

بررسی خصوصیات خشک شدن لایه نازک ورقه های سیر در شرایط بستر سیال

کامران سالاری¹، رضا امیری چایجان²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

2- استادیار مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

ksalari1988@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، خشک شدن لایه نازک سیر در یک خشک کن آزمایشگاهی در شرایط بسترسیال مورد تحقیق قرار گرفت. خشک کردن محصول در چهار دمای 50، 60، 70 و 80 درجه سلسیوس در شرایط بسترسیال کامل (سرعت هوای ثابت 2/8 متر بر ثانیه) انجام شد. ضخامت ورقه های سیر در کل آزمایش ها 1 میلیمتر بود. برای انتخاب یک منحنی خشک کردن مناسب، شش مدل لایه نازک خشک شدن به داده های آزمایشگاهی برازش شد. در میان مدل های ریاضی مورد تحقیق مدل Two-term بهترین مدل برای شرح دادن رفتار خشک شدن لایه نازک سیر با بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار برای $RMSE$ و انتخاب شد. نتایج بررسی های انرژی برای خشک شدن لایه نازک بستر سیال نیز نشان داد که دمای $50^{\circ}C$ دارای بیشترین مصرف انرژی ویژه است. از سوی دیگر بررسی ظاهر نمونه های سیر خشک شده نشان داد که کمترین تغییر رنگ مربوط به دمای $50^{\circ}C$ است.

کلمات کلیدی: انرژی، بستر سیال، رنگ، سیر، مدل two-term

مقدمه

خشک کردن از قدیمی ترین، متداولترین و اقتصادی ترین روش های نگهداری مواد غذایی است. هدف خشک کردن محصولات کشاورزی عبارت است از حذف حداکثر آب از محصول به منظور افزایش مدت ماندگاری. در این روش انتقال حرارت و حرارت همزمان با هم انجام می شود و آن می تواند تغییرات معنی داری در ترکیبات شیمیایی، ساختار و خصوصیات فیزیکی مواد غذایی ایجاد کند [Koc et al., 2008]. این امر باعث توقف فعالیت های میکروبی و شیمیایی می شود و از ضایعات جلوگیری می کند. یکی از مهم ترین مزیت های محصولات غذایی خشک شده نیاز به فضای نگهداری کمتری نسبت به کنسروها و مواد یخ زده است و می توان آن را در دمای اتاق انبار کرد [Cao et al., 2003].

سیر یکی از مهم ترین محصولات کشاورزی است که به طور وسیع در جهان تولید می شود و به عنوان چاشنی و بدون هیچ عمل آماده سازی مورد استفاده قرار می گیرد [Vazquez et al., 2008]. که علاوه بر استفاده از آن در محصولات غذایی به عنوان ماده ضد سرطان نیز کاربرد زیادی دارد [Sharma et al., 2003]. سیر علاوه بر مصرف تازه آن به شکل های دیگری نیز مورد استفاده قرار می گیرد [Vazquez et al., 2008]. سیر خشک شده یکی از فراورده های غذایی است که از نظر تجارتي دارای اهمیت زیادی است و به شکل های ورقه ای یا پودر تهیه و به عنوان افزودنی در مواد غذایی استفاده و یا به مصارف دارویی می رسد [Sharma et al., 2003]. قسمت اعظمی از این محصول هر ساله در اثر شرایط نامناسب نگهداری، به دلیل تنفس در انبارهای نامناسب و جوانه زنی، کیفیت

مطلوب خود را از دست می دهد و از آنجا که سیر دارای ترکیب عطری و طعم دهنده می باشد بنا براین به شرایط محیطی خیلی حساس می باشد. از این رو فرایند خشک کردن آن نیاز به گرمای مناسب و زمان کوتاه برای رسیدن به محصولی باکیفیت مطلوب نهایی مورد نظر می باشد.

خشک کن های خورشیدی یکی از روشهای خشک کردن است که به طور وسیع در جهان مورد استفاده قرار می گیرد [Ratti et al., 2007]. اما با توجه به این که در خشک کن های خورشیدی محصول بدون حفاظ می ماند، از اینرو خطر باران، باد، گرد و خاک، هجوم حشرات و سایر حیوانات و همچنین افت کیفیت محصول که گاهی اوقات باعث غیر قابل مصرف شدن محصول می شود، آنرا به عنوان روشی نامناسب تبدیل می کند [Yaldiz et al., 2001]. علاوه بر این با توجه به اینکه در خشک کن های خورشیدی زمان لازم برای خشک کردن افزایش می یابد بنا براین برای بهتر کردن کیفیت محصول از خشک کن های صنعتی به جای خشک کن های خورشیدی استفاده می شود [Doymaz et al., 2004].

در فرایند خشک کردن به روش بستر سیال، مواد از لحاظ خصوصیات به حالتی می رسند که بسیار شبیه به سیالات است [Jaros and Pabis, 2006]. در این روش مواد کاملاً با هوا مخلوط می شوند و خشک کردن مواد به وسیله نیروی هوای گرم می باشد که با سرعت مشخصی از میان بستر محصول عبور کرده و باعث سیال شدن آن می شود [Prakash et al., 2004]. یک کاهش سریع در رطوبت محصولات برای نگهداری کیفیت نهایی مواد غذایی برای انبارداری مطمئن نیاز است [Soponronnarit et al., 2001]. از آنجا که در بستر سیال سطح تماس ذرات با هوا زیاد می شود بنابراین انتقال حرارت و جرم زیاد می شود که در مدت زمان خشک کردن بسیار مفید به نظر می رسد از این رو خشک کن های بستر سیال ابزارهایی با بازده بالا هستند که بسیار مناسب برای انواع کاربردهای خشک کردن می باشند [Strumillo and Kudra, 1996]. خشک کردن جنبشی مواد غذایی یک پدیده پیچیده است و نمایش ساده، برای تخمین رفتار خشک کردن و بهینه کردن پارامترهای خشک کردن مورد نیاز است [Arumuganathan et al., 2009]. مدل کردن ریاضی به طور وسیع مورد استفاده قرار می گیرد و برای آنالیز خشک کردن محصولات کشاورزی بسیار موثر می باشد [Cao et al., 2003]. یکی از مهم ترین جنبه های تکنیک خشک کردن، مدل کردن فرایند خشک کردن می باشد [Strumillo and Kudra, 1996].

هدف از این تحقیق عبارت است از: 1- مدل کردن خشک کردن ورقه های نازک سیر در شرایط بستر سیال 2- بررسی مصرف انرژی در شرایط بستر سیال و 3- بررسی کیفیت سیر خشک شده با توجه به تغییر رنگ ظاهری آن.

مواد و روشها

سیر تازه برای انجام آزمایش ها از بازار خریداری شده و در یخچال در دمای 4°C نگه داری شد. برای تعیین رطوبت اولیه محصول مقدار سه نمونه 15 گرمی را در دمای 105°C سلسیوس به مدت 24 ساعت در آون قرار دادیم. در پایان این زمان وزن محصول به مقدار ثابتی رسید که مقدار رطوبت محصول بر پایه تر 80/11٪ بود. ابتدا حبه های سیر تمیز و جدا شد و به وسیله یک تیغه پستی به ورقه هایی با ضخامت 1 میلی متر تبدیل شد. محصول در یک خشک کن آزمایشگاهی خشک شد (شکل 1). خشک کن شامل یک دمنده برای تامین هوای ورودی، کوره و المنت های حرارتی برای تامین هوای گرم، سنسورهای کنترل و اندازه گیر، موتور الکتریکی، اینورتر، ترازوی دقیق و محفظه نمونه ها بود. آزمایش ها در چهار دمای 50، 60، 70 و 80 درجه سلسیوس در شرایط بستر سیال کامل (سرعت هوای ثابت 2/8 m/s) انجام شد. سرعت هوا به وسیله یک باد سنج (Lutron A-M-4202) با دقت $\pm 0/05$ m/s در مقدار ذکر شده ثابت نگه داشته می شد. قبل از شروع آزمایش ها دستگاه به مدت نیم ساعت بر ای رسیدن به حالت پایدار روشن می ماند. حدود 25 گرم ورقه سیر با ضخامت 1

میلی متر در ظرف دستگاه برای خشک شدن گذاشته می شد. نمونه ها به وسیله یک ترازوی دیجیتالی با دقت 0/01 گرم در فاصله های زمانی 3 دقیقه ای تا وقتی که به یک وزن ثابت می رسید اندازه گیری می شد. دمای هوا و رطوبت نسبی در محیط آزمایش ها به ترتیب برابر با 23°C و 30٪ بود. آزمایش ها سه بار تکرار شد. نسبت رطوبت (MR) ورقه های سیر در طول فرایند خشک کردن با استفاده از معادله زیر محاسبه می شد:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

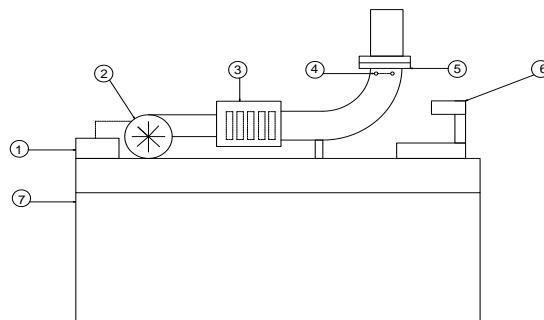
به ترتیب رطوبت محصول در زمان t ، محتویات رطوبتی تعادلی و رطوبت اولیه محصول می باشند. M_0, M_e, M_t برای مدل کردن ریاضی خشک شدن سیر از مدل های ریاضی لایه نازک استفاده شد (جدول 1). برای انتخاب بهترین مدل برای شرح دادن رفتار لایه نازک خشک شدن سیر از معیارهای ضریب همبستگی (R^2)، مربعات کاهش یافته (χ^2) و خطای ریشه میانگین مربعات (RSME) استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [MR_{exp,i} - MR_{pre,i}]^2}{\sum_{k=1}^N \left[MR_{pre,i} - \frac{\sum_{k=1}^n MR_{pre,i}}{n} \right]^2} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

به ترتیب نسبت رطوبت های آزمایشگاهی و نسبت رطوبت های پیش بینی شده می باشند. z ، تعداد مشاهدات در آزمایشها و N تعداد ثابت ها در مدل های خشک کردن می باشد.



شکل 1- نمای کلی دستگاه خشک کن بستر سیال (1- اینورتر، 2- دمنده، 3- کوره و المنت های حرارتی، 4- سنسور های کنترل، 5- ظرف نمونه، 6- ترازوی دقیق، 7- شاسی)

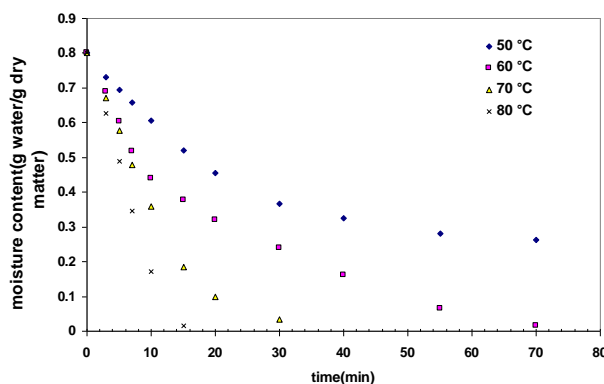
نتایج و بحث

شکل 2 تغییرات رطوبت لایه نازک سیر را به صورت تابعی از زمان در شرایط بستر سیال نشان می دهد. از شکل می توان دریافت که با افزایش زمان خشک شدن، مقدار رطوبت کاهش می یابد. یکی از عوامل مهم تاثیرگذار در فرایند خشک کردن بستر سیال، دمای هوای ورودی می باشد. از منحنی های شکل 2 می توان دریافت که با افزایش دمای هوای خشک کردن، مقدار رطوبت محصول سریع از دست می رود بنابراین در دماهای بالا مدت زمان خشک

کردن به طور قابل توجهی کاهش می یابد. در طول آزمایشات مشاهده شد که دمای هوای 50 °C بیشترین زمان را برای خشک کردن نیاز دارد از طرف دیگر با اینکه دمای 80 °C کمترین زمان را برای خشک کردن می گیرد اما از لحاظ شکلی ظاهر ری دارای تغییرات قابل توجهی است.

جدول 1- مدل های خشک کردن

نام مدل	رابطه مدل	منابع
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Demir <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt)^n + b$	Demir <i>et al.</i> (2007)
Two-term	$MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(k_2 t)$	Yaldiz <i>et al.</i> (2001)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Togrul and Pehlivan (2003)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)



شکل 2- تغییرات رطوبت محصول در مقابل زمان

مدل های ریاضی با استفاده از نرم افزار Curve Expert (Ver 1.4) به داده های آزمایشگاهی برازش داده شد. معیارهای مقایسه آماری مثل R^2 ، χ^2 و RMSE برای تمام مدل ها در جدول 2 مشخص می باشد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار χ^2 و RMSE برای تمام دماها برای مدل Two-term به دست آمده است. به طور کلی تغییرات مقادیر برای R^2 از 0/9866-0/9992 و برای χ^2 از 0/0038-0/0233 و برای RMSE از 0/1888-0/0795 است. مقدار ثابت ها در مدل Two-term برای تمام دماها در جدول 3 نشان داده شده اند.

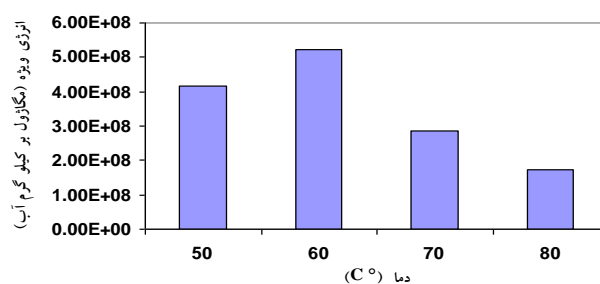
مقدار انرژی ویژه برای خشک کردن لایه های سیر در شکل 3 نشان داده شده است. از این شکل می توان دریافت که مصرف انرژی ویژه در شرایط بستر سیال با افزایش دما کاهش می یابد و این امر به دلیل کاهش زمان خشک شدن است. به دلیل اینکه دمای 50°C انرژی مورد نیاز برای دفع رطوبت از بافت محصول را نمی تواند فراهم کند، لذا محصول در رطوبت حدود 26٪ به تعادل رطوبتی رسیده است. ظاهر سیرهای خشک شده نیز بیانگر بهتر بودن دمای 50°C برای خشک کردن لایه های سیر با کیفیت مناسب است (شکل 4).

جدول 2- نتایج آماری مدل های خشک کردن

شماره مدل	(°C) Air temperature	R^2	χ^2	RMSE
1	50	0.9546	0.0407	0.1931
	60	0.9920	0.0095	0.0933
	70	0.9950	0.0078	0.0845
	80	0.9374	0.0657	0.2783
2	50	0.9539	0.0442	0.2012
	60	0.9878	0.0147	0.1160
	70	0.9944	0.0088	0.0898
	80	0.9777	0.0387	0.1883
3	50	0.9992	0.0038	0.1888
	60	0.9938	0.0047	0.0823
	70	0.9956	0.0069	0.0795
	80	0.9866	0.0233	0.1461
4	50	0.9216	0.0752	0.0689
	60	0.9154	0.1029	0.3071
	70	0.8656	0.2185	0.4475
	80	0.7196	0.4912	0.6710
5	50	0.9539	0.0442	0.2012
	60	0.9878	0.0147	0.1160
	70	0.9944	0.0088	0.0898
	80	0.9777	0.0387	0.1883
6	50	0.9539	0.0442	0.2012
	60	0.9878	0.0148	0.1164
	70	0.9856	0.0232	0.1458
	80	0.9359	0.1121	0.3205

جدول 3- مقدار ثابت ها برای مدل Two-term

b	a	k_2	k_1	دمای هوا (°C)
7.3077	9.3057	1.1602	2.0547	50
7.5932	2.5296	-2.0545	1.1152	60
1.9093	-8.7187	-3.5763	2.1564	70
-1.5947	2.6465	-2.6671	4.3812	80



شکل 3- تغییرات مصرف انرژی ویژه برای خشک کردن لایه های سیر در شرایط بستر سیال



شکل 4- تغییرات رنگ ظاهری ورقه های خشک شده سیر در شرایط بستر سیال

منابع

- Koc, B., Eren, I., and Ertekin, F.K. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: the effect of drying method. *Journal of food engineering*, 85: 340-349.
- Cao, W., Nishiyama, Y., and Koide, S. (2003). Thin-layer Drying of Maitake Mushroom analysed with a Simplified Model. *Biosystems Engineering*, 85(3): 331–337.
- Vazquez, G., Chenlo, F., Moreira, R., and Costoyas, A. (2008). The dehydration of garlic. 1. desorption isotherms and modelling of drying kinetics. *Drying Technology*, 17(6): 1095–1108.
- Ratti, C., Araya-Farias, M., Mendez-Lagunas, L., and Makhlof, J. (2007). Drying of garlic (*Allium sativum*) and its effect on allicin retention. *Drying Technology*, 25(2): 349–356.
- Ertekin, C., and Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering* 63: 349–359.
- Yaldiz, O., Ertekin, C., and Uzun, I.H. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana Grapes. *Energy*, 26: 457–465.
- Doymaz, I. (2004). Effect of Pre-treatments using Potassium Metabisulphide and Alkaline Ethyl Oleate on the Drying Kinetics of Apricots. *Biosystems Engineering*, 89(3): 281–287.
- Jaros, M., and Pabis, S. (2006). Theoretical models for fluid bed drying of cut vegetables. *Biosystems Engineering*, 93(1): 45–55.
- Prakash, S., Joha, S.K., and Datta, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering* 62: 305–313.
- Soponronnarit, S., Swasdisevi, T., Wetchacama, S., and Wutiwiwatchai, W. (2001). Fluidised bed drying of soybeans. *Journal of Stored Products Research* 37: 133-151.
- Strumillo, C., and Kudra, T. (1996). *Drying: Principles, Applications, and Design*. Gordon & Breach Science Publishers, USA.
- Arumuganathan, T., Manikantan, M.R., Rai, R.D., Anandakumar, S. and Khare, V. (2009). Mathematical modeling of drying kinetics of milky mushroom in a fluidized bed dryer. *Int. Agrophysics*, 23: 1-7.
- Sharma, G.P., Prasad, S., and Datta, A.K. (2003). Drying kinetics of garlic convective drying condition. *Journal of Food Science and Technology*, 40(1):45-51.
- Khazaei, J. and Daneshmandi, S. (2007). Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. *Int. Agrophysics*, 21: 335-348.
- Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying of shelled corn in thin layer. MSc. Thesis, Purdue University. *ASAE*, 28, 195-200.
- Demir, V., Gunhan, T., and Yagcioglu, A.K. (2007). Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosystems Engineering*, 98: 47-53.
- Wang, C.Y., and Singh, R.P., (1978). *A Single Layer Drying Equation for Rough Rice*. ASAE Press, St. Joseph, MI, USA.
- Togrul, I.T., and Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58: 23-32.
- Henderson, S.M., and Pabis, S. (1961). Grain drying theory. II: temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6: 169–174.