

سینتیک خشک کردن سویا رقم ویلیامز

شاهین رفیعی^۱، مهدی کاشانی نژاد^۲

چکیده

در این تحقیق، سینتیک خشک شدن بستر نازک سویا (رقم ویلیامز) مدلسازی شد. برای این منظور از خشک کن آزمایشگاهی استفاده گردید. 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 30% (بر پایه وزن خشک) تا دمای مورد نظر خشک شد. نسبت رطوبت توده با وزن کردن نمونه‌ها در طی فرآیند خشک کردن محاسبه شد. پنج مدل بر داده‌های آزمایشی برازش داده شد و کیفیت برازش آنها برحسب سه پارامتر ضریب تعیین (R^2) مربع کای (χ^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها ($RMSE$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تابعیت ضرایب و ثابتهای مناسبترین مدل آماری برازش یافته از درجه حرارت، مشخص و در مدل نهایی وارد گردید. از روش رگرسیون چندگانه برای شبیه‌سازی سینتیک خشک شدن توده در دماهای متفاوت خشک کن بر اساس مدل پیچ استفاده گردید که ضریب تعیین، مربع کای و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها مدل به ترتیب $99\%/68$ ، $0/0001$ و $0/0116$ بود که برای تخمین تغییرات نسبت رطوبت در طی خشک کردن مناسب است.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی آماری، سینتیک خشک شدن، سویا، رگرسیون چندگانه

^۱ - استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سویا یکی از مهمترین دانه های روغنی در بازار جهانی می باشد (Duarte et al., 2004) و محصولی است که معمولاً هنگام برداشت دارای رطوبت بیش از رطوبت مناسب انبارداری می باشد لذا خشک کردن مصنوعی یکی از روشهای کاهش رطوبت این محصول می باشد. برای دست یابی به این هدف باید خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی را مدلسازی نمود تا بتوان بر اساس الگوی بدست آمد از مدل، روند خشک شدن محصول را پیش بینی کرد. هدف از استخراج مدل خشک شدن محصولات کشاورزی، پیش بینی نحوه خشک شدن محصولات می باشد (Giner and Bruc, 1998). محققان زیادی در تدوین مدل های خشک کردن به روش جایجایی طبیعی و اجباری هوا در محصولات فعالیت نموده اند (Diamante and Munro, 1993; Ratti and Mujumdar, 1997).
خیساندن و خشک کردن گامهای مهمی در مراحل انبارداری و فرآوری دانه ها می باشد (Soponronnarit et al., 2001). علوم سینتیک خشک کردن سویا برای کنترل کیفیت دانه در مدت خشک کردن ضروری است. روش مدلسازی بستر نازک برای شرح تغییرات رطوبت که تابعی از زمان و شرایط خشک کن کافی می باشد. Wiriyaumpaiwong و همکاران در سال ۲۰۰۳ نشان دادند که سینتیک خشک شدن سویا در خشک کن با بستر فواره دو بعدی شبیه خشک شدن بستر نازک است. معمولاً فرض بر آن است که مکانیزم جریان داخلی دانه براساس پخش است که نیروی محرکه آن تمرکز گرادیان رطوبت در دانه است. چندین تئوری برای شرح حرکت رطوبت در داخل مواد جامد وجود دارد (Fortes and Okos, 1980). مدل پخش را می توان به صورت ساده² شده براساس مدل Luikov برای خشک کردن

مواد متخلخل استفاده نمود (Luikov, 1966). تجزیه و تحلیل سینتیک خشک شدن دانه براساس مدل پخش بوسیله تعدادی از محققان انجام شده است که برای مثال می توان به (Walton et al. (1988), Jayas et al. (1991), Tolaba et al. (1997), Pabis et al. (1998), Giner and Mascheroni (2001), and Gasto' n et al. (2002) اشاره کرد. تعدادی از فرضیات ساده سازی مثل ثابت بودن پخش موثر نسبت به رطوبت و صرف نظر کردن مقاومت انتقال جرم از سطح دانه (یعنی فرض می شود که سطح ماده به طور آنی به رطوبت تعادلی می رسد).

معادلات پخش معمولاً براساس فرضیه ساده سازی همگن بودن دانه استفاده می شوند. در سال ۱۹۸۶ Walton و Casada معادله پخش سلولی براساس ساختار سلولی غیر همگن مواد برگری شکل را بیان کرد. این مدلها مقاومتهای مختلف در برابر انتشار رطوبت در مواد بیولوژی براساس اجازه مقاومت محدود در برابر رطوبت در سطح دانه شرح می دهند. انتشار تک سلولی براساس مدل خشک شدن برای محدود گسترده ای از داده های خشک شدن برای ذرت پوست کنده بوسیله Walton و همکاران در سال ۱۹۸۸ بکار رفت و دریافتند که برازش مدل بهتر از مدل Page بوده است. Osborn و همکاران در سال ۱۹۹۱ این مدل را برای تعداد محدودی از حالت های جذب سطحی رطوبت در سویا بکار برد و گزارش داد که مدل Page به طور جزئی بهتر داده های آزمایشگاهی را نسبت به مدل انتشار سلولی برازش کرده است. با خشک شدن سویا در محدوده دمای خشک کن 10°C تا 40°C نیز که توسط Osborn و همکاران در سال ۱۹۹۱ انجام شد مدل Page داده های آزمایشگاهی را کمی بهتر از مدل انتشار سلولی برازش داد.

Overhulst و همکاران در سال ۱۹۷۳ از مدل اصلاح شده Page برای شرح خشک شدن سویا استفاده کردند. Hutchinson and Otten, 1983 برای برازش داده های

آزمایشگاهی خشک شدن سویا از مدل دو جمله ای استفاده کردند. Kitic و Viollaz در سال ۱۹۸۱ انرژی فعالسازی سویا را $28/8 \text{ kJ/mol}$ گزارش داد.

در این تحقیق مدل تعییرات رطوبت در طی خشک شدن توده بستر نازک سویا رقم ویلیامز بر اساس پنج مدل استاندارد برازش داده شد و بهترین مدل، مبنای مدلسازی خشک شدن دانه سویا براساس رگرسیون چندگانه قرار گرفت.

مواد و روشها

برای انجام آزمایش از دستگاه خشک کن آزمایشگاهی توده بستر نازک استفاده شد (Rafiee, et al. 2005). برای خشک کردن سویا از رقم ویلیامز استفاده شد. آزمایش در پنج سطح دما (30°C ، 40°C ، 50°C ، 60°C و 70°C) انجام گرفت و برای هر سطح دما، چهار تکرار انجام شد. در نتیجه ۵ نمونه 400 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 می شود. برای یکنواخت شدن رطوبت توده، نمونه طی 72 ساعت در داخل یخچال در دمای 10°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 400 گرمی به چهار زیر نمونه مساوی (100 گرمی) تقسیم شد. در نتیجه تعداد 20 نمونه آماده گردید. از هر نمونه 30 گرم برای اندازه گیری رطوبت اولیه توده برداشته شد و متوسط رطوبت کلیه نمونهها تقریباً $0/30$ (بر پایه وزن خشک،

d.b.) محاسبه شد. برای هر سطح دما چهار نمونه مشابه 70 گرمی تحت شرایط یکسان خشک شد. برای بدست آوردن رطوبت، نمونه وزن شده و در اجاق برقی با دمای 130°C در طی 24 ساعت کاملاً خشک و دوباره وزن شد. از محاسبه تفاضل این دو وزن تقسیم بر وزن خشک نمونه، رطوبت بدست می آید (ASAE, 1982).

خشک کردن تا زمانی ادامه داشت که تغییرات رطوبت توده بسیار کم شده در نتیجه شدت خشک شدن تقریباً صفر شد و نیازی به خشک کردن تا رطوبت تعادلی نداشت (Gastón, et al., 2004; Giner and Mascheroni. 2002). رطوبت براساس وزن توده سویا که در زمانهای مختلف (برحسب دقیقه) خشک شدن اندازه گیری شد محاسبه گردید. در زمانی که باید وزن توده بدست می آمد سینی خشک کن به سرعت روی ترازوی دیجیتالی قرار داده می شد و پس از ثبت عدد نمایش داده شده توسط ترازو، بلافاصله سینی در جای خود قرار داده شده و خشک کردن ادامه می یافت. مدت هر بار وزن کردن توده تقریباً 15 ثانیه طول می کشید. زمان خشک کردن بوسیله یک کورنومتر ثبت می شد و هر بار که وزن کردن توده شروع می شد زمان متوقف شده و پس از اتمام وزن کردن توده زمان ثبت می گردید (Ertekin and Yaldiz, 2004).

مدلهای منحنی سینتیک خشک شدن توده بستر نازک سویا بر اساس مدل‌های توصیه شده توسط محققینی که در این زمینه کار کرده اند انتخاب گردید و در جدول (۱) آورده شده است. مدلها رگرسیونی تغییرات نسبت رطوبت در طی خشک شدن براساس متغیر مستقل زمان بوسیله نرم افزار SPSS استخراج شد. از سه معیار ضریب تعیین (r^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه متوسط

3

مربع خطای داده‌ها (RMSE) 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)

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

(۲)

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

که $M_{\text{exp},i}$ رطوبت سویا مشاهده شده در i امین اندازه‌گیری، $M_{\text{pre},i}$ رطوبت سویا 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 مدلها جدول (۱) در ماههای مختلف به روش رگرسیون محاسبه گردید. برای هر مدل، با توجه به مقادیر مختلف ضرایب و ثابتهای، مدل ضرایب و ثابتها براساس متغیر مستقل دمای خشک کن بدست آمد که در نهایت رگرسیون چندگانه برای هر مدل استخراج شد. براساس شاخصهای ارزیابی، مدل مناسب تر مشخص شد. در مدل رگرسیون چندگانه، رطوبت متغیر وابسته و زمان خشک کردن (بی واسطه) و دمای خشک کن (با واسطه) متغیر مستقل است. البته دمای خشک کن (بی واسطه) متغیر مستقل برای ضرایب و ثابتهای مدل است.

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

ردیف	نام مدل	مدل #	مرجع
۱	Newton (N)	$MR = \exp(-kt)$	Westerman, et al., 1973
۲	Page (P)	$MR = \exp(-kt^n)$	Guarte, 1996
۳	Two term (TT)	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson, 1974; Rahman et al., 1998
۴	Two Term Exponential (TTE)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Yaldız et al., 2001
۵	Diffusion Appromixation (DA)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Yaldız and Ertekin, 2001

#-MR: نسبت رطوبت، t: زمان (min) n, a و b, ضرایب k, k₀ و k₁, ثابت‌های مدل است.

نتایج و بحث

رطوبت اولیه سویا هنگام شروع خشک کردن ۳۰٪ (d.b.) بود. با توجه به رطوبت توده در طی خشک شدن آزمایشگاهی سویا در دماهای متفاوت، از مدل‌های جدول (۱) برای برازش منحنی خشک شدن در دامنه دمای خشک کن ۳۰ °C تا ۷۰ استفاده شد. ضرایب و ثابت‌های مدل‌های مورد بررسی در جداول ۲-۶ آورده شده است. با توجه به مقادیر r^2 ، χ^2 و RMSE، مدل‌های رگرسیونی مختلف N، TTE، P، DA و TT جدول (۱) به ترتیب تغییرات رطوبت در طی خشک کردن را بهتر برازش کرد به طوری که ضریب تعیین متوسط چهار مدل به ترتیب عبارت از ۸۶/۹۶٪، ۹۴/۸۹٪، ۹۹/۷۴٪ و ۹۹/۷۴٪ و

۹۹٪/۷۷ و RMSE به ترتیب ۰/۰۶۸۹، ۰/۰۴۲۹۷، ۰/۰۰۹۷، ۰/۰۰۰۹۶ و ۰/۰۰۹۰ و χ^2 به ترتیب ۰/۰۰۴۹، ۰/۰۰۱۹، ۰/۰۰۰۱ و ۵-۹/۸E و ۵-۸/۹E بود. در نتیجه بهترین مدلی که منحنی سینتیک خشک شدن را به تفکیک دماها می تواند برازش کند مدل دو جمله ای نمایی (TT) بود. مدل رگرسیونی ضرایب و ثابت‌های پنج مدل براساس متغیر مستقل دما برازش داده شد و با قرار دادن مدل‌های ضرایب و ثابت‌ها در مدل‌های رگرسیونی خشک شدن، مدل رگرسیون چندگانه خشک شدن برای هر پنج مدل جدول (۱) بدست آمد. که نتایج ارزیابی مدل‌ها رگرسیون چندگانه در جدول (۷) آورده شده است.

جدول (۲) مقادیر ثابت و ضریب مدل رگرسیونی N به تفکیک دمای خشک کن

دما (°C)	k	r^2
۳۰	۰/۰۰۲۷۶	۰/۸۴۱۶
۴۰	۰/۰۰۲۹۲	۰/۸۴۹۵
۵۰	۰/۰۰۳۴۶	۰/۸۶۳۳
۶۰	۰/۰۰۴۰۳	۰/۸۷۰۶
۷۰	۰/۰۰۵۶۶	۰/۹۲۲۹

جدول (۳) مقادیر ثابت و ضریب مدل رگرسیونی P به تفکیک دمای خشک کن

دما (°C)	k	n	r^2
۳۰	۰/۰۲۶۸۵	۰/۶۱۳۲۲	۰/۹۹۶۵
۴۰	۰/۰۲۷۲۸	۰/۶۱۸۳۶	۰/۹۹۸۲
۵۰	۰/۰۲۹۶۰	۰/۶۲۷۸۶	۰/۹۹۸۲
۶۰	۰/۰۳۲۶۲	۰/۶۳۱۸۲	۰/۹۹۷۶
۷۰	۰/۰۳۱۶۸	۰/۶۸۲۶۵	۰/۹۹۶۶

جدول (۴) مقادیر ثابت و ضرایب مدل رگرسیونی TT به تفکیک دمای خشک کن

دما (°C)	A	K_0	B	K_1	r^2
۳۰	۰/۲۵۲۳۱	۰/۰۲۴۷۱	۰/۷۱۹۷۲	۰/۰۰۱۷۷	۰/۹۹۵۶
۴۰	۰/۲۶۳۵۹	۰/۰۲۲۷۳	۰/۷۰۵۱۲	۰/۰۰۱۸۴	۰/۹۹۷۹
۵۰	۰/۶۹۶۲۲	۰/۰۰۲۲۲	۰/۲۷۴۷۸	۰/۰۲۷۲۴	۰/۹۹۸۰
۶۰	۰/۶۸۶۲۵	۰/۰۰۲۵۹	۰/۲۹۳۰۴	۰/۰۳۳۲۰	۰/۹۹۸۳
۷۰	۰/۷۰۱۳۶	۰/۰۰۳۸۵	۰/۲۸۵۸۱	۰/۰۴۵۶۰	۰/۹۹۸۶

نوسان ضرایب و ثابت‌ها مدل رگرسیون این مدل برازش خوبی با داده های آزمایشگاهی با در نظر

با اینکه مدل TT داده های خشک شدن را به تفکیک دماها بهتر شبیه سازی کرد ولی به علت

مدلهای TT، N، PP، DA و P به ترتیب مدل سینتیک بهتری را شبیه سازی می کنند بطوری که ضریب تعیین مدلها به ترتیب ۰/۶۸۴۲، ۰/۹۶۰۴، ۰/۹۹۰۴، ۰/۹۹۶۸ و ۰/۹۹۶۸ بود. البته با توجه به اینکه شاخصهای ارزیابی مدل برای هر دو مدل DA و P تقریباً یکسان بود. مدل P بعلاوه ضرایب و ثابتهای کمتر انتخاب شد.

گرفتن متغیرهای مستقل زمان و دما ارایه نداد. بنابراین مدل رگرسیون چندگانه حاصل از مدل TT مناسب نیست. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول (۷) مدل P و DA بهتر از مدل‌های دیگر نسبت رطوبت را براساس دو متغیر مستقل زمان خشک شدن و دمای خشک کن پیش بینی می کند و مدل TT برای استخراج مدل رگرسیونی چندگانه از مدل‌های دیگر نامناسب تر است.

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

دما (°C)	a	K	r ²
۳۰	۰/۱۷۱۲۰	۰/۰۱۳۰۹	۰/۹۳۵۹
۴۰	۰/۱۷۵۷۱	۰/۰۱۳۴۷	۰/۹۴۱۰
۵۰	۰/۱۸۶۸۶	۰/۰۱۴۹۹	۰/۹۴۶۵
۶۰	۰/۱۹۵۱۵	۰/۰۱۶۷۲	۰/۹۴۸۴
۷۰	۰/۲۰۵۸۱	۰/۰۲۲۲۱	۰/۹۷۲۷

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

دما	k	a	b	r ²
۳۰	۰/۰۳۰۴۳	۰/۲۷۰۴۳	۰/۰۵۹۰۰	۰/۹۹۵۳
۴۰	۰/۰۲۸۱۲	۰/۲۸۳۶۰	۰/۰۶۶۷۳	۰/۹۹۷۴
۵۰	۰/۰۳۲۹۳	۰/۲۹۴۰۲	۰/۰۶۸۳۵	۰/۹۹۷۷
۶۰	۰/۰۳۷۲۹	۰/۳۰۰۸۴	۰/۰۷۰۰۷	۰/۹۹۸۱
۷۰	۰/۰۴۸۸۴	۰/۲۹۵۶۸	۰/۰۷۹۱۶	۰/۹۹۸۶

جدول (۷) معیار ارزیابی مدل‌های رگرسیونی خشک شدن توده بستر نازک سویا براساس جدول (۱)

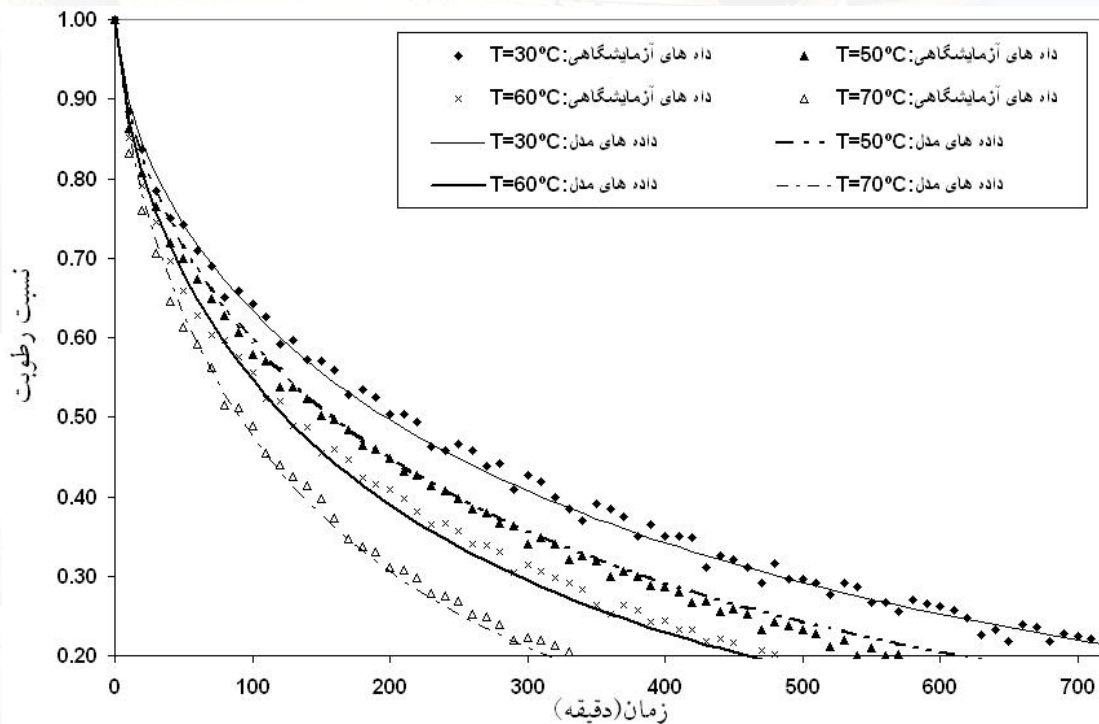
معیارهای ارزیابی	N	P	TT	TTE	DA
r ²	۰/۹۶۰۴	۰/۹۹۶۸	۰/۶۸۴۲	۰/۹۹۰۴	۰/۹۹۶۸
χ ²	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۲۸	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱
RMSE	۰/۰۷۴۹	۰/۰۱۱۶	۰/۱۵۰۱	۰/۰۴۳۶	۰/۰۱۱۶

براساس تجزیه و تحلیل مدل رگرسیونی، با قرار دادن ضرایب و ثابتها به صورت تابعی از دمای خشک کن، مدل نهایی خشک شدن سویا رقم ویلیامز براساس مدل پیچ بدست می آید:

(۳)

رطوبت توده بستر نازک بدست آمده براساس مدل رگرسیون چندگانه (معادله ۳) و رطوبت توده حاصل از آزمایش در دمای خشک کن 30°C ، 50°C ، 60°C و 70°C در طی خشک شدن در شکل (۱) نمایش داده شده است. برای جلوگیری از شلوغ شدن نمودار، تنها منحنی مربوط به دمای 30°C در شکل دیده می شود منحنی برازش داده شده با داده های آزمایشگاهی نزدیک است. با توجه به شکل (۱) مدل سینتیک خشک شدن توده بستر نازک سویا برای دماهای 30°C ، 60°C و 70°C کمتر از داده های آزمایشگاهی و برای دمای 50°C بیشتر از داده های آزمایشگاهی پیش بینی نموده است.

مدل ارایه شده را می توان برای تخمین رطوبت توده در هر زمان در طی خشک کردن با دقت تخمین مناسب استفاده نمود. سازگاری مدل با داده های آزمایشگاهی و رابطه بین ضرایب و دمای خشک کن براساس شاخصهای ارزیابی و $r^2 = 99\%/168$ ، $RMSE = 0/116$ و $\chi^2 = 0/0001$ مورد قبول است.



شکل (۳) مقایسه منحنی خشک شدن براساس داده های آزمایشگاهی و مدل P

نتیجه گیری

۱- منحنی خشک شدن توده بستر نازک سویا ویلیامز برای هریک از دماهای خشک کن °C ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ براساس پنج مدل TTE ، TT ، P ، N و DA با تخمین قابل قبولی بر داده های آزمایشگاهی برازش داده شد.

۲- مدل رگرسیونی با متغیر مستقل زمان به تفکیک دمای خشک کن براساس مدل TT بهتر از بقیه مدلها، داده های آزمایشگاهی را برازش نمود.

۳- مدل رگرسیونی چندگانه خشک شدن سویا رقم ویلیامز بوسیله مدل پیچ با دو متغیر زمان خشک شدن و دمای خشک کن با دقت خوبی بر داده های آزمایشگاهی برازش داده شد.

منابع

- ASAE. 1982. Moisture measurement: grain and seeds. ASAE Standard S352. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI 49085, USA
- Duarte, C.R., Murata, V.V., Barrozo, M.A.S., 2004. The use of a population balance model in the study of inoculation of soybean seeds in a spouted bed. Canadian Journal of Chemical Engineering 82, 116–121.
- 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.
- Fortes, M., Okos, M.R., 1980. Drying theories: their bases and limitations as applied to food and grains. In: Mujundar, A.S. (Ed.), Advances in Drying. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, pp. 119–154.
- Luikov, A.V., 1966. Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies. Pergamon Press, London, UK.
- Jayas, D.S., Cenkowski, S., Pabis, S., Muir, W.E., 1991. Review of thin layer drying and wetting equations. Drying Technology 9, 551–588.
- Gastón, A.L., Abalone, R.M., Giner, S.A., 2002. Wheat drying kinetics. Diffusivities for sphere and ellipsoid by finite elements. Journal of Food Engineering 52, 313–322.
- 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): 85d97.
- Giner, S.A., and D.M. Bruce. 1998. Two-dimensional model of steady-state mixed-flow grain drying. Part 2: Experimental validation. Journal of Agricultural Engineering Research (71): 51–66.
- Diamante, L.M. and P.A. Munro. 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slice. Solar Energy. 51: 271-276.
- Ratti, C. and A.S. Mujumdar. 1997. Solar drying of foods: modeling and numerical simulation. Solar Energy. 60: 151-157.

- Giner, S.A., Mascheroni, R.H., 2001. Diffusive drying kinetics in wheat. Part 1: Potential for a simplified analytical solution. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80, 351–364.
- 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.
- Henderson, S.M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*. 17: 1167–1172.
- Kitic, D., & Viollaz, P. E. (1984). Comparison of drying kinetic of soybeans in thin layer and fluidized beds. *Journal of Food Technology*, 19, 399–408.
- Hutchinson, D. and L. Otten. 1983. Thin layer air drying of soybeans and white beans. *Journal of Food Technology*. 18: 507–524.
- Osborn, G. S., G. M. White, and L. R. Walton. 1991. Thin-layer moisture adsorption equation for soybeans. *Trans. ASAE* 34(1): 201–206.
- Overhults, D. G., I. J. Ross, G.M. White, and H. E. Hamilton. 1973. Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE* 16:112–113.
- Pabis, S., Jayas, D.S., Cenkowsky, S., 1998. *Grain Drying – Theory and Practice*. Wiley, New York, USA.
- 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.
- Ratti, C. and A.S. Mujumdar. 1997. Solar drying of foods: modeling and numerical simulation. *Solar Energy*. 60: 151-157.
- Soponronnarit, S., Swasdisevi, T., Wetchacama, S., Wutiwiwatchai, W., 2001. Fluidised bed drying of soybeans. *Journal of Stored Products Research* 37, 133–151.
- Tolaba, M.P., Aguerre, R.J., Suarez, C., 1997. Modeling cereal grain drying with variable diffusivity. *Cereal Chemistry* 74, 842–845.
- Walton, L.R., Payne, F.A., Ross, I.J., 1988. Diffusion of moisture as a function of Fourier and Biot numbers. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31, 603–607.
- 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.
- Wiriyaumpaiwong, S., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., 2003. Soybean drying by two-dimensional spouted bed. *Drying Technology* 21, 1735–1757.
- 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

In this study, drying kinetics models of soybean (Viliamz) were compared according to their coefficient of correlation to estimate drying curves. A convective type experimental dryer was used to in this study, the thin layer drying behavior of soybean with initial moisture of %30 (d.b.). Drying experiments were conducted at inlet temperatures of drying air of 30, 40, 50, 60 and 70°C. Five different thin layer mathematical drying models were compared according to their coefficient of correlation to estimate drying curves. The effects of drying air temperature on the model constants and coefficients were predicted by regression models. Goodness of fit of the models was based on coefficient of multiple determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Chi-square (χ^2) Out of the five models considered, Page model was found to be the most suitable for describing the drying behavior of the soybean for each temperature during drying. Multiple regression method used for calculating for simulation of moisture content during drying for each temperature values with $r^2 = 99.68$, $\chi^2 = 0.0001$ and RMSE=0.0116.