ارزیابی خشک‌کن برقی چندمنظوره جهت انواع محصولات کشاورزی

محمد وحید دستگردی [۱]، امید قهرائی [۲،*]، بهزاد بهرامی نژاد [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مکاترونیک، گروه مهندسی برق، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. vahid.m.da@gmail.com
۲. استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. ghahraeiom@yahoo.com
۳. استادیار، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین‌زهرا، بوئین‌زهرا، قزوین، ایران. bbahraminejad@yahoo.com

چکیده

خشک‌کردن محصولات کشاورزی یک از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری است. این روش نسبت به سایر روش‌ها ساده‌تر و اقتصادی‌تر است. خشک‌کردن میوه-ها و سبزی‌ها در زیر آفتاب معایب فراوانی دارد، بنابراین در پی روشی نوین برای خشک‌کردن میوه‌ها به‌صورت کاملاً بهداشتی و در عین حال ساده و ارزان هستیم. بر پایه این نگرش در این پژوهش به ارزیابی خشک‌کن برقی چندمنظوره جهت انواع محصولات کشاورزی پرداخته شد. در بررسی‌های انجام شده بعد از خشک‌کردن گیاه نعناع مشاهده شد که مدت‌زمان‌های لازم برای خشک‌کردن این گیاه در دماهای ۳۰ و ۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۶۰ و ۸۰ دقیقه است. نتایج حاصل از بررسی اثر دما بر شاخص تغییرات رنگ نشان داد که کمترین و بیشترین میزان تغییر رنگ به ترتیب مربوط به نمونه خشک‌شده در دمای ۳۰ و ۵۰ درجه سلسیوس است. زمان خشک شدن برای رسیدن به رطوبت نهایی برای برش‌های سیب با ضخامت ۹ میلی‌متر در دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد ۹۴۰، ۸۰۰، ۴۲۰ و برای برش‌های سیب با ضخامت ۵ میلی‌متر ۷۲۰، ۵۰۰ و ۳۴۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. بنابراین با افزایش دمای هوای خشک‌کن سرعت خشک شدن تکه‌های سیب افزایش پیدا کرد و در نتیجه زمان خشک شدن کاهش یافت. زمان خشک شدن برای رسیدن به رطوبت نهایی برای دانه‌های ذرت در دمای هوای خشک ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد ۲۰۰، ۱۴۰ و ۱۰۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. بنابراین با افزایش دمای هوای خشک‌کن، سرعت خشک شدن دانه‌های ذرت افزایش‌یافته و در نتیجه زمان خشک شدن کاهش یافت.

کلمات کلیدی: *رطوبت، خشک‌کن، دما، میوه، آفتاب*

*نویسنده مسئول: ghahraeiom@yahoo.com

ارزیابی خشک‌کن برقی چندمنظوره جهت انواع محصولات کشاورزی

مقدمه

امروزه روش‌های گوناگونی برای نگهداری طولانی‌مدت مواد غذایی وجود دارد. خشک‌کردن محصولات کشاورزی به‌ویژه سبزیجات یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها برای نگهداری غذاهاست که بشر می‌شناسد[۱]. در حال حاضر تقاضا برای محصولات خشک با کیفیت خوب و سرشار از مواد مغذی و دارای خصوصیات ظاهری در حد میوه تازه در حال افزایش است. گفتنی است بهره‌گیری از خشک‌کن‌ها برای خشک‌کردن مواد غذایی باعث حصول کیفیت بهتر در مواد غذاییِ خشک‌شده و صرفه‌ی اقتصادی می‌شود. بااین‌همه، استفاده از خشک‌کن‌ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه همچون ایران هنوز مرسوم نشده است چرا که هزینه‌بر بودن ساخت آن به‌طور صنعتی و همچنین عدم وجود یک خشک‌کن واحد برای استعمال انواع مواد غذایی باعث شده است که کشاورزان و صنعتگران رغبتی به استفاده از آن نداشته باشند.

قابل ذکر است محصولات به روش‌های مستقیم و یا سنتی (با انرژی خورشیدی) و روش‌های غیرمستقیم (روش‌های صنعتی و دستگاهی) خشک می‌شوند. گفتنی است روش‌های سنتی خشک‌کردن بر کیفیت محصول مانند افزایش چروکیدگی بافت، سخت‌شدن سطح محصول، تغییرات نامطلوب در رنگ، عطر، طعم، و ارزش غذایی تاثیرات منفی می‌گذارد. همچنین در مزرعه و در فضای باز احتمال آلوده‌شدن محصولات به گرد و غبار و ایجاد آلودگی توسط حشرات و پرندگان وجود دارد. بنابراین خشک‌کردن به روش غیرمستقیم نسبت به روش مستقیم نتایج مطلوب‌تری بر محصولات دارد[۱۳-۱۰]. پس لازم است که خشک‌کردن با روش غیرمستقیم و استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی گسترش یابد.

در پژوهش که توسط ایوبی وهمکارانش [۲] در زمینه خشک‌کردن با خشک‌کن کابینتی انجام شد، اثر شرایط خشک‌کردن در خشک‌کن کابینتی بر شدت خشک شدن انگور و ویژگی‌های کیفی کشمش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که پارامترهای دما، سرعت هوا و پیش تیمار آماده‌سازی اثرات معنی‌داری بر شدت خشک شدن انگور و کیفیت کشمش دارند. مطلوب‌ترین مقادیر سفتی(۰/۷۳نیوتن)، چروکیدگی (۸۱/۴ درصد) و کمترین شاخص قهوه‌ای شدن مربوط به کشمش خشک‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین جذب آب مربوط به کشمش خشک‌شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین تأثیر سرعت جریان هوا، تنها بر شاخص قهوه‌ای شدن معنی‌دار شد.

در پژوهشی که توسط گرجیان و همکارانش [۶] انجام شد سینتیک خشک شدن و کیفیت زرشک در خشک‌کن لایه نازک مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش نشان داده شد که استفاده از دماهای پایین مانع از این تغییر رنگ می‌شود. دمای هوا روی سرعت خشک شدن و مقادیر رنگ در مقیاس هانترلب در سطح معنی‌دار ۵ درصد تاثیرگذار بود. استفاده از شوک حرارتی و امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم زمان خشک شدن را به ترتیب ۴۰ درصد و ۶۰ درصد کاهش داد. انتقال رطوبت از نمونه‌ها توسط مدل انتشار فیک بیان شد تا ضریب پخش موثر محاسبه شود. در پژوهشی که توسط متحیررزداری و همکارانش [۹] انجام شد ارزیابی عملکرد خشک‌کن خورشیدی کابینتی مجهز به سامانه مبدل حرارتی و صفحه متخلخل مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق تأثیر استفاده از سامانه مبدل حرارتی بر افزایش میزان کارایی جمع‌کننده و خشک‌کن خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین از روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی انتقال گرما و چگونگی توزیع حرارت در خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه مبدل حرارتی با دو خروجی و صفحه متخلخل استفاده شد. در این پژوهش نتایج نشان داده شد که استفاده از مبدل حرارتی در سامانه خشک‌کن خورشیدی هیچ اثر منفی بر کیفیت رنگ نمونه گوجه‌فرنگی خشک ندارد. در پژوهشی که توسط کافی و همکارانش [۵] انجام شد خشک‌کن کابینی خورشیدی پسته جهت جایگزینی خشک‌کن‌های موجود در صنعت فرآوری پسته شهرستان رفسنجان طراحی شد. در این پژوهش با

جایگزینی خشک‌کن‌های موجود که با سوخت گاز یا گازوئیل کار می‌نمایند با یک خشک‌کن کابینی جدید، امکان تامین تمام انرژی حرارتی مورد نیاز از راه خورشید مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که علاوه بر کاهش زمان خشک‌کردن پسته، صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای نیز در هزینه‌های فرآوری در دراز مدت وجود خواهد داشت. در این خشک‌کن، انرژی مورد نیاز حرارتی از دو طریق تابش مستقیم خورشید به داخل خشک‌کن و توسط کلکتورهای خورشیدی که گرمای مورد نیاز را از طریق لوله به داخل رادیاتور خشک‌کن هدایت می‌کنند، تأمین می‌گردد. در این سیستم هوای گرم محیط توسط دو فن قوی که در بالای خشک‌کن قرار دارند از داخل رادیاتور عبور داده‌شده و هوای گرم شده از میان پسته‌های تر عبور کرده و باعث خشک شدن آن‌ها می‌گردد. با استفاده از این سیستم استنتاج شد که می‌توان میدان پسته را که معمولاً پسته باید دو روز در داخل آن قرار گیرد حذف نمود. مطالعه تجربی دیگری توسط مِنوچی و همکارانش [۱۲] در مورد خشک کردن بادام‌زمینی با بهره‌گیری از خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم در کشور الجزایر انجام گرفت. پژوهشگران در این تحقیق با بهره‌گیری از منحنی‌های رسم شده برای عملیات خشک شدن در این پژوهش استنتاج کردند مدت عملیات خشک‌کردن برای رسیدن به رطوبت ۳۸/۳٪ ، سه روز زمان می‌برد. همچنین مشاهده شد که درجه حرارت خشک‌کردن به‌وسیله هوا بین ۲۰ تا ۴۶/۰۶ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی قابل تنظیم بین ۸/۰۳ و ۳۵/۸۲ درصد و سرعت هوا در خشک‌کن بین ۰ و ۱/۶۸ میلی‌متر بر ثانیه است.

در تحقیقاتِ نَوین چاندرا شاهی [۱۴] پیرامون موضوع "توسعه خشک‌کن خورشیدی مدل چند جایگاهه (PSD) برای دره کشمیر پاکستان" مشخص گردید که طراحی و ساخت این خشک‌کن عملکرد بهتری از نظر صرف وقت و شرایط بهداشتی برای خشک‌کردن مواد غذایی نسبت به خشک‌کن روباز خورشیدی دارد ولی درجه حرارت و رطوبت داخل PSD به‌صورت خطی با خارج مطابقت داشت و تفاوت چندانی بین خشک‌کن جدید طراحی شده با خشک‌کن‌های روباز نبود.

بر پایه مطالعات انجام شده در این تحقیق ارزیابی خشک‌کن ساده و کاربردی برای انواع مواد غذایی با قابلیت تنظیم و کنترل دما مورد توجه پژوهش است. در کشور ما در زمینه خشک‌کردن محصولات کشاورزی مشکلات زیادی وجود دارد و بیشتر میل به استفاده از روش‌های سنتی است. در این پژوهش با ارزیابی خشک‌کن موجود که دارای قابلیت تنظیم و کنترل دما است و در ساخت آن از مصالح و تجهیزات ساده، در دسترس و مقرون به صرفه استفاده می‌شود، می‌توان بر این دو مشکل مهم چیره شد و برای خشک کردن محصولات متنوع تنها از یک خشک‌کن بهره گرفت و هزینه‌ها را تا حد زیادی کاهش داد. با توجه به اهمیت استفاده از علم روز در خشک‌کردن مواد غذایی، ویژگی‌های جغرافیایی و آب هوایی مناطق مرکزی و جنوب شرقی ایران و میل به استفاده از خشک‌کن‌های ارزان‌تر در کشورهای در حال توسعه همچون ایران و با توجه به تحقیقات پیشین انجام شده در رابطه با ساخت و توسعه خشک‌کن‌ها به‌طور جداگانه برای ماده‌هایی خاص، وجود این خشک‌کن در کشور می‌تواند بسیار کمک‌کننده و مفید باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از خشک‌کن کابینتی به‌منظور خشک‌کردن محصولات منتخب بهره گرفته شد. شکل ۱ خشک‌کن مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد که در پژوهش دیگری که توسط جعفری در زمینه طراحی و ساخت خشک‌کن تونلی انجام شده بود استفاده شده است[۳].

شکل-۱- مشخصات ظاهری داخل و بیرون خشک‌کن

در این خشک‌کن به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی حرارتی، کابینت توسط عایق از جنس پشم شیشه پوشانده شده است. هوای گرم در دستگاه به وسیله‌ی دو مجموعه المنت برقی تولید می‌گردد.سیستم کنترل دما در خشک‌کن شامل موتور دمنده، ماژول دما، رِله و کنتاکتور است. کنترل دما در خشک‌کن به این صورت است که نخست دمای مورد نظر برای خشک شدن محصول، در نمایشگر ماژول دما تنظیم می‌شود.

در این تحقیق بعد از راه‌اندازی خشک‌کن، عملکرد دستگاه با توجه به شرایط و نتایج بدست آمده در تحقیقاتِ بدست آمده از گذشته [۸-۴،۷] بر روی محصولات زیر بررسی شد:

۱-غلات؛ دانه ذرت

۲-میوه‌های درختی؛ سیب

۳- برگ سبزیجات؛ نعناع

هر کدام از این محصولات به‌صورت مجزا بر روی سینی کابینت خشک‌کن قرار گرفت و در دمای بدست آمده در تحقیقات گذشته فرآیند خشک شدن محصول آغاز شد. کار دستگاه با قرار دادن محصول در داخل محفظه خشک‌کن و باز کردن دریچه انتقال هوای گرم به محفظه خشک‌کن شروع می‌شد. زمان خشک شدن پس از رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی مورد نظر اندازه گیری شد.

در این پژوهش مقدار نعناع تازه مورد استفاده در هر بار خشک کردن حدوداً ۲۵۰ گرم، سیب حدود ۵۰۰ گرم از نمونه‌های برش خورده‌ی سیب در ضخامت‌های۵ و۹ میلی‌متر آذرت به میزان ۲۵۰ گرم برای خشک‌کردن استفاده شد.

جهت آنالیز آماری اطلاعات مربوط به اثر دما و همچنین ضخامت میوه (در مورد سیب) بر سرعت خشک شدن یا نرخ خشکی[1] و زمان خشک شدن از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. پارامتر دما و ضخامت میوه به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. سرعت خشک شدن و زمان متغیرهای وابسته بودند. در این پژوهش از شاپیرو ویلک[2] جهت بررسی توزیع داده‌ها استفاده شد و چنانچه میزان تست $P\geq ۰/۰۵$ بود توزیع داده‌ها نرمال و از تست‌های پارامتریک جهت آنالیز آن‌ها استفاده می‌شد. شایان ذکر است جهت بررسی تفاوت بین گروه‌ها از تست آماری آنالیز واریانس دو طرفه[3] جهت بررسی اثر ضخامت میوه و دما بر سرعت خشک شدن و زمان مورد نیاز خشک شدن میوه سیب بهره گرفته شد. همچنین، از تست آماری آنالیز واریانس یک طرفه[4] جهت بررسی اثر دما بر سرعت خشک شدن و زمان مورد نیاز جهت خشک شدن نعنا و ذرت استفاده شد.

1 drying rate
2 Shapiro- Wilk
3 two-way ANOVA
4 one-way ANOVA

در این پژوهش به‌منظور بدست آوردن آهنگ خشک **کردن از رابطه زیر استفاده شد :**

(۱)

$$D.R = \frac{M_{(t+\Delta t)} - M_{(t)}}{M_t}$$

در این رابطه $M_{(t+\Delta t)}$ رطوبت در لحظه $(t + \Delta t)$ و M_t مقدار رطوبت در هر لحظه و Δt فاصله زمانی بین دو رطوبت متوالی بر حسب دقیقه است.

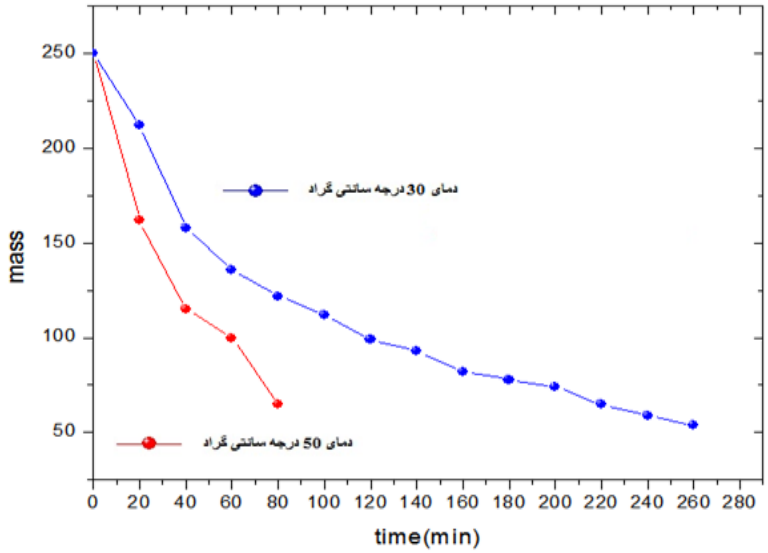
نتایج و بحث

با بهره‌گیری از خشک‌کن معرفی شده سه محصول کشاورزی نعناع، سیب و ذرت خشک شدند. یافته‌ها حاکی از آن بود که خشک-کن صنعتی بکار گرفته شده تأثیر چشمگیری در فرآیند خشک کردن محصولات(از لحاظ کیفی و کمی) دارد. در این پژوهش نشان داده شد که با افزایش دما، زمان کمتری برای رسیدن به محصول خشک شده نیاز است.

شکل -۲- نمودار جرم نعناع بر حسب زمان را در فرآیند خشک‌کردن را نشان می‌دهد. گفتنی است. همانطوری که از نمودار پیداست در دمای ۳۰ درجه مقدار نهایی جرم نعناع ۳۶ گرم است که این نشان می‌دهد در این فرآیند جرم نعناع ۸۶ درصد کم شده است و این نتیجه با مقایسه پژوهش‌های گذشته همخوانی خوبی دارد. اما آن ارزشمند است ذکر شودکه مدت زمان رسیدن به این مقادیر مستلزم زمان ۲۶۰ دقیقه بود. گفتنی است در فرآیند خشک‌کردن نعناع در دمای ۳۰ درجه، در ۸۰ دقیقه نخست جرم نعناع نصف شد. این بدان معنا است بیشترین فرآیند خشک شدن در این بازه زمانی بوده است.

از شکل -۲- پیداست با افزایش دما از ۳۰ درجه به ۵۰ درجه فرآیند خشک شدن از لحاظ زمانی بسیار به صرفه بوده است. در این دما (۵۰ درجه) طی ۸۰ دقیقه جرم نعناع به ۶۵ گرم رسید و این گیاه در این فرآیند ۵۰ درصد جرم خود را در مدت کمتر از ۴۰ دقیقه از دست داده است.

جدول -۱- اثر دما بر سرعت و زمان خشک شدن گیاه نعناع را نشان می‌دهد. بر پایه این داده‌ها که با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS بدست آمده است سرعت خشک شدن در دمای ۳۰ درجه $Kgw.Kgd.m^{-1}.h^{-1}$ ۰/۱۵ ± ۱/۳۲۵ است و برای دمای ۵۰ درجه $Kgw.Kgd.m^{-1}.h^{-1}$ ۰/۱۵ ± ۴/۲۴ است. گفتنی است در هر دو نمودار آهنگ خشک شدن در طی زمان، دارای یک شیب کاهشی است. این شیب کاهشی در زمان‌های ابتدایی بیشتر و در انتهای زمان خشک شدن کمتر می‌شود که مربوط به پدیده کاهش رطوبت اشباع است. بدین صورت که در زمان‌های نخست با توجه به مقدار بالای رطوبت در بافت گیاه، سرعت خروج رطوبت بالا بوده و در نتیجه سرعت کاهش رطوبت از بافت میوه نیز زیاد و نمودار دارای کاهش شیب شدید است ولی با گذشت زمان با توجه به اینکه از مقدار آب محصول کاسته شد سرعت خروج رطوبت از بافت کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث کاهش نرخ از دست دادن رطوبت می‌شود.آن ارزشمند است که ذکر شود با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴-۱ دما تأثیر معناداری بر سرعت خشک شدن نعناع ($P<۰/۰۰۰۱$) دارد. افزایش دما باعث افزایش سرعت خشک شدن گیاه نعناع و کاهش زمان مورد نیاز جهت رسیدن به رطوبت مطلوب در برگ‌های نعناع می‌شود. تفاوت معنادار بین تیمارها در سرعت و زمان خشک شدن در این داده‌ها بطور آشکار قابل مشاهده است.



شکل -۲- روند خشک شدن نعناع در زمان خشک شدن

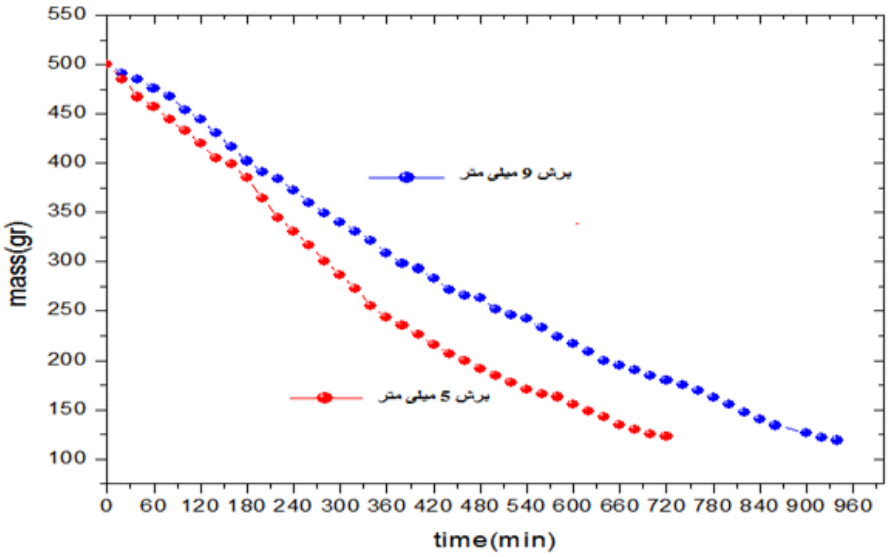
جدول -۱-اثر دما بر سرعت و زمان خشک شدن گیاه نعناع

متغییرها		دما (سانتی گراد)		سطح معناداری[1] (P-values)
		۳۰	۵۰	
سرعت خشک شدن (Kgw.Kgd.m-1.h-1)		۱/۵۱ ± ۰/۰۲b	۴/۶۲ ± ۰/۰۲a	<۰/۰۰۰۱
زمان (h)		۴/۴۴ ± ۰/۱۱a	۱/۴ ± ۰/۱۱b	<۰/۰۰۰۱

[1] سطح معناداری برابر با $P \leq 0.05$ است.

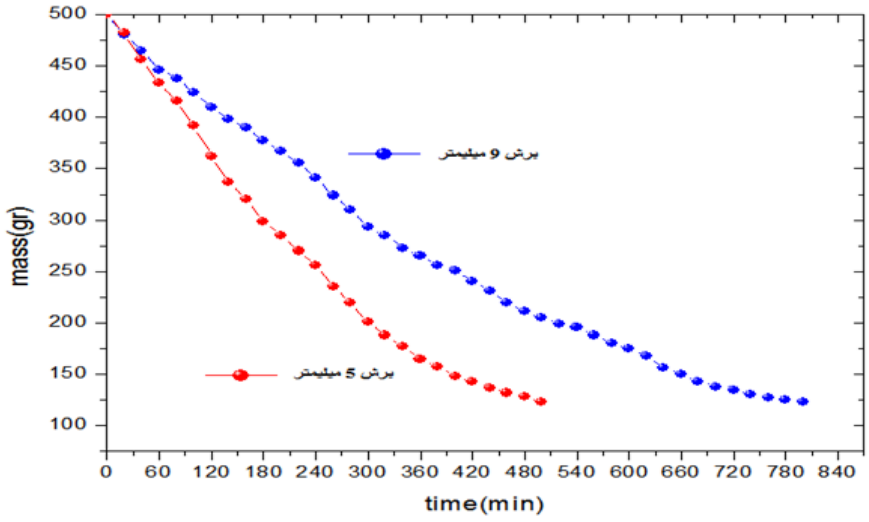
[a-b] حروف بالانویس متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنادار بین تیمارهاست.

شکل -۳- روند خشک شدن سیب در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بر حسب زمان را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست برای هر دو برش ۵ و۹ میلی‌متر نمودارها تقریبا شیب یکنواختی دارند. شیب تقریبی نمودار برای برش ۵ میلی‌متر ۰/۵۱ و برای ۹ میلی‌متر ۰/۴۱ هست. گفتنی است که برای برش ۵ میلی‌متر برای از دست دادن ۵۰ درصد جرم تقریبا ۶ ساعت طول کشید و برای همین مقدارکاهش جرم برای برش ۹ میلی‌متر این زمان تقریبا ۸/۵ ساعت بود. بر پایه اینکه در طی این فرآیند منحنی دارای شیب یکنواخت است می‌توان استنتاج کرد که در گام‌های زمانی یکسان با افزایش دما میزان از دست دادن رطوبت تقریبا یکسان است.

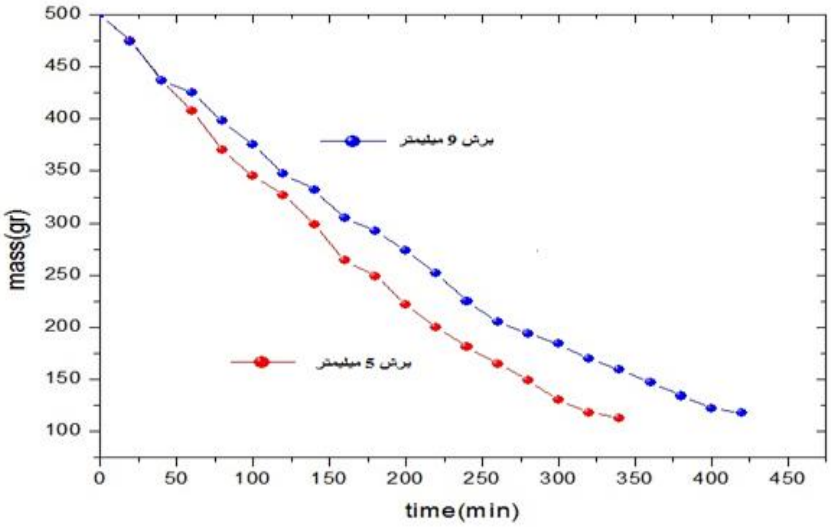


شکل-۳-روند خشک شدن سیب در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد در زمان خشک شدن

شکل -۴- روند خشک شدن سیب در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد بر حسب زمان را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست برای خشک شدن سیب برای رسیدن به جرم ۱۲۳ گرم در برش ۹ میلی‌متر ۸۰۰ دقیقه و برای برش ۵ میلی‌متر ۵۰۰ دقیقه طول کشید. بر پایه این اطلاعات نتیجه‌گیری می‌شود که هر چقدر ضخامت کمتر باشد خشک شدن میوه سریع تر صورت می گیرد. با مقایسه شکل ۳ و ۴ مشخص است با افزایش دمای خشک‌کن زمان خشک‌کردن کمتر می‌شود که این نتیجه قابل انتظار است. شکل ۵ روند خشک شدن سیب در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد بر حسب زمان را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل پیداست میزان خشک شدن سیب دارای شیب یکسانی است. شیب نمودار برای سیب ۵ و ۹ میلی‌متر تقریبا برابر ۰/۵ است. بر پایه این دیدگاه می‌توان گفت که در گام‌های یکسان برای هر دو برش میزان از دست دادن رطوبت تقریبا برابر است. بر پایه نمودارهای شکل ۴-۵، برش ۵ میلی‌متر در زمان ۱۸۰ دقیقه به نصف جرم اولیه خود رسید و این اتفاق برای برش ۹ میلی‌متر در زمان ۲۲۰ دقیقه رخ داد.



شکل- ۴- روند خشک شدن سیب در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در زمان خشک شدن



شکل-۵-روند خشک شدن سیب در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در زمان خشک شدن

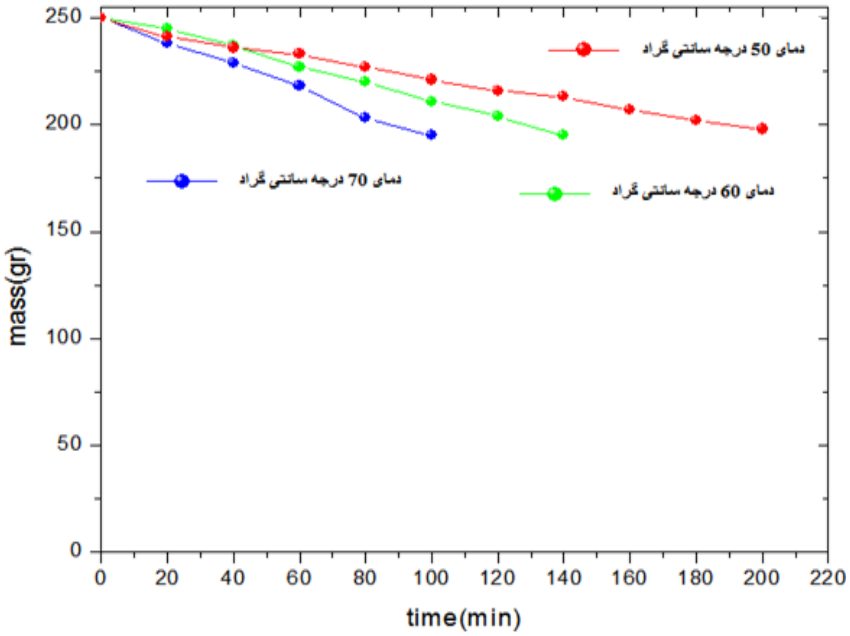
جدول -۲- نتایج حاصل از اثر دما بر سرعت و زمان خشک شدن برش‌های سیب را نشان می‌دهد. مطابق با داده‌های ارائه شده در جدول -۲- دما و ضخامت اثر معناداری بر سرعت خشک شدن و زمان دارند. با افزایش ضخامت سرعت خشک شدن سیب کاهش می‌یابد. و بالعکس زمان موردنیاز جهت رسیدن به میزان رطوبت مطلوب افزایش می‌یابد. سیب‌های با ضخامت ۵ میلی‌متر در دمای ۶۰ درجه بیشترین سرعت خشک شدن و کمترین زمان مورد نیاز خشک شدن را در مقایسه با دیگر تیمارها داشتند. همچنین، کمترین سرعت خشک شدن سیب در گروه با ضخامت ۹ میلی‌متر در دمای ۴۰ درجه مشاهده شد. جالب است بدانیم که سیب‌های با ضخامت ۵ میلی‌متر در دمای ۴۰ درجه سریعتر از سیب‌های با ضخامت ۹ میلی‌متر دمای ۵۰ درجه خشک می‌شوند. شایان ذکر است از لحاظ کیفی استنتاج شد که با افزایش دما و کاهش ضخامت رنگ لایه‌های سیب خشک‌شده قهوه‌ای می‌شوند و میزان چروید‌گی بیشتر می‌شود.

جدول -۲- اثر ضخامت سیب و دما بر نرخ خشک شدن و دمای مورد نیاز جهت خشک شدن میوه سیب

ضخامت (mm)	۹			۵		
دما (سانتی-گراد)	۶۰	۵۰	۴۰	۶۰	۵۰	۴۰
نرخ خشک شدن($Kgw.Kgd.m^{-}$ $(^{1}.h^{-1})$	± ۰/۰۰۹b ۰/۶۲	± ۰/۰۰۹e ۰/۳۱	± ۰/۰۰۹f ۰/۲۸	± ۰/۰۰۹a ۰/۷۹	/۰۵۱±/۰۰۹c ۰	± ۰/۰۰۲d ۰/۳۵
زمان (h)	± ۰/۱۸ e ۶/۸۳	± ۰/۱۴b ۱۳/۳۶	± ۰/۱۱a ۱۵/۴۵	± ۰/۳۳f ۵/۵۶	± ۰/۲۷ d ۸/۳	± ۰/۲۲ c ۱۱/۹۶

حروف بالانویس متفاوت بیانگر تفاوت معنادار بین تیمارهاست.

شکل -۶- روند خشک شدن ذرت در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بر حسب زمان را نشان می‌دهد. از شکل قابل مشاهده است که با سپری شدن زمان خشک شدن همانطور که انتظار می‌رود، رطوبت به‌طور مداوم کاهش می‌یابد. برای این منحنی‌های خشک شدن، اثر دمای هوای خشک بر نرخ کاهش رطوبت دانه‌های ذرت بسیار زیاد بود. به عبارت دیگر، افزایش دمای هوای خشک‌کن، باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود. زمان خشک شدن برای رسیدن به رطوبت نهایی برای دانه‌های ذرت در دمای هوای خشک ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد ۲۰۰، ۱۴۰ و ۱۰۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. بنابراین با افزایش دمای هوای خشک‌کن، سرعت خشک شدن دانه‌های ذرت افزایش‌یافته و در نتیجه زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همانطور که از روی شکل پیداست در زمان‌های مساوی میزان از دست دادن رطوبت برای هر ۳ حالت متفاوت است. شیب نمودار خشک شدن ذرت در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۳ و۰/۵۴ است. بر پایه این شیب استنتاج می‌شود که با افزایش دما میزان از دست دادن رطوبت در دمای ۷۰ درجه تقریبا ۲ برابر حالت قبل است.



شکل -۶- روند خشک شدن ذرت در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد در زمان خشک شدن

جدول -۳- نتایج حاصل از اثر دما بر سرعت و زمان خشک شدن دانه ذرت را نشان می‌دهد. بر پایه این داده‌ها نتیجه‌گیری می‌شود دما اثر معناداری بر سرعت خشک شدن ذرت ($P<۰/۰۰۰۱$) و دمای مورد نیاز جهت رسیدن به رطوبت مطلوب ($P<۰/۰۰۰۱$) دارد. همچنین نتیجه گرفته می‌شود که افزایش دما باعث افزایش سرعت خشک شدن دانه ذرت و کاهش زمان مورد نیاز جهت رسیدن به رطوبت مطلوب می‌گردد. علاوه بر این تفاوت معنادار بین تیمارها در سرعت و زمان خشک شدن مشاهده شد. بر پایه داده‌های این جدول سرعت خشک شدن دانه‌ای ذرت در دمای ۷۰ درجه $Kgw.Kgd.m^{-1}.\ ^{-}.h^{-1}$ ۰/۱۷۵ است که تقریبا ۲ و ۱/۵ برابر دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه است. آن ارزشمند است که ذکر شود علاوه بر موارد کمی گفته شده، از لحاظ کیفی در این پژوهش دیده شد با افزایش دمای خشک‌کن، درصد دانه‌های ترک‌خورده به دلیل خروج سریع رطوبت از دانه و بالا بودن دمای خشک‌کن افزایش یافت.

جدول -۳- اثر دما بر سرعت و زمان خشک شدن دانه ذرت

متغیرها	دما (سانتی‌گراد)			سطح معناداری[1] (P-values)
	۵۰	۶۰	۷۰	
سرعت خشک شدن ($Kgw.Kgd.m^{-1}.h^{-1}$)	± ۰/۰۰۱[c] ۰/۰۸۲	± ۰/۰۰۱[b] ۰/۱۲۸	± ۰/۰۰۱[a] ۰/۱۷۵	<۰/۰۰۰۱
زمان (h)	۳/۳۳[a]	۲/۳۳[b]	۱/۶۶[c]	<۰/۰۰۰۱

[1] سطح معناداری برابر با $P \leq 0.05$ است.

[a-c] حروف بالانویس متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنادار بین تیمارهاست.

نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی و آنالیز نتایج بدست آمده از این پژوهش، با افزایش دما، زمان کمتری برای رسیدن به نعناع خشک شده نیاز است. گذشته از این از لحاظ کیفی دیده شد که با افزایش دما، رنگ نمونه‌ها از حالت سبز به رنگ قهوه‌ای تبدیل می‌شود. لازم به ذکر است بر پایه مطالعات انجام شده این تغییر رنگ مربوط به فرآیند شیمیایی اکسیدشده است. در ابتدای زمان خشک‌کردن به دلیل محتوی رطوبت بالا در هر سه نمونه (سیب، نعناع و ذرت) سرعت خشک شدن صعودی بود و در انتهای فرآیند خشک شدن به دلیل میزان ناچیز رطوبت آزاد درون محصول نرخ خشک شدن کاهش یافت. ضخامت لایه نمونه و دمای خشک‌کن تأثیر چشمگیری در ظاهر لایه‌های سیب خشک شده داشت. در این پژوهش استنتاج شد که افزایش دما و کاهش ضخامت لایه‌های سیب باعث قهوه‌ای‌تر شدن و چروید‌گی بیشتر نمونه‌ها می‌شود. در این پژوهش برای دانه‌های ذرت شیب نمودار خشک شدن ذرت در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۳ و۰/۵۴ بود و با افزایش دمای خشک‌کن، درصد دانه‌های ترک‌خورده به دلیل خروج سریع رطوبت از دانه و بالا بودن دمای خشک‌کن افزایش یافت.

منابع:

۱. آق خانی محمد حسین-۱۳۹۲-بررسی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه گردش هوای بسته و محفظه جاذب رطوبت. ماشین های کشاورزی. ۳(۲): ۹۳-۱۰۲.

۲. ایوبی اعظم, صداقت ناصر, کاشانی نژاد مهدی, محبی محبت, نصیری محلاتی مهدی-۱۳۹۵-بررسی اثر شرایط خشک کردن در خشک‌کن کابینتی بر شدت خشک شدن انگور و ویژگی های کیفی کشمش. پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران ۱۲(۲): ۲۳۸-۲۲۶.

۳. جعفری شهرام-۱۳۸۹-مطالعه طراحی سیستم خشک‌کن تونلی و امکان سنجی مجهز نمودن این سیستم به سامانه کنترل دما. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی.

۴. صید کرمی الهام ، قمری صلاح، وزیر محرم -۱۳۹۴-بررسی اثر ضخامت ، دما و زمان بر رطوبت میوه سیب در طی خشک شدن. اولین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران.

۵. کافی عادل مسعود، بیگی علی، رحیمی مجتبی و مرعشی سید محمد باقر.-۱۳۹۳-طراحی خشک‌کن کابینی خورشیدی پسته جهت جایگزینی خشک‌کن های موجود در صنعت فرآوری پسته شهرستان رفسنجان چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

۶. گرجیان ش.، توکلی هشجین تیمور، خوش تقاضا محمدهادی، نیک بخت ع. م-۱۳۹۰- سینتیک خشک شدن و کیفیت زرشک در خشک‌کن لایه نازک. مجله بین المللی علوم و فناوری کشاورزی ۱۳(۳): ۳۱۴-۳۰۳.

۷. گشتاسبی رضا،رحمتی محمد هاشم، گشتاسبی محمد-۱۳۹۰-بررسی روند خشک شدن ذرت دانه ای در سیستم های خشک‌کن صنعتی در استان خوزستان. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار، اهواز - دانشگاه پیام نور استان خوزستان.

۸. نوری مجتبی ، کاشانی نژاد مهدی-۱۳۹۲-دارایی گرمه خانی امیر و بلندی مرضیه. سینتیک خشک کردن برگ های نعناع و میزان انرژی مصرفی در خشک کردن به روش مایکروویو. اولین همایش منطقه ای گیاهان دارویی شمال کشور، گرگان - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان.

۹. متحیر رزداری مهرنوش، عرب حسینی، صمیمی اخیجهانی، هادی-۱۳۹۸- ارزیابی عملکرد خشک‌کن خورشیدی کابینتی مجهز به سامانه مبدل حرارتی و صفحه متخلخل. مهندسی بیوسیستم ایران. ۵۰(۲): ۳۰۵-۳۱۸

10. Ekechukwu, O.V. 1999. Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory.Energy conversion and management, 40(6): 593-613.
11. Karpe, S. 2016.Thermoelectric power generation using waste heat of automobile. International Journal of Current Engineering and Technology, 4(4): 144-148.
12. Mennouche, D., Bouchekima, B., Zighmi, S., Boubekri, A., Boughali, S., & Matallah, A.2105. An experimental study on the drying of peanuts using indirect solar dryer.In Progress in Clean Energy 2 : 1115-1124.
13. Seveda, M. S.2105. Design and performance evaluation of solar tunnel dryer for drying of industrial product. International Journal of Renewable Energy Technology, 6(3): 245-260.
14. Shahi, N. C., Khan, J. N., Lohani, U. C., Singh, A., & Kumar, A. 2011. Development of polyhouse type solar dryer for Kashmir valley. Journal of food science and technology, 48(3), 290-295.

Evaluation of Multifunctional Electric Dryers for Different Agricultural Products

Mohammad Vahiddastgerdi[1], Omid Ghahraei[2*], Behzad Bahraminejad[3]

1. Department of Electrical Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan. Iran
2. Department of Mechanical Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan. Iran
3. Department of Electrical and Computer Engineering, Buein Zahra Technical University, Buein Zahra, Qazvin, Iran

Abstract

Drying is one of the oldest ways of keeping crops. This method is simpler and more economical than other methods. There are many disadvantages to drying fruits and vegetables under the sun, so we are looking for a new and inexpensive method for drying the fruits in a completely healthy way. According to this approach, we will evaluate multifunctional electric dryers for a variety of agricultural products. In the researches after drying the spearmint, it was observed that the drying time of the plant at 30 and 50 °C was 260 and 80 minutes, respectively. The results obtained from the study of the effect of temperature on the color change index showed that the lowest and highest color changes were related to the dried samples at 30 and 50 °C, respectively. For apple slices with a thickness of 9 mm, the drying time of the final moisture was measured at 940, 800, 420 min at 40, 50 and 60 °C, and for apple slices with a thickness of 5 mm, 720, 500 and 340 minutes.. Thus, as the dryer temperature increases, the drying rate of apple slices increases, resulting in a reduced drying time. Drying time to reach the final moisture content for corn grains was obtained at dry air temperatures of 50, 60 and 70 °C for 200, 140 and 100 minutes. Therefore, as the dryer temperature increases, the drying rate of the corn grains increases, resulting in a lower drying time.

Key words: Humidity, dryer, temperature, fruit, sun

*Corresponding author: Omid Ghahraei
E-mail: ghahraeiom@yahoo.com