

مدل خشک شدن توده بستر نازک ذرت (رقم ۷۰۴)

شاهین رفیعی^۱، مهدی کاشانی نژاد^۲

چکیده

ذرت پس از گندم و برنج، مهمترین ماده غذایی دنیا را تشکیل می دهد. برای حفظ کیفیت ذرت در طی انبارداری بایستی این محصول خشک شود. به منظور کاهش ضایعات محصول در طی خشک کردن و افزایش بازده خشک کن مدلسازی خشک کردن ضروری بوده و اولین گام، پیش بینی منحنی خشک شده توده بستر نازک ذرت و استخراج مدل‌های مناسب برای این منظور می باشد. در این تحقیق، خشک کردن بستر نازک ذرت (رقم ۷۰۴) مدلسازی شد. آزمایش در پنج سطح دمای خشک کن (30°C ، 40°C ، 50°C و 60°C و 70°C) و چهار تکرار اجرا شد. نمونه‌ها پس از تهیه با رطوبت اولیه ۳۰٪ (بر پایه وزن خشک) خشک شد. رطوبت توده با وزن کردن نمونه‌ها طی فرآیند خشک کردن اندازه گیری گردید. ۶ مدل ریاضی استاندارد بر داده های آزمایشی برازش داده شد و کیفیت برازش آنها برحسب سه پارامتر ضریب تعیین (r^2) مربع کای (χ^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده ها ($RMSE$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل‌های مذکور عبارت از $Henderson\ and\ Pabis\ (HP)$ ، $Modified\ Page\ (MP1)$ ، $Page\ (P)$ ، $Newton\ (N)$ ، $Logaritmic\ (LG)$ و $Two\ term\ (TT)$ بود. چهار مدل اول پاسخ مناسبی نداد. مدل‌های ۴ و ۵ داده های پیش بینی مقادیر بیشتری نسبت به داده های آزمایشگاهی برآورد کردند مدل ۶ مقادیر بسیار نزدیک به داده های آزمایشگاهی پیش بینی کردند.

واژه کلیدی: خشک کردن، لایه بستر نازک، ذرت، مدل رگرسیون، مدلسازی ریاضی.

مقدمه

ذرت پس از گندم و برنج، مهمترین ماده غذایی دنیا را تشکیل می دهد (Poehlman, 1959). در اقلیمهای دریایی، غلات را می توان با رطوبت بین ۱۷ تا ۲۲٪ برداشت کرد. ذرت را می توان با رطوبت ۴۰٪ هم برداشت کرد. انبار کردن مطمئن در چنین رطوبت بالایی امکانپذیر نیست و خشک کردن مصنوعی باید اعمال شود (راشد محصل و همکاران، ۱۳۸۰).

خشک کردن مواد غذایی، یکی از قدیمی ترین روشهای نگهداری آنهاست. در اثر کاهش مقدار رطوبت ماده غذایی امکان فساد میکروبی از بین می رود و از طرف دیگر واکنشهای مضر نیز به مقدار قابل توجهی کم می شود. خشک کردن ضمن اینکه بر روی محصول اثر حفاظتی دارد، وزن و حجم آن را نیز به میزان چشمگیری کاهش می دهد و در نتیجه از هزینه های حمل و نقل و ذخیره سازی محصول می کاهد.

خوش تقاضا و سلیمانی در سال ۱۳۷۸ با انجام آزمایشاتی افزایش دما از ۳۰ تا ۷۰ درجه سانتیگراد، افزایش سرعت جریان هوا از ۰/۵ به ۲ متر بر ثانیه و کاهش رطوبت نهایی از ۰/۱۴ به ۱۰/۵ درصد را از عوامل افزایش شکنندگی محصول برنج (رقم بینام) دانستند. در نتیجه فرآیند خشک کردن باید هرچه بهتر شناخته شده و تحت کنترل باشد تا میزان خسارت ناشی از خشک کردن به حداقل برسد. برای نیل به این هدف نیاز به شرح دقیقی از مکانیزم خشک کردن داریم (Haghighi and segerlind, 1987).

خوشحال و مینایی در سال ۱۳۸۰ روابط بین پارامترهای موثر بر فرآیند خشکاندن شلتوک برنج

(رطوبت دانه، دما و رطوبت هوای خروجی و زمان خشک کردن) به روش مداوم تعیین و مدلهای ریاضی مربوطه را ارائه دادند.

معادلات خشک کردن لایه نازک^۱ را می توان به سه دسته تجربی^۲، نیمه تجربی^۳ و نظری^۴ تقسیم کرد. در معادلات تجربی از مقاومت در برابر انتقال جرم در داخل دانه صرف نظر شده و صرفا رابطه ای بین رطوبت متوسط دانه با زمان ارائه می گردد (Thompson et al., 1968). در معادلات نیمه تجربی مقاومت در داخل محصول در برابر انتقال جرم در نظر گرفته شده ولی از مقاومت در برابر انتقال جرم در سطح محصول صرف نظر می شود (Perry, 1963). به عبارتی سطح محصول بدون صرف زمان با رطوبت هوای اطراف خود به تعادل می رسد (Hustrulid and Flikke, 1959). از مشهورترین معادلات نیمه تجربی خشک کردن لایه نازک می توان به معادلات لويس (Lewis, 1921) و پیچ (Page, 1949) اشاره نمود. با گذشت زمان برای افزایش دقت مدلهای بدست آمده، با انجام آزمایش اصلاحاتی روی مدلهای گذشته انجام شد (Misra and Brooker, 1980).

با توجه به اینکه ذرت یکی از محصولات مهم زراعی می باشد که برای افزایش و یا کنترل کیفیت محصول در طی انبارداری باید دارای رطوبت کم

- *Thin layer drying*)

- *Empirical*)

- *Semi-empirical*)

- *Theoretical*)

و یکنواخت باشد این محصول بایستی خشک شود. آگاهی از نحوه خشک شدن محصول منجر به کاهش مصرف انرژی و ضایعات محصول می‌گردد. هدف از انجام تحقیق مشخص نمودن روند خشک شدن ذرت در دماهای مختلف و استخراج مدل خشک کردن توده بستر نازک ذرت می‌باشد.

مواد و روشها

برای انجام آزمایش از دستگاه خشک کن آزمایشگاهی توده بستر نازک استفاده شد. خشک کن آزمایشگاهی با دمنده سانتریفوژ (حداکثر ۳۰۰۰ دور در دقیقه) و گرمکن الکتریکی با ۴ المنت با مجموع توان ۴۰۰۰ وات، رطوبت و دما سنج هوا با محدوده اندازه گیری رطوبت نسبی ۱۰ تا ۹۵ درصد و با حساسیت ۰/۳٪ تا ۰/۷۰٪ رطوبت، سرعت سنج هوا از نوع سیم داغ^۱ با حساسیت ۰/۰۱ متر بر ثانیه، ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. نحوه خشک کردن بدین صورت است که هوای جریان یافته بوسیله دمنده از گرمکن گذشته و گرم شده و بوسیله کانال به سمت توده ذرت هدایت می‌شود. جریان هوا هنگامی که از توده می‌گذرد، رطوبت ذرت را جذب و باعث گرم شدن آن می‌شود. توده ذرت بر روی دو سینی بگونه ای ریخته شد که روی هر سینی یک لایه از محصول قرار گرفته بود.

برای خشک کردن ذرت از رقم ۷۰۴ که یکی از ارقام متداول ذرت می‌باشد استفاده شد. بعلاوه آنکه آزمایش در پنج سطح دما (۳۰، ۴۰، ۵۰،

۶۰ و ۷۰) انجام گرفت و برای هر سطح دما، چهار تکرار انجام شده است در نتیجه ۵ نمونه ۴۰۰ گرمی انتخاب شد و در داخل سه کیسه پلاستیکی قرار داده شد تا با محیط هیچ گونه تبادل رطوبتی نداشته باشد. بوسیله سرنگ مقدار مشخص و یکسانی آب در داخل کیسه پاشیده شد. مقدار آب پاشیده شده با توجه به مقدار رطوبت اولیه و وزن نمونه تعیین می‌شود. برای یکنواخت شدن رطوبت توده، نمونه طی ۷۲ ساعت در داخل یخچال در دمای ۱۰°C نگهداری گردید و برای یکنواختی بهتر توده، در طی این مدت چندین بار نمونه بهم زده شد تا رطوبت به طور یکنواخت در توده نفوذ کند (Giner and Mascheroni, 2002). هر نمونه ۴۰۰ گرمی به چهار زیر نمونه مساوی (۱۰۰ گرمی) تقسیم شد. در نتیجه تعداد ۲۰ نمونه آماده گردید. از هر نمونه ۳۰ گرم برای اندازه گیری رطوبت اولیه توده برداشته شد و متوسط رطوبت کلیه نمونه‌ها تقریباً ۰/۳ (بر پایه وزن خشک، d.b.) محاسبه شد. برای هر سطح دما چهار نمونه مشابه ۷۰ گرمی تحت شرایط یکسان خشک شد. برای بدست آوردن رطوبت، نمونه وزن شده و در اجاق برقی با دمای ۱۳۰°C در طی ۲۴ ساعت کاملاً خشک و دوباره وزن شد. از محاسبه تفاضل این دو وزن تقسیم بر وزن خشک نمونه، رطوبت بدست می‌آید (ASAE, 1982).

خشک کردن تا زمانی ادامه داشت که تغییرات رطوبت توده بسیار کم شده در نتیجه شدت خشک شدن تقریباً صفر شود و نیازی به خشک کردن تا رطوبت تعادلی نیست (Giner and Mascheroni, 2002; Gastón et al., 2004) رطوبت براساس وزن توده ذرت که در زمانهای مختلف (بازه ۱۰ دقیقه) خشک شدن

^۱ - مدل Testo 610

2- Hot Wire

SPSS9.5 استخراج شد. از سه معیار ضریب تعیین (r^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE)² برای سنجش بهترین مدل استفاده شد که برای هر مدل هرچه مقدار r^2 بیشتر و χ^2 و RMSE کمتر باشد مدل بهتر است (Guarte, 1996):

(۱)

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (M_{\text{exp},i} - M_{\text{pre},i})^2}{N - n} \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (M_{\text{pre},i} - M_{\text{exp},i})^2 \right]^{1/2}$$

که $M_{\text{exp},i}$ رطوبت ذرت مشاهده شده در i امین اندازه‌گیری، $M_{\text{pre},i}$ رطوبت ذرت پیش‌بینی شده از مدل در i امین اندازه‌گیری، N تعداد مشاهدات (داده‌ها) و n تعداد ثابتهای بکار رفته در معادله است. مقدار ضرایب و ثابتهای مدل‌های جدول (۱) در دماهای مختلف به روش رگرسیون محاسبه گردید.

اندازه‌گیری شد محاسبه گردید. در زمانی که باید وزن توده بدست می‌آمد سینی خشک کن به سرعت روی ترازوی دیجیتالی قرار داده می‌شد و پس از ثبت عدد نمایش داده شده توسط ترازو، بلافاصله سینی در جای خود قرار داده شده و خشک کردن ادامه می‌یافت. مدت هر بار وزن کردن توده تقریباً ۱۵ ثانیه طول می‌کشید. زمان خشک کردن بوسیله یک کورنومتر ثبت می‌شد و هر بار که وزن کردن توده شروع می‌شد زمان متوقف شده و پس از اتمام وزن کردن توده زمان ثبت می‌گردید (Ertekin and Yaldiz, 2004).

مدلهای منحنی خشک شدن توده بستر نازک ذرت بر اساس ۶ مدل توصیه شده توسط محققینی که در این زمینه کار کرده اند انتخاب گردید و در جدول (۱) آورده شده است. در اکثر تحقیقات مدل سینتیک خشک کردن بر اساس نسبت رطوبت (MR) بدست آمده است که علتش کاهش پراکندگی و خوش فرم کردن داده ها می باشد که برای محاسبه نسبت رطوبت، نیاز به رطوبت تعادلی نیز می باشد به عبارتی رطوبت توده در طی خشک کردن به طور غیر مستقیم بدست می آید (Akpınar et al., 2003). در این تحقیق به طور ابتکاری مقدار رطوبتی (MC) توده بطور مستقیم مدلسازی شده است. برای مدلسازی ریاضی خشک شدن ذرت، با توجه به یکی بودن روند تغییرات نسبت رطوبت با رطوبت توده، از معادلات جدول (۱) استفاده شد که این مدل‌های در تحقیقات پیشین برای استخراج نسبت رطوبت استفاده شده است. مدل‌های رگرسیونی تغییرات رطوبت در طی خشک شدن براساس متغیر مستقل زمان بوسیله نرم‌افزار

- Chi-square 1
- Root Mean Square Error²

Two term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Bucklin, Endan, and Wratten (1985) Sharaf-Eldeen, Blaisdell, and Spagna (1980), Yaldız et al. (2001), Yaldız and Ertekin (2001)
Wang and Singh Thompson	$MR = 1 + at + bt^2$ $t = a \ln(MR) + b[\ln(MR)]^2$	Ozdemir and Devres (1999), Wang and Singh (1978) Paulsen and Thompson (1973), Thompson, Peart, and Foster (1968), Yaldız and Ertekin (2001)
Diffusion approximation Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$ $MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Kassem (1998), Yaldız and Ertekin (2001) Verma et al. (1985), Yaldız and Ertekin (2001)
Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli, Kucuk, and Yapar (2002)

جدول (۱) مدل‌های رگرسیون خشک شدن توده بستر نازک مورد استفاده در مدل‌سازی

مرجع	مدل #	نام مدل	دیف
Westerman, et al., 1973	## $M = \exp(-kt)$	Newton (N)	۱
1977, Guarte, 1996	$M = \exp(-kt^n)$	Page (P)	۲
Overhults, et al., 1973; Yaldız et al., 2001	$M = \exp[-(kt)^n]$	Modified Page(1) (MP1)	۳
Westerman et al., 1973; Yagcioglu et al., 1999	$M = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (HP)	۴
Yaldız and Ertekin, 2001	$M = a \exp(-kt) + c$	Logaritmic (LG)	۵
Henderson, 1974; Rahman et al., 1998	$M = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Two term (TT)	۶

#M: رطوبت (d.b.)، t: زمان (min) و a، b و c، ضرایب h، g، k و m، ثابت‌های مدل است. ## در منابع MR است.

نتایج و بحث

رطوبت اولیه ذرت در طی آزمایش ۳۰٪ و مدت خشک کردن ۷۲۰ دقیقه طور کشید. با توجه به رطوبت توده در طی خشک شدن آزمایشگاهی ذرت در دماهای متفاوت، از چهارده مدل (جدول ۱-۲) برای برازش منحنی خشک شدن در دامنه دمای خشک کن 30°C تا 70°C استفاده شد. مقادیر ضرایب و ثابت‌های ۶ مدل پیشنهادی در جداول ۳ تا ۵ آورده شده است. مدل‌های ۱، ۲، و ۳ جدول ۱ برازش خوبی با داده های آزمایشگاهی نداد و ضریب تعیین مدل‌های مذکور کمتر از ۱۰٪ بود که از تحلیل این مدل‌ها صرف نظر شد.

مقایسه منحنی خشک کردن براساس داده های پیش بینی شده توسط مدل‌های و داده های آزمایشگاهی در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. با توجه به اشکال مذکور مدل‌های ۳، ۴، داده

های پیش بینی مقادیر بیشتری نسبت به داده های آزمایشگاهی برآورد کردند و مدل‌های ۶ بسیار نزدیک به داده های آزمایشگاهی پیش بینی کردند. با توجه به مقادیر R^2 ، $RMSE$ و مدل‌های رگرسیونی مختلف ارزیابی شد و معیار مدل بهتر، مقدار بیشتر R^2 و مقدار کمتر $RMSE$ بود. ضریب تعیین مدل‌ها برای دمای 30°C براساس مقادیر صعودی ۰/۹۸۷۹۷، ۰/۹۲۹۶۶، ۰/۰۳۰۳۰۳ و ۰/۰۳۰۳۰۳ که به ترتیب مربوط به مدل‌های ۴، ۵، ۶ بود و برای دماهای دیگر نیز ترتیب صعودی ضرایب تعیین تغییر نکرد. شاخص ارزیابی $RMSE$ براساس مقادیر نزولی ۰/۰۰۹۰۲، ۰/۰۰۳۷۳ و ۰/۰۰۲۲۵ بدست آمد که به ترتیب مربوط به مدل‌های ۴، ۵، ۶ و برای شاخص ارزیابی R^2 نیز به ترتیب نزولی مربوط به مدل‌های ۴، ۵، ۶ بود. در نتیجه براساس سه شاخص مدل ۶ از مدل‌های دیگر بهتر بود.

جدول (۳) مقادیر ثابتهای و ضرایب مدل رگرسیونی (۴) به تفکیک دمای خشک کن

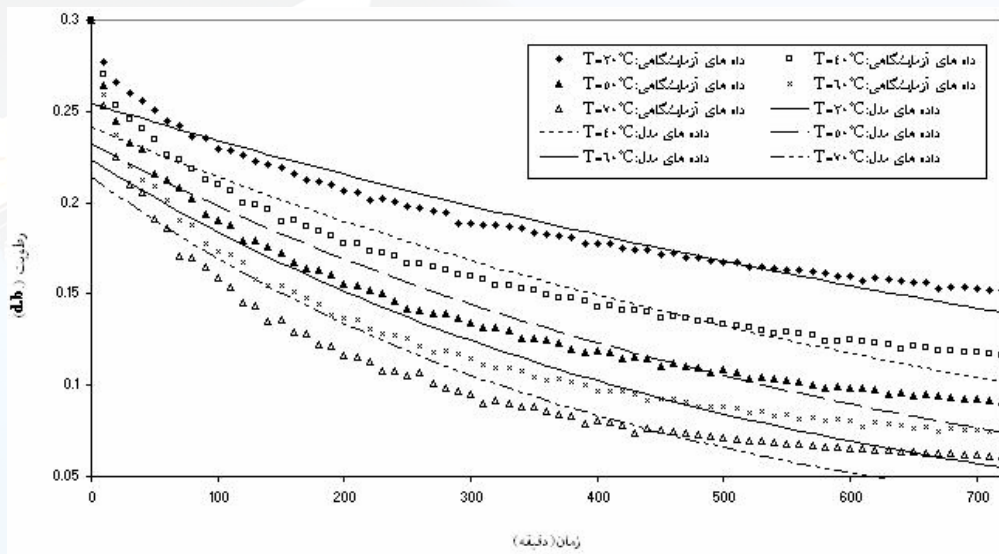
X^2	RMSE	R^2	K	A	دما (°C)
۰/۰۰۰۰۸۳۷	۰/۰۰۹۰۲۱۹۲۵	۰/۹۲۹۶۶	۰/۰۰۰۸۳	۰/۲۵۴۳۱۹	۳۰
۰/۰۰۰۰۱۳۴	۰/۰۱۱۳۹۶۳۲۵	۰/۹۲۳۱۹	۰/۰۰۱۲۰	۰/۲۴۱۲۳۸	۴۰
۰/۰۰۰۰۱۷۵	۰/۰۱۳۰۴۲۱۸۷	۰/۹۱۹۵۸	۰/۰۰۱۵۸	۰/۲۳۱۹۷۳	۵۰
۰/۰۰۰۰۲۲۳	۰/۰۱۴۷۱۲۷۴۴	۰/۹۰۸۶۹	۰/۰۰۱۹۵	۰/۲۲۳۴۸۹	۶۰
۰/۰۰۰۰۲۸۶	۰/۰۱۶۶۸۱۷۳۸۷	۰/۸۸۱۳۲	۰/۰۰۲۳۶	۰/۲۱۴۱۵۷	۷۰

جدول (۴) مقادیر ثابتهای و ضرایب مدل رگرسیونی (۵) به تفکیک دمای خشک کن

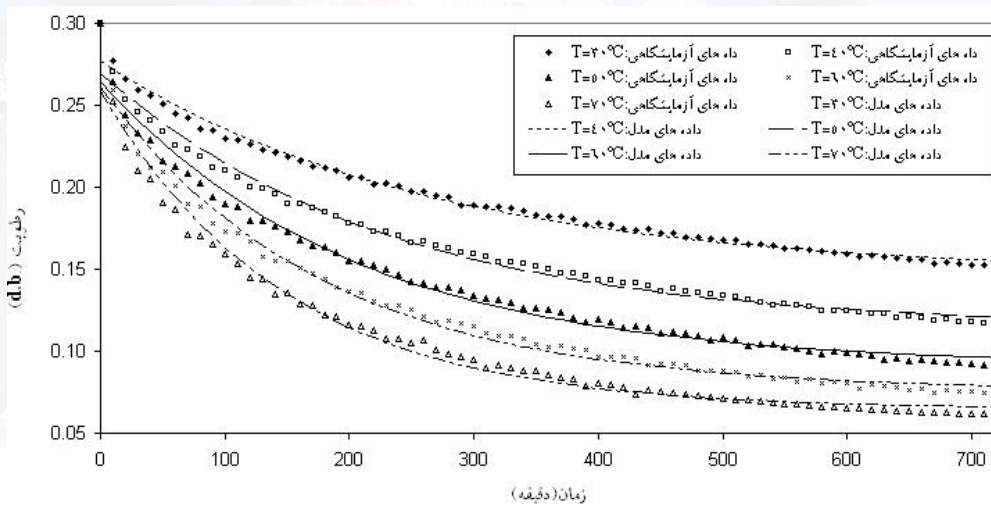
X^2	RMSE	R^2	C	K	A	دما (°C)
۰/۰۰۰۰۱۴۵	۰/۰۰۳۷۳۱۲۳۸	۰/۹۸۷۹۷	۰/۱۴۶۸۳۲	۰/۰۰۳۷۹۵	۰/۱۲۹۸۶۵	۳۰
۰/۰۰۰۰۲۴۲	۰/۰۰۴۸۱۷۵۱۲	۰/۹۸۶۲۷	۰/۱۱۴۳۸۳	۰/۰۰۴۳۴۸	۰/۱۵۵۳۹۴	۴۰
۰/۰۰۰۰۳۳۶	۰/۰۰۵۶۷۷۲۵۷	۰/۹۸۴۷۶	۰/۰۹۰۹۳۳	۰/۰۰۴۹۱۴	۰/۱۷۳۶۴۷	۵۰
۰/۰۰۰۰۴۱۳	۰/۰۰۶۲۸۹۵۵۴	۰/۹۸۳۳۱	۰/۰۷۵۸۳۹	۰/۰۰۵۶۶۵	۰/۱۸۵۲۱۵	۶۰
۰/۰۰۰۰۴۶۹	۰/۰۰۶۷۰۵۰۸۵	۰/۹۸۱۹۷	۰/۰۶۴۶۰۴	۰/۰۰۶۷۸۸	۰/۱۹۴۱۶۴	۷۰

جدول (۵) مقادیر ثابتهای و ضرایب مدل رگرسیونی (۶) به تفکیک دمای خشک کن

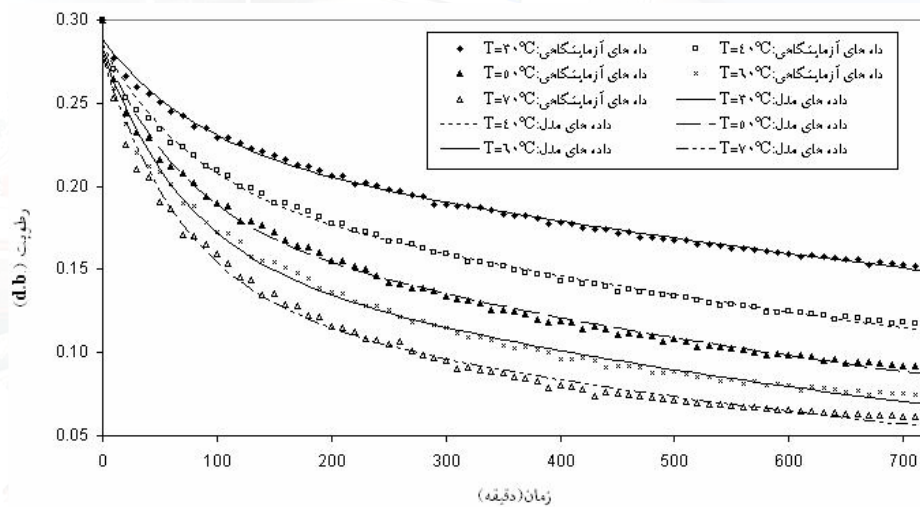
X^2	RMSE	R^2	$k1$	b	$k0$	a	دما (°C)
۰/۰۰۰۰۰۵۳	۰/۰۰۲۲۵۵۲۷	۰/۹۹۵۶۰	۰/۰۰۰۵۶۴	۰/۲۲۳۷۱۳	۰/۰۱۲۱۸۱	۰/۰۶۴۴۵۲	۳۰
۰/۰۰۰۰۰۸۸	۰/۰۰۲۸۹۲۸۵۶	۰/۹۹۹۵۰	۰/۰۰۰۷۹۶	۰/۲۰۰۳۹۸	۰/۰۱۳۲۰۷	۰/۰۸۴۷۷۹	۴۰
۰/۰۰۰۰۱۳۶	۰/۰۰۳۵۷۹۶۸۸	۰/۹۹۳۹۴	۰/۰۰۱۰۳۳	۰/۱۸۲۳۹۰	۰/۰۱۴۱۸۰	۰/۱۰۰۴۸۳	۵۰
۰/۰۰۰۰۱۸۵	۰/۰۰۴۱۸۴۸۱	۰/۹۹۲۶۱	۰/۰۰۱۱۹۲	۰/۱۶۲۴۹۵	۰/۰۱۴۵۰۲	۰/۱۱۸۰۱۴	۶۰
۰/۰۰۰۰۲۳۱	۰/۰۰۴۶۶۹۴۰۵	۰/۹۹۱۲۶	۰/۰۰۱۲۵۹	۰/۱۳۷۷۱۵	۰/۰۰۶۷۸۸	۰/۱۴۰۰۵۷	۷۰



شکل (۱) - مقایسه منحنی خشک شدن براساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل HP



شکل (۲) - مقایسه منحنی خشک شدن براساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل LG



شکل (۳) - مقایسه منحنی خشک شدن براساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل TT

نتیجه گیری

۵- مدل‌های چندگانه TT نتایج بهتری در برازش داده های تغییرات رطوبت در طی خشک کردن توده بستر نازک نشان دادند.

۶- مدل چندگانه TT با $R^2=0/995334$ ،
و $\chi^2=1/36E-05$
RMSE=0/003692 داده های تغییرات رطوبت در طی خشک شدن را پیش بینی می کند.

۱- با افزایش دمای خشک کردن نرخ خشک کردن نیز افزایش می یابد.

۲- خشک کردن ذرت رقم ۷۰۴ در مرحله نرخ کاهنده خشک کردن انجام گرفت.

۳- مدل‌های (TT)، (LG) و (HP) به ترتیب خشک شدن توده بستر نازک ذرت رقم ۷۰۴ با متغیر مستقل زمان خشک کردن بهتر برازش می کنند.

۴- مدل T خشک کردن توده بستر نازک ذرت رقم ۷۰۴ را مناسب تر از مدل‌های دیگر مدلسازی کرد.

منابع

- خوش تقاضا، م. ه و سلیمانی، ه (۱۳۷۸). تأثیر پارامترهای خشک کردن بر خصوصیات کیفی و شکنندگی برنج. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال پنجم. شماره ۲۰: ۶۲-۴۹.
- خوشحال، م و مینایی، س (۱۳۸۰). تعیین روابط بین پارامترهای موثر در فرآیند خشکاندن شلتوک (برنج) به روش مداوم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۸ (۳): ۱۳۳-۱۲۳.
- راشد محصل م. ح، حسینی م.، عبدی م. و ملافیلابی ع. ۱۳۸۰. زراعت غلات. ترجمه و تدوین نویسنده استاسکوف ن. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص. ۲۸۰ و ۴۰۶.
- Akpinar, E.K., Y. Bicer and C. Yildiz. 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*. 59: 99-104.
- ASAE. 1982. Moisture measurement: grain and seeds. ASAE Standard S352. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI 49085, USA
- Chittenden, D. H. and Hustrulid, A. 1966. Detremining drying constant for shelled corn. *Transactions of the ASAE*. 9(1): 52-55.
- Ertekin, C. and O. Yaldiz. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*. 63: 349-359.
- Gastón, A.L., R.M. Abalone, S.A. Giner and D.M. Bruce. 2004. Effect of Modelling Assumptions on the Effective Water Diffusivity in Wheat. *Biosystems Engineering*. 88 (2): 175-185.
- Giner, S.A. and R.H. Mascheroni. 2002. Diffusive Drying Kinetics in Wheat, Part 2: Potential for a Simplified Analytical Solution. *Biosystems Engineering*. 81(1): 85-97.
- Guarte, R.C. 1996. Modelling the drying behaviour of copra and development of a natural convection dryer for production of high quality copra in the Philippines. Ph.D. dissertation, 287. Hohenheim University, Stuttgart, Germany.
- Haghighi K; Segerlind L J (1988). Modeling simultaneous heat and mass transfer in an isotropic sphere a finite element approach. *Transactions of the ASAE*, 31(2), 629-637
- Henderson, S.M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*. 17: 1167-1172.
- Hustrulid, A. and Flikke, A. M. 1959. Theoretical drying curve for shelled corn. *Transactions of the ASAE*. 2(1):112-114.
- Lewis, W. K. 1921. The rate of drying of solid materials. *Journal of Industrial Engineering*. 13(2): 427-432.
- Mishra, M.K. and D.B. Brooker. 1980. Thin-layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. *Transactions of ASAE*. 23: 1254-1260.
- Page, G. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M.Sc. Thesis, Purdue University, Lafayette.
- Perry, J. H. 1963. *Chemical Engineering's Handbook*. New York: McGraw Hill Book Co.
- Poehlman, J.M. 1959. *Breeding Field Crops*. Henry Holt and Company, Inc. New York. 427 pp.
- Rahman, M. S., Perera, C. O., & Thebaud, C. (1998). Desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas. *Food Research International*, 30(7), 485-491.
- Thompson, T.L., R. M. Peart and Foster, G. H. 1968. Mathematical simulation of corn drying: A new model. *Transactions of the ASAE*. 11(4):582-586.
- Westerman, P. W., White, G. M., & Ross, I. J. (1973). Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. *Transactions of the ASAE*, 16, 1136-1139.
- Yagcioglu, A., A. Degirmencioglu and F. Cagatay. 1999. Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In: A. Bascetincelik (Ed.), *Proceedings of the 7th*

international congress on agricultural mechanization and energy (pp. 565–569), Adana, Turkey: Faculty of Agriculture, Çukurova University.

Yaldiz, O. and C. Ertekin. 2001. Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*. 19: 583-596.

Yaldiz, O., C. Ertekin and H.I. Uzun. 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*. 26: 457–465.

Abstract

The corn after wheat and rice is the most important food in all over the world. The major objective in drying food products is the reduction of the moisture content to a level, which allows safe storage over an extended period. The first stage, thin layer drying need to estimate for predicting moisture content of corn. The thin layer drying behaviour of corn is experimentally investigated in a convective dryer and the mathematical modelling by using thin layer drying models in literature is performed. Drying experiments were conducted at inlet temperatures of drying air of 30, 40, 50, 60, 70 C and four replications with initial moisture content 0.3 d.b. During the drying the weight of sample determined by digital balance for calculating of moistue content corn. Weighing intervals of the drying samples were 10 min. drying was continued the final moisture samples reached approximately 11% (w.b.). Drying curves obtained from the experimental data were then fitted to the different semitheoretical and/or empirical thin layer drying models. The increased r^2 and the reduced x^2 and root mean square error (RMSE) were used as the primary criterion to select the best equation to account for variation in the drying curves of the dried samples. The effects of time on the moisture content were investigated by the different equations as Newton(N), Page(P), Modified Page(MP), Henderson and Pabis(HP), Logaritmic(LG), Two term(TT). Newton, Page, Modified Page, models were insufficient for prediction of moisture content of corn during drying. Among these models, the Two term gave the best results and showed good agreement with the experimental data obtained.