

بررسی تاثیر عمق بستر، دما و شدت جریان هوا در عملکرد خشک کن خورشیدی غیرمستقیم گردو

شیرین قطره سامانی<sup>\*1</sup>، علی زمردیان<sup>2</sup>

1- دانشجوی دکترای مکانیک ماشینهای کشاورزی، گروه بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، shirin63\_saman@yahoo.com

2- استاد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شیراز

## چکیده

در روش سنتی خشک کردن محصولات کشاورزی، محصول در فضایی باز و معرض نور مستقیم خورشید پهن می شود. به دلیل تابش مستقیم نور خورشید و دیگر عوامل محیطی تاثیرگذار کیفیت محصول افت پیدا می کند. به کار گیری انرژی های تجدیدپذیر به صورت غیرمستقیم می تواند جایگزین مناسبی برای روش سنتی باشد. در این پژوهش یک خشک کن خورشیدی غیرمستقیم در سایز آزمایشگاهی طراحی و ارزیابی شد. تاثیر فاکتورهای موثر در خشک شدن محصول مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از: دمای هوای خشک کننده (در سه سطح  $T_1: 37^\circ\text{C}$ ;  $T_2: 39^\circ\text{C}$ ;  $T_3: 41^\circ\text{C}$ )، شدت جریان هوای خشک کننده ( $F_1: 0.065\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $F_2: 0.075\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $F_3: 0.09\text{ m}^3/\text{s}$ ) و عمق بستر محصول (D1: 2 layers, D2: 4 layers and D3: 6 layers). نتایج آزمایشگاهی حاکی از این است که تاثیر فاکتورهای فوق در کاهش محتوای رطوبتی گردو معنی دار است. با افزایش درجه هوا و افزایش شدت جریان هوای خشک کننده و کاهش عمق بستر محصول، متوسط محتوای رطوبتی را طی سه ساعت از 37٪ (در مبنای خشک) به 9٪ (در مبنای خشک) می رساند. بیشترین بازده دستگاه در دمای 41 درجه سانتیگراد، شدت جریان 0/09 مترمکعب برثانیه و عمق دو لایه دیده شد.

**واژه های کلیدی:** خشک کن خورشیدی، دمای هوای خشک کننده، شدت جریان هوای خشک کننده، عمق بستر محصول.

## مقدمه

گردو یکی از مهمترین میوه ها در دنیا است که ارزش غذایی بسیار بالایی دارد. این محصول یکی از بیست محصول کشاورزی مهم در جهان است که معمولاً به صورت خشک استفاده می شود (FAO, 2005). اساساً گردو در چین، آمریکا، ترکیه و ایران تولید می شود و ایران بیش از 10٪ تولید جهانی که حدود 300000 تن در هکتار است را تولید می کند (FAO, 2005). گردوی تازه دارای محتوای رطوبتی 35-40٪ (بر مبنای خشک) است که باید تا بازه 4-8٪ - برای حفظ خواص روغنی - آن کاهش یابد. روش سنتی خشک کردن معمولاً در ایران به کار گرفته می شد که در آن کیفیت محصول افت می کند (Thiruchelvam et al., 2007). خشک کردن سنتی بسیار زمان بر است و روزهای زیادی (حدوداً 7 روز) نیاز دارد و اگر شرایط آب و هوایی مناسب نباشد



میوه دچار آفت و قارچ‌ها می‌شود که باعث فساد محصول می‌گردند. به علاوه خشک کردن سنتی نیاز به فضای زیاد و نیروی کار کارگری زیاد دارد و در معرض گرد و غبار و عوامل محیطی، کیفیت و کمیت محصول افت می‌کند. همچنین میکروارگانیسم‌ها می‌توانند محتوای اسیدی را افزایش دهند که منجر به کاهش میزان محصول و در نتیجه آن کاهش کیفیت تولید می‌شود (Amirghasemi, 2007). از طرفی دیگر، لازم به ذکر است که در پروسه خشک کردن گردو این محصول نمی‌تواند بیش از دمای 43 درجه سانتیگراد (110 درجه فارنهایت) را تحمل کند. برای محصولات کشاورزی سیستم خشک کن‌های خورشیدی به کار گرفته شده‌اند و مباحث تئوری و آزمایش‌های مختلفی برای محصولات گوناگون بررسی شده‌اند (Ivanova et al., 2001; Shanmugam et al., 2006; Kadam et al., 2006). هدف اصلی این پژوهش بررسی و مطالعه تاثیر فاکتورهای مختلف بر عملکرد خشک کن خورشیدی برای گردو است.

### علائم اختصاری

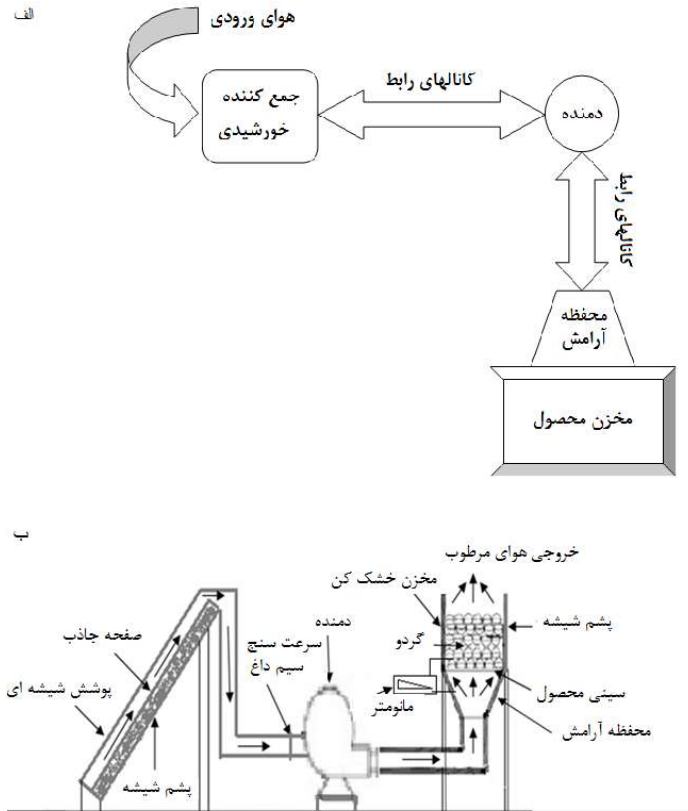
$M_{wb}$	محتوای رطوبتی (%)
$W_f$	جرم نهایی نمونه (kg)
$W_i$	جرم اولیه نمونه (kg)
$F$	شدت جریان هوای خشک کننده ( $m^3/s$ )
$D$	عمق بستر (لایه)
$T$	دمای هوای خشک کننده ( $^{\circ}C$ )

### مواد روش‌ها

آزمایش‌ها در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در ماه‌های مرداد و شهریور 1389 انجام شدند. گردوها از باغات شیراز از نوع قصرالدستی خریداری شده‌اند و به جای خشک کردن به روش سنتی با خشک کن خورشیدی غیرمستقیم معرفی شده در این تحقیق عمل خشک کردن انجام شد. نمای کلی این آزمایش‌ها در شکل 1 آورده شده است.

### خشک کن خورشیدی غیر مستقیم

خشک کن خورشیدی مورد استفاده شامل کالکتور خورشیدی با 2 متر مربع (2 متر \* 1 متر) سطح موثر برای به جریان انداختن هوا بود. برای فراهم کردن دمای بالا برای هوای خشک کننده از یک صفحه جاذب پوشش داده شده (سطح جاذب 2 \* 1 متر، جنس آلومینیوم، پوشش داده شده با رنگ سیاه) استفاده شد. یک فن سانتریفیوژ (1400 دور در دقیقه، 50 هرتز) برای به حرکت در آوردن هوای خشک کننده استفاده شد. بدنه خشک کن با چوب با ضخامت 5 میلی‌متر در ابعاد 0/3 \* 0/5 \* 0/4 متر به ترتیب برای عرض و طول و ارتفاع ساخته شد.



شکل 1- (الف) شماتیک کلی از دستگاه خشک کن مورد آزمایش، (ب) نمای کلی از دستگاه خشک کن خورشیدی گردو

برای کنترل دمای هوای خشک کننده طی خشک کردن 4 ترموکوپل کالیبره (PT100) با دقت  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  در مکانهای مختلف خشک کن قرار داده شده است. یک کنتور (دقت  $\pm 0.1\%$ ) برای اندازه گیری میزان مصرف انرژی دمده الکتریکی استفاده شد. یک مانومتر در دوطرف مخزن خشک کن برای اندازه گیری افت فشار استاتیکی نصب شد. شدت جریان هوای خشک کن با یک جریان سنج سیم داغ با دقت  $\pm 0.1 \text{ m/s}$  درست بعد از خروجی کالکتور اندازه گیری شد. شدت تابش خورشید با یک شیدسنج Casella با دقت  $\pm 1 \text{ mv/m}^2$  سنجیده شد.

### روشهای انجام آزمایش

مخزن خشک کن با گردوی تازه پر شد (در عمق های 2، 4 و 6 لایه به صورت طبیعی). سه سطح از شدت جریان هوای خشک کننده ( $8 \text{ m/s}$ ,  $9.5 \text{ m/s}$  and  $11 \text{ m/s}$ ) و سه درجه حرارت هوای خشک کننده ( $37^\circ\text{C}$ ,  $39^\circ\text{C}$  and  $41^\circ\text{C}$ ) برای آزمایش ها در نظر گرفته شد. درجه هوای خشک کننده در همه مواقع با کنترل سطح موثر کالکتور تنظیم می شد. در مواقعی که افزایش دما رخ می داد سطح کالکتور توسط پوشش کاهش داده می شد. محتوای رطوبتی گردو با استفاده از معادله 1 (Mohsenin, 1996) اندازه



گیری شد. تغییرات محتوای رطوبتی نمونه‌ها پس از 0/5، 1/5 و 3 ساعت اندازه‌گیری شدند. آزمایش‌ها در طی روز از 9 صبح تا 4 بعد از ظهر در 3 تکرار انجام شدند. در این پژوهش تاثیر هر سه فاکتور فوق‌الذکر به وسیله نرم افزار SPSS ارزیابی شدند.

### آنالیز داده‌ها

برای اندازه‌گیری محتوای رطوبتی اولیه محصول 10 دانه به صورت تصادفی پوست‌گیری شده و در آون الکتریکی (Heraeus T5050) در دمای  $105 \pm 1^\circ \text{C}$  برای 24 ساعت قرار گرفتند. محتوای رطوبتی اولیه ( $W_i$ ) و نهایی ( $W_f$ ) با اندازه‌گیری وزنی نمونه‌ها به وسیله ترازوی (Sartorius, 2354,  $\pm 0.01 \text{gr}$ ) صورت گرفت. محتوای رطوبتی نمونه ( $M_{wb}$ ) با معادله (1) اندازه‌گیری شد:

$$M_{wb} = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

هدف اصلی این پروژه بررسی نرخ تغییرات محتوای رطوبتی گردو در بستر خشک‌کن خورشیدی بود. در هر آزمایش با عمق‌های مختلف (2، 4 و 6 لایه) 50 عدد گردو شماره‌گذاری شده و به صورت رندوم برای بررسی نرخ تغییرات محتوای رطوبتی در شرایط مختلف آزمایش (3 سطح درجه حرارت هوای خشک‌کننده و 3 سطح شدت جریان هوای خشک‌کننده) برداشته شدند.

### نتایج و بحث

#### تاثیر دمای هوای خشک‌کننده در نرخ تغییرات محتوای رطوبتی

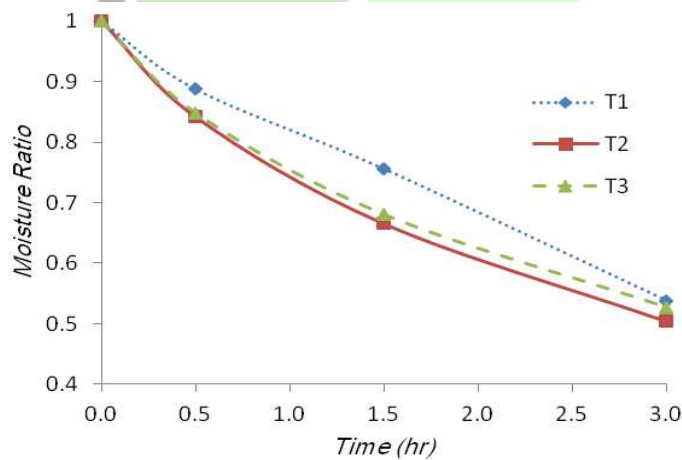
جدول شماره 1 متوسط تغییرات محتوای رطوبتی محصول را طی زمان انجام آزمایشات (3 ساعت) نشان می‌دهد. این نتایج به صورت گرافیکی در شکل 2 نشان داده شده‌اند. پروسه خشک کردن همانطور که برای محصولات کشاورزی بیان شده است به صورت نزولی است (Amirghasemi 2007; Zomorodian and Allame, 2002). داده‌های آزمایشی برای به دست آوردن ثابت‌های معادله‌نمایی خشک کردن به کار گرفته شدند که در جدول شماره 2 آورده شده است. نتایج هماهنگی مطلوبی با مطالعات پیشین بر روی محصولات مشابه مانند بادام زمینی (Moss, 1989) و فندق (Ozdemir, 2004) را نشان می‌دهد.

جدول 1 - متوسط نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در دمای هوای مختلف خشک کننده

T(°C)			
Time (hr)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
0.5	0.887	0.848	0.841
1.5	0.755	0.680	0.665
3.0	0.537	0.526	0.503

جدول 2: معادلات پیش بینی شده برای نرخ محتوای رطوبتی در دمای هوای مختلف خشک کننده

دمای هوای خشک کننده	معادلات پیش بینی شده
T1	$M.R = 0.9989e^{-0.203t}$
T2	$M.R = 0.9636e^{-0.209t}$
T3	$M.R = 0.9635e^{-0.223t}$



شکل 2- نمودار متوسط نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در دمای هوای مختلف خشک کننده

### تأثیر عمق بستر محصول در نرخ تغییرات محتوای رطوبتی

تأثیر عمق بستر محصول بر فاکتور مورد بررسی در جدول 3 آورده شده است. طی پروسه خشک کردن اختلاف زیادی بین تغییرات محتوای رطوبتی در عمق 2 لایه نسبت به دیگر عمق ها دیده شده است. این تأثیر می تواند به تغییرات محتوای رطوبتی در لایه ضخیم و لایه نازک برای خشک کردن نسبت داده شود تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به عمق در شکل 3 نشان داده شده اند.

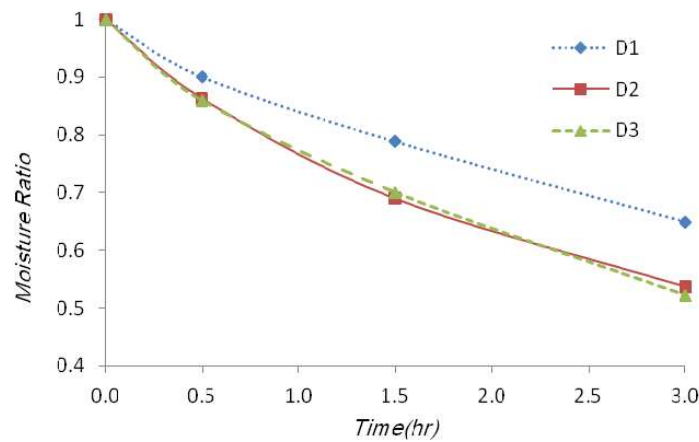
بر مبنای نتایج آزمایشی، معادلات پیش بینی شده برای عمق های مختلف در جدول 4 ذکر شده است. گزارش دیگر تحقیقات مانند تحقیقات Moss در سال 1989 برای پسته و Ozdemir در سال 2004 برای فندق نتایج بدست آمده را تصدیق می کند.

**جدول 3-** متوسط نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در عمق های مختلف بستر محصول

D	D1	D2	D3
Time (hr)			
0.5	0.859	0.863	0.900
1.5	0.700	0.690	0.788
3.0	0.522	0.537	0.649

**جدول 4-** معادلات پیش بینی شده برای نرخ محتوای رطوبتی در عمق های مختلف بستر محصول

عمق بستر	معادلات پیش بینی شده
D1	$M.R = 0.9818e^{-0.14t}$
D2	$M.R = 0.9704e^{-0.203t}$
D3	$M.R = 0.9704e^{-0.203t}$



**شکل 3-** نمودار متوسط نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در عمق های مختلف بستر محصول



## تاثیر شدت جریان هوای خشک کننده در نرخ تغییرات محتوای رطوبتی

اگرچه نرخ شدت جریان هوای خشک کننده بر نرخ خشک کردن برای خشک کردن دانه های ریز معنی (Moradi and Zomorodian ., 2010)، تجزیه و تحلیل های آماری تاثیر معنی داری برای تغییرات شدت جریان هوای خشک کننده بر خشک شدن دانه گردو نشان داده اند که در جدول 5 آورده شده است. این نتایج به صورت شماتیکی در شکل 4 آورده شده اند. از آنجایی که کرویت گردو بسیار زیاد است و تخلخل آن بسیار پایین است هوای عبوری فضای کافی برای حرکت بین دانه های محصول را ندارد و با افزایش عمق این حرکت بسیار مشکل تر می شود. معادلات پیش بینی شده برای نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در شدت جریان های مختلف در جدول 6 نشان داده شده است.

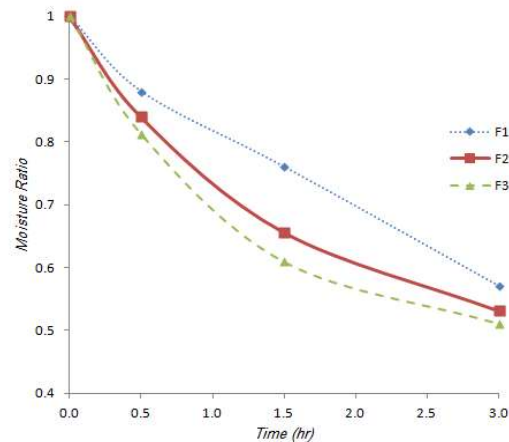
جدول 5- متوسط نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در شدت جریان های هوای خشک کننده

Air flow rate	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
Time (hr)			
0.5	0.88	0.84	0.812
1.5	0.76	0.656	0.609
3.0	0.57	0.531	0.511

جدول 6- معادلات پیش بینی شده برای نرخ محتوای رطوبتی در شدت جریان هوای مختلف خشک کننده

شدت جریان هوای خشک کننده	معادلات پیش بینی شده
F1	$M.R = 0.9867e^{-0.182t}$
F2	$M.R = 0.9517e^{-0.206t}$
F3	$M.R = 0.9307e^{-0.218t}$





شکل 4- نمودار متوسط نرخ تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در شدت جریان هوای مختلف خشک کننده

آنالیز داده ها با نرم افزار SPSS و آزمون دانکن و  $p < 0.05$  انجام گرفت. نتایج در جدول 7 آورده شده است. نتایج آزمایشی نشان می دهد که تاثیر تغییرات دما در کاهش محتوای رطوبتی در لایه های مختلف بسیار محسوس است. مقدار متوسط کاهش رطوبت در 2 لایه 11/03٪، در 4 لایه 10/67٪ و در 6 لایه 10/55٪ وزن اولیه بدست آمد. در عمق مشخص با افزایش دمای هوای خشک کننده کاهش رطوبت 10/7٪ در دمای T1، 13/42٪ در دمای T2 و 15/26٪ در دمای T3 دیده شده است و در نهایت شدت جریان هوای مختلف باعث کاهش محتوای رطوبتی می شود که به صورت 11/91٪ در F1، 10/84٪ در F2 و 10/04٪ در F3 محاسبه شدند.

جدول 7- جدول تجزیه واریانس اثرهای اصلی و متقابل سه فاکتور دمای هوا، عمق بستر محصول و دبی جریان بر تغییرات

محتوای رطوبتی (سطح معنی داری 1%)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
اثر دما	11280/241	2	5640/12	402866***
اثر دبی جریان	1344/435	2	672/217	48016***
اثر عمق بستر	244/85	2	122/425	8744/6***
اثر متقابل دما * دبی جریان	64/425	4	16/106	1150***
اثر متقابل دما * عمق	33/919	4	8/48	605/7***
اثر متقابل دبی جریان * عمق	12/807	4	3/202	228/7***
اثر متقابل سه فاکتور	64/398	8	8/05	575***
خطای آزمایش	0/740	54	0/014	
کل	13045/815	80		





## نتیجه گیری

یک خشک کن خورشیدی برای گردو طراحی، ساخت و ارزیابی شد. این نتیجه حاصل شد که خشک کن خورشیدی غیر مستقیم برای گردو با کیفیت بالا بسیار مناسب است. حداکثر بازده عملکرد خشک کن 27٪ محاسبه شده است که در حداکثر شدت جریان هوای خشک کننده و دمای هوای خشک کننده و در حداقل عمق 2 لایه رخ می دهد.

## منابع

- 1- Amirghasemi T.2007. Plant and post harvesting for Walnut. Publication by Agricultural Engineering and Natural Resource Establishment, Iran.
- 2- FAO. 2005. Statistical database. [Http://faostat.fao.org](http://faostat.fao.org). Accessed to web 12.11.2009.
- 3- Ivanova D., K.Andonova. 2001. Energy Convection and Management. 42: 975-983.
- 4- Kadam D M., D. Samuel. 2006. Biosystems Engineering. 43: 189-198.
- 5- Mohsenin N N.1996. Physical properties of plant and animal materials. Gordon. 79-127.
- 6- Moss, J. R., L. Otten. 1989. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 22: 34-39.
- 7- Ozdemir, F., I. Akinci. 2004. Journal of Food Engineering. 63: 341-347.
- 8- Shanmugam V., E. Natarajan. 2006. Renewable Energy. 31:1239-125.
- 9- Thiruchelvam T., D. Nimal and S. Upali. 2007. Journal of Food Engineering. 78: 1446-1451.
- 10- Zomorodian A., M. Moradi. 2010. Journal of Agricultural Science and Technology, 12: 401-408.
- 11- Zomorodian A., R. Allame. 2002. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. Volume 6, No. 4.



## Effects of drying air temperature, bulk depth and air flow rate on walnut drying rate in an indirect solar dryer

Shirin Ghatreh-Samani<sup>1\*</sup>, Ali Zomorodian<sup>2</sup>

1-Ph.D Student, Department of Biosystems Engineering, Shahrekord University, shirin63\_saman@yahoo.com

2-Professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University.

### Abstract

Walnut is one of the world's top 20 agricultural products and is consumed mostly as dried [3]. This product must be dried with great care to maintain its quality. Walnut drying was traditionally spread outdoor take a long time to reduce the kernel moisture content at the safe level. Due to direct sun radiation and some environmental impacts such as long time exposure, quality of the products may be degraded. Application of renewable energy such as solar energy may be an appropriate substitution for traditional methods.

In this research a new pilot size of indirect solar dryer (batch type) for walnut was designed and fabricated. The effect of crucial factors on drying time such as drying air temperature (T1:37° C; T2:39° C and T3:41°C), drying air flow rate (F1: 0.065 m<sup>3</sup>/s, F2: 0.075 m<sup>3</sup>/s, F3: 0.09 m<sup>3</sup>/s) and bulk depth (D1: 2 layers, D2: 4 layers and D3: 6 layers) were evaluated. The experimental results showed that, these factors had significant effect on reducing walnut moisture content. By increasing drying air temperature, drying air flow rate and number of layers, the amount of average moisture content decreased from 37% (d.b) to 9% (d.b) at 3 hrs. The best performance of dryer was determined at temperature 41°C, air flow 0.09m<sup>3</sup>/s, 2 layers depth.

**Keywords:** air flow rate; bulk depth; drying air temperature; performance; solar drying.