خشک کردن ورقه سیب توسط خشک‌کن هالوژن

سمیرا کریمی[۱]، محمدهادی خوش تقاضا[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: (۸۹/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲۲)

چکیده

در این تحقیق، خشک کردن ورقه سیب گلاب توسط خشک‌کن هالوژن مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها در دو سطح ضخامت ورقه سیب ۳ و ۶ میلی-متری، سه سطح دمای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس، با دو برنامه خشک کردن Fast و Standard انجام گرفت. مقدار رطوبت از دست رفته، زمان خشک کردن و میزان تردی برگه‌های خشک‌شده اندازه‌گیری شد و طعم برگه‌ها از طریق ارزیابی گروه تست کننده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که بیشترین میزان رطوبت از دست رفته در شرایط ضخامت برگه ۶ میلی‌متر و برنامه خشک کردن Standard بوده است. مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت برگه mm ۳ در دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس بیشینه بوده است. در هر دو برنامه خشک کردن Fast و Standard و ضخامت برگه mm ۶ ، تفاوت معناداری میان دماهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس و مقدار رطوبت از دست رفته وجود داشت. در برنامه خشک کردن Fast، برای هر سه دمای موجود، تفاوتی میان مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت برگه‌های ۳ و ۶ میلی‌متر وجود نداشت. اما در روش Standard ، در دمای ۱۰۰ ^{o}C، مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت برگه mm ۶ به طور معناداری بیشتر بود. برای دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس، طعم برگه-های سیب خشک‌شده خوب بوده، ولی برگه‌های سیبی که در دمای ۱۲۰ ^{o}C خشک‌شده بودند از طعم متوسطی برخوردار بودند. برگه‌های سیبی که در دمای ۸۰^{o}C خشک شدند، تردی کمتری داشته و برگه‌های خشک شده در دمای ۱۲۰ ^{o}C تردتر بودند. در نهایت شرایط بهینه عبارت بود از، روش خشک کردن standard، دمای ۱۰۰^{o}C و ضخامت برگه‌های mm ۶ که به دلیل میزان رطوبت از دست رفته بیشتر، تردی قابل قبول و طعم به نسبت مناسب آن بود.

کلید واژگان: تحلیل‌گر رطوبت هالوژن، خشک کردن، ورقه سیب، تردی.

*مسئول مکاتبات: khoshtag@modares.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

۱- مقدمه

هدف نهایی از فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی کاهش دادن مقدار ضایعات و افزایش مدت ماندگاری این محصولات است. سیب به عنوان یکی از محصولات با ارزش کشاورزی و مهم‌ترین ماده با ارزش صادراتی در گروه میوه و سبزیجات، به صورت طبیعی حاوی مقادیر زیادی آب است که برای نگهداری این میوه در مدت طولانی ایجاد اشکال می‌نماید. در سال ۲۰۰۶، چین اولین تولیدکننده سیب در جهان بوده است و ایران مقام هفتم را از این لحاظ در دنیا دارد [۱]. با این حال به دلیل اینکه میزان قابل توجهی از سیب تولید شده در کشور، پیش از رسیدن به دست مصرف کننده دچار صدمه شده و غیر قابل استفاده به صورت تازه می‌شود، بایستی خشک شده و به این ترتیب مدت ماندگاری آن افزایش داده شود. خشک کردن این محصول باعث کاهش حجم و وزن آن نیز می‌گردد که به امر نگهداری و انبارداری این محصول کمک می‌نماید. خشک کردن سنتی علاوه بر مزایای سادگی و عدم نیاز به امکانات زیاد، دارای معایبی چون غیر قابل کنترل بودن، بهداشت کم می‌باشد. از این رو استفاده از روش‌های دیگر خشک کردن غیر قابل اجتناب است [۲،۳و۴]. روش‌های مختلفی برای خشک کردن محصولات کشاورزی موجود است که از آن جمله می‌توان به روش‌های خشک کردن با آون در دماهای پایین، خشک کردن در دماهای بالا، خشک کردن اسمزی، خشک کردن با امواج ماکروویو،و خشک کردن با اشعه‌های مختلف اشاره کرد [۵،۶و۷].

وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۷، مدل‌سازی ریاضی خشک کردن لایه نازک سیب را مورد بررسی قرار دادند. فرایند خشک شدن با جابجایی هوا در یک خشک‌کن آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش‌ها در چهار سطح دمایی ۷۵، ۸۵، ۹۵ و ۱۰۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای۰/۰۳± ۱/۲ متر بر ثانیه انجام شد. مدل-های ریاضی مختلفی بر داده‌های آزمایشی برازش داده شدند. نتایج نشان داد که مدل لگاریتمی بهتر از سایر مدل‌ها فرایند خشک شدن را پیش بینی می‌کرد. نمودارهای خشک شدن دو مرحله نزولی را نشان داد. همچنین رابطه نسبت رطوبت با زمان خشک شدن در خشک‌کن لایه نازک، که در طراحی و کنترل خشک کردن به روش جابجایی هوا کاربرد دارد، استخراج شد[۸].

خشک کردن با تابش هالوژن به فرآیندی گفته می‌شود که مواد مرطوب به وسیله تابش هالوژن گرم می‌شوند. تابش هالوژن یک نوع تابش الکترومغناطیسی است که طول موج آن بین ۰/۷۶ و ۴۰۰ μm می‌باشد. تابش در این محدوده طول موج به دلیل ارتعاش گرمایی مولکول‌ها ایجاد می‌شود و به عکس جذب تابش هالوژن باعث ارتعاش گرمایی می‌شود. به این ترتیب تابش هالوژن روشی برای انتقال گرما بین دو جسم است و این گرما را می‌توان جهت خشک کردن اجسام مرطوب بکار برد. از این دیدگاه، تابش هالوژن با هر نوع تابش گرمایی دیگر مشابه می‌باشد [۱۱و۱۴]. یکی از روش‌های جدید در خشک کردن مواد غذایی، استفاده از انرژی تشعشعی هالوژن است. وقتی که اشعه هالوژن به سمت محصول تابانده شود، بسته به محصول و طول موج اشعه تابیده شده، قسمتی از اشعه از محصول عبور کرده، درصدی از آن منعکس می‌شود و بالاخره بخشی هم جذب شده و به داخل محصول نفوذ می‌کند و به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد. سپس جسم به شدت گرم شده و گرادیان حرارتی در داخل جسم در طی یک مدت کوتاهی به شدت افزایش پیدا می‌کند. از آنجایی که هوا انرژی تشعشعی هالوژن را از خود عبور می‌دهد، بدون اینکه هوای محیط گرم شود، انرژی اشعه‌ی هالوژن، ماده‌ی مورد نظر را گرم می‌کند [۹].

یک راه برای کاهش زمان خشک کردن، انتقال حرارت با استفاده از اشعه‌ی هالوژن است [۹ و۱۰]. این روش به خصوص برای لایه‌های نازک محصول که در معرض اشعه می‌باشند، مناسب است و استفاده از آن در سال‌های اخیر به واسطه‌ی پیشرفت در نوع رادیاتورهای هالوژن رو به افزایش است. در این روش عمل حرارت دهی به مواد بدون تغییر در ساختمان آن انجام می‌گیرد، بنابراین کیفیت مواد از نظر ساختمانی بهبود یافته، فعالیت بیولوژیکی مواد بالا رفته و هزینه فرایند کاهش می‌یابد[۱۱]. از دیگر مزایای خشک کردن با تابش مادون‌قرمز، به حداقل رسیدن ضایعات حاصل از عمل خشک کردن است همچنین در بعضی موارد با استفاده از خشک کن‌های هالوژن سریع‌تر از خشک‌کن‌های جابه‌جایی می‌توان گرما را به طرف جسم متمرکز نمود ولی در خشک‌کن‌های جابه‌جایی مقداری از گرما توسط محیط اطراف جذب شده و تلف می‌شود. در حقیقت این روش

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

سرعت خشک کردن بالا را بدون خطر سوختن ماده فراهم می‌کند [۱۲،۱۱ و۱۳].

در سال ۱۳۸۳، مهاجران پس از طراحی و ساخت خشک‌کن آزمایشگاهی مادون قرمز، برای ارزیابی خشک‌کن ساخته شده اقدام به خشک کردن شلتوک نمود. در این تحقیق خشک کردن به دو روش جریان هوای گرم و تابش مادون قرمز در دو سطح سرعت هوای ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه و سه سطح دمای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس (معادل شدت تابش‌های ۰/۱۹، ۰/۳۹ و ۰/۵۸ وات بر سانتی‌متر مربع)، مقایسه گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از روش تابش مادون قرمز، زمان خشک کردن به طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند و شلتوک‌های خشک‌شده به این روش در دو شدت تابش ۰/۳۹ و ۰/۵۸ وات بر سانتی‌متر مربع که معادل با دماهای ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس شلتوک‌ها در روش جریان هوای گرم هستند، میزان ترک‌خوردگی کمتری دارند. نتایج آزمایش‌های خشک کردن به روش مادون‌قرمز نشان داد که هر دو عامل شدت تابش و سرعت جریان هوا و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر زمان خشک شدن دارند و با افزایش شدت تابش و کاهش سرعت جریان هوا، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد که درصد ترک‌خوردگی دانه‌ها نیز تحت تأثیر هر دو عامل شدت تابش مادون قرمز و سرعت جریان هوا است و با افزایش شدت تابش و کاهش سرعت جریان هوا، درصد ترک خوردگی دانه‌ها افزایش می‌یابد [۱۴].

فنتون و کندی در سال ۱۹۹۸، در تحقیقی به بررسی نحوه اندازه-گیری رطوبت سیب و کیوی توسط خشک کن مادون قرمز پرداخت. در این تحقیق دامنه دمایی انتخاب شده برای انجام آزمایش‌ها بین ۷۰ تا ۱۳۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری تغییرات وزن نمونه مورد آزمایش به صورت پیوسته بر روی نمایشگر خشک‌کن نمایش داده می‌شد و هر ۵ دقیقه این مقدار ثبت می‌شد. در نهایت دمای ۱۰۰ °C مناسب‌ترین دما برای اندازه‌گیری رطوبت تشخیص داده شد. در این آزمایش‌ها مقدار زمان خشک کردن بر اساس تغییرات وزن نمونه بدست آمد [۱۵].

در سال ۱۹۹۸، افضل و ابی سیب زمینی را به روش هالوژن خشک نمودند و مدل پخش را در فرآیند خشک کردن با توجه به دو پارامتر شدت تابش و ضخامت نمونه سیب زمینی بررسی کردند. بر اساس این تحقیق مشاهده گردید که تبخیر رطوبت در سیب زمینی به شدت تابش بستگی دارد. افضل و ابی در سال ۱۹۹۹ خصوصیات بنیادی خشک کردن سیب زمینی به روش هالوژن را در چهار شدت تابش ۰/۱۲۵، ۰/۲۵۰، ۰/۳۷۵ و ۰/۵۰۰ وات بر سانتی‌متر مربع و برای سه سرعت جریان هوای ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ متر بر ثانیه، در دو سطح از رطوبت نسبی هوای ۳۶ و ۶۲ درصد بررسی کردند و مشاهده نمودند که نرخ خشک کردن (درصد رطوبت وزنی محصول نسبت به زمان، طی عملیات خشک کردن) سیب‌زمینی به شدت تابش بستگی دارد. یعنی با افزایش شدت تابش، خشک کردن سیب‌زمینی در مدت زمان کوتاه‌تری انجام می‌شود. همچنین افزایش سرعت جریان هوا با نرخ خشک شدن رابطه معکوس دارد و نرخ پایین خشک کردن سیب زمینی در سرعت‌های بالای جریان هوا به علت سرد شدن سیب زمینی در این سرعت‌های جریان هوا می‌باشد. قابل ذکر است که رطوبت نسبی هوا تأثیری بر نرخ خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون قرمز ندارد و مدل Page تغییرات رطوبت سیب‌زمینی در طی خشک کردن به روش مادون قرمز را به خوبی پیش‌بینی می‌کند [۱۶].

در سال ۲۰۰۷، سلما و همکاران آزمایشاتی را جهت بررسی خشک کردن زیتون به روش هالوژن در محدوده‌ی دمایی ۸۰ تا ۱۴۰ درجه سلسیوس انجام دادند. در این آزمایشات نرخ خشک کردن، با افزایش دما افزایش یافته و در نتیجه‌ی آن زمان خشک کردن کاهش یافت. با افزایش دما از ۸۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس، برای کاهش میزان رطوبت محصول از ۹۱/۹۷ به ۸/۶۹ (.w.b٪)، زمان خشک کردن از ۱۰۵ دقیقه به ۳۵ دقیقه کاهش پیدا کرد [۱۷].

از تحقیقات انجام گرفته می‌توان نتیجه گرفت که مهم‌ترین مزایای استفاده از خشک‌کن‌های هالوژن کاهش زمان خشک شدن، افزایش کیفیت محصول خشک‌شده و افزایش بازده حرارتی خشک‌کن است. همچنین از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در خشک‌کن‌های هالوژن قدرت لامپ هالوژن، سرعت و درجه حرارت هوای عبوری از روی محصول را می‌توان نام برد. حال با توجه به اهمیت سیب خوراکی و اهمیت افزایش ماندگاری این محصول با توجه به فسادپذیری بالای آن و همچنین بهبود روش‌های خشک کردن به عنوان یک روش حفظ طولانی مدت

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

مواد غذایی، در این تحقیق به خشک کردن لایه نازک سیب واریته گلاب با خشک کردن به روش هالوژن، پرداخته می‌شود. در این روش در مقایسه با روش‌های موجود، امکان کنترل بر روی داده‌های برداشت شده و نتایج بدست آمده بیشتر است.

۲- مواد و روش‌ها

برای خشک کردن ورقه های سیب از دستگاه تحلیل‌گر تغییرات رطوبت هالوژن[1] استفاده شد که در اثر نور هالوژن به بررسی دقیق تغییرات رطوبت مواد در طی فرآیند خشک کردن می‌پردازد. جدول شماره (۱)، مشخصات کلی دستگاه تحلیل‌گر رطوبت را نشان می‌دهد. داده‌ها و نتایج بدست آمده‌ای چون درصد کسر شده رطوبت، درصد مقدار ماده خشک، مقدار وزن و مشخصات آزمایش به صورت همزمان بر روی صفحه دیجیتال آن قابل مشاهده می‌باشد. از مشخصه‌های بارز این دستگاه در مقایسه با خشک‌کن‌های مادون قرمز و یا آون‌های متداول این است که زمان رسیدن به دمای مورد نظر بسیار کم بوده و این دستگاه در زمان کمتری به قدرت حرارتی بیشینه خود می‌رسد.

جدول ۱ مشخصات دستگاه خشک‌کن هالوژن.

ظرفیت	۴۵ گرم
قابلیت خواندن داده	0.001 گرم و 0.01%
نتایج	رطوبت(٪) ، جرم(g) ، مقدار ماده خشک (٪)
محدوده دما	(50-200)ºC
برنامه خشک کردن	Standard, Fast, Ramp, Step
برنامه قطع آزمایش	زمان‌دار، دستی ، خودکار
منبع گرما	نور هالوژن
نمایشگر	LCD – 128×64 pix

جدول ۲ ماتریس آزمایش‌ها.

پارامترها	سطوح		
	۱	۲	۳
ضخامت ورقه‌ها (mm)	۳	۶	–
دمای آزمایش (ºC)	۸۰	۱۰۰	۱۲۰
نوع برنامه خشک کردن	FAST	STANDARD	-

جدول شماره (۲)، ماتریس آزمایش را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مقالات و تحقیقات موجود و همچنین توصیه سازنده دستگاه، آزمایش‌ها با ۲ سطح ضخامت ورقه ۳ و ۶ میلی‌متری، ۳ سطح دمای ۸۰ ، ۱۰۰ ، ۱۲۰ و ۲ برنامه خشک کردن[2] Fast وStandard انتخاب گردید. همچنین آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شد. انتخاب دمای خشک کردن تا میزان ۱۲۰ °C به دلیل توصیه سازنده دستگاه برای محصولاتی با بافتی مشابه بافت سیب بود. همچنین در این تحقیق هدف، بررسی فرآیند خشک کردن سریع برگه‌های سیب بوده است. در مطالعات گذشته برای خشک کردن به روش مادون قرمز ورقه های سیب تا ۱۳۰ °C گزارش شده است[۱۵]، برای جلوگیری از احتمال قهوه‌ای شدن برگه‌ها و یا کاهش ارزش تغذیه‌ای آن، مقدار حد بالای دمای خشک کردن تا ۱۲۰ °C در نظر گرفته شد. البته با ارزیابی طعم برگه‌های خشک شده توسط گروه ارزیابی، می‌توان انتظار داشت که تأثیر منفی قهوه‌ای شدن بر طعم برگه‌ها قابل مشاهده باشد.

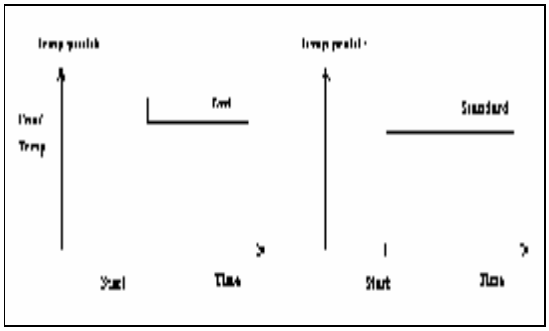
برای یافتن مؤثرترین برنامه خشک کردن با توجه به توصیه سازنده دستگاه از روش‌های Standard و Fast استفاده شده است. روش Standard تخمین دقیقی از تغییرات رطوبت در محدوده وسیعی از مواد بدست می‌دهد. در این روش دمای خشک‌کن با آغاز آزمایش در مدت زمان کوتاهی به مقدار مورد نظر رسیده و در باقی زمان آزمایش ثابت باقی می‌ماند. در روش Fast در دقایق ابتدایی دمای نمونه مقداری از دمای مورد نظر تجاوز می‌کند و این امر به تسریع فرآیند خشک شدن کمک می‌نماید. نمونه بایست رطوبت کافی در طول دقایق اولیه برای خنک کاری داشته باشد. در شکل شماره (۱)، نمودار خشک کردن برای دو برنامه Fast و Standard نشان داده شده است. زمان قطع فرآیند خشک کردن در این آزمایش به گونه‌ای تنظیم شده است که هرگاه مقدار تغییرات وزن نمونه در مدت زمان ۳۰ ثانیه کمتر از ۵ میلی‌گرم شد، دستگاه به طور خودکار آزمایش را متوقف کند. نمونه‌ها همراه با پوست درون خشک‌کن قرار گرفته و مقدار رطوبت اولیه نمونه‌ها توسط آون الکتریکی اندازه گیری شد که برابر ۰/۸۸۲ بر پایه خشک بود. در طی آزمایش مقدار رطوبت از دست رفته و زمان خشک کردن از روی نمایشگر خوانده شد.

1. Halogen Moisture Analyzer

2. Drying Profile

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

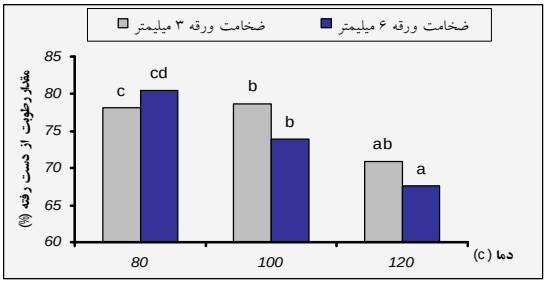
میزان تردی برگه‌های خشک شده به وسیله ماشین آزمون مواد (H50 K-s, Hounsfild, England) اندازه‌گیری شد. روش کار به این شکل بود که با رسم نمودار نیرو- جابه‌جایی برای هر برگه خشک شده، مقدار نیرویی که در آن، اولین شکست در برگه‌ها دیده می‌شد به عنوان نیروی شکست نامیده می‌شد، که با کاهش مقدار این نیرو، میزان تردی برگه‌های خشک شده افزایش پیدا می‌کرد[۷]. مقایسه طعم، از طریق ارزیابی گروه تست کننده برگه‌ها انجام گرفت. روش اندازه‌گیری کیفیت برگه‌ها از لحاظ طعم به این صورت بود که برگه‌های خشک شده در میان گروه ۱۰ نفره تست کننده تقسیم شد و نظرات بر اساس عدد (عالی=۴، خوب=۳، متوسط=۲و ضعیف=۱) جمع‌آوری گردید. در نهایت کیفیت برگه‌ها از لحاظ طعم بر اساس عددی از ۴ بررسی و در تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای تحلیل و آنالیز آماری از طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و به کمک نرم‌افزار SPSS استفاده شده است [۴و۵].



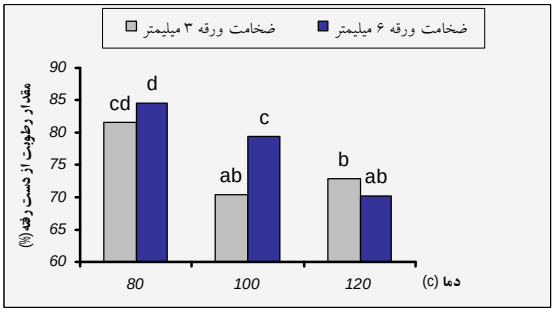
شکل ۱ نمودار برنامه‌های خشک کردن.

۳- نتایج و بحث

جدول (۳)، جدول تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده از تیمارهای مختلف آزمایش می‌باشد. چون اثر متقابل سه‌گانه و دوگانه در سطح ۵٪ معنادار بدست آمد، با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن[1] به بررسی سطوح مختلف منابع تغییر پرداخته شده است. همان طور که انتظار بود با افزایش مقدار دما، زمان خشک شدن کاهش یافته و در این زمان مقدار درصد رطوبت از دست رفته افزایش یافته است. با توجه به نمودار شکل (۲ و۳) می‌توان گفت که بیشترین میزان رطوبت از دست رفته در شرایط دمای ۱۲۰°C، ضخامت ۶ میلی‌متر و برنامه خشک کردن Standard بوده است.



شکل۲ نمودار مقایسه میانگین درصد رطوبت از دست رفته برای برنامه Fast در سطح احتمال معنی داری ۱٪.



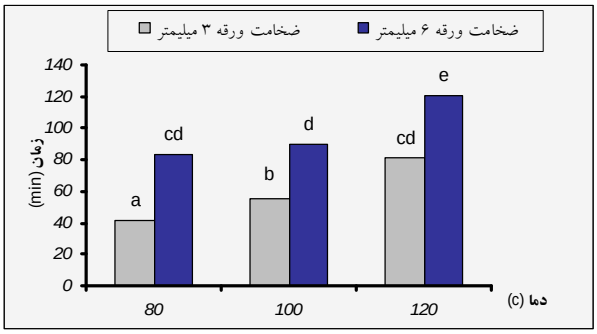
شکل ۳ نمودار مقایسه میانگین درصد رطوبت از دست رفته برای برنامه Standard در سطح احتمال معنی داری ۱٪.

در هر دو برنامه خشک کردن، مقدار بیشینه رطوبت از دست رفته مربوط به ضخامت ۶ میلی‌متر و دمای ۱۲۰°C درجه بوده و این بدین دلیل است که هم دما بیشینه بوده و هم ضخامت بیشتر ورقه سیب و رطوبت نسبی بیشتر موجود در آن مقدار ٪mc را افزایش داده است. مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت ورقه ۳ میلی‌متر در دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس بیشینه است. در هر دو برنامه خشک کردن **Fast** و **Standard** و ضخامت ۶ میلی‌متر تفاوت معناداری میان دماهای ۸۰ و ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس و مقدار رطوبت از دست رفته وجود دارد، یعنی سیر صعودی در افزایش مقدار رطوبت از دست رفته با افزایش دما کاملاً معنادار است. اما در ضخامت لایه ۳ میلی‌متر تنها میان دماهای پایین و ۱۲۰°C درجه تفاوت معنادار بوده و تفاوتی از نظر تغییرات رطوبت برای دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس(دماهای پایین) وجود ندارد. در برنامه خشک کردن Fast برای هر ۳ دمای موجود تفاوتی

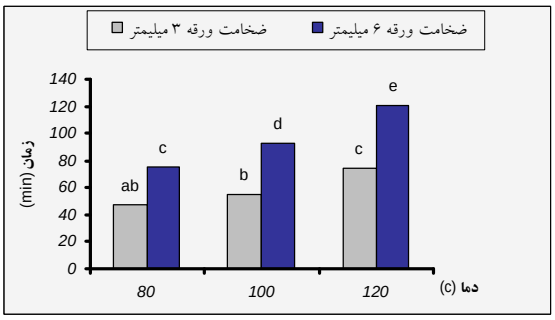
1. Duncan

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

میان مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت‌های ۳ و ۶ میلی‌متر وجود ندارد، اما در روش Standard، در دمای ۱۰۰°C مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت ۶ میلی‌متر به طور معناداری بیشتر بوده است.



شکل ۴ نمودار مقایسه میانگین مدت زمان خشک شدن(min) برای برنامه Fast در سطح احتمال معنی داری ۱٪.



شکل ۵ نمودار مقایسه میانگین مدت زمان خشک شدن(min) برای برنامه Standard در سطح احتمال معنی داری ۱٪.

با توجه به شکل‌های (۴ و ۵)، مقدار زمان خشک شدن با افزایش ضخامت افزایش و با افزایش دمای خشک کردن کاهش یافته است.

جدول ۳ جدول تجزیه واریانس زمان، مقدار رطوبت از دست رفته، تردی و طعم

منبع تغییر	درجه آزادی	زمان	رطوبت از دست رفته	تردی	طعم
نوع برنامه خشک کردن	۱	۳/۱۸۰ ns	۲۱/۳۴۴ ns	۱۷۱/۶۱۰ **	۰/۱۲۵ ns
دما	۲	۴۳۷۰/۵۷۷ **	۳۴۹/۹۸۱ **	۶۰/۸۸۷ **	۲/۵۴۲ **
ضخامت	۱	۱۳۰۳۰/۲۲۳ **	۲/۹۱۳ ns	۲۳۶۱/۹۶۰ **	۳۰/۶۸۱ **
دما × برنامه خشک کردن	۲	۱۸/۰۱۸ ns	۲۰/۱۱۹ *	۲/۱۰۱ ns	۰/۰۴۲ ns
ضخامت × برنامه خشک کردن	۱	۶/۵۰۳ ns	۵۷/۸۱۱ **	۲۰/۲۵۰ ns	۰/۶۸۱ ns
ضخامت × دما	۲	۵۹/۸۳۰ ns	۳۰/۴۳۹ *	۱/۶۸۲ ns	۰/۹۳۱ ns
ضخامت × دما × برنامه خشک کردن	۲	۸۷/۸۴۴ ns	۴۰/۶۲۲ **	۱/۰۵۱ ns	۰/۲۶۴ ns
خطا	۲۴	۵۱/۰۳۵	۵/۵۱۱	۶/۷۳۵	۰/۴۴۳

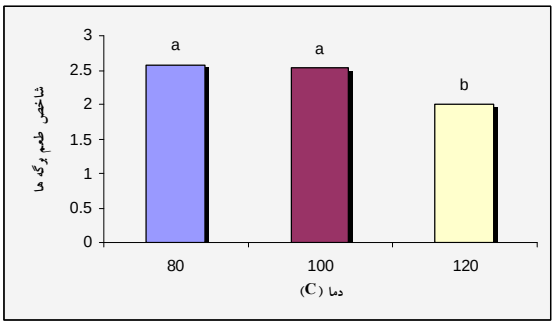
* معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪،
ns در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیست.

با توجه به جدول (۳)، می‌توان دریافت که در معیار تردی، نوع برنامه خشک کردن، دمای خشک کردن و همچنین ضخامت برگه‌های خشک شده تأثیر گذار بوده است اما در معیار کیفیت طعم برگه‌های خشک‌شده، تنها عوامل دما و ضخامت تأثیر گذار

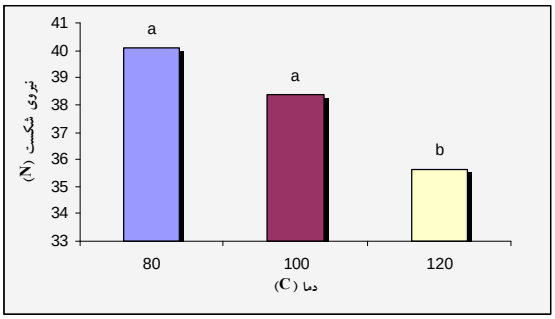
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

بوده و تأثیر عامل نوع برنامه خشک کردن بر معیار طعم معنادار نبوده است. همین‌طور به دلیل اینکه اثر متقابل دما، ضخامت برگه‌ها و نوع برنامه خشک کردن بر یکدیگر بی معنا بوده است تنها به آزمون مقایسه میانگین دانکن برای عامل دما پرداخته شد و نمودارهای مقایسه میانگین سطوح مختلف عامل دما رسم گردید (شکل ۶و ۷). با توجه به شکل (۶)، می‌توان گفت که برای دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس، طعم برگه‌های سیب خشک-شده تقریباً خوب بوده ولی برگه‌های سیبی که در دمای ۱۲۰°Cخشک‌شده بودند از طعم متوسطی برخوردار بودند. با این توضیح، مشخص می‌شود که دماهای پایین‌تر برای خشک کردن برگه‌های سیب باعث خوش‌طعم‌تر شدن برگه‌ها خواهد شد.

با توجه به شکل (۷)، می‌توان گفت که برگه‌های سیبی که در دماهای پایین‌تر خشک شده‌اند، تردی کمتری داشته و برگه‌های خشک شده در دمای بالا(۱۲۰°C)، تردتر بوده‌اند. به طور میانگین، برای سطوح عامل ضخامت می‌توان گفت که میانگین نیروی شکست برای ضخامت برگه ۳ میلی‌متر، ۲۹/۹ نیوتن بوده و برای برگه‌هایی با ضخامت ۶ میلی‌متر این مقدار برابر بوده با ۴۶/۱۴ نیوتن بوده است. این در حالی ست که میانگین شاخص طعم در ضخامت ۳ میلی‌متر، ۱/۷۲ و در ضخامت ۶ میلی‌متر، ۳/۰۲ بوده است و این نشان‌دهنده خوش طعم تر بودن برگه‌های سیب ۶ میلی‌متری می‌باشد. به همین ترتیب به طور میانگین برای سطوح عامل برنامه خشک کردن می‌توان توضیح داد که میانگین نیروی شکست در برنامه standard ۳۵/۸۶ نیوتن و برای برنامه خشک کردن fast ۴۰/۲۲ نیوتن بوده است که نشان می‌دهد استفاده از برنامه standard در خشک کردن، باعث تردتر شدن برگه‌های سیب می‌شود. اما میانگین شاخص طعم برای هر دو برنامه standard (۲/۴۱) و fast (۲/۳۳) تفاوت چندانی نداشته است.



شکل ۶ مقادیر سطوح عامل دما بر میانگین سطوح برای طعم برگه‌ها در سطح احتمال معنی داری ۵٪.



شکل ۷ مقادیر سطوح عامل دما بر میانگین سطوح برای تردی برگه‌ها در سطح احتمال معنی داری ۵٪.

۴- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تحقیق انجام گرفته به صورت خلاصه بیان می‌شود:

۱- بیشترین میزان رطوبت از دست رفته برای برگه‌های سیب در شرایط دمای ۱۲۰ °C ، ضخامت ۶ میلی‌متر و برنامه خشک کردن Standard بوده است.

۲- در برنامه خشک کردن Fast برای هر ۳ دمای مورد آزمایش، تفاوتی میان مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت‌های ۳ و ۶ میلی‌متر وجود ندارد، اما در روش Standard، در دمای ۱۰۰°C مقدار رطوبت از دست رفته برای ضخامت ۶ میلی‌متر به طور معناداری بیشتر بوده است.

۳- برای دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس، طعم برگه‌های سیب خشک‌شده خوب بوده ولی برگه‌های سیبی که در دمای ۱۲۰°C خشک‌شده بودند از طعم متوسطی برخوردار بودند.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

۴- استفاده از برنامه standard در خشک کردن، باعث تردتر شدن برگه‌های سیب می‌شود اما میانگین شاخص طعم برای هر دو برنامه Standard و Fast تفاوت چندانی نداشته است.

۵- در نهایت برای خشک کردن برگه‌های سیب با استفاده از خشک‌کن نور هالوژن، شرایط بهینه عبارتست از، روش خشک کردن standard، دمای ۱۰۰°C و ضخامت برگه‌های ۶ میلی-متر که دلیل آن، میزان رطوبت از دست رفته بیشتر، تردی قابل قبول و طعم به نسبت مناسب آن است.

۵- منابع

[1] Hoseinpoor Kazemi, M. and Bagherzade, A. (2007). A comparative analysis of the efficiency of apple cultivation unites based on Timmer and Green methods. Isfahan University Journal. 26: 167-187.

[2] Kazemi, A. J. Kashfi, J and Peimanpoor, P. (2006). Study on conservation and production of apple slices. 16th Food Industrial Congress. Iran.

[3] Anonymous. (2007). Available at: http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-index.

[4] Valizade, M. and Moghadam, M. (2005). Design of Experiments in Agriculture. Parivar Publication. Tabriz. Iran. 432 Pages.

[5] AOAC. (2002). Official Methods of Analysis. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg. Maryland. USA.

[6] Stroshine, R. and Hamann, D. (1994). Physical properties of agricultural material and food products. West Lafayette: Dept of Agricultural Engineering Purdue University, USA.

[7] Kubilay, V. Hasim, K. Serkan, S. (2006). A Study on Some Chemical and Physico-Mechanic Properties of Three Sweet Cherry Varieties. Journal of Food Engineering. 74:568–575.

[8] Wang, Z., J. Sun, X. Liao, F. Chen, G. Zhao, J. Wu, and X. Hu. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. Food Research International, 40: 39–46.

[9] Nowak, D. and Lewicki, P. (2004). Infrared drying of apple slices. Innovation Food Science and Emerging Technologies. 5: 353-360.

[10] Sharma, G. P., Verma, R. C. and Pathare, P. B. (2004). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. Journal of Food Engineering, 67: 361-366.

[11] Pahlevanzade, H. (1998). Drying principles, application and design. Tarbiat Modares University Publication. 455 Pages.

[12] Tavakkolipoor, H. (2001). Principles and methods of food material drying. Ayyij Publication. 176 Pages.

[13] Nonhebel, G. (1973). Drying of solids in the chemical industry. Butterworth & Co.LTD. England.

[14] Mohajeran, S. H. (2004). Fabrication of Halogen Drying laboratory apparatus for drying of Rice. M.Sc. Thesis of Mechanics of Agricultural Machinery. Tarbiat Modares University. 87 Pages.

[15] Fenton, G. A., and Kennedy, M. J. (1998). Rapid dry weight determination of kiwifruit pomace and apple pomace using an infrared drying technique. NewZealand Journal of Crop and Horticultural Science. 26: 35-38.

[16] Afzal, T. M. and Abe, T. (1999). Some fundamental attributes of far infrared radiation drying of potato. Drying Technology, 17(1&2): 137-155.

[17] Celma, A. R., Rojas, S., Lopez, F., Montero, I. and Miranda, T. (2007). Thin-layer drying behaviour of sludge of olive oil extraction. Journal of Food Engineering, 80: 1261-1271.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]

Drying of apple slice by halogen dryer

Karimi, S. [1], Khoshtaghaza, M. H. [2*]

1. M.Sc. Student, Tarbiat Modares University.
2. Associat Professor, Tarbiat Modares University

(Received: 89/7/11 Accepted: 90/7/3)

In this study, drying of Golab apple slice by Digital Halogen Dryer was investigated. The experiments were carried out at two levels of apple thickness (3 and 6 mm), three levels drying temperature (80, 100 and 120 ºC) and two kinds of drying profile (Fast and Standard). Lose of moisture content, drying time and brittleness were measured and taste of dried apple slices were evaluated by a test panel. The results of experiments showed that the maximum lose of moisture content related to the thickness of 6 mm and standard drying profile. In both profile drying, the maximum lose of moisture content related to the thickness of 6 mm and drying temperature of 120 ºC. The maximum lose of moisture content for 3 mm thickness occurred at 80 and 100 ºC. There were significant differences in both of drying profiles and thickness of 6 mm at different temperatures and lose of moisture content. In fast drying profile, there was no significant difference between lose of moisture content and different thicknesses for all levels of temperature. But in standard profile and temperature of 100 ºC, the maximum lose of moisture content was in thickness of 6 mm. The slices which were dried at 80 and 100 ºC had good taste but it had mediocre tastes for slices which were dried at 120 ºC. Increasing drying temperature caused to increase brittleness of apple slices. Finally, the optimum condition of drying was found at standard drying profile, drying temperature of 100 ºC and slice thickness of 6 mm because of more lose of moisture content, acceptable brittleness and better taste.

Keywords: Halogen moisture analyzer, Drying, Apple slice, Brittleness.

* Corresponding Author E-Mail Address: khoshtag@modares.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-15]