Archive of SID

اثر شرایط خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال بر میزان انرژی مصرفی

محمد شریفی[1]، شاهین رفیعی[2*]، علیرضا کیهانی[3]، محمود امید[2]

1- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
2- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
3- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
(تاریخ دریافت: 87/1/24 **تاریخ پذیرش**:88/3/17)

چکیده

در این تحقیق اثر دمای هوا، سرعت خشک‌کردن و ضخامت ورقه‌های نازک پرتقال بر انرژی مصرفی با استفاده از یک خشک‌کن آزمایشگاهی به دست آمد. 165 گرم ورقه نازک پرتقال رقم تامسون با سه ضخامت 2، 4 و 6 میلی‌متر در یک بستر مسطح با پنج دمـای40، 50، 60، 70 و80 درجـه سلسیوس و سه سرعت هوای 0/5، 1 و 2 متربرثانیه خشک شد. مقدار انرژی مصرفی برای خشک‌کردن ورقه‌های نازک پرتقال 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 2 میلی‌متـر و دمای 40 درجه سلسیوس با مقدار انرژی 3349 وات- ساعت و ضخامت 6 میلی‌متر و دمای 70 درجه‌سلسیوس با مقدار انرژی 15202 وات- ساعت بودند.

کلید واژگان: خشک‌کردن، انرژی مصرفی، ورقه نازک پرتقال، ضخامت، شرایط خشک‌کردن

1- مقدمه

مرکبات در دنیا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و یکی از منابع پر درآمد برای کشورهای تولید کننده است. یکی از مهم‌ترین گونه‌های مرکبات پرتقال می‌باشد که به صورت میوه تازه، آب میوه غلیظ شده و یا ورقه های نازک خشک شده مورد مصرف قرار می‌گیرد و از پوست و دانه آن روغن مرکبات و اسانس برای مصارف طبی استخراج می‌گردد. پرتقال در حدود 600 سال قبل به ایران آمده و در ابتدا در سواحل جنوبی ایران کشت شده و بعدها به سایر نقاط کشور برده شده است. در حال حاضر ایران رتبه هفتم تولید پرتقال دنیا را به خود اختصاص داده است[1].

یکی از فرایندهای مهم پس از برداشت محصولات کشاورزی، خشک کردن آن‌هاست. ازآن جا که نحوه و مدت زمان خشک کردن 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 بهینه سازی 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[2].

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

* مسئول مکاتبات: shahinrafiee@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

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 (انرژی مفید) در فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی کار کرده‌اند که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

کرزو و همکاران (2008) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌کردن ورقه‌های کوروبا (میوه‌ای در کشور ونزوئلا) پرداختند. آزمایش‌های خشک‌شدن در سه دمای 71، 82 و 93 درجه سلسیوس، و سرعت هوای 0/82، 1 و 1/18 متربرثانیه انجام شد. اثرات دمای هوای ورودی، سرعت و زمان خشک-شدن 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 0/65 kJ/s- 0/009 و 0/008- 0/00007 به‌دست آمد[3].

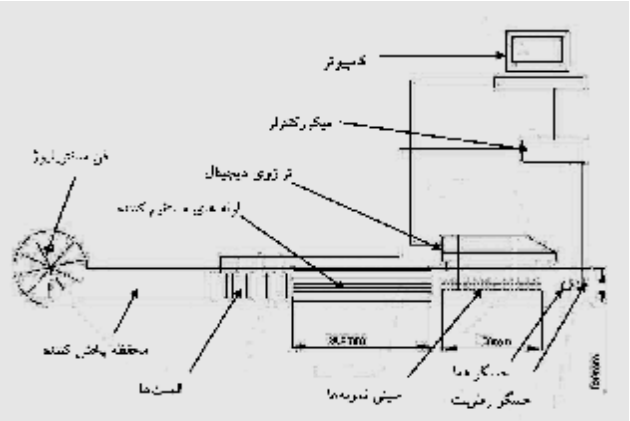
آکپینار و همکاران (2005) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌کردن ورقه‌های نازک سیب‌زمینی پرداختند. آزمایش‌های خشک‌شدن در سه دمای 60، 70 و 80 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 10 تا 20 درصد و سرعت هوای 1 و 1/5 متر بر ثانیه به مدت 10 تا 12 ساعت انجام شد. در این آزمایش‌ها تلفات انرژی بین 1/796-0 کیلوژول‌برثانیه محاسبه شد. برای محاسبه انرژی مفید و تلف شده در طول فرایند خشک‌شدن از قوانین اول و دوم ترمودینامیک استفاده شد[4].

آکپینار (2004) به تحلیل انرژی مفید و تلف شده در فرایند خشک‌کردن ورقه‌های نازک فلفل قرمز پرداخت. برای محاسبه و تحلیل انرژی مفید و تلف شده در طول فرایند خشک کردن از قوانین اول و دوم ترمودینامیک استفاده کرد. آزمایش‌ها در سه سطح دمایی 55، 60 و 70 درجه سلسیوس و سرعت هوای 1/5 متربرثانیه انجام گرفت. در حین فرایند خشک‌شدن، ورقه‌های نازک فلفل قرمز از 135 گرم به 15 گرم کاهش وزن یافته و انرژی مفید آن‌ها در محدوده 189/949-3732/961 ژول‌برثانیه در طول 18000-9600 ثانیه (وابسته به دمای هوای خشک کردن) تغییر می‌کرد. هم‌چنین نسبت انرژی مفید[1] آن‌ها بین 1/109-18/854 درصد وابسته به دمای هوای خشک‌کردن در محفظه خشک‌کن تغییر می‌کرد. انرژی ورودی به محفظه خشک‌کننده به ازای هر کیلوگرم بین 2/361 تا 4/547 کیلوژول متغیر بود؛ هم‌چنین انرژی خروجی بین 4/452-1/676 کیلوژول بر کیلوگرم به دست آمد. به اضافه این‌که تلفات انرژی در محدوده بین 1/488-0/060 کیلوژول بر کیلوگرم گزارش شده‌است. با توجه به این آزمایش بازده انرژی محفظه خشک‌کننده بین 97/92-67/28 به دست می‌آید[5].

کولاک و هپباسلی (2007) به تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی در خشک‌کن لایه‌نازک زیتون پرداختند[6]. ازگنر و ازگنر (2006) یک مدل انرژی و اکسرژی در فرایند خشک کردن صنعتی ارائه دادند[7]. آکپینار و همکاران (2006) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌کردن کدوتنبل پرداختند[8]. دینسر و ساهین (2004) در تحقیقی یک مدل جدید برای تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی در فرایند خشک‌شدن ارائه دادند[9]. میدیلی و کوکاک (2003) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک کردن پسته با پوست و بدون پوست با استفاده از خشک‌کن خورشیدی پرداختند[10].

2- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از یک خشک‌کن لایه نازک آزمایشگاهی استفاده شد (شکل 1)[11]. این خشک‌کن دارای یک بادبزن گریز از مرکز (سانتریفیوژ) برای ایجاد جریان هوا و چهار گرمکن برقی هوای ورودی هر یک 500 وات (جمعاً به قدرت 2000 وات) و دو حسگردما (LM35) و رطوبت (خازنی، لوترون تایوان) برای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده و یک ترازوی دیجیتالی با حساسیت 0/01 و ظرفیت 3100 گرم تشکیل شده است.



شکل 1 طرحواره خشک‌کن آزمایشگاهی مورد استفاده

1. EUR: Energy Utilization Ratio

www.SID.ir

Archive of SID

برای اجرای الگوریتم کنترل و پایش اطلاعات، نرم افزاری در محیط ویژوال بیسیک 6 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 می‌داد[11].

برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا از یک سرعت‌سنج نوع سیم داغ مدل TESTO 405-V1 (ساخت آلمان) با حساسیت 0/01 m/s 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 30 دقیقه بعد از روشن‌کردن سیستم شروع می‌شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده می‌شد. نحوه خشک کردن بدین صورت است که هوای جریان یافته در کانال به‌وسیله دمنده از گرم‌کن گذشته و پس از گرم شدن به وسیله کانال به سمت توده پرتقال هدایت می‌شود. جریان هوا هنگام گذر از توده، رطوبت پرتقال 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. 165 گرم ورقه نازک پرتقال بر روی دو سینی توری آلومینیمی به ابعاد 18×22 سانتی‌متر به‌گونه‌ای ریخته شد که روی هر سینی یک لایه از محصول قرار گرفته بود. لازم به توضیح است که این خشک‌کن آزمایشگاهی جهت استخراج مدل سینتیک خشک‌کردن ورقه‌های نازک محصولات کشاورزی مورد استفاده قرارگرفته و در آن تدابیر لازم جهت بحث انرژی و اتلاف آن صورت نگرفته است، این تحقیق در راستای بهبود وضعیت خشک‌کن مورد استفاده نیز انجام شده است.

2-1- روش تهیه نمونه

پس از شستن سطح پرتقال بی‌هسته تامسون، به‌وسیله دستگاه ورقه‌بر، برگه‌های پرتقال با ضخامت‌های 2، 4 و 6 میلی‌متر تهیه شد. آن‌گاه آزمایش‌های خشک‌کردن در پنج سطح دمایی40، 50، 60، 70 و 80 درجه سلسیوس و سه سرعت جریان هوای ورودی 0/5، 1 و 2 متربرثانیه در سه تکرار انجام شد. در طی خشک شدن، وزن ورقه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتالی متصل به رایانه و رطوبت و دمای هوای خشک‌کن در هر 5 ثانیه اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی جرم ورقه‌های نازک پرتقال ادامه داشت. سپس نمونه‌ها در داخل آون با دمای 105 درجه‌سلسیوس قرار داده شد و پس از خشک‌شدن به مدت 24 ساعت جرم خشک نمونه‌ها به دست آمد[12].

2-2- محاسبه انرژی مصرفی خشک‌کن

برای محاسبه انرژی مصرفی پس از پایان هر آزمایش مدت زمانی را که گرم‌کن‌ها و بادبزن گریز از مرکز روشن بودند و یا به عبارت دیگر دستگاه مشغول داده‌برداری بوده است، یادداشت شده و با توجه به مشخص بودن توان مصرفی گرمکن‌ها و بادبزن انرژی مصرفی هر آزمایش طبق رابطه (1) محاسبه گردید.

$$W = P \times t \qquad (1)$$

که درآن:

W: انرژی مصرفی بر حسب وات- ساعت

P : توان مصرفی گرم‌کن و بادبزن بر حسب وات

t: مدت زمان روشن بودن هر کدام از گرم‌کن‌ها و بادبزن 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 گردید:

2-2-1- بررسی اثر دما و سرعت بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال

برای بررسی این عوامل بر زمان و انرژی مصرفی خشک کردن، داده‌های حاصل از خشک‌کردن برگه‌های پرتقال با ضخامت 4 میلی‌متر تا رسیدن به رطوبت متعادل با رطوبت نسبی 10% برای هر یک از دماها (پنج سطح 40، 50، 60، 70 و 80 درجه سلسیوس) و سرعت‌های خشک‌شدن (سه سطح 0/5، 1 و 2 متر بر ثانیه) بر اساس روش ذکر شده تجزیه و تحلیل گردید.

2-2-2- بررسی اثرات دما و ضخامت بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن

برای بررسی این عوامل بر زمان و انرژی مصرفی خشک کردن، داده‌های حاصل از خشک‌کردن برگه‌های پرتقال با سرعت ثابت 0/5 متربرثانیه تا رسیدن به رطوبت متعادل با رطوبت نسبی 10% برای هر یک از دماها (پنج سطح 40، 50، 60، 70 و 80 درجه سلسیوس) و ضخامت‌های برگه‌های نازک پرتقال (در سه سطح 2، 4 و 6 میلی‌متر) بر اساس روش ذکر شده تجزیه و تحلیل گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

3- نتایج و بحث

3-1- محاسبه و بررسی اثر انرژی مصرفی خشک‌کن و زمان خشک‌شدن

زمان و انرژی مصرفی برای خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال تا رسیدن به رطوبت متعادل با رطوبت نسبی 10% 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.

3-1-1- بررسی اثر دما و سرعت هوا بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌شدن ورقه پرتقال

پس از محاسبه زمان و انرژی مصرفی برای خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال با ضخامت 4 میلی‌متر تا رطوبت نسبی 10% برای شرایط مختلف خشک‌شدن، داده‌های به‌دست آمده به وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل با دو فاکتور دمای خشک‌کن (در پنج سطح 40، 50، 60، 70 و 80 درجه سلسیوس) و سرعت هوای خشک‌کن (در سه سطح 0/5، 1 و 2 متر بر ثانیه) براساس بلوک کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شد و نتایج در جدول‌های (1) تا (5) آورده شده‌است. طبق جدول (1) اثر تیمار، سرعت، دما و اثر متقابل سرعت و دما بر روی مدت زمان خشک شدن و انرژی مصرفی خشک‌کردن در سطح 1% معنی‌دار شده است؛ در حالی‌که اثر تکرار معنی‌دار نشده است.

میانگین زمان خشک‌شدن براساس دماها و سرعت‌های مختلف به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد و نتایج در جداول (2) و (3) آورده شده است. مطابق با جدول (2)، زمان خشک‌شدن با کاهش دما از 80 درجه سلسیوس تا 40 درجه‌سلسیوس به طور معنی‌داری افزایش داشته است. در دمای 80 درجه سلسیوس کمترین زمان و در دمای 40 درجه سلسیوس بیشترین زمان برای خشک‌شدن محصول نیاز است.

مطابق با جدول (3)، زمان خشک‌شدن با سرعت هوای 2 متربرثانیه به طور معنی‌داری از دو سرعت دیگر کمتر می‌باشد و سرعت هوای 0/5 متربرثانیه، زمان بیشتری نسبت به دو سرعت دیگر برای خشک‌شدن نیاز دارد.

جدول1 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	16	539189/23	266/14**	1098783206/51	1/13**
تکرار	2	534/94	2/11 ns	119001784/48	0/981 ns
سرعت	2	40452/88	159/73**	102146212/97	0/842**
دما	4	438263/36	865/29**	408206712/62	1/68**
سرعت × دما	8	59938/03	59/17**	469428496/42	0/968**
خطای آزمایش	28	3545/425		1697936325/53	
کل	45	2197240/22		4767599004/88	

ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح 1 درصد است.

میانگین زمان خشک‌شدن براساس دو فاکتور سرعت و دمای هوای خشک‌کن به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5% مقایسه شد و نتایج در جدول (4) 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 هوای80 درجه‌سلسیوس و سرعت‌های 2، 1 و 0/5 متربرثانیه می‌باشد و بیشترین زمان مربوط به دسته ششم با دمای 40 درجه‌سلسیوس و سرعت هوای 0/5 متر بر ثانیه می باشد. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول2 مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن در دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

دمای هوای خشک‌کن (°C)	زمان خشک‌شدن (min)
80	82/83a
70	125/37b
60	148/17c
50	243/80d
40	358/54f

جدول3 مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن در سرعت‌های هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

سرعت‌های خشک‌کن (m/s)	زمان خشک‌شدن (min)
2	161/78a
1	180/74b
0/5	232/71c

جدول4 مقایسه‌میانگین زمان خشک‌شدن درسرعت‌ها و دمای هوای‌خشک‌کن براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

تیمار بر اساس سرعت (m/s) و دمای هوای خشک‌کن (°C)	زمان خشک‌شدن (min)
سرعت 2 و دما 80	78/90a
1 و 80	82/09a
0/5 و 80	87/50a
2 و 70	122/91b
1 و 70	125/08b
0/5 و 70	128/13b
2 و 60	133/60b
1 و 60	143/36b
0/5 و 60	167/55c
2 و 50	170/13c
1 و 50	181/44c
2 و 40	303/36d
1 و 40	371/73d
0/5 و 50	379/83d
0/5 و 40	400/52e

میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال در دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5% مقایسه شد و نتایج در جدول (5) آورده شده است.

جدول5 مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال در دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

دمای هوای خشک‌کن (°C)	انرژی مصرفی خشک‌کن (Wh) 1
40	3904/43a
50	4817/32ab
80	5726/17ab
70	6210/70ab
60	12430/84b

مطابق با جدول، کمترین انرژی در دمای هوای 40 و بیشترین انرژی در دمای هوای 60 درجه سلسیوس مصرف شده‌است؛ انرژی مصرفی خشک‌کن در دو دمای مذکور با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند چرا که در دو دسته متفاوت قرار گرفته‌اند. در دماهای بالا (70 و 80 درجه سلسیوس) به علت وجود ترکیبات قندی در پرتقال یک لایه سخت در زیر لایه بیرونی ورقه نازک پرتقال تشکیل شده و تا حدودی از خروج رطوبت از محصول جلوگیری کرده و باعث می‌شود سریعاً لایه بیرونی پرتقال قهوه‌ای شده و در اثر گذشت زمان طولانی ورقه نازک پرتقال 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.

3-1-2- 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 پرتقال بر زمان و انرژی مصرفی خشک‌کن مورد بررسی قرار گرفت. انرژی مصرفی خشک‌کن نمونه‌ها با وزن مساوی در شرایط مختلف تا رسیدن به رطوبت نسبی 10% محاسبه و داده‌ها به وسیله طرح آزمایشی فاکتوریل با دو فاکتور دمای خشک‌کن و ضخامت ورقه‌های پرتقال براساس بلوک کامل تصادفی با سه

www.SID.ir

Archive of SID

تکرار تجزیه و تحلیل شد و نتایج در جدول‌های (6) تا (9) آورده شده است.

جدول6 مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال در دمای هوای خشک‌کن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

دمای هوای خشک‌کن (°C)	انرژی مصرفی خشک‌کردن (Wh)
40	3812/41a
50	5260/77b
60	6789/92c
70	7617/29d
80	8856/73e

بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمار، دما، ضخامت و اثر متقابل دما و ضخامت بر روی زمان خشک شدن و انرژی مصرفی خشک‌کن در سطح 1% معنی‌دار شده است.

میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن برای ضخامت 4 میلی متر ورقه نازک پرتقال براساس دمای هوای خشک‌کن به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد و نتایج در جدول (6) آورده شده است. مطابق با جدول، انرژی مصرفی خشک کردن با افزایش دما از 40 درجه‌سلسیوس تا 80 درجه‌سلسیوس به طور معنی‌داری افزایش داشته است. در دمای 40 درجه سلسیوس کمترین انرژی و در دمای 80 درجه‌سلسیوس بیشترین انرژی برای خشک‌شدن محصول نیاز است.

میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال براساس ضخامت‌های مختلف ورقه پرتقال به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5% مقایسه شد و نتایج در جدول (7) آورده شده است. مطابق با جدول، انرژی مصرفی خشک کردن در ضخامت 2 میلی‌متر به طور معنی‌داری از دو ضخامت دیگر کمتر می‌باشد و ضخامت 6 میلی‌متر انرژی مصرفی بیشتری نسبت به دو ضخامت دیگر برای خشک‌شدن نیاز دارد.

میانگین انرژی مصرفی خشک‌شدن ورقه نازک پرتقال براساس دو فاکتور ضخامت ورقه‌های پرتقال و دمای هوای خشک‌کن به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5% مقایسه شد و نتایج در جدول (8) آورده شده‌است. مطابق با جدول، دماها و ضخامت‌های مختلف در نه دسته‌ی جداگانه قرار گرفته‌اند؛ به عنوان مثال دمای 40 درجه‌سلسیوس با ضخامت‌های 2، 4 و 6 میلی‌متر و دمای 80 درجه‌سلسیوس با ضخامت 2 میلی‌متر در دسته اول قرار دارند و کمترین انرژی را برای خشک کردن مصرف نموده است، در حالی‌که با توجه به نتایج به‌دست آمده دمای 70 درجه‌سلسیوس و ضخامت 6 میلی‌متر دارای بیشترین مصرف انرژی در میان سایر دماها و ضخامت‌ها می‌باشد.

جدول7 مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه پرتقال در ضخامت‌های مختلف بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

ضخامت ورقه‌های پرتقال (mm)	انرژی مصرفی خشک‌کردن (Wh)
2	4309/03a
4	5514/78b
6	9578/46c

جدول8 مقایسه میانگین انرژی مصرفی خشک‌کردن ورقه نازک پرتقال در ضخامت‌های مختلف ورقه پرتقال و دمای هوای خشک‌کن براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح 5٪)

تیمار بر اساس ضخامت (mm) و دمای هوای خشک‌کن (°C)	انرژی مصرفی خشک‌کردن (Wh)
دما 40 و ضخامت 2	3348/8a
40 و 4	3961/3ab
80 و 2	4027/3ab
40 و 6	4127/0ab
50 و 2	4375/1bc
60 و 2	4772/9bc
50 و 4	4832/8bc
70 و 2	5020/8cd
80 و 4	5760/5de
70 و 4	6374/3ef
50 و 6	6574/2ef
60 و 4	6670/7f
60 و 6	8926/0g
80 و 6	13062/9h
70 و 6	15202/0i

www.SID.ir

Archive of SID

4- نتیجه‌گیری

افزایش ضخامت ورقه‌های پرتقال 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 2 میلی‌متر و دمای 40 درجه سلسیوس با مقدار انرژی 3349 وات- ساعت(12056/4 کیلوژول) و ضخامت 6 میلی‌متر و دمای 70 درجه‌سلسیوس با مقدار انرژی 15202 وات- ساعت(54727/2 کیلوژول) است. این امر به علت وجود ترکیبات قندی در ساختار پرتقال می‌باشد که در دمای بالا (80 درجه سلسیوس) به علت انجام واکنش‌های شیمیایی یک لایه سخت در زیر لایه بیرونی میوه تشکیل شده و مانع از خروج رطوبت گشته و لایه بیرونی محصول سریع قهوه‌ای شده و باعث می‌شود محصول سریع‌تر از خشک‌کن خارج گشته و مدت زمان کمتری گرم‌کن‌ها روشن بوده و انرژی کمتری مصرف گردد.

5- منابع

[1] Anonymous. (2006). Iranian Citrus Research Institute. Ministry of Jihad-e-Agriculture.

[2] Amer, B. M. A., Morcos, M. A. and Sabbah, M. A. (2003). New method for the determination of drying rates of fig fruits depending on empirical data under conditions suiting solar drying. Conference of New Methods Means and Technologies for Applications of Agricultural Products. The International Conference Institute of Agricultural Engineering LUA Raudondvaris, Lithuania, 18-19 September 2003.

[3] Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A., and Pereira, A. (2008). Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. Journal of Food Engineering. Vol 86 (2), 151-161.

[4] Akpinar, E. K., A. Midilli and Y. Bicer. (2005). Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer. Energy Conversion and Management. Vol46 (15-16), 2530-2552.

[5] Akpinar, E. K. (2004). Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer. International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol31 (8), 1165–1176.

[6] Colak, N., and Hepbasli, A. (2007). Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer. Journal of Food Engineering. Vol80 (4), 1188-1193.

[7] Ozgener, L., and Ozgener, O. (2006). Exergy analysis of industrial pasta drying process. International Journal of Energy Research. Vol30 (15), 1323-1335.

[8] Akpinar, E. K., Midilli, A., and Bicer, Y. (2006). The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process. Journal of Food Engineering. Vol72 (4), 320–331.

[9] Dincer, I., and Sahin, A. Z. (2004). A new model for thermodynamic analysis of a drying process. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol47 (4), 645–652.

[10] Midilli, A., and Kucuk, H. (2003). Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. Energy Conversion and Management. Vol44 (7), 1111–1122.

[11] Yadollahinia, A. (2006). A Thin Layer Drying Model for Paddy Dryer. M. Sc. Thesis. Faculty of Bio-systems Engineering, University of Tehran. 107 pp.

[12] ASABE. Moisture measurement: unground grain and seeds. (2006). ASABE Standard S352.2 FEB03 American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, MI 49085-9659, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of drying conditions of sliced orange on energy consumption

Sharifi, M. [1], Rafiee, SH. [2*], Keyhani, A. R. [3], Omid, M. [2]

1- Ph.D. Student, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Tehran
2- Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Tehran
3- Professor, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Tehran
(Recieved: 87/1/24 Accepted: 88/3/17)

A laboratory dryer used for a thin layer of 165 g Thompson orange slices with three thickness levels of 2, 4 and 6 mm, five different temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80 °C and three air speed levels of 0.5, 1 and 2 m/s were employed to find the best dried and minimum energy consumption. This experiment was done in a complete randomized block design with the factorial treatments performed in three replicates. The energy consumption for drying thin slices of orange was calculated accordingly. The analysis of results showed that the lowest and highest drying energy consumption were 3.35 kWh (for 2 mm slice thickness and 40 °C) and 15.2 kWh (for 6 mm slice thickness and 70 °C), respectively.

Keywords: Drying, energy consumption, thin orange slice, thickness, drying conditions

* Corresponding Author E-mail address: shahinrafiee@ut.ac.ir

www.SID.ir