مجله مهندسی زیست سامانه

مدل‌های ریاضی خشک کردن ذرت

عباس شریفی‌نیا [۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

چکیده:

خشک کردن مهمترین روش نگه‌داری مواد کشاورزی بوده و یک عملیات حساس و با اهمیت در چرخه برداشت، نگه‌داری و حمل و نقل آنهاست. در این فرآیند با استفاده از انرژی گرمایی، آب موجود در ماده تبخیر شده و یک ماده جامد، مایع و نیمه جامد به یک ماده جامد با میزان رطوبت کمتر تبدیل می‌شود. پارامترهای دما و سرعت جابجایی هوای گرم عوامل اصلی مؤثر در فرایند خشک شدن ذرت محسوب می‌شود. در این پژوهش، آزمایش‌های خشک کردن در دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۲ و ۳ متر بر ثانیه انجام شد و تغییرات رطوبت ذرت در حین فرایند خشک کردن با مدل‌های ریاضی مختلف برازش داده شد. نتایج بدست آمده از برازش مدل‌های مورد آزمون در تمامی تیمارهای آزمایش نشان می‌دهد که مدل لگاریتمی، برازش قابل قبولی با مقدار رطوبت در حین فرایند خشک شدن در تیمارهای مختلف آزمایش دارند.

واژه‌های کلیدی: ذرت، مدل ریاضی، رطوبت، خشک کردن

مقدمه:

از آنجا که نگه‌داری میوه تازه همیشه امکان پذیر نیست، لذا انسان همواره به دنبال راهی برای نگه داری طولانی‌تر میوه‌ها بوده است. امروزه از منجمدکردن به عنوان بهترین روش نگه‌داری مواد غذائی در منزل نام برده می‌شود. این در حالی است که بسیاری از میوه‌ها اگر حالت یخ زدگی پیدا کنند، کیفیت ظاهری نامناسبی پیدا کرده و عموما به همین دلیل، به صورت یخ زده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

در مراحل ابتدایی فرایند خشک شدن، سرعت رطوبت زدایی از محصول سریع می‌باشد، زیرا در این مدت رطوبت از لایه‌های بیرونی به سطح دانه آمده و از آنجا به وسیله جریان هوای گرم از سطح دانه جدا می‌شود. با گذشت زمان، عمل انتقال رطوبت از لایه‌های درونی و مغز دانه به سطح، به مدت زمان بیشتری نیاز دارد. به همین دلیل آهنگ خشک شدن کاهش و زمان آن افزایش پیدا می‌کند و شیب منحنی تغییرات رطوبت در واحد زمان کم می‌شود.

اغلب محاسبات مربوط به طراحی و یا تجزیه و تحلیل خشک-کن‌ها نیاز به تخمین زمان لازم برای خشک کردن یک ماده از رطوبت اولیه به رطوبت نهایی دارد. این مسئله در دو مقطع خشک شدن با آهنگ ثابت و خشک شدن با آهنگ نزولی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به شرایط محیط خشک‌کردن و نیز پیچیدگی سازوکار انتقال رطوبت در داخل مواد غذایی برای تخمین زمان خشک شدن یک محصول باید آزمایش‌های مناسبی انجام شوند. فرایند خشک شدن به وسیله نمودارهایی به خوبی توصیف می-گردند. اطلاعات لازم برای تعیین این منحنی‌ها معمولا در شرایط آزمایشگاهی بدست می‌آید.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام و ذرت مورد نیاز از شهرستان پارس‌آباد مغان تهیه شد. رطوبت اولیه توسط دستگاه رطوبت سنج محصول و آزمایشگاه تعیین شد. ذرت-ها در یخچال و دمای حدود ۱ و ۴ درجه سلسیوس در مدت آزمایش ۲۵ (روز) نگهداری شدند.

پارامترهای مورد تغییر شامل تغییرات دما در چهار سطح ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوا در دو سطح ۲ و ۳ متر بر ثانیه بود. برای انجام این پژوهش از یک دستگاه خشک‌کن ساخته شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان استفاده شد. (سیدعلیخانی، ۱۳۹۳) خشک‌کن از نوع جریان با جابجایی هوای داغ می‌باشد. خشک‌کن مورد استفاده برای خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌جات مناسب بوده و دارای یک صفحه مشبک می‌باشند که جریان هوا به صورت متقاطع به محصول

۱- کارشناسی ارشد گروه ماشین‌های کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
نویسنده مسؤول: abbassharifinia1982@gmail.com

در حال خشک شدن برخورد می‌کند. قبل از انجام آزمایش‌ها قسمت‌های مختلف دستگاه نظیر لودسل، ترمومتر و دمنده توسط دستگاه‌های مخصوص واسنجی شدند.

قبل از انجام آزمایش نمونه از یخچال خارج و به مدت ۲ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند تا به حالت تعادل با محیط برسند. سپس حدود ۲۵۰ گرم از هر نمونه را بر روی سینی خشک-کن به صورت تک لایه قرار داده شد. ۱۰ دقیقه پس از روشن کردن دستگاه و تنظیم دما و سرعت جریان هوا، نمونه در داخل دستگاه قرار داده شد. عملیات داده برداری (وزن نمونه) در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه انجام شد تا رطوبت به رطوبت خشک ۱۳(تا ۱۴ درصد ترپایه) برسد. آزمایش‌ها در سه تکرار (طرح آماری کامل تصادفی در قالب فاکتوریل) اجرا شد.

پس از پایان آزمایش خشک کردن برای هر تیمار در سه تکرار اقدام به نمونه‌گیری شده و نمونه‌ها توسط یک ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. سپس با استفاده از آون تحت خلا در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و فشار ۱۵۰ میلی بار به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند. (غلامی و همکاران، ۱۳۸۸) پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها مجددا توزین شدند. سپس با استفاده از رابطه (۱) رطوبت تعادلی نمونه بر مبنای خشک تعیین گردید. پس از تعیین رطوبت تیمار در پایان آزمایش، وزن خشک تیمار از رابطه (۱) محاسبه گردید و سپس با استفاده از همان رابطه با در دست داشتن وزن تیمار آزمایش در فواصل زمانی ذکر شده مقدار رطوبت در زمان‌های بالا بدست آمد.

$$W = \frac{M_W - M_d}{M_d} \qquad (۱)$$

که در آن W ، مقدار رطوبت (خشک پایه)، M_w ، وزن نمونه تر و M_d، وزن نمونه خشک بودند.

مدل‌سازی ریاضی

پس از انجام مرحله خشک کردن به منظور بررسی تغییرات رطوبت در زمان خشک کردن از مدل‌های نیمه تئوری مطابق با جدول ۱ برای برازش داده‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفت. برای برازش داده‌ها روش رگرسیون غیر خطی بکار گرفته شد و به کمک نرم‌افزارهای آماری استاتیستیکا[1] و اکسل[2] مدل‌های مذکور با داده‌ها برازش داده شدند. برای تعیین مناسب بودن برازش علاوه بر ضریب تعیین (R^2) از دو شاخص دیگر، به شرح جدول ۲ استفاده گردید.

جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده در پژوهش برای خشک کردن

نام مدل	معادله	مرجع
(Newton) نیوتن	$MR = \exp(kt)$	(Ayensu, 1997)
(The two-term) مدل دو جمله‌ای	$MR = a\exp(k t_0) + b\exp(k t_1)$	Henderson, 1974
(Midili) میدیلی	$MR = a\exp(kt^n) + bt$	Menges and Ertekin, 2005
(Page) پیج	$MR = \exp(kt^n)$	Simal *et al*., 2005
(Modified Page) پیج اصلاح شده	$MR = \exp(kt)^n$	Overhults et al, 1973
(Logarithmic) لگاریتمی	$MR = a\exp(kt) + c$	Dandamrongrak *et al*., 2002

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی مدل های بکار برده شده در پژوهش

نام شاخص	رابطه	مرجع
مقدار P(P value)	$P = \frac{100}{N} \left\| \frac{X_e - X_o}{X_o} \right\|$	San Martin et al, 2001
ریشه میانگین مربعات خطا (Root mean square error)	$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} (X_e - X_o)^2}$	San Martin et al, 2001

[1] - Statistica

[2] -Excel

نتایج

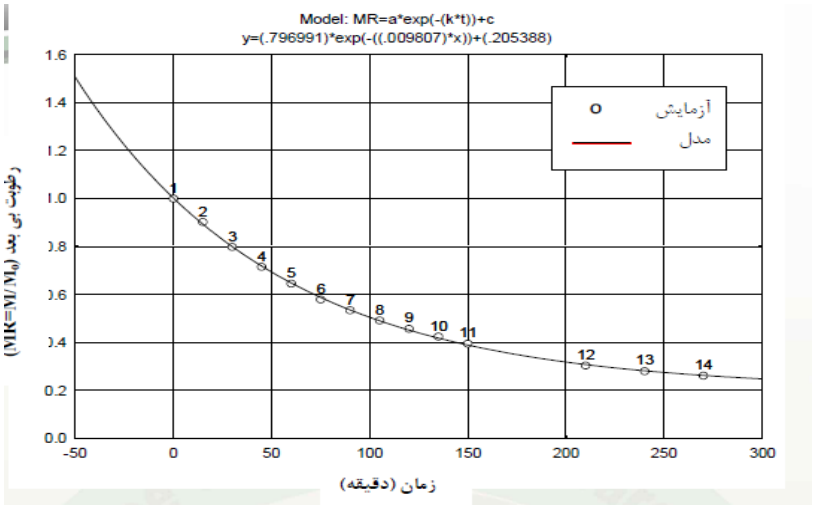
نتایج بدست آمده از برازش مدل‌های مورد آزمون در تمامی تیمارهای آزمایش نشان می‌دهد که دو مدل لگاریتمی و دو جمله‌ای، برازش قابل قبولی با مقدار رطوبت در حین فرایند خشک شدن در تیمارهای مختلف آزمایش دارند. (جدول ۳) دو مدل پیج و پیج اصلاح شده چون نتایج قابل قبولی نداشتند، در جدول درج نشدند. با توجه به جدول ۳ مدل لگاریتمی برازش مناسب‌تری به دلیل بالا بودن ضریب همبستگی، کم بودن ارزش P و میانگین مربعات خطا با داده‌های آزمایش دارند. شکل‌های ۱ تا ۳ این برازش را نشان می‌دهند.

عباسی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی مشابه نشان دادند که مدل میدیلی، مدل پیج، مدل لگاریتمی و مدل دوجمله‌ای، فرآیند خشک شدن دانه‌های ذرت را مناسب‌تر پیش‌بینی می‌کنند. میدلی و کیوکاک[1] (۲۰۰۳) مدل لگاریتمی را برای پیش‌بینی میزان رطوبت ذرت و پسته در حین فرآیند خشک‌شدن مناسب بیان نمودند. غلامی و همکاران(۱۳۸۹) نیز در خشک کردن انگور نشان دادند که دو مدل دو جمله‌ای و پیج اصلاح شده، برازش قابل قبولی با مقدار رطوبت در حین فرایند خشک شدن در تیمارهای مختلف آزمایش دارند.

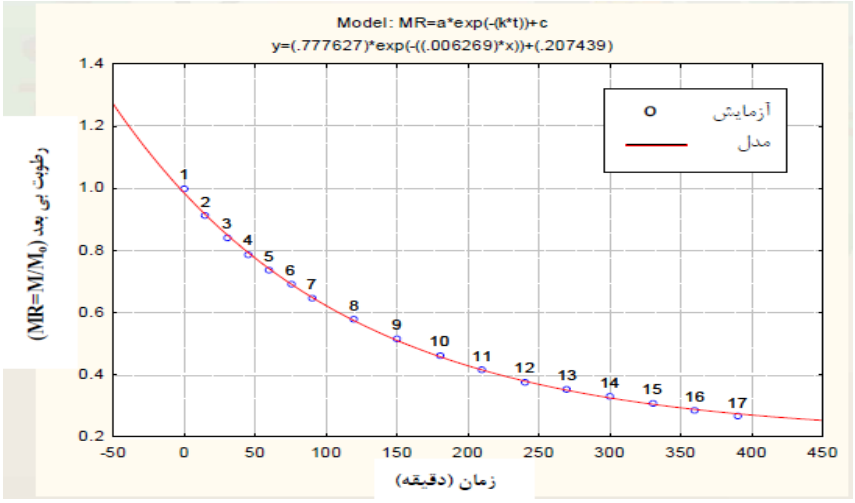
جدول ۳- تحلیل رگرسیونی مدل‌های به کارگرفته در پژوهش

(درجه سلسیوس)	(متر بر ثانیه)		نیوتن	لگاریتمی	دو جمله‌ای	میدلی
		R2	0/9728	0/9996	0/9799	0/8767
	۳	P(%) *RMSE* 103	7/42 1/16	0/76 0/14	6/21 0/99	14/1 2/48
۷۰	**۲**	**R^2** **P(%)** *RMSE* 103	**0/9456** **10/68** **1/62**	**0/9988** **1/38** **0/ 22**	**0/9616** **8/73** **1/36**	**0/8490** **14/96** **2/87**
		R^2	0/9730	0/9994	0/9862	0/9191
	۳	P(%) *RMSE* 103	7/35 1/19	0/86 0/17	5/06 0/84	11/55 2/06
۶۰	**۲**	**R^2** **P(%)** *RMSE* 103	**0/ 4859** **10/36** **1/62**	**0/9968** **2/33 0/4**	**0/9716** **6/77** **1/2**	**0/ 8628** **14** **2/41**
		R^2	0/9785	0/9982	0/9912	0/9322
	۳	P(%) *RMSE* 103	6/ 42 1/06	1/33 0/1	3/93 0/68	11/1 1/88
۵۰	**۲**	**R^2** **P(%)** *RMSE* 103	**0/ 8019** **6/02** **0/ 99**	**0/ 9789** **1/42** **0/33**	**0/9904** **4/19** **0/69**	**0/9264** **11/4** **1/91**
		R^2	0/9930	0/9984	0/9980	0/9565
۴۰	۳	P(%) *RMSE* 103	2/17 0/52	0/93 0/24	0/94 0/27	5/78 1/3
		R^2	**0/9928**	**0/9980**	**0/9978**	**0/9485**
	۲	**P(%)** *RMSE* 103	**2/57** **0/54**	**0/73** **0/2**	**1/28** **0/3**	**6/88** **1/45**

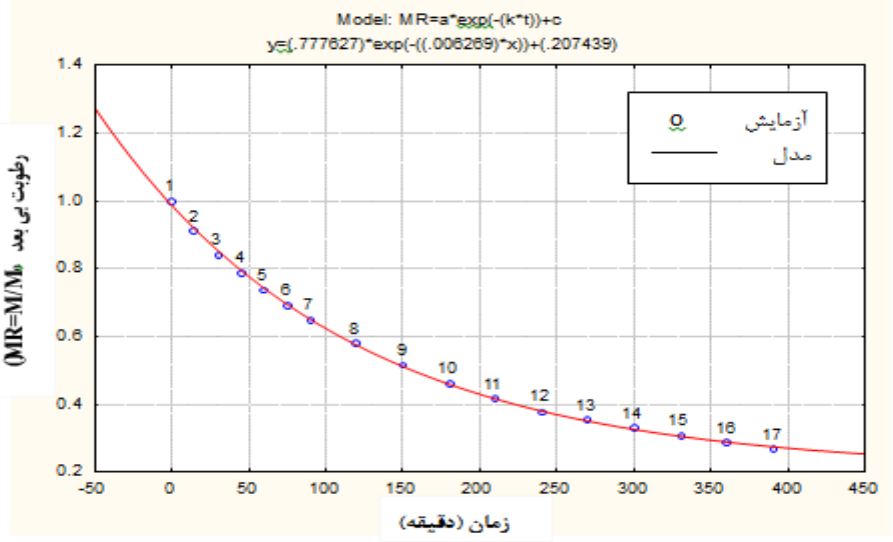
[1]-Midili and Kucuk



شکل۱- برازش مدل لگاریتمی با داده‌های آزمایش در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جابجایی هوا ۳ متر بر ثانیه



شکل۲- برازش مدل لگاریتمی با داده‌های آزمایش در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و سرعت جابجایی هوا ۳ متر بر ثانیه



شکل۳- برازش مدل لگاریتمی با داده‌های آزمایش در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت جابجایی هوا ۳ متر بر ثانیه

Refferences

Abbasi, S., Minaei, S. and Khoshtadha, M. 2014. Investigating drying kinetics and energy consumption of corn thin layer. Agricultural machinery Joyrnal. The fourth volume. the first number. pp. 89-701.

Canovas, V. G. and H. V. Mercado, 1996. Dehydration of Food. Chapman & Hall publishers. New York, U.S.A

Eckhoff, S. R. 2004. Wet milling. In: Wrigley, C., Walker, C.E. (Eds.), Encyclopedia of Grain Science. Elsevier Ltd: 30-46.

Gholami, M., Rashidi, M. and Abbasi, S. 2009. Simulating the process of drying white grapes with mathematical models, scientific research quarterly in applied mechanical engineering sciences. Volume: 2, Issue:1.

Gholami, M., Rashidi, M., Beheshti, B. and Abbasi, S. 2009. Investigating the mathematical models of red currant drying, scientific research journal of plant and ecosystem of Islamic Azad University, Shahre Ray Branch.

Kianmehr, M., Bidghli, R., Bigi, H. and Hijazi, A. 2007. Investigating the effect of inlet air temperature and depth of laboratory fixed bed dryer on skin cracking rate of two soybean varieties. Iranian Journal of Agricultural Sciences. No. 1, period 83. pp. 62-91.

Khakbaz, M. and Hamdami, N. 2008. Mathematical modeling of pistachio thin layer drying kinetics using a cabinet dryer. The 18th National Congress of Mashhad Food Sciences and Industries.

Omid, M., A. R. Yadollahinia, S. Rafiee. 2010. Development of a kinetic model for thin layer drying of Paddy, Fajr variety. Biosystem Engineering of Iran 41: 153-160.

Seyed Alikhani, S. 2014. Fruit laboratory dryer (second part: construction and installation of equipment). Master's thesis of Takestan Azad University.

Mathematical Models of Corn Drying

Abbas Sharifinia [1]
1- Master's degree, Department of Agricultural Machinery, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran
* Coresponding author: abbassharifinia1982@gmail.com

Received: 20 Oct 2022
Accept: 07 Dec 2022

Abstract

Drying is the most important method of preserving agricultural materials and is a sensitive and important operation in the cycle of harvesting, storing and transporting them. In this process, by using heat energy, the water in the material is evaporated and a solid, liquid and semi-solid material turns into a solid material with less moisture. Temperature parameters and hot air movement speed are the main effective factors in corn drying process. In this research, drying experiments were conducted at temperatures of 40, 50, 60 and 70 degrees Celsius and air velocity of 2 and 3 meters per second, and the changes in corn moisture during the drying process were fitted with different mathematical models. The results obtained from fitting the tested models in all test treatments show that the logarithmic model has an acceptable fit with the amount of moisture during the drying process in different test treatments.

Keywords: corn, mathematical model, humidity, drying