح محصول ضروری است. در خشک کردن آفتابی، SD، فقط ساعات آفتابی در نظر گرفته شده است. تغییرات نسبت رطوبت میوه سیب و هلو در مقابل زمان‌های مختلف، در شکل ۴ (الف و ب) نشان داده شده است. همان طوری که از شکل فوق مشخص است، خشک شدن میوه سیب و هلو در هر سه روش خشک کردن در مرحله نزولی اتفاق می افتد. معمولاً محصولات کشاورزی مرحله خشک شدن با آهنگ ثابت ندارند مگر آنکه سطح آنها در زمان شروع فرآیند خشک کردن کاملاً خیس باشد. در مرحله نزولی، میزان انتقال آب از درون به سطح محصول عاملی تعیین کننده در سرعت خشک شدن است. نتایج مشابهی توسط دیگر محققان روی میوه‌های مختلف گزارش شده است. (Ade-Omowaye et al., 2003 در ابتدای فرآیند خشک شدن، به دلیل زیاد بودن میزان رطوبت، خشک شدن سریع تر است تا در مراحل پایانی؛ اما در ساعات بعدی، به سبب ایجاد مقاومت در مقابل انتقال رطوبت در نتیجه چروکیدگی و افزایش مقاومت داخلی در مقابل انتقال جرم (به دلیل کاهش میزان رطوبت)، سرعت خشک شدن کاهش پیدا می کند (Yaldyz and Ertekyn et al., 2001). میزان رطوبت نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن به صورت نمایی تا رسیدن به رطوبت تعادلی کاهش می یابد (ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹۹)، به طوری که در دمای ۹۰ درجه سلیسیوس حدود ۵ ساعت درخشک کن RW برای میوه سیب طول کشید. خشک کردن یک فرآیند پیچیده شامل انتقال گرما و جرم بین سطح مواد و محیط اطراف آن است. انتقال حرارت و جرم فرآیند به طور همزمان شامل ۱- انتقال انرژی (به عنوان گرما) از محیط اطراف برای تبخیر رطوبت از سطح و ۲- انتقال رطوبت داخلی به سطح جامد و تبخیر نهایی به دلیل کاربرد انرژی می باشد (Liu et al., 2021). وقتی میوه توسط دستگاه خشک

برای تبخیر رطوبت از سطح و ۲- انتقال رطوبت داخلی به سطح جامد و تبخیر نهایی به دلیل کاربرد انرژی است (Liu et al., 2021). وقتی میوه با دستگاه خشک می شود، ابتدا رطوبت قسمت‌های سطحی آن تبخیر می شود در حالی که رطوبت در مغز میوه همچنان باقی است، از این رو با خاموش کردن خشک کن، رطوبت بدون صرف انرژی از مغز به سطح میوه انتقال می یابد و با روشن کردن مجدد خشک کن به سرعت از سطح آن تبخیر و محصول خشک می شود. به این عمل را در فرآیند خشک کردن "متعادل سازی" گویند. با این روش در مصرف انرژی و زمان صرفه جویی و کیفیت محصول بهتر می شود (Azarpazhooh & Ramaswamy, 2012). در سیستم RW وقتی غذا خشک می شود، پنجره تابش فرورسرخ بسته خواهد شد و انتقال حرارت از طریق رسانایی با تبخیر آب باقی مانده رخ می دهد، و در نتیجه زمان خشک شدن کوتاه تر می شود (Guderzi, 2020; Abul-Fadl & Ghanem, 2011). این رفتار با آنچه هنر آندز- سانتوس و همکاران (Hernández- Santos et al., 2016) یافته اند همخوانی دارد.

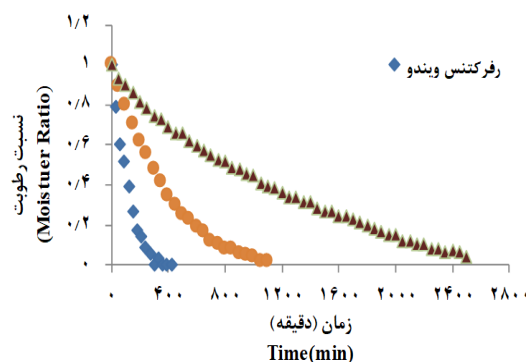
میزان رطوبت نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن به صورت نمایی تا رسیدن به رطوبت تعادلی کاهش یافت (ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹۹). به طوری که در دمای ۹۰ درجه سلیسیوس حدود ۵ ساعت درخشک کن RW برای میوه سیب طول کشید. خشک کردن یک فرآیند پیچیده شامل انتقال گرما و جرم بین سطح مواد و محیط اطراف آن است. انتقال حرارت و جرم فرآیند به طور همزمان شامل ۱- انتقال انرژی (به عنوان گرما) از محیط اطراف برای تبخیر رطوبت از سطح و ۲- انتقال رطوبت داخلی به سطح جامد و تبخیر نهایی به دلیل کاربرد انرژی می باشد (Liu et al., 2021). وقتی میوه توسط دستگاه خشک

تفاوت موجود بین ویژگی‌های ذاتی محصولات و نیز روش‌ها و شرایط خشک کردن است (Azimi Nejadian, & Mahmoudi Ashkeftaki, 2021). در سیستم RW وقتی غذا خشک می‌شود، پنجره تابش مادون قرمز بسته می‌شود، و انتقال حرارت از طریق رسانایی با تبخیر آب باقی مانده رخ می‌دهد، و در نتیجه زمان خشک شدن کوتاه‌تر می‌شود (Abul-Fadl & Ghanem, 2011) این رفتار مشابه آنچه توسط هرن آندز-سانتوس و همکاران (Hernández- Santos *et al.*, 2016) یافت شد.

می‌شود ابتدا رطوبت قسمت‌های سطحی آن تبخیر شده درحالی‌که رطوبت در مغز میوه همچنان باقی است لذا با خاموش کردن خشک‌کن بدون صرف انرژی، رطوبت از مغز به سطح میوه انتقال یافته و با روشن کردن مجدد خشک‌کن به سرعت از سطح آن تبخیر و محصول خشک می‌شود. به این عمل در فرآیند خشک‌کردن، متعادل-سازی گویند. با این روش در مصرف انرژی و زمان صرفه‌جویی شده و کیفیت محصول بهتر می‌شود (Azarpazhooch & Ramaswamy, 2012). اختلاف میان مقادیر گزارش شده برای آهنگ خشک شدن به دلیل



الف



ب

شکل ۴- روند تغییرات نسبت رطوبت در برابر زمان خشک شدن تحت تیمارهای مختلف خشک کردن (الف: میوه سیب ب: هلو)

Fig. 5- Changes in moisture ratio against drying time under different drying treatments

میزان مواد جامد انحلال‌پذیر نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار ($P < 0.05$) روش خشک کردن بر میزان مواد جامد انحلال‌پذیر در میوه سیب و هلو است. مقایسه تیمارهای خشک کردن در جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که میزان مواد جامد در میوه تازه سیب و هلو به ترتیب ۱۰/۳۲ و ۱۰/۴۸ است.

تأثیر روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های کیفی سیب و هلو پارامترهای کیفیت شامل مواد جامد انحلال‌پذیر، میزان ویتامین ث، مولفه‌های رنگی و بافت میوه سیب و هلو (تازه و خشک‌شده) در روش‌های مختلف خشک کردن به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

میزان مواد جامد انحلال پذیر پس از خشک کردن افزایش یافته است. میزان مواد جامد انحلال پذیر در میوه سیب و هلو خشک شده به ترتیب در روش خشک کردن با آفتاب ۶۸/۳۲ و ۷۲/۹۹، خشک کن با هوای داغ ۶۹/۶۴ و ۶۵/۴۴ و در خشک کن رفرکتانس ویندو ۷۵/۹۵ و ۷۳/۶۲ است. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان مواد جامد انحلال پذیر میوه سیب در روش خشک کردن با رفرکتانس ویندو ۰/۱۳ و ۰/۰۳ درصد و در میوه هلو ۰/۰۵ و ۰/۰۵ درصد بیشتر است تا به ترتیب در روش های خشک کن آفتابی و خشک کن با هوای داغ. بیشترین تخریب ویتامین ث در هر دو میوه خشک شده مربوط به نمونه SD است. نیندو و همکاران (Nindo *et al.*, 2007) در تحقیق روی فرایند رفرکتانس ویندو برای آب میوه ها به نتایج مشابهی دست یافته اند.

میزان مواد جامد انحلال پذیر پس از خشک کردن افزایش یافته است. میزان مواد جامد انحلال پذیر در میوه سیب و هلو خشک شده به ترتیب در روش خشک کردن با آفتاب ۶۸/۳۲ و ۷۲/۹۹، خشک کن با هوای داغ ۶۹/۶۴ و ۶۵/۴۴ و در خشک کن رفرکتانس ویندو ۷۵/۹۵ و ۷۳/۶۲ است. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان مواد جامد انحلال پذیر میوه سیب در روش خشک کردن با رفرکتانس ویندو ۰/۱۳ و ۰/۰۳ درصد و در میوه هلو ۰/۰۵ و ۰/۰۵ درصد بیشتر است تا به ترتیب در روش های خشک کن آفتابی و خشک کن با هوای داغ. این پدیده احتمالاً مربوط به رطوبت پایین تر نمونه ها در روش رفرکتانس ویندو است. هرناندز و همکاران، (Hernández *et al.*, 2020) نتایج مشابهی در هنگام خشک کردن ورقه های میوه سیب در خشک کن RW به دست آوردند.

ویتامین ث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش خشک کردن بر میزان ویتامین ث نمونه های سیب و هلو معنی دار

جدول ۱- تأثیر روش های مختلف خشک کردن بر مواد جامد انحلال پذیر و ویتامین ث میوه تازه و خشک شده سیب و هلو

Table 1- The effect of different drying methods on soluble solids and vitamin C of fresh and dried apple and peach fruits

خشک کن	مواد جامد انحلال پذیر (درصد)	ویتامین ث (میلی گرم در صد ۱۰۰)
میوه سیب تازه	۱۰/۳۲ ± ۰/۱۲ ^d	۹/۹۸ ± ۰/۳۶ ^a
SD (خشک کن آفتابی)	۶۵/۴۴ ± ۰/۵۸ ^c	۶/۳۴ ± ۰/۴۵ ^d
AD (خشک کن با هوای داغ)	۷۲/۹۹ ± ۰/۶۸ ^b	۷/۸۸ ± ۰/۲۴ ^c
RW (خشک کن رفرکتانس ویندو)	۷۵/۹۵ ± ۰/۴۷ ^a	۸/۴۱ ± ۰/۳۴ ^b
میوه هلو تازه	۱۲/۴۸ ± ۰/۲۰ ^c	۷/۶۴ ± ۰/۵۸ ^a
(خشک کن آفتابی)	۶۹/۶۴ ± ۰/۷۳ ^b	۴/۴۴ ± ۰/۶۱ ^d
AD (خشک کن با هوای داغ)	۶۸/۳۲ ± ۰/۴۷ ^b	۵/۶۳ ± ۰/۲۹ ^c
RW (خشک کن رفرکتانس ویندو)	۷۳/۶۲ ± ۰/۸۶ ^a	۶/۸۳ ± ۰/۱۳ ^b

ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، $p < 0.05$). هر میوه جداگانه آنالیز شده است.

Figures with common letters in each column are not significantly different from each other (Duncan's test, $p < 0.05$).

Each fruit is analyzed separately

سفتی بافت

میزان سفتی بافت میوه‌های سیب و هلو در روش‌های مختلف خشک کردن در جدول ۲ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشانگر اثر معنی‌دار ($P < 0.05$) روش خشک کردن در سفتی بافت اسلایس سیب و هلو است. به‌طور کلی، فرایند خشک کردن، مستقل از روش مورداستفاده، باعث کاهش میزان سفتی سیب می‌شود (جدول ۱). این نتایج تأیید می‌کند که روش‌های خشک کردن بر خواص مکانیکی سیب خشک تأثیر می‌گذارند (Djeki et al., 2018). میزان سفتی در خشک کردن آفتابی برای سیب و هلو به ترتیب ۱۵۷/۳۹ و ۱۱۰/۲۶، در خشک کردن هوای گرم ۱۲۷/۸۹ و ۹۷/۵۴ و در روش رفراکتنس ویندو ۱۱۳/۵۳ و ۸۴/۴۹ نیوتن به دست آمده است.

نتایج بررسی‌ها همچنین نشان داد که نیروی لازم برای شکستن بافت میوه سیب در روش خشک کردن با رفراکتنس ویندو ۰/۳۸ و ۰/۱۲ درصد و در میوه هلو ۰/۳۰ و ۰/۱۵ درصد به ترتیب کمتر از روش‌های خشک کن آفتابی و خشک کن با هوای داغ است که در نتیجه کیفیت میوه خشک بهتر خواهد بود. در واقع، به دلیل اینکه در روش RW بخشی از انتقال انرژی به شکل تابش بین آب و محصول انتقال می‌یابد، ساختار و بافت محصولات کمتر از روش خشک کردن SD و AD آسیب‌می‌بیند و پدیده سختی سطح^۱ کمتر اتفاق می‌افتد. گفتنی است، این تفاوت کیفی که با روش‌های مختلف خشک کردن ایجاد شده است، در دماهای بالاتر کاملاً منطقی است (Jafari et al., 2016). به عبارت دیگر، سخت شدن محصول به‌طور عمده در نتیجه دمای سطح بسیار بالا، مهاجرت مواد جامد انحلال‌پذیر به سطح نمونه و تجمع مواد انحلال‌پذیر به علت تبخیر آب در سطح میوه اتفاق می‌افتد. این پدیده منجر به تغییرات پیچیده فیزیکی و شیمیایی در لایه

سطحی محصول می‌شود. در روش خشک کردن RW از آنجاکه محصول رطوبت خود را از طریق تبخیر از دست می‌دهد، "پنجره" به آرامی بسته می‌شود تا فرایند خشک شدن پایان یابد. این پدیده به کاهش انتقال حرارت در مرحله نهایی خشک کردن و جلوگیری از تخریب کیفیت محصول کمک می‌کند (Topuz et al., 2009).

مولفه های رنگی

نتایج تحقیق در مورد مولفه های رنگی میوه سیب و هلو در جدول ۲ نشان داده شده است. در محصولات خشک، رنگ اهمیت زیادی دارد و جلوگیری از تغییر رنگ زیاد یا سوختگی محصول بسیار مهم است. مولفه رنگی L^* نشان‌دهنده میزان روشنایی میوه خشک شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که میزان روشنایی در خشک کردن با روش رفراکتنس ویندو در میوه سیب و هلو به‌طور معنی‌داری از سایر روش‌ها بیشتر است. همچنین، میزان روشنایی در خشک کردن با رفراکتنس ویندو در میوه سیب ۰/۰۳ و ۰/۰۲ درصد و در میوه هلو ۰/۰۲ و ۰/۰۸ درصد به ترتیب بیشتر از روش‌های خشک کن آفتابی و خشک کن با هوای داغ است. کاهش میزان روشنایی در نمونه‌های خشک شده در خشک کن AD و SD احتمالاً به دلیل افزایش سرعت واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی (میلارد) است. به‌طور کلی، واکنش میلارد در تمام مواد غذایی حرارت دیده که دارای مقدار کافی از ترکیبات اولیه این واکنش باشند (قندهای احیا کننده و اسیدآمین)، می‌تواند رخ دهد. سرعت این واکنش با افزایش دما، افزایش می‌یابد (Acevedo et al., 2008). تأثیر روش خشک کن بر میزان سبزی- قرمزی (مولفه رنگی a^*) میوه خشک شده، برخلاف تغییرات میزان روشنایی و خشک کردن باعث کاهش میزان قرمزی در نمونه‌ها شده است. مولفه رنگی b^* ، نشان‌دهنده محدوده

رنگی زرد تا آبی است. میزان آبی- زرد بودن مولفه b^* در تمام نمونه‌ها پس از خشک کردن افزایش یافت. آبونی و همکاران (Abonyi, et al 2002) پارامترهای رنگی پوره توت‌فرنگی و هویج RW را که با روش رفرکتانس ویندو خشک شده بودند بررسی کردند و نشان دادند که نمونه‌ها نسبت به میوه خشک شده به روش انجمادی دارای مقادیر بیشتری از پارامترهای L^* ، a^* ، b^* هستند. نیندو و همکاران (Nindo et al., 2003) گزارش کردند که محصول خشک شده RW پوسته پوسته و دارای رنگ سبز روشن است که نشان می‌دهد اکثر رنگ‌دانه‌های کلروفیل پس از فرآیند و نسبت به خشک کن کابینتی یا روش‌های ترکیبی خشک کردن با مایکروویو، سبزترند. در خشک کردن رفرکتانس ویندو، برای رسیدن به خاصیت رطوبت خاص، مدت زمان کمتری لازم است تا در روش خشک کردن با هوای داغ، و در نتیجه مقادیر تغییرات رنگی کمتر است (Caparino et al., 2012).

جدول ۲- تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر مولفه های رنگی و بافت میوه تازه و خشک شده سیب و هلو

Table 2- The effect of different drying methods on the color and texture components of fresh and dried apple and peach fruits.

سفتی بافت (نیوتن)	b^*	a^*	L^*	خشک کن
$411/32 \pm 0/42^a$	$20/32 \pm 0/42^d$	$-9/59 \pm 0/65^a$	$90/92 \pm 0/35^a$	میوه سیب تازه
$157/39 \pm 2/31^b$	$22/43 \pm 0/52^c$	$-7/31 \pm 0/28^c$	$83/22 \pm 0/61^c$	SD(خشک کن آفتابی)
$127/89 \pm 1/76^c$	$23/43 \pm 0/42^b$	$-6/73 \pm 0/64^d$	$84/59 \pm 0/42^c$	AD(خشک کن با هوای داغ)
$113/53 \pm 0/59^d$	$25/52 \pm 0/31^a$	$-8/69 \pm 0/46^b$	$86/45 \pm 0/69^b$	RW(خشک کن رفرکتانس ویندو)
$224/43 \pm 0/78^a$	$14/87 \pm 0/21^c$	$7/19 \pm 0/64^c$	$68/43 \pm 0/14^a$	میوه هلوی تازه
$110/26 \pm 1/17^b$	$32/65 \pm 0/56^b$	$11/35 \pm 0/13^a$	$59/24 \pm 0/57^b$	(خشک کن آفتابی)
$97/54 \pm 0/78^c$	$35/75 \pm 0/28^a$	$10/54 \pm 0/64^b$	$55/34 \pm 0/26^c$	AD(خشک کن با هوای داغ)
$84/49 \pm 0/38^d$	$34/96 \pm 0/17^b$	$10/69 \pm 0/29^b$	$60/49 \pm 0/43^b$	RW(خشک کن رفرکتانس ویندو)

ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، $p < 0/05$). هر میوه جداگانه آنالیز شده است. L^* : روشنایی، b^* : آبی- زرد، a^* قرمز- سبزی

Numbers with common letters in each column are not significantly different from each other (Duncan's test, $p < 0.05$). Each fruit is analyzed separately. L^* : brightness, b^* blue-yellow, a^* red-green

ارزیابی حسی

نامناسب محصول است. میانگین نمره‌های پارامتر حسی داده شده به نمونه‌های خشک شده با روش RW در حد ۴ و ۵ (بالتر از ۳) است که نشان دهنده وضعیت خوب تا بسیار خوب و میزان رضایت مندی اعضای آزمون چشایی برای خشک کن RW است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که نمونه خشک شده سیب و هلو در روش رفرکتانس ویندو از لحاظ رنگ، بافت، عطر و طعم و پذیرش کلی از روش‌های

به منظور ارزیابی حسی محصول، پارامترهای رنگ، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی حسی در شکل ۵ نشان داده شده است. دامنه میانگین امتیازات داده شده به هر پارامتر حسی برای نمونه‌های سیب و هلو خشک شده در روش‌های خشک کن SD و AD که بین ۱ تا ۳ وجود دارد، نشانگر وضعیت

خشک کردن با آفتاب و خشک کردن با هوای داغ امتیاز بیشتر دارد و اختلاف آن با سایر نمونه‌ها معنی‌دار است.

ارزیابی رنگ

نتایج تحقیق نشان داد که روش خشک کردن تأثیر قابل توجهی بر ارزیابی رنگ نمونه‌های خشک شده سیب و هلو دارد. رنگ نمونه‌های سیب و هلو خشک شده با روش RW، در مقایسه با نمونه‌های خشک با روش SD و AD، مطلوب‌تر است. نتایج رنگ سنجی نیز نشان داد که میزان روشنایی در خشک کردن با روش رفراکتنس ویندو در میوه سیب و هلو به‌طور معنی‌داری از سایر روش‌ها بیشتر است. آبونی و همکاران (Abony *et al.*, 2002) نشان دادند که رنگ پودرهای هویج خشک شده با RW مشابه نمونه خشک شده با روش خشک کننده انجمادی است. توپوز و همکاران (Topuz *et al.*, 2011) اعلام کردند که تخریب کمتر رنگ در نمونه‌های خشک شده فلفل قرمز پاپریکا با روش RW به دلیل جلوگیری از اکسیداسیون و تجزیه رنگدانه و به دلیل قرار گرفتن در معرض اکسیژن کمتر است. گفته شده است زمان کمتر خشک کردن در روش RW ممکن است باعث تغییر رنگ کمتر در نمونه‌های خشک پاپریکا شود.

ارزیابی طعم

روش خشک کردن تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات عطر و طعم میوه‌های خشک دارد. میانگین نمره‌های عطر و طعم که به میوه سیب و هلو خشک شده در سه روش خشک کردن داده می‌شود، در شکل ۵ مقایسه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که طعم نمونه‌های خشک شده با روش رفراکتنس ویندو از دو روش دیگر امتیاز بالاتری دارد. ابول-فضل و غانم (Abul-Fadl & Ghanem, 2011) نتایج مشابهی در خشک کردن گوجه‌فرنگی به روش رفراکتنس ویندو به دست آوردند.

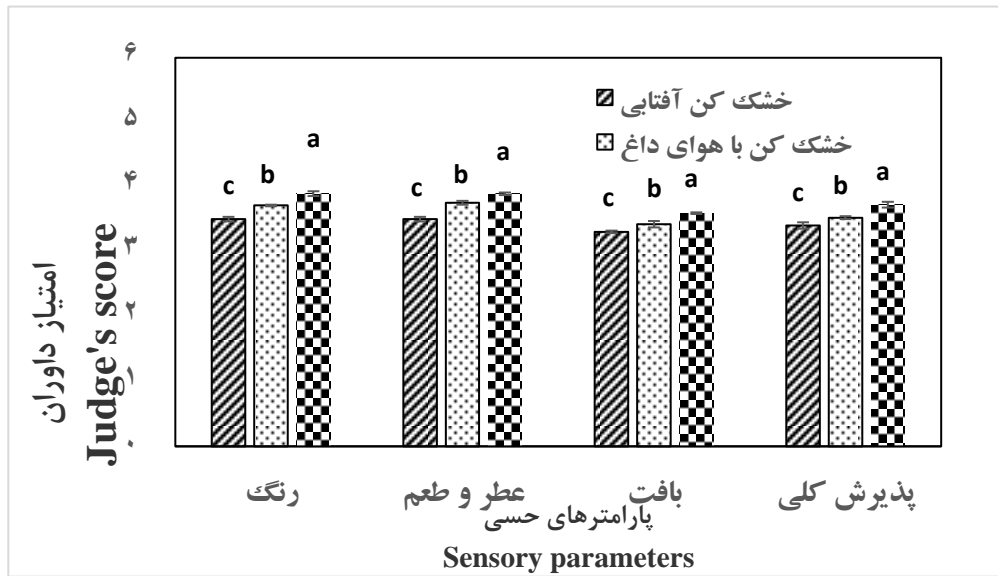
ارزیابی بافت

روش خشک کردن تأثیر قابل توجهی در ارزیابی بافت میوه‌های خشک دارد. میانگین نمره‌های بافتی نمونه‌های خشک، متعلق به هر سه روش خشک کردن، در شکل ۵ آورده شده است. بافت نمونه‌های خشک شده RW مطلوب بوده است، اما ویژگی‌های بافت نمونه‌های خشک شده در خشک کردن با هوای داغ مناسب ارزیابی نشده است. نمونه خشک شده با روش RW، نسبت به دو روش SD و AD، دارای بافت نرم‌تری است که با ارزیابی بافت با دستگاه بافت‌سنج مطابقت دارد. به‌طور کلی، روش‌های مختلف انتقال انرژی منجر به بروز کیفیت‌های متنوعی از محصولات می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های (Caparino *et al.*, 2012; Ochoa-Martínez *et al.*, 2012) همخوانی دارد.

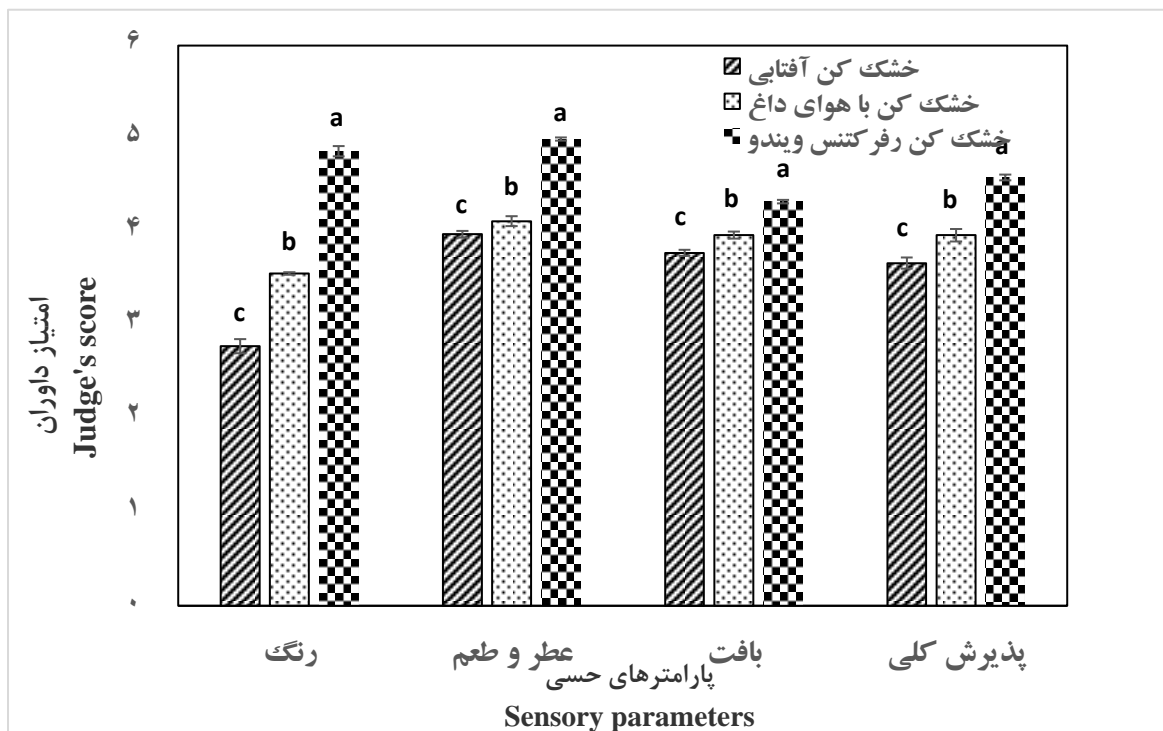
پذیرش کلی

این شاخص به‌طور همزمان با تمام خصوصیات حسی ارتباط دارد؛ بنابراین، می‌تواند قضاوت بهتر و جامع‌تری در مورد وضعیت نمونه‌ها ایجاد کند. میانگین نمره‌های کلی همه نمونه‌های خشک شده در شکل ۵ نشان داده شده است. روش خشک کردن تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات کلی نمونه‌های خشک داشته است.

در کل موارد، میانگین امتیازات کلی نمونه‌های خشک شده با روش RW به‌طور قابل توجهی بالاتر از میانگین امتیازات کلی نمونه‌های خشک شده با دیگر روش‌هاست. در حقیقت، تغییرات کمتری در ارزیابی حسی و کیفی نمونه‌های تازه پس از فرایند خشک کردن با روش RW احتمالاً مربوط به تفاوت در نوع انتقال انرژی و عدم تماس مستقیم بین امواج گرمایشی و محصول است (Topuz *et al.*, 2009).



الف



ب

شکل ۵- نتایج ارزیابی حسی: (الف) میوه سیب (ب) هلو خشک شده با روش های مختلف خشک شدن اعداد با حروف مشابه در هر ستون، نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار در سطح احتمال $p < 0.05$ است.

Fig. 5- Sensory evaluation results: (a) apple fruit (b) dried peaches with different drying methods
Numbers with the same letters in each column indicate the absence of significant differences at the probability level of $p < 0.05$.

نتیجه گیری

هلوی خشک شده با روش رفراکتانس ویندو بیشتر بوده است تا در نمونه های خشک شده با روش های آفتابی و هوای داغ. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که نیروی لازم برای شکستن بافت میوه سیب و هلو در روش خشک کردن با رفراکتانس ویندو از دو روش دیگر کمتر است. علاوه بر آن، میزان روشنایی نمونه ها در خشک کردن با روش رفراکتانس ویندو به طور معنی داری بیشتر است. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که محصول خشک شده با روش رفراکتانس ویندو از لحاظ پارامترهای رنگ، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی نسبت به دو روش دیگر خشک کردن امتیاز بالاتری دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که روش خشک کردن با رفراکتانس ویندو بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی میوه سیب و هلو خشک شده اثر معنی داری دارد. مدت زمان خشک شدن با خشک کن رفراکتانس ویندو، در مقایسه با دو روش خشک کردن دیگر، کمتر است. مدت زمان خشک شدن در روش RW در میوه سیب و هلو به ترتیب ۵ و ۷ ساعت بوده است که در مقایسه با روش های خشک کردن با خشک کن آفتابی و با خشک کن با هوای داغ در میوه سیب به ترتیب ۷/۳۰ و ۱/۲۰ درصد و در میوه هلو ۱۰/۷۱ و ۱/۶۱ درصد کمتر بوده است. مقدار ویتامین ث در سیب و

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی و برای تامین بخش مالی ساخت دستگاه خشک کن رفراکتانس ویندو و موسسه فنی و مهندسی کشاورزی برای فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می گردد.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- Abonyi, B. Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Chew, B., Mattinson, D. and Fellman, J. 2002. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system. *Journal of Food Science*. 67, 1051-1056.
- Abul-Fadl, M. M. and Ghanem, T. H. 2011. Effect of refractance-window (RW) drying method on quality criteria of produced tomato powder as compared to the convection drying method. *World Applied Sciences Journal*. 15(7): 953-965.
- Acevedo, N. C., Schebor, C. and Buera, P. 2008. Non-enzymatic browning kinetics analysed through water-solids interactions and water mobility in dehydrated potato. *Food Chemistry*. 108, 900-906.
- Ade-Omowaye, B., Rastogi, N., Angersbach, A. and Knorr, D. 2003. Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper. *Journal of Food Engineering*. 60, 89-98.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis (16th ed.). Gaithersburg, Mary-land, USA.

- Azarpazhooh, E. and Ramaswamy, H. S. 2012. Modeling and optimization of microwave osmotic dehydration of apple cylinders under continuous-flow spray mode processing conditions. *Food and Bioprocess Technology*. 5, 1486-1501.
- Azimi Nejadian, H. and Mahmoudi Ashkeftaki, M. 2021. Modeling the Drying of Potato Slices in a Microwave Dryer and Determining the Mass Transfer Parameters. *Food Industry Engineering Research*, 20(1), 169-182. (in persian)
- Azizi, D., Jafari, S.M., Mirzaei, H., and Dehnad, D. 2017. The influence of Refractance Window drying on qualitative properties of kiwifruit slices. *International Journal of Food Engineering*. 13(2).
- Baeghbali, V., Niakosari, M., and Kiani, M. 2010. Design, manufacture and investigating functionality of a new batch refractance window system. In: *Proceedings of 5th International Conference on Innovations in Food and Bioprocess Technology*. 7, 9.
- Baeghbali, V. and Niakousari, M. 2015. Evaluation of a batch refractance window dryer in drying of some heat sensitive food stuff. *Iranian journal of food science and technology*. 13 (1), 185-192.
- Barros, L., Ferreira, M. J., Queirós, B., Ferreira, I. C. F. R. and Baptista, P. 2007. Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chemistry*. 103(2): 413-419
- Calderón-Chiu, C., Martínez-Sánchez, C. E., Rodríguez-Miranda, J., Juárez-Barrientos, J. M., Carmona-García, R. and Herman-Lara, E. 2020. Evaluation of the combined effect of osmotic and Refractance Window drying on the drying kinetics, physical, and phytochemical properties of beet. *Drying Technology*. 38(12): 1663-1675.
- Caparino, O.A., Sablani, S.S., Tang, J., Syamaladevi, R.M. and Nindo, C.I. 2013. Water sorption, glass transition, and microstructures of refractance windowe and freeze-dried mango (Philippine “Carabao” Var.) Powder. *Drying Technology*. 31(16).
- Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R. and Fellman, J.K. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. *Journal of Food Engineering*. 111 (1): 135-148.
- Castoldi, M., Zotarelli, M.F., Durigon, A., Carciofi, B.A.M. and Laurindo, J.B. 2015. Production of tomato powder by refractance window drying. *Drying Technology*. 33 (12): 1463-1473.
- Clarke, P. 2004. Refractance window TM-“Down under”. In: *Drying proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, Sao Paulo, Brazil. pp. 22-25.
- Da Silva, C. and Da Silva, C. 2015. Recovery of avocado paste from avocado oil milling process or guacamole processing. U.S. Patent Application No. 14/ 846,744.
- Djekic, I., Tomic, N., Bourdoux, S., Spilimbergo, S., Smigic, N., Udovicki, B., Hofland, G., Devlieghere, F. and Rajkovic, A. 2018. Comparison of three types of drying (supercritical CO₂, air and freeze) on the quality of dried apple—Quality index approach. *Lwt-Food Science Ttechnology*. 94, 64-72.
- Guderzi (2020). Comparison of the Performance of a Compatible and Simple Collector In Solar Dryers (Case Study: Grape Dryer). *Food Industry Engineering Research*, 19(2), 57-76. (In persian)
- Hernández, Y., Ramírez, C., Moreno, J., Núñez, H., Vega, O., Almonacid, S., Pinto, M., Fuentes, L. and Simpson, R. 2020. Effect of Refractance Window on dehydration of osmotically pretreated apple slices: Color and texture evaluation. *Journal of Food Process Engineering* 43, 2.
- Hernández-Santos, B., Martínez-Sánchez, C. E., Torruco-Uco, J. G., Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Vajando-Anaya, E. S. and Herman-Lara, E. 2016. Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. *Drying Technology*, 34(12): 1414-1422.

- Jafari, S.M., Azizi, D., Mirzaei, H. and Dehnad, D. 2016. Comparing quality characteristics of oven-dried and refractance window-dried kiwifruits. *Journal of Food Processing and preservation*. 40 (3): 362-372.
- Kaymak-Ertekin, F. 2002. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food science*. 67, 168-175.
- Kudra, T. and Mujumdar, A.S. 2009. *Advanced Drying Technologies*. CRC press.
- Liu, Z. L., Zielinska, M., Yang, X. H., Yu, X. L., Chen, C., Wang, H. and Xiao, H. W. 2021. Moisturizing strategy for enhanced convective drying of mushroom slices. *Renewable Energy*, 172, 728-739.
- Nayak, B., Berrios, J.D.J., Powers, J.R., Tang, J. and Ji, Y. 2011. Colored potatoes (*Solanum tuberosum* L.) Dried for antioxidant-rich value-added foods. *Journal Food Processing and Preservation*. 35 (5): 571-580.
- Nindo, C. and Tang, J. 2007. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying technology*. 25, 37-48.
- Nindo, C., Sun, T., Wang, S.W., Tang, J. and Powers, J.R. 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT-Food Science and Technology*. 36 (5): 507-516.
- Nindo, C.I., and Tang, J. 2007. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*. 25 (1): 37-48.
- 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 (1): 69-75.
- Ortiz-Jerez, M.J., Gulati, T., Datta, A.K. and Ochoa-Martínez, C.I. 2015. Quantitative understanding of refractance window™ drying. *Food Bioproduct and Processing*. 95, 237-253.
- Pavan, M.A., Schmidt, S.J. and Feng, H. 2012. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. *LWT-Food Science and Technology*. 48 (1): 75-81.
- Robbers, M., Singh, R. P. and Cunha, L. M. 1997. Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. *Journal of Food Science*. 62, 1039-1042.
- Shrivastav, S., Ganorkar, P. M., Prajapati, K. M. and Patel, D. B. 2021. Drying kinetics, heat quantities, and physiochemical characteristics of strawberry puree by Refractance Window drying system. *Journal of Food Process Engineering*. 44(9): 13776.
- Sojak, M.J., Jaros, M. and Głowacki, S. 2014. Analysis of giant pumpkin (*Cucurbitamaxima*) quality parameters in various technologies of convective drying after long-term storage. *Drying Technology*. 32 (1): 106-116.
- Sun, D. 2008. *Computer vision technology for food quality evaluation*. Academic Press, New York.
- Tontul, I. and Topuz, A. 2017. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT-Food Science Technology*. 80, 29-303.
- Topuz, A., Dincer, C., Ozdemir, K.S., Feng, H. and Kushad, M. 2011. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). *Food Chemistry*. 129 (3): 860-865.
- Topuz, A., Feng, H. and Kushad, M. 2009. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT-Food Science and Technology*. 42, 1667-1673.
- Yaldyz, O. and Ertekyn, C. 2001. Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology* 19, 583-597.
- Zotarelli, M.F., Carciofi, B.A.M. and Laurindo, J.B. 2015. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*. 69, 410-417.
- Zotarelli, M.F., da Silva, V.M., Durigon, A., Hubinger, M.D. and Laurindo, J.B. 2017. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*. 305, 447-454.

Original Research

Investigating the effectiveness of the continuous window refractance system on drying kinetics and physical properties of apple and peach slices and comparing it with drying with hot and sunny air

Elham Azarpajoh^{*1}, Parvin Sharai², Hossein Chaji³, Majid Rezaei Ferimani⁴

^{1*} Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran Email: azarpazhooh@areeo.ir

Received: 18 June 2022 Accepted: 31 October 2022

[http://doi: 10.22092/FOODER.2023.359094.1336](http://doi:10.22092/FOODER.2023.359094.1336)

Abstract

Refractance Window is a novel drying system for producing high quality dry or concentrated foods. In this research, continuous refractance window drying was designed and built in Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO. In order to investigate the efficiency of the refractance window system, thin slices of apples and peaches were dried using this system and compared with the samples dried by hot air dryer and sun drying method. Then, drying time curves and physico-chemical tests (color, texture, vitamin C content) and taste evaluation were performed on the samples. The results showed that the drying method had a significant effect on the physicochemical characteristics of apple and peach fruits. The drying time in refractance window method was significantly less than that in the sun and hot air dryer. Soluble solids increased after drying. The highest content of vitamin C in apples and peaches dried by refractance window method was (8.41 and 6.83 mg/100 grams), respectively, which was 0.24 and 0.06% in apples, and 0.34, 0.17% in peaches more than that in samples dried by sun and hot air drying respectively. Also, the results showed that the force required to break the tissue of apple fruit in the method of drying with refractance window was 0.38 and 0.12%, respectively, and in peaches fruits was 0.30 and 0.15% less than that in the methods of sun drying and air drying. The results of the sensory evaluation showed that the product dried by the refractance window method had a higher score in terms of parameters of color, aroma, texture, and overall acceptance in compare to the other two drying methods

Key words: refractance window dryer, quality assessment, apple, peach.