ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲٤ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

بررسی انرژی مصرفی خشک‌کن لایه نازک آزمایشگاهی در فرایند خشک‌شدن ورقه نازک ترنج

محمد شریفی[۱]، شاهین رفیعی [۲]، علیرضا کیهانی[۳]، اسداله اکرم[٤] و حجت احمدی[۲]

۱، ۲، ۳ و ٤- دانشجوی دکتری، دانشیاران، استاد و استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
m.sharifi@ut.ac.ir

چکیده

امروزه خشک‌کردن ورقه نازک میوه‌ها به عنوان یکی از فرآیندهای پس از برداشت به منظور حفظ کیفیت محصول، بالابردن قابلیت نگهداری و افزایش بازار پسندی مطرح است. از آن‌جا که شرایط خشک کردن بر میزان مصرف انرژی مؤثر است در نتیجه در این تحقیق اثر دمای هوا، سرعت خشک‌کن و ضخامت ورقه‌های نازک ترنج بر انرژی مصرفی خشک‌کن به‌دست آمد؛ برای این منظور از خشک‌کن آزمایشگاهی استفاده گردید. ورقه‌های ترنج با پنج دمای ٤۰، ۵۰، ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس و سه سرعت هوای ۰/۵، ۱ و ۲ متربرثانیه و سه ضخامت ۲، ٤ و ٦ میلی‌متر خشک شد. مقدار انرژی مصرفی برای خشک‌کردن ورقه‌های نازک ترنج در دماها و سرعت‌های مختلف هوای خشک‌کن و ضخامت‌های مختلف محاسبه شد و داده‌ها به‌وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن به ترتیب مربوط به ضخامت ۲ میلی‌متر و دمای ٤۰ درجه سلسیوس با مقدار انرژی ۳٤۵۸ وات- ساعت و ضخامت ٦ میلی‌متر و دمای ۷۰ درجه‌سلسیوس با مقدار انرژی ۱٤۳۰٦ وات- ساعت است.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کردن، انرژی مصرفی، ترنج، ضخامت

مقدمه

مرکبات در دنیا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و یکی از منابع پر درآمد برای کشورهای تولید کننده است. ترنج یکی از گونه‌های مرکبات بوده که دارای درختی کوچک و همیشه بهار از خانواده Rue با میوه‌های گلابی شکل می‌باشد. Rue بوته‌های همیشه سبز و دائمی هستند، دارای میوه‌هایی تلخ و معطر که کاربرد دارویی و پزشکی دارند. محصول ترنج از پوست خارجی (flevedo)، پوست داخلی (albedo) و مغز گوشتی بیضی شکل (meat) در وسط آن تشکیل شده است. از پوست میوه آن روغن گرفته می‌شود که در عطرسازی کاربرد دارد. (مجتهدی، ۱۳۷٦).

این محصول معمولاً در باغ‌های جنوب ایران نظیر جهرم (استان فارس) رشد می‌کند. ترنج را قبل از زرد شدن برداشت کرده و پوست آن را خشک می‌کنند. از پوست خشک نیز برای تهیه مربا استفاده می‌شود که معمولاً در فصولی از سال که محصول تازه در دسترس نیست جهت این منظور استفاده می‌شود همچنین مقدار زیادی از محصول به صورت خشک به خارج از کشور صادر می‌گردد (شیبانی، ۱۳۷۷).

یکی از فرایندهای مهم پس از برداشت محصولات کشاورزی، خشک کردن آن‌هاست. از آن جا که نحوه و مدت زمان خشک‌کردن بر شرایط و بازده اقتصادی و میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای خشک کردن تأثیر به سزایی دارد، لذا بررسی اثر شرایط خشک کردن بر انرژی مصرفی بسیار مهم است. به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی به مدیریت خشک کردن محصولات کشاورزی شامل چگونگی خشک کردن محصولات، مراحل خشک کردن، کنترل دقیق عوامل مؤثر بر زمان خشک کردن و ... نیاز است.

مقدار قابل توجه‌ای از محصولات کشاورزی از طریق هوای گرم یا هوای نزدیک به دمای هوای محیط خشک می‌شوند. به طور کلی مدل‌های شبیه‌سازی فرایند خشک‌کردن برای طراحی خشک‌کن‌های جدید یا اصلاح روش‌های موجود استفاده می‌شوند.

امروزه خشک‌کردن ورقه‌های میوه‌های مختلف مانند پرتقال، سیب، کیوی، موز و ... مرسوم گردیده و در بازار به قیمت بسیار بالایی به فروش می‌رسد. محققین زیادی در زمینه خشک‌کردن لایه نازک و محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی کار کرده‌اند که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

کرزو و همکاران (۲۰۰۸) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک کردن ورقه‌های کوروبا (میوه‌ای در کشور ونزوئلا) پرداختند. آزمایش‌های خشک‌شدن در سه دمای ۷۱، ۸۲ و ۹۳ درجه سلسیوس و سه سرعت هوای ۰/۸۲، ۱ و ۱/۱۸ متربرثانیه انجام شد. اثرات دمای هوای ورودی، سرعت و زمان خشک‌شدن بر انرژی و اکسرژی مورد مطالعه قرار گرفت. انرژی مفید و نسبت آن با افزایش دمای خشک‌شدن و کاهش بازده اکسرژی افزایش پیدا کرد. محدوده‌ی انرژی مفید و نسبت آن به ترتیب ۰/۰۰۹–۰/٦۵kJ/s و ۰/۰۰۸–۰/۰۰۰۰۷ به دست آمد.

کولاک و هپباسلی (۲۰۰۷) به تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی در خشک‌کن لایه نازک زیتون پرداختند. ازگنر و ازگنر (۲۰۰٦) یک مدل انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌کردن صنعتی ارائه دادند. اکپینار و همکاران (۲۰۰٦) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌کردن کدوتنبل پرداختند.

اکپینار و همکاران (۲۰۰۵) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک کردن ورقه‌های نازک سیب‌زمینی پرداختند. آزمایش‌های خشک شدن در سه دمای ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰ تا ۲۰ درصد و سرعت هوای ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه به مدت ۱۰ تا ۱۲ ساعت انجام شد. در این آزمایش‌ها تلفات انرژی بین ۱/۷۹٦–۰

کیلوژول‌برثانیه محاسبه شد. برای محاسبه انرژی مفید و تلف شده در طول فرایند خشک شدن از قوانین اول و دوم ترمودینامیک استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از یک خشک‌کن لایه نازک آزمایشگاهی استفاده شد (یداللهی‌نیا، ۱۳۸۵). این خشک‌کن از یک فن سانتریفیوژ برای ایجاد جریان هوا و چهار گرم‌کن برقی هوای ورودی هر یک ۵۰۰ وات و دو حسگردما (LM35) و رطوبت (خازنی، ساخت فیلیپین) برای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده و یک ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۱ و ظرفیت ۳۱۰۰ گرم تشکیل شده است. برای اجرای الگوریتم کنترل و پایش اطلاعات، نرم افزاری در محیط ویژوال بیسیک ٦ پیاده‌سازی شده که اطلاعات مربوط به حسگرهای دما و رطوبت و نیز روشن یا خاموش بودن هر یک از گرم‌کن‌ها را در هر لحظه نمایش می‌دهد.

برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا از یک سرعت‌سنج نوع سیم داغ مدل TESTO 405-V1 (ساخت آلمان) با حساسیت m/s ۰/۰۱ استفاده شد. نحوه اندازه‌گیری بدین صورت بود که پایه حسگر (سیم داغ) در نقاط مختلف کانال ورودی هوا قرار داده شده و سرعت‌ها قرائت گردید و سرعت متوسط منظور شد. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایش‌ها ۳۰ دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع می‌شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده می‌شد. جریان هوا هنگام گذر از توده، رطوبت ترنج را جذب و باعث گرم شدن آن می‌شود. بدین ترتیب افزایش دما باعث تسریع در خروج آب از بافت نمونه و در نتیجه خشک‌شدن محصول می‌گردد. ١٦٥ گرم ورقه نازک ترنج بر روی دو سینی توری آلومینیمی به ابعاد ۱۸×۲۲ سانتی‌متر به‌گونه‌ای ریخته شد که روی هر سینی یک لایه از محصول قرار گرفته بود.

روش تهیه نمونه

پس از شستن سطح ترنج، به‌وسیله دستگاه ورقه‌بر برگه‌های ترنج با ضخامت‌های ۲، ٤ و ٦ میلی‌متر تهیه شد. آزمایش‌های خشک‌کردن در پنج سطح دمایی٤٠، ٥٠، ٦٠، ٧٠ و ٨٠ درجه سلسیوس و سه سرعت جریان هوای ورودی ۰/۵، ۱ و ۲ متربرثانیه در سه تکرار انجام شد. در طی خشک شدن، جرم ورقه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتالی متصل به رایانه و رطوبت و دمای هوای خشک‌کن در هر ۵ ثانیه اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی جرم ورقه‌های نازک ترنج ادامه داشت. سپس نمونه‌ها در داخل آون قرار داده شد با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و پس از خشک‌شدن به مدت ٢٤ ساعت جرم خشک نمونه‌ها به دست آمد (ASABE, 2006).

محاسبه انرژی مصرفی خشک‌کن

برای محاسبه انرژی مصرفی پس از پایان هر آزمایش مدت زمانی را که گرم‌کن‌ها و فن سانتریفیوژ روشن بوده‌اند، یادداشت شده و با توجه به این‌که توان مصرفی گرم‌کن‌ها و فن نیز مشخص می‌باشد، با استفاده از رابطه (۱) انرژی مصرفی هر آزمایش مشخص گردید.

$$W = P \times t \qquad (۱)$$

که درآن:

W: انرژی مصرفی بر حسب وات- ساعت

P: توان مصرفی گرم‌کن و فن بر حسب وات

t: مدت زمان روشن بودن هر کدام از گرم‌کن‌ها و فن سانتریفیوژ بر حسب ساعت

با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای انرژی مصرفی در دماها، سرعت‌ها و ضخامت‌های مختلف آزمایش، برای مقایسه آن‌ها با یکدیگر مطابق روش آماری زیر عمل می‌شود:

بررسی اثر دما و سرعت خشک‌کن بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌شدن ورقه نازک ترنج

زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن تا رسیدن به نسبت رطوبت ۱۰٪ برای هر یک از شرایط خشک شدن با ضخامت ٤ میلی‌متر محاسبه می‌گردد و داده‌ها به‌وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل با دو فاکتور دمای خشک‌کن (در پنج سطح ٤٠، ٥٠، ٦٠، ٧٠ و ٨٠ درجه سلسیوس) و سرعت هوای خشک‌کن (در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۲ متر بر ثانیه) بر اساس بلوک کامل تصادفی تجزیه و تحلیل می‌شود.

بررسی اثر دما و ضخامت بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن

زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن تا رسیدن به نسبت رطوبت ۱۰٪ برای هر یک از شرایط خشک شدن محاسبه می‌گردد و داده‌ها به‌وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل با دو فاکتور دمای خشک‌کن و ضخامت ورقه‌های نازک ترنج براساس بلوک کامل تصادفی با سه تکرار تجزیه و تحلیل می‌شود.

نتایج و بحث

محاسبه و بررسی اثر انرژی مصرفی خشک‌کن و زمان خشک‌شدن

زمان و انرژی مصرفی برای خشک‌کردن ورقه نازک ترنج تا رسیدن به نسبت رطوبت ۱۰٪ برای هر یک از شرایط خشک‌شدن محاسبه گردید و بررسی اثر عوامل مؤثر خشک‌شدن بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن در ادامه آورده شده است.

بررسی اثر دما و سرعت هوا بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌شدن ورقه ترنج

پس از محاسبه زمان و انرژی مصرفی برای خشک‌کردن ورقه نازک ترنج با ضخامت ٤ میلی‌متر تا نسبت رطوبت ۱۰٪ برای شرایط مختلف خشک‌شدن، داده‌های به‌دست آمده به‌وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل با دو فاکتور دمای خشک‌کن و سرعت هوای خشک‌کن براساس بلوک کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شد و نتایج در جدول‌های (۱) تا (۵) آورده شده است. طبق جدول (۱) اثر تیمار، سرعت و دما بر روی مدت زمان خشک شدن و انرژی مصرفی خشک‌کردن در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است.

جدول۱. تجزیه واریانس زمان و انرژی مصرفی خشک‌شدن بر اساس دو فاکتور سرعت و دمای هوای خشک‌کن

منابع تغییرات	درجات آزادی	مجموع مربعات	F	مجموع مربعات	F
		زمان خشک شدن		انرژی مصرفی خشک کردن	
تیمار	۱۶	۵۴۱۲۵۱/۲۸	۲۷۷/۵۷**	۱۰۹۸۷۸۳۲۰۶/۵۱	۱/۱۴**
تکرار	۲	۵۴۶/۷۶	۴/۴۷ ns	۱۱۹۰۰۱۷۸۴/۴۸	۰/۹۹ ns
سرعت	۲	۴۱۴۵۲/۴۶	۱۷۰/۰۶**	۱۰۲۱۴۶۲۱۲/۹۷	۰/۸۵**
دما	۴	۴۴۱۲۵۸/۳۸	۹۰۵/۱۸**	۴۰۸۲۰۶۷۱۲/۶۲	۱/۶۹**
سرعت × دما	۸	۶۰۱۲۰/۱۳	۶۱/۶۶**	۴۶۹۴۲۸۴۹۶/۴۲	۰/۹۷ ns
خطای آزمایش	۲۸	۳۴۱۲/۳۶		۱۶۹۷۹۳۶۳۲۵/۵۳	
کل	۴۵	۲۱۷۶۰۸۲/۷۴		۴۷۶۷۵۹۹۰۰۴/۸۸	

ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱ درصد است.

میانگین زمان خشک‌شدن بر اساس دماها و سرعت‌های مختلف به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد و نتایج در جداول (۲) و (۳) آورده شده است. مطابق با جدول (۲)، زمان خشک‌شدن با کاهش دما از ۸۰ درجه سلسیوس تا ۴۰ درجه سلسیوس به طور معنی‌داری افزایش داشته است. در دمای ۸۰ درجه‌سلسیوس کمترین زمان و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بیشترین زمان برای خشک‌شدن محصول نیاز است. مطابق با جدول (۳)، زمان خشک شدن با سرعت هوای ۲ متربرثانیه به طور معنی‌داری از دو سرعت دیگر کمتر می‌باشد و سرعت هوای ۰/۵ متربرثانیه، زمان بیشتری نسبت به دو سرعت دیگر برای خشک‌شدن نیاز دارد.

جدول۲. مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن در دماهای مختلف هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۵٪)

دمای هوای خشک‌کن (°C)	میانگین زمان خشک‌شدن (min)
۸۰	۷۹/۱۷a
۷۰	۱۲۹/۲b
۶۰	۱۵۶/۱۹c
۵۰	۲۳۹/۶۴d
۴۰	۳۲۷/۵۸e

جدول۳. مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن در سرعت‌های مختلف هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۵٪)

سرعت‌های خشک‌کن (m/s)	میانگین زمان خشک‌شدن (min)
۲	۱۵۳/۲۴a
۱	۱۸۶/۳۶b
۰/۵	۲۲۶/۷۶c

میانگین زمان خشک‌شدن براساس دو فاکتور سرعت و دمای هوای خشک‌کن به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ مقایسه شد و نتایج در جدول (۴) آورده شده است. مطابق با جدول، با کاهش دما و سرعت، مدت زمان خشک‌شدن محصول به طور معنی‌داری افزایش یافته است؛ به طوری که کمترین زمان مربوط به دسته اول با دمای هوای ۸۰ درجه‌سلسیوس و سرعت‌های ۲، ۱ و ۰/۵ متربرثانیه می‌باشد و بیشترین زمان مربوط به دسته ششم با دمای ۴۰ درجه‌سلسیوس و سرعت هوای ۰/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. نتیجه دیگری که می‌توان از این مقایسه به‌دست آورد آن است که اثر دما بر زمان خشک شدن نسبت به سرعت هوای خشک‌کن بیشتر است.

میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک ترنج در دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ مقایسه شد و نتایج در جدول (۵) آورده شده است. مطابق با جدول، کمترین انرژی در دمای هوای ٤٠ و بیشترین انرژی در دمای هوای ٦٠ درجه سلسیوس مصرف شده است؛ انرژی مصرفی خشک‌کن در دو دمای مذکور با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند چرا که در دو دسته متفاوت قرار گرفته‌اند. در دماهای بالا (۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس) به علت وجود ترکیبات قندی در ترنج یک لایه سخت در زیر لایه بیرونی ورقه نازک ترنج تشکیل شده و تا حدودی از خروج رطوبت از محصول جلوگیری کرده و باعث می‌شود سریعاً لایه بیرونی ترنج قهوه‌ای شده و در اثر گذشت زمان طولانی ورقه نازک ترنج کاملاً بسوزد؛ به همین منظور در دماهای بالا محصول را زودتر از خشک‌کن (قبل از قهوه‌ای شدن کامل) خارج می‌نماییم، لذا گرم‌کن‌ها مدت زمان کمتری روشن می‌مانند و انرژی کمتری در این دماها مصرف می‌گردد.

جدول٤. مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن در سرعت‌ها و دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۵٪)

تیمار بر اساس سرعت (m/s) و دمای هوای خشک‌کن (°C)	زمان خشک‌شدن (min)
سرعت ۲ و دما ۸۰	۷٦/۲۷a
۱ و ۸۰	۸۰/۳٦a
۰/۵ و ۸۰	۸٤/٦۲a
۲ و ۷۰	۱۲۰/۸۱b
۱ و ۷۰	۱۲٤/۱٦b
۰/۵ و ۷۰	۱۲٦/۳۷b
۲ و ٦۰	۱۳۱/۸٤b
۱ و ٦۰	۱٤۵/٦۱b
۰/۵ و ٦۰	۱٦۰/٤۵c
۲ و ۵۰	۱٦۸/۱۹c
۱ و ۵۰	۱۷۹/۸٦c
۲ و ٤۰	۳۰۰/۲۹d
۱ و ٤۰	۳۰۸/۳۷d
۰/۵ و ۵۰	۳۱٤/۲۸d
۰/۵ و ٤۰	٤۱۰/۳۵e

جدول۵. مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک ترنج در دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۵٪)

دمای هوای خشک‌کن (°C)	انرژی مصرفی خشک‌کن (Wh)
٤۰	۳۸۱۵/۲۷a
۵۰	٤۷۵٦/۲۲ab
۸۰	۵٦۸۱/۳۹ab
۷۰	٦۲۱۵/۳۵ab
٦۰	۱۲۲٦۵/٤۱b

بررسی اثر دما و ضخامت بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن

با توجه به اهمیت بیشتر دما نسبت به سرعت در آزمایش بعدی دو فاکتور دمای خشک‌کن و ضخامت ورقه‌های ترنج بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن مورد بررسی قرار گرفت. انرژی مصرفی خشک‌کن نمونه‌ها با وزن مساوی در شرایط مختلف تا رسیدن به نسبت رطوبت ۱۰٪ محاسبه و داده‌ها به‌وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل با دو فاکتور دمای خشک‌کن و ضخامت ورقه‌های ترنج براساس بلوک کامل تصادفی با سه تکرار تجزیه و تحلیل شد و نتایج در جدول‌های (٦) تا (۸) آورده شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده اثر تیمار، دما، ضخامت و اثر متقابل دما و ضخامت بـر روی زمـان خشـک‌شـدن و انرژی مصرفی خشک‌کن در سطح ۱٪ معنی‌دار شد؛ در حالی‌که اثر تکرار معنی‌دار نشد.

میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن برای ضخامت ٤ میلی‌متر ورقه نازک ترنج براساس دمای هـوای خشـک‌کـن به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد و نتایج در جدول (٦) آورده شده اسـت. مطـابق بـا جـدول، انـرژی مصرفی خشک‌کردن با افزایش دما از ٤٠ درجه‌سلسیوس تا ٨٠ درجه‌سلسیوس بـه طـور معنـی‌داری افـزایش داشـته است. در دمای ٤٠ درجه‌سلسیوس کمترین انرژی و در دمای ٨٠ درجه‌سلسیوس بیشترین انرژی برای خشـک‌شـدن محصول نیاز است.

میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک ترنج براساس ضخامت‌های مختلف برگه ترنج بـه‌وسـیله آزمـون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ٥٪ مقایسه شد و نتایج در جدول (٧) آورده شده است. مطابق با جدول، انرژی مصرفی خشک‌کردن در ضخامت ٢ میلی‌متر به طور معنی‌داری از دو ضخامت دیگر کمتر مـی‌باشـد و ضـخامت ٦ میلـی‌متـر انرژی مصرفی بیشتری نسبت به دو ضخامت دیگر برای خشک‌شدن نیاز دارد.

جدول٦. مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک ترنج در دمای هوای خشک‌کن براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ٥٪)

دمای هوای خشک‌کن (°C)	انرژی‌مصرفی خشک‌کردن (Wh)
٤٠	٣٧١٢/٣٩a
٥٠	٥١٢٦/٦١b
٦٠	٦٨٢١/٨٥c
٧٠	٧٥٦١/٣١d
٨٠	٨٧٤٥/٢٩e

جدول٧. مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه ترنج در ضخامت‌های مختلف بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ٥٪)

ضخامت ورقه‌های ترنج (mm)	انرژی‌مصرفی خشک‌کردن (Wh)
٢	٤٢٩٨/٥٦a
٤	٥٤١٢/٢٣b
٦	٩٤٨٥/٤٨c

میانگین انرژی مصرفی خشک‌شدن ورقه نازک ترنج براساس دو فاکتور ضخامت ورقه‌های ترنج و دمـای هـوای خشک‌کن به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ٥٪ مقایسه شـد و نتـایج در جـدول (٨) آورده شـده اسـت. مطابق با جدول، دماها و ضخامت‌های مختلف در هشت دسته‌ی جداگانه قرار گرفته‌انـد؛ بـه عنـوان مثـال دمـای ٤٠ درجه سلسیوس با ضخامت‌های ٢، ٤ و ٦ میلی‌متر و دمای ٨٠ درجه‌سلسیوس با ضخامت ٢ میلی‌متـر در دسـته اول قرار دارند و کمترین انرژی را برای خشک کردن مصرف نموده است، در حالی‌که با توجه به نتـایج بـه‌دسـت آمـده دمای ٧٠ درجه‌سلسیوس و ضخامت ٦ میلی‌متر دارای بیشترین مصرف انرژی در میـان سـایر دماهـا و ضـخامت‌هـا می‌باشد.

جدول۸. مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک ترنج در ضخامت‌های مختلف ورقه ترنج و دمای هوای خشک‌کن براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۵٪)

تیمار بر اساس ضخامت (mm) و دمای هوای خشک‌کن (°C)	انرژی مصرفی خشک‌کردن (Wh)
دما ٤٠ و ضخامت ٢	٣٤٥٨/١a
٤٠ و ٤	٣٨٤٥/٢ab
٨٠ و ٢	٣٩٨٥/١ab
٤٠ و ٦	٤٠١٤/٨abc
٥٠ و ٢	٤٥١٢/٢bc
٦٠ و ٢	٤٧٥٨/٧bc
٥٠ و ٤	٤٨١٢/٦bc
٧٠ و ٢	٥١٢٠/٧cd
٨٠ و ٤	٥٦٨٩/٦de
٧٠ و ٤	٦٢٦٨/٢ef
٥٠ و ٦	٦٤٧٥/٣ef
٦٠ و ٤	٦٧٦٠/٢f
٦٠ و ٦	٦٨١٢/٢f
٨٠ و ٦	١٣٤٥١/٨g
٧٠ و ٦	١٤٣٠٦/٨h

نتیجه‌گیری

افزایش ضخامت ورقه‌های ترنج باعث افزایش مدت زمان خشک‌شدن آن‌ها در دماها و سرعت‌های مختلف آزمایش می‌گردد.

کمترین و بیشترین مقدار انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن به ترتیب مربوط به ضخامت ۲ میلی‌متر و دمای ٤٠ درجه سلسیوس با مقدار انرژی ٣٤٥٨ وات- ساعت و ضخامت ٦ میلی‌متر و دمای ۷۰ درجه‌سلسیوس با مقدار انرژی ١٤٣٠٦ وات- ساعت است.

منابع و مراجع

۱- شیبانی، ح. (۱۳۷۷). باغبانی- قسمت اول: میوه‌های نیمه‌گرمسیری و گرمسیری و چای. مرکز نشر سپهر. ۱۸۷ ص.

۲- مجتهدی، ع. (۱۳۷٦). عملیات باغداری مرکبات در کناره دریای خزر. انتشارات بهنشر. ۱۵۱ ص.

۳- یداللهی‌نیا، ع.ر. (۱۳۸۵). استخراج مدل خشک‌شدن شلتوک در خشک‌کن لایه‌نازک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی. دانشکده مهندسی بیوسیستم پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران. ۱۰۷ ص.

4. Akpinar, E. K., Midilli, A. and Bicer, Y. (2005). Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer. Energy Conversion and Management. Vol 46(15-16), 2530-2552.

5. Akpinar, E. K., Midilli, A. And Bicer, Y. (2006). The first and second law analysis of thermodynamic of pumpkin drying process. Journal of Food Engineering. Vol 72(4), 320-331.
6. ASABE. (2006). Moisture measurement: grain and seeds. ASABE Standard S352.2. FEB03. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, MI 49085-9659, USA.
7. Colak, N. And Hepbasli, A. (2007). Performance analysis of green olive in a tray dryer. Journal of Food Engineering. Vol 80(4), 1188-1193.
8. Corzo, O., Bracho, N., Vasquez , A. And Pereira, A. (2008). Energy and exergy analysis of thin layer drying of coroba slices. Journal of Food Engineering. Vol 86(2), 151-161.
9. Ozgener, L. And Ozgener, O. (2006). Exergy analysis of industrial pasta drying process. International Journal of Energy Research. Vol 30(15), 1323-1335.

Investigating thin bergamot slice drying conditions on the dryer energy consumption

Abstract

Nowadays, drying thin slice of fruits is known as an important post harvest process to retain the crop quality, to increase the storage time and to increase the market acceptability. Since the energy consumption is influenced by drying conditions, the effect of air temperature, air speed and the slice thickness were considered in this study. A laboratory dryer was used for the experiments. A thin layer of bergamot slices in five levels of temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80 °C, three levels of air speed of 0.5, 1 and 2 m/s and three levels of slice thickness of 2, 4 and 6 mm were considered as treatments in three replications in a complete randomized block design experiment. The energy consumption for drying thin slices of orange was calculated accordingly. After data analysis the results showed that the lowest and the highest amount of energy consumption were for 2 mm slice thickness and 40 °C with 3.45 kWh and 6 mm slice thickness and 70 °C with 14.3 kWh, respectively.

Keywords: Drying, energy consumption, bergamot, thickness