

بررسی مقایسه‌ای تولید سیب خشک به‌وسیله خشک‌کن خورشیدی و روش خشک‌کردن با هوای گرم (آون)

داود جوادی یان‌بلاغ 1 و حسین نوری بیدگلی 2

1. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک گرایش تبدیل انرژی، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

Davoud.javadi@gmail.com

2. استادیار، عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

HnouriB@iaukashan.ac.ir

مسئول مکاتبات: داود جوادی یان‌بلاغ

چکیده

در سال‌های اخیر توجه روزافزونی به کاربرد خشک‌کن‌های خورشیدی معطوف گردیده است. این مسئله به‌خصوص با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و اکولوژی و افزایش قیمت سوخت اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. هدف از این پژوهش مقایسه کیفیت سیب خشک‌های تولیدی به‌وسیله دو روش مختلف خشک‌کردن می‌باشد. روش‌ها شامل خشک‌کردن در خشک‌کن صنعتی کابینتی و خشک‌کردن به روش هوای خشک (آون) می‌باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که سرعت خشک شدن در آون آزمایشگاهی 75 درصد بیشتر از خشک کردن در خشک‌کن خورشیدی است و همچنین کمترین زمان خشک‌کردن با روش هوای خشک بود. میزان رطوبت و چروکیدگی سیب خشک‌های تولیدی تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج حاکی از این بود که دمای هوا تأثیر ناچیزی روی چروکیدگی محصول دارد و خشک‌کن‌های خورشیدی به کمک انرژی رایگان خورشید نه تنها می‌توانند سیب خشک‌هایی مشابه سیب خشک‌های تهیه‌شده در روش هوای خشک تولید کنند بلکه در مورد برخی فاکتورهای کیفی (مانند پذیرش کلی به‌وسیله مصرف‌کنندگان و یا رنگ) سیب‌های خشک‌شده تولیدی توسط این خشک‌کن‌ها نسبت به خشک‌کردن با آون برتری دارند.

کلمات کلیدی: سیب- خشک‌کردن- چروکیدگی- خشک‌کن خورشیدی- آون

مقدمه

خشک کردن از قدیمی‌ترین روش‌های بشری برای نگهداری مواد غذایی است. اساس این روش بر کاهش آب مواد غذایی یا به عبارت دیگر کاهش فعالیت آبی در آن‌هاست که منجر به جلوگیری از فساد میکروبی، شیمیایی و بیوشیمیایی شده و عمر نگهداری مواد غذایی را افزایش می‌دهد.

خشک کردن مواد غذایی در آفتاب گرچه قدمتی بسیار طولانی دارد، اما هنوز به عنوان روشی عملی و کاربردی در اغلب کشورها حتی کشورهای پیشرفته استفاده می‌شود که از دلایل آن سادگی و ارزانی این روش است (پانگاو هانه و ساونی 2002). البته این روش معایبی را نیز به همراه دارد از جمله احتمال آلودگی محصول به دلیل قرار گرفتن در معرض مستقیم عوامل محیطی، ضایعات حاصل از حمله حشرات و پرندگان و جوندگان و طولانی بودن زمان خشک کردن که از جنبه اقتصادی نیز اثر منفی دارد. لذا این معایب کاربرد آن را با محدودیت مواجه ساخته است (کوستاروپولوس و ساراواکوس 1995). به همین دلیل برای افزایش کیفیت خشک کردن و کاهش زمان خشک کردن روش‌های جدیدتر مانند خشک کردن با جریان هوای گرم و خشک مثلاً استفاده از خشک کن کابینتی و یا خشک کردن با انرژی خورشیدی مطرح شده‌اند. البته این روش‌ها نیز با محدودیت‌هایی مواجه هستند برای مثال: در برخی مناطق کاربرد خشک کن خورشیدی به دلیل کوتاه بودن زمان استفاده از انرژی تشعشع خورشید چندان میسر نیست و یا خشک کردن با جریان هوای گرم در خشک کن کابینتی از جنبه مصرف انرژی برق و هزینه مربوط با مشکل مواجه است، گرچه این روش بهداشتی و سریع بوده و لذا کاربرد صنعتی زیادی دارد (کاراتانوس و بلژیوتیس 1997 و دویماز 2004).

از میان انواع مختلف منابع انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشیدی از مهم‌ترین آن‌هاست. استفاده از این نوع انرژی زمانی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که توجه بیشتری به بحران پایان یافتن منابع انرژی تجدید ناپذیر و مسئله آلودگی محیط زیست وجود داشته باشد (زارع و همکاران 1384). استفاده از انرژی خورشیدی به صورت کنترل شده بسیار جذاب خواهد بود. با توجه به دسترس بودن انرژی لایزال خورشیدی در کشور ما که در فصل برداشت اغلب محصولات کشاورزی با شدت مناسبی وجود دارد و متمرکز نبودن بیشتر مناطق کشاورزی و روستایی و همچنین اقتصادی نبودن استقرار صنایع در این گونه مناطق، استفاده از خشک کن‌های خورشیدی مناسب از لحاظ قیمت، کاربرد و انعطاف پذیری برای محصولات مختلف، باعث افزایش کمی و کیفی محصولات خشک می‌شود (مهدی زاده و کیهانی 1385). به طور عمومی خشک کن‌های خورشیدی بر اساس نحوه جریان هوا به دودسته فعال با همرفت اجباری و دیگری غیرفعال با همرفت طبیعی تقسیم می‌شوند. در خشک کن‌های فعال جریان هوا با استفاده از مکند یا دمنده برقرار می‌شود و اغلب این خشک کن‌ها علاوه بر انرژی خورشیدی از انرژی کمکی دیگری مانند سوخت‌های فسیلی یا انرژی الکتریکی بهره می‌گیرند، ولی در خشک کن‌های غیرفعال، جریان هوا در اثر اختلاف چگالی هوای سرد و گرم در داخل خشک کن ایجاد می‌شود (اکچوکوو 1999). این دو نوع خشک کن خورشیدی فعال و غیرفعال نیز هر کدام به سه دسته مستقیم، غیرمستقیم و تلفیقی تقسیم می‌شوند. در انواع مستقیم، محصول در محفظه خشک کن در معرض مستقیم نور خورشید قرار می‌گیرد که در برخی از محصولات نور مستقیم خورشید نوعی رنگ رسیدگی مطلوب ایجاد می‌کند. در انواع غیرمستقیم، دیوارهای محفظه خشک کن مات بوده و از کلکتور (جمع کننده) مجزا استفاده می‌شود. در این نوع خشک کن‌ها، عمل جذب انرژی خورشید توسط کلکتور انجام گرفته و هوای گرم شده در کلکتور به سمت محفظه خشک کن حرکت کرده و محصول در محفظه خشک می‌شود. نوع تلفیقی خشک کن‌ها ترکیبی از دو نوع مستقیم و غیرمستقیم است یعنی هم هوای گرم شده در کلکتور از سرتاسر بستر محصول در محفظه عبور می‌کند و هم خود بستر در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارد (اکچوکوو 1999). ایسوارامورسی، کارایی کلکتور خشک کن خورشیدی تخت را با مجاری V شکل را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که کارایی این نوع کلکتور بیشتر از کلکتور صفحه تخت با طراحی مشابه است (ایسوارامورسی 2015).

ال سبای و شالابی، یک خشک کن خورشیدی جابه‌جایی اجباری نوع غیرمستقیم طراحی و ساخته‌اند و عملکرد گرمایی خشک کن به صورت آزمایشگاهی توسط آن‌ها ارزیابی شده است. سیستم شامل یک گرم کن هوای خورشیدی دوسویه متصل به محفظه خشک کردن و دمنده برای گردش اجباری هوای گرم شده به محفظه خشک کردن هست. چهارده مدل ریاضی لایه‌نازک در این کار بررسی شده و مدل مناسب برای توصیف رفتار خشک شدن محصولات ارائه شده است (ال سبای و شالابی 2013). دیسا و همکاران، مدل سازی ریاضی یک خشک کن خورشیدی دومرحله‌ای غیرمستقیم انجام گرفته است. آن‌ها با شبیه سازی انتقال حرارت در قسمت‌های مختلف خشک کن به یک دیاگرام الکتریکی، مدل ریاضی برای خشک کن را تهیه کردند. همچنین آزمایش‌هایی به منظور بررسی دقت و صحت مدل برای محصول انبه در خشک کن مذکور انجام گرفته است (دیسا و همکاران 2009). گالالی و همکاران (2000) چند نوع میوه و سبزی شامل انگور، انجیر، گوجه فرنگی و پیاز را با خشک کن خورشیدی و خشک کردن معمولی در آفتاب، خشک کرده و

اردیبهشت 1394

محصولات خشک‌شده را از جهات مختلف از جمله ویتامین، قند احیاء کننده، میزان رطوبت، اسیدیته، میزان خاکستر و خصوصیات حسی مورد مقایسه قرار دادند. بانوت و همکاران، عملکرد طرح جدید یک خشک‌کن خورشیدی دومسیره را با خشک‌کن کابینتی و خشک‌کردن سنتی آفتابی در هوای باز برای خشک‌کردن فلفل قرمز بررسی و مقایسه کردند. زمان خشک‌کردن برای رسیدن به محتوای رطوبت مطلوب محاسبه‌شده و بازده خشک‌کردن کلی برای هر سه نوع خشک‌کردن مقایسه شده است. نتایج آن‌ها، بازده بیشتری را برای خشک‌کن خورشیدی دومسیره نسبت به دو روش خشک‌کردن دیگر نشان داده است. آن‌ها همچنین ارزیابی اقتصادی را انجام دادند و در نهایت نشان دادند که خشک‌کردن خورشیدی دومسیره هم از نظر تکنیکی و هم از نظر اقتصادی برای خشک‌کردن فلفل قرمز مناسب است (بانوت و همکاران 2011).

(بالا و همکاران 2003) و (سوپرانتو و همکاران 1999) اظهار داشتند که کیفیت محصولات خشک‌شده با استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با خشک‌کردن معمولی در آفتاب از جنبه عطر و طعم، رنگ و بافت مطلوب‌تر است، زیرا محصولات در خشک‌کن‌های خورشیدی در برابر بارندگی، حشرات و گرد و خاک بهتر حفاظت می‌شوند. (چن و همکاران 2005) نوعی خشک‌کن خورشیدی را برای خشک‌کردن برش‌های لیمو مورد استفاده قرار دادند و محصول تولیدی را با محصول خشک‌شده با خشک‌کن کابینتی با جریان هوای گرم 60 درجه سانتی‌گراد مقایسه کردند و نتیجه‌گیری نمودند که از جنبه خصوصیات حسی محصول تهیه‌شده در خشک‌کن خورشیدی از وضعیت بهتری برخوردار بود.

خشک‌کردن هوای گرم رایج‌ترین روش در خشک‌کردن مواد غذایی است. باین حال، این روش به دلیل مدت طولانی خشک‌کردن و درجه حرارت بالا منجر به آسیب‌های جدی مانند بدتر شدن طعم و مزه، رنگ و محتوای تغذیه‌ای محصول، کاهش در تراکم و ظرفیت جذب آب و انتقال املاح از بخش داخلی به سطح مواد در حال خشک شدن می‌شود (ماسکن 2001). برنامه‌های کاربردی انرژی ماکروویو در خشک‌کردن سبزیجات و میوه‌جات چندین مزایا از جمله کوتاه شدن زمان خشک شدن، یک توزیع انرژی همگن در مواد و تشکیل ویژگی مناسب محصول خشک به دلیل افزایش دما در مرکز مواد، مهار دمای سطح بالا، کاهش از دست دادن اجزای محلول در آب از جمله مزایای دیگر استفاده از خشک‌کردن ماکروویو هستند. (دیاس و همکاران 2003).

مقایسه روش‌های مختلف خشک‌کردن با خشک‌کن خورشیدی به‌ویژه از جنبه تأثیر آن‌ها بر کیفیت محصول خشک‌شده نهایی می‌تواند اطلاعات مفیدی را جهت انتخاب مناسب‌ترین روش خشک‌کردن در اختیار متصدیان تولید محصولات خشک‌کاری از جمله تولیدکنندگان سیب خشک قرار دهد و در واقع این هدفی است که این پژوهش در پی آن است.

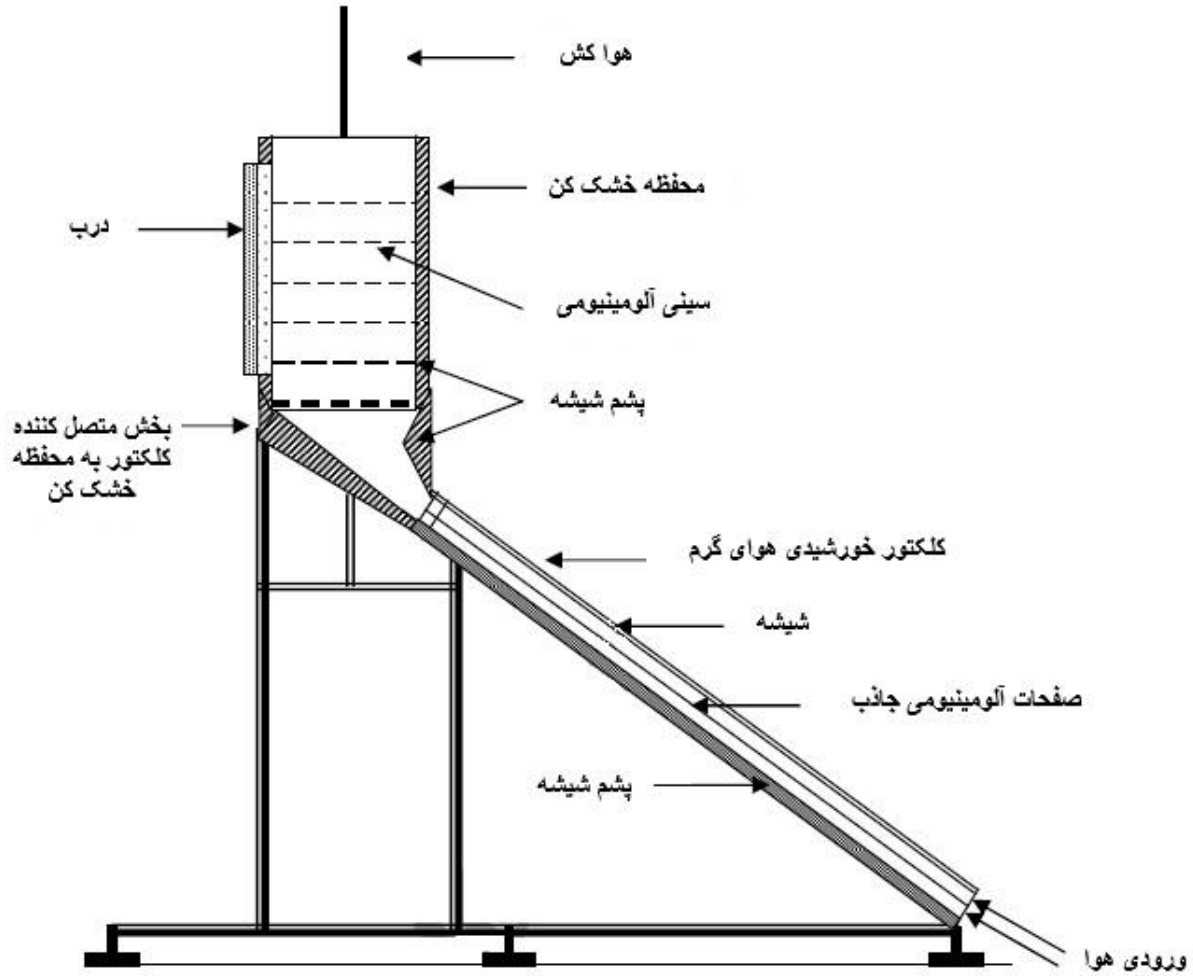
مواد و روش‌ها

ساخت دستگاه خشک‌کن خورشیدی

خشک‌کن خورشیدی مطابق شکل شماره 1 در آزمایشگاه گروه مکانیک دانشگاه آزاد، واحد کاشان ساخته شد. قسمت‌های اصلی این خشک‌کن عبارت‌اند از: کلکتور، محفظه خشک‌کن و پایه. کلکتور، قابی مستطیل شکل از جنس آلومینیوم با طول 204 و عرض 102 و ضخامت 14 سانتی‌متر است که سطح بالایی آن توسط یک صفحه شیشه با ضخامت 4 میلی‌متر پوشیده شده است. سطح زیرین آن نیز با ورق گالوانیزه گرفته‌شده است. برای جلوگیری از اتلاف انرژی حرارتی از سطح پایینی کلکتور، روی ورق گالوانیزه یک‌لایه 2 سانتی‌متری عایق پشم‌شیشه قرار گرفته است. روی عایق، یک صفحه از جنس آلومینیوم با کانال‌هایی جهت هدایت هوا وجود دارد. به‌منظور بهبود راندمان انتقال گرما از صفحات به هوا، صفحات جاذب در فاصله بین پوشش شیشه و کانال‌های عبور هوا قرار گرفته‌اند به طوری که دو فضا برای عبور هوا در رو و زیر این صفحات وجود دارد. به‌منظور ورود و خروج هوا، سوراخ‌هایی با قطر 14 میلی‌متر با فاصله 10 سانتی‌متر در دو ردیف در پایین کلکتور برای ورود هوا و در بالای کلکتور شکافی به طول 60 و عرض 7 سانتی‌متر برای خروج هوا ایجاد شد. کلکتور با زاویه 45 درجه نسبت به سطح افق بر روی پایه نصب گردید. محفظه خشک‌کن با ارتفاع 100 و طول 70 و عرض 60 سانتی‌متر به‌صورت دوجداره بوده که جدار خارجی و داخلی آن از جنس ورق گالوانیزه تشکیل داده است. بین دوجداره از عایق پشم‌شیشه با ضخامت 3 سانتی‌متر پر شده است. درب محفظه خشک‌کن به‌صورت کامل آب‌بندی گردیده است. داخل محفظه خشک‌کن به‌وسیله 4 عدد سینی از جنس توری آلومینیومی که به‌صورت کشویی حرکت می‌کنند، طبقه‌بندی شده است. محفظه خشک‌کن روی پایه اصلی و در بالای کلکتور قرار گرفته است و رابطی از جنس ورق گالوانیزه خروجی کلکتور را به قسمت ورودی در پایین محفظه خشک‌کن وصل کرده است. روی محفظه خشک‌کن، هواکشی با طول 90 سانتی‌متر و به‌صورت یک لوله به قطر 10 سانتی‌متر قرار گرفته است و به‌همرفت طبیعی هوا در کلکتور و محفظه کمک می‌کند.

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394



شکل 1- شماتیک مقطع عرضی خشک کن خورشیدی

دستگاه آون آزمایشگاهی

دستگاه آون مطابق شکل شماره 2 با مشخصات DSL-1000_DRYING OF SOLID APPARATUS در آزمایشگاه گروه مکانیک دانشگاه آزاد، واحد کاشان موجود است و برای آزمایش نمونه‌ها از آن استفاده گردید. آون دستگاهی است که برای تولید محصولات خشک‌شده کشاورزی به کمک هوای خشک از آن استفاده می‌شود و با انرژی الکتریکی کار می‌کند.

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394



شکل 2- آون آزمایشگاهی

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

سیب سفید رسیده شده از بازار مصرف میوه تهیه گردید. نمونه‌ها تا زمان مصرف در سردخانه 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و حدود 5 ساعت قبل از انجام فرایند خشک‌کردن، نمونه سیب از سردخانه خارج شد تا به دمای محیط برسد. برای تهیه ورقه‌های سیب با ضخامت یکسان، استفاده گردید.

روش‌های خشک‌کردن نمونه‌ها

1. خشک‌کردن در خشک‌کن خروشیدی

در فاصله زمانی تیر و مردادماه 1393، ورقه‌های سیب با ضخامت 1 سانتی‌متر روی یک قطعه توری آلومینیومی با ابعاد 35×35 سانتی‌متر و با وزن مشخص قرار گرفتند. وزن اولیه توری‌ها و ورقه‌های سیب اندازه‌گیری و در داخل خشک‌کن خروشیدی گذاشته شد و به‌وسیله آن‌ها افت رطوبت طی زمان خشک‌کردن بررسی شد. خشک‌کردن محصول در ضخامت مذکور 2 روز پی‌درپی به طول انجامید. برای اندازه‌گیری دما در قسمت‌های مختلف خشک‌کن، 4 ترموکوپل در نقاط مختلف (خروجی کلکتور و ورودی محفظه خشک‌کن، وسط محفظه خشک‌کن، خروجی محفظه، سطح زیرین) نصب گردید و هر 30 ثانیه دماها به‌وسیله دستگاه جمع‌آوری‌کننده داده (دیتالاگر) ذخیره شد. برای سنجش رطوبت نسبی هوای خشک‌کن از دو سری دماسنج‌های حباب خشک و مرطوب در وسط محفظه استفاده شد و در فواصل زمانی، دماها قرائت گردید و با استفاده از چارت سایکرومتری، رطوبت نسبی هوا به دست آمد.

2. خشک‌کردن به کمک هوای خشک در دستگاه آون

در فاصله زمانی تیر و مردادماه 1393، ورقه‌های سیب با ضخامت 1 سانتی‌متر روی یک قطعه توری آلومینیومی با ابعاد 35×35 سانتی‌متر و با وزن مشخص قرار گرفتند. وزن اولیه توری‌ها و ورقه‌های سیب اندازه‌گیری و در داخل خشک‌کن هوای خشک (آون) گذاشته شد و به‌وسیله آن‌ها افت رطوبت طی زمان خشک‌کردن بررسی شد. خشک‌کردن محصول در ضخامت مذکور 9 ساعت به طول انجامید. برای اندازه‌گیری دما داخل خشک‌کن، 2 ترموکوپل در داخل دستگاه آون برای اندازه‌گیری دمای خشک و مرطوب استفاده شده است. برای سنجش رطوبت نسبی هوای محیط اطراف خشک‌کن از دو سری

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394

دماسنج‌های حباب خشک و مرطوب در محیط استفاده شد و در فواصل زمانی، دماها قرائت گردید و با استفاده از چارت سایکرومتری، رطوبت نسبی هوا به دست آمد.

آزمایش‌ها طی و بعد از خشک کردن

1. اندازه‌گیری کاهش رطوبت طی زمان خشک کردن

در روش‌های خشک کردن با خشک‌کن خورشیدی و خشک کردن در هوای خشک (آون) در فواصل زمانی (30 دقیقه یکبار) تا رسیدن به رطوبت مشخص (0/08 بر اساس وزن خشک) نمونه‌ها با دقت 0/01 گرم توزین و داده‌ها ثبت شد.

2. اندازه‌گیری وزن، حجم میوه و چگالی میوه

برای اندازه‌گیری وزن میوه از ترازوی دیجیتال با 0/01 گرم تقریب برای اندازه‌گیری حجم استوانه مدرج تا حجم معینی از آب پر کرده سپس سیب را در داخل آب موجود در استوانه مدرج فرورده با استفاده از میله نازک فلزی یا شیشه‌ای به سبب به آرامی فشار آورده تا کاملاً در آب فرورود. در این حالت سطح آب موجود در استوانه مدرج را مشاهده کرده، سطح آب در وضعیت جدید را یادداشت، سطح آب در وضعیت قبلی را از آن کم کرده، عدد حاصله برابر با حجم سیب برحسب سانتیمتر مکعب محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از فرمول $\rho = m/v$ چگالی میوه محاسبه شد.

3. اندازه‌گیری چروکیدگی محصول طی زمان خشک کردن

تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به وسیله جابه‌جایی آب تعیین شد. در ابتدا نمونه ورقه سیب توزین شده و سپس در یک پیکنومتر بزرگ قرار داده شد و پیکنومتر با آب کاملاً پر شد و پس از خشک کردن جداره آن، توزین گردید و با استفاده از روابط زیر حجم نمونه و چروکیدگی آن محاسبه شد (سوهولم و گکاسی 1995).

وزن آب جابجا شده = وزن نمونه - (وزن پیکنومتر + نمونه + آب) - (وزن پیکنومتر + آب)

$$\text{وزن آب جابجا شده} = \frac{\text{چگالی آب}}{\text{حجم نمونه}}$$

$$\text{درصد چروکیدگی} = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100$$

که در آن: V_t ، حجم در زمان مورد نظر V_0 ، حجم اولیه نمونه است.

برای این که مقایسه بین حجم‌ها در زمان صفر و t صحیح باشد، بایستی V_t برای ماده خشک V_0 محاسبه شود.

نتایج و بحث

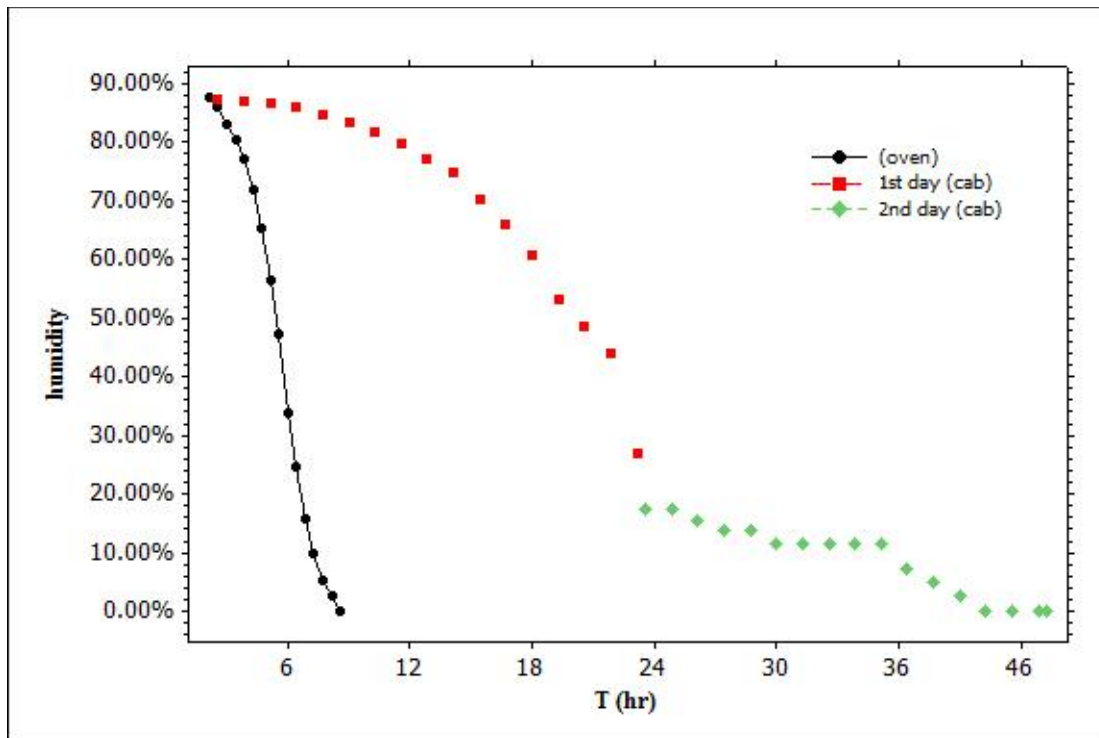
- منحنی‌های خشک کردن در هوای خشک (آون)، خشک‌کن خورشیدی

منحنی‌های سینتیک افت رطوبت در دو روش خشک کردن ورقه سیب در شکل 3 آورده شده است. با بررسی منحنی‌ها مشخص می‌شود که بسته به ساعات مختلف خشک کردن طی شبانه‌روز و درجه حرارت محیط، زمان خشک شدن در آون آزمایشگاهی 75 درصد کمتر از خشک کردن در خشک‌کن خورشیدی است با این تفاوت که خشک‌کن خورشیدی از انرژی لایزال و رایگان خورشید انرژی خود را تأمین می‌کند در صورتی که دستگاه آون آزمایشگاهی، انرژی خود را از انرژی الکتریکی تأمین می‌کند که هزینه‌بر نیز است.

در روش خشک کردن کابینت خورشیدی، سیب در روز دوم پس از گذشت 30 ساعت از شروع آزمایش به رطوبت تعادلی رسید در حالی که در آزمایش هوای خشک (آون) پس از گذشت 9 ساعت از شروع آزمایش به این پایداری رسید. هم‌چنین به دلیل این که در ابتدای فرایند خشک کردن دمای هوای خشک‌کن و محیط باهم تفاوت زیادی دارند، شدت افت رطوبت در آون بیشتر از روش خشک‌کن خورشیدی است.

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394



شکل 3. شدت افت رطوبت سیب با ضخامت یک سانتیمتر در آزمایش کابینت خورشیدی (cab) و هوای خشک (oven) (نسبت رطوبت تابعی از زمان)

بررسی چروکیدگی طی زمان خشک کردن

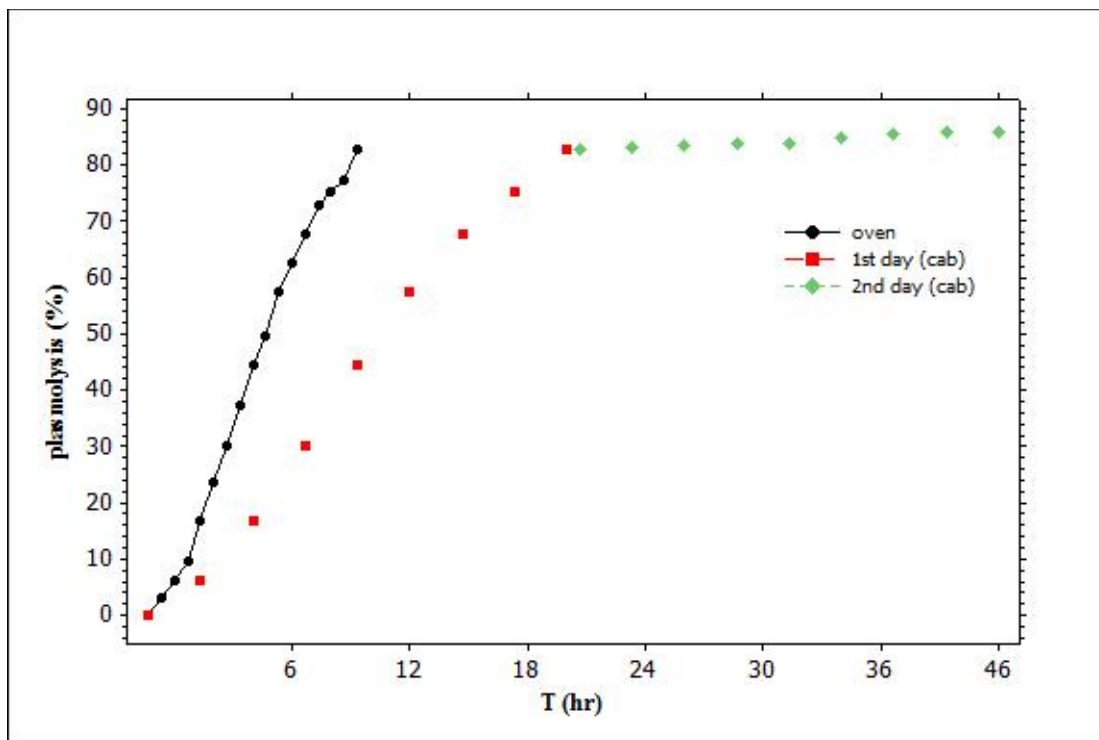
- چروکیدگی ورقه‌های سیب در خشک‌کن خورشیدی و هوای خشک (آون)

تغییرات چروکیدگی ورقه‌های سیب در دماهای مختلف هوا به‌عنوان تابعی از زمان خشک کردن در شکل 4 نشان داده شده است. از آنجایی که طی خشک شدن در دماهای مختلف، رطوبت با سرعت‌های متفاوت کاهش می‌یابد، پس برای به دست آوردن اثر دمای هوا بر چروکیدگی بایستی تأثیر رطوبت از آن حذف شود تا اثر دما بر چروکیدگی مشخص شود. در شکل 5، تغییرات چروکیدگی به‌عنوان تابعی از رطوبت رسم شده و در نتیجه اثر رطوبت در هر نقطه حذف شده است و مشخص می‌شود که در رطوبت یکسان، دمای هوا بر چروکیدگی ورقه‌های سیب بی‌تأثیر است.

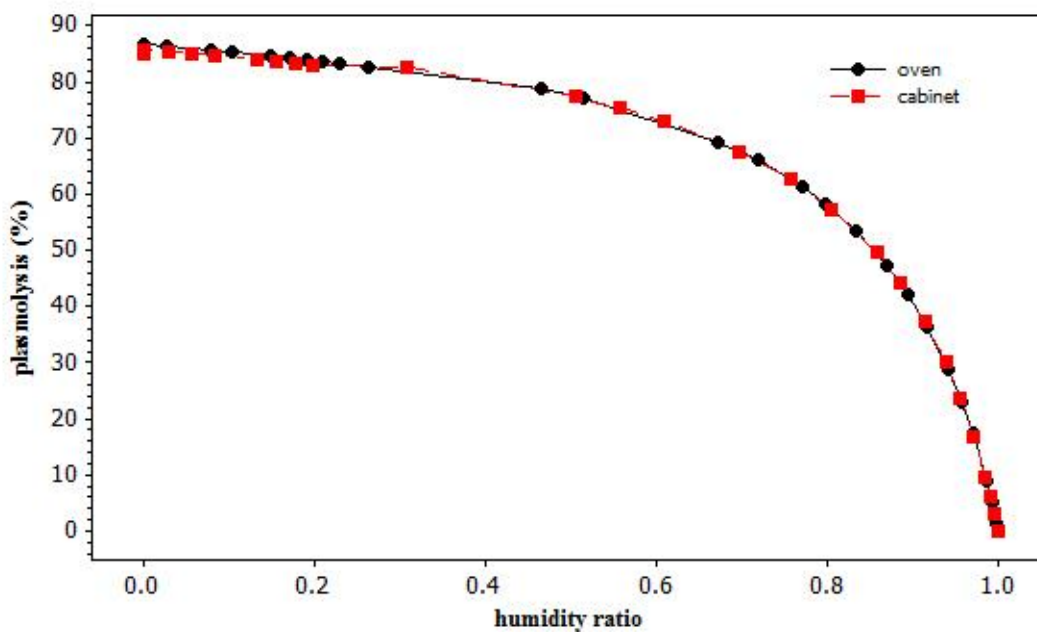
با بررسی تغییرات چروکیدگی محصول به‌عنوان تابعی از رطوبت مطابق شکل 5، در دو روش متفاوت خشک کردن ورقه‌های سیب مشخص شد که این دو عامل بر چروکیدگی محصول بی‌تأثیر هستند. تالا و همکاران، در فرایند خشک کردن موز به نتایج مشابهی رسیدند و نشان دادند که تأثیر درجه حرارت هوای خشک‌کن روی چروکیدگی موز، قابل چشم‌پوشی است (تالا و همکاران 2004). ال - محتسب و همکاران، با خشک کردن ژل نشاسته سیب‌زمینی در دماهای مختلف و اندازه‌گیری چروکیدگی آن، به این نتیجه رسیدند که دمای هوا تأثیر ناچیزی روی چروکیدگی محصول دارد (ال - محتسب و همکاران 2004).

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394



شکل 4. تغییرات درصد چروکیدگی ورقه‌های سیب با ضخامت یک سانتیمتر در دماهای مختلف خشک کردن در آزمایش کابینت خورشیدی (cab) و هوای خشک (oven)



شکل 5. تغییرات درصد چروکیدگی ورقه‌های سیب با ضخامت یک سانتیمتر در دماهای مختلف خشک کردن در آزمایش هوای خشک (oven) و کابینت (cab)

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با خشک کردن ورقه‌های سیب در یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی و خشک کردن با هوای خشک (آون) نتیجه‌گیری شد که سرعت خشک شدن در خشک کردن به کمک هوای خشک (آون) با استفاده از انرژی الکتریکی سریع‌تر از خشک‌کن کابینتی است در صورتی که کابینت خورشیدی با استفاده از انرژی رایگان خورشیدی محصولی با کیفیت برابر روش هوای خشک را تولید می‌کند. در منحنی‌های شدت افت رطوبت در روش‌های خشک کردن خورشیدی نیز یک دوره سرعت ثابت و دو دوره سرعت نزولی وجود داشت. بررسی تغییرات درصد چروکیدگی طی خشک کردن در دماهای مختلف هوا نیز نشان داد که اثر دمای هوای خشک‌کن روی چروکیدگی محصول معنی‌دار نیست و چروکیدگی فقط تابعی از میزان رطوبت محصول است و روش خشک کردن بر آن بی‌تأثیر هستند.

مراجع

1. زارع، د.، ع. زمردیان و ح. قاسم‌خانی. 1384. تأثیر دبی جرمی هوای ورودی و زمان تخلیه محصول بر روند کاهش رطوبت شلتوک در یک خشک‌کن نیمه‌پوسته خورشیدی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی 9(1): 264-251.
2. سهیلی مهدی زاده، الف. و ع. کیهانی. 1385. طراحی خشک‌کن خورشیدی با همرفت اجباری برای سبزی‌های برگی و ارزیابی عملکرد جمع‌کننده انرژی خورشیدی. تحقیقات مهندسی کشاورزی 7(27): 163-147.
3. A.A. El-Sebaei, S.M. Shalaby, Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint. *Energy Conversion and Management*, (2013), 74, 109–116.
4. Abene, A., V. Dubois and M. L. Ray. (2004). Study of solar air flat plate collector: use of obstacles and application for the drying of grape. *J. Food Eng.* 65: 15-22.
5. Al-Muhtaseb, A. H., W. A. M. McMinn and T. R. A. Magee. (2004). Shrinkage, density and porosity variations during the convective drying of potato starch gel. *Proceedings of the 14th International Drying symposium*, Sao Paulo, Brazil, PP. 1604-1611.
6. [J. Bathiebo](#), [S. Kam](#), [P.W. Savadogo](#), [H. Desmorieux](#), [J. Kouliadiati](#), Modelling and experimental validation of thin layer indirect solar drying of mango slices. *Renewable Energy*, (2009), 34(4), 1000–1008.
7. Bala, M., M. Mondol, B. Biswas, B. Choudury and S. Janjal. 2003. Solar drying of pineapple using solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 28: 183-190.
8. V. Verner, Design and performance evaluation of a Double-pass solar drier for drying of red chilli (*Capsicum annum* L.). *Solar Energy*, (2011), 85(3), 506–515.
9. Chen, H., C. E. Hernandez and T. Huang. 2005. A study of drying effect on lemon slices a closed-type solar dryer. *Solar Energy*, 78: 97-103.
10. Diaz, G. R., Martinez-Monzo, J., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/ air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 203-209.
11. Doymaz, I. 2004. Effect of pretreatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *Biosystems Engineering*, 89: 281-287.
12. Ekechukwu, O. V. and B. Norton. (1999) a. Review of solar-energy drying system II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40: 615-655.
13. Gallali, Y. M., Y. S. Abujnah and F. K. Bahnani. 2000. Preservation of fruit and vegetable using solar dryer. *Renewable Energy*, 19: 203-212.
14. Karathanos, V. T. and V. G. Belessiotis. 1997. Sun and artificial air drying Kinetics of some agriculture products. *J. Food Engineering*, 31: 35-46.
15. Kostaropoulos, A. E. and G. D. Saravacos. 1995. Microwave pre-treatment for sun dried raisins. *J. Food Engineering*, 60: 344-347.
16. Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182.
17. M. Eswaramoorthy, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37: 68–75, (2015).

اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران

اردیبهشت 1394

18. Pangavhane, D. R and P. N. Sawhney. 2002. Review of research and development work on solar dryer for grape drying. *Energy Conversion and Management*, 43: 45-61.
19. Sjöholm, I. and V. Gekas. 1995. Apple shrinkage upon drying. *J. Food Eng.* 25: 123-130.
20. Supranto, S. K., W. Daud, M. Othman and B. Yatin. 1999. Design of an experimental solar assisted dryer for palm oil fronds. *Renewable Energy*, 16: 643-646.
21. Talla, A., J. R. Puiggali, W. Jomaa and Y. Jannot. (2004). Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits : application to banana. *J. Food Eng.* 64: 103-109