شبیه‌سازی مدل سینتیک خشک کردن دانه گندم (رقم تجن)

شاهین رفیعی[1]*، یحیی مقصودلو[2]

۱- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

خشک کردن مصنوعی محصولات کشاورزی یکی از رایجترین روشهای نگهداری می‌باشد. روشهای مناسب خشک کردن،ضایعات و خسارات را در طول انبار داری کاهش داده و به اصلاح کیفیت محصول کمک می‌کند. مشخص و تحت کنترل بودن فرآیند خشک کردن در اصلاح طراحی خشک کن مهم است. لذا شبیه‌سازی روند خشک کردن محصولات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از روش اجزاء محدود برای حل عددی معادله انتقال جرم در طی خشک شدن که فرآیند خشک شدن دانه با فرض شکل دو مدل کروی و بیضوی دانه استفاده شد. فرض بر آن است که در داخل مرز دانه پخش رطوبت به صورت مایع و در مرز بصورت بخار می‌باشد. برای بررسی صحت داده های مدل شبیه سازی، توده بستر نازک گندم با پنج سطح دمای $35^{o}C$، ٤٥، ٥٠، ٦٠ و ٧٠ خشک شد. روند تغییرات نسبت رطوبت حاصل از مدل کروی و بیضوی نزدیک به داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. مدل بیضوی نسبت به مدل کروی، داده‌های آزمایشگاهی را بهتر شبیه‌سازی نموده است. کمترین و بیشترین مقدار ریشه متوسط مربعات خطا داده‌های حاصل از مدل کروی نسبت به داده‌های آزمایشگاهی به ترتیب ۰/۰۲۹۸٤ و ۰/۰٤۹۷۳ و برای مدل بیضوی نسبت به داده‌های آزمایشگاهی به ترتیب ۰/۰۰۹۷۱ و ۰/۰۲۰۱۲ بود. داده‌های مدل کروی و بیضوی با داده‌های تجربی به صورت جفتی مقایسه شد که در تمام داده‌های مدل بیضوی تفاوت معنی‌داری با داده‌های آزمایشگاهی نشان نداد.

کلیدواژگان: دانه گندم، شبیه‌سازی خشک کردن، روش اجزاء محدود، مدل سینتیک

۱- مقدمه

مطالعه انتقال جرم و حرارت در دانه به جای بررسی توده دانه کمک بهتری بر بیان فرآیند خشک کردن و اثر آن بر دانه دارد. باوجود اینکه یک دانه در توده دانه تحت تأثیر تماس با دانه های اطراف خود می‌باشد ولی شبیه‌سازی دانه می‌تواند شاخصی از خشک شدن توده باشد [۱]. دمای زیاد هوای خشک‌کننده، نرخ خشک شدن محصول و پتانسیل شکستگی دانه را افزایش می‌دهد. مدلهای سینتیک پخش رطوبت برای تفسیر پدیده خشک شدن مواد دانه‌ای یا خشک کردن توده بستر نازک محصولات کشاورزی بکارمی‌رود [۲و ۳]. دو هدف برای مدلهای خشک کردن مد نظر است که اولین هدف برازش پارامترهای موثر بر خشک کردن (مانند ضریب پخش جرم در در داخل دانه و یا در لایه نازک محصول، گرمای ویژه و ...) بر اساس داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. دومین هدف از مدل سینتیک ، پیش‌بینی منحنی خشک شدن است که مورد اخیر بیشتر برای استخراج مدل خشک کردن بستر عمیق یا برنامه شبیه سازی خشک‌کن

* مسؤول مکاتبات: E-mail: shahinrafiee@yahoo.com

Archive of SID

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

www.SID.ir

استفاده می‌گردد [٤و ٥]. در بعضی از حالتها، مدلهای پخش رطوبت[1] بر اساس اطلاعات اصلاح شده از حرکت آب در داخل دانه استخراج می‌گردد [٦].

برای دانه‌هایی مانند گندم که شکل غیر منظمی دارند، مدلسازی کار مشکلی است زیرا باید به شرایط آزمایشگاهی تعمیم داده شود و برای حل عددی باید فرضیاتی را برای ساده‌سازی مسئله در نظر گرفت که عبارت هستند از شکل دانه منظم (مانند کره یا بیضی) است، حجم دانه در طی خشک شدن ثابت است [٧و ٨]، حل مدلهای تحلیلی برای پیش بینی منحنی خشک کردن با استفاده از حل تحلیلی سریهای متناهی انجام می‌گیرد [٩، ١٠و ١١] و در طی خشک کردن پخش جرم در زمانهای کوتاه، در داخل دانه به صورت یکنواخت و آرام صورت می‌گیرد. فرضیات ذکر شده باعث کاهش دقت حل مسئله می‌گردد [١٢، ١٣و ١٤] . ضمن اینکه دقت برازش بوسیله حل تحلیلی مدل بدست می‌آید، محققین دیگر از این مدل استفاده نمی‌کنند زیرا راه‌حلهای تحلیلی به طور معمول ضریب انتشار جرم (D) وابسته به رطوبت در طی خشک کردن را نمی‌توانند تخمین بزنند. ضریب جرم (D) با تمرکز موضعی رطوبت تغییر می‌کند و بوسیله روشهای عددی مثل تفاضا محدود حل می‌شود [١٥و ٣]. مشکل آن است که نتایج از تغییرات D با رطوبت نسبی موضعی در دست است که ممکن است تحت تأثیر فرض ساده‌سازی شکل هندسی دانه‌هایی که به شکل کروی فرض شده قرار بگیرند. برای حل موادی که به صورت مرکب و دارای شکل غیر هندسی و شرایط مرزی پیچیده می‌باشند روش اجزاء محدود معرفی شده و به طور فزاینده در حل مسائل انتقال جرم و حرارت استفاده می‌گردد. در سال ١٩٩٠ بر روی خشک شدن دانه جو، سویا و ذرت بوسیله حل هم‌زمان مدل انتقال حرارت و جرم و توجه به تغییر خصوصیت ماده در طی خشک کردن مطالعه شد [١٦و ١٧]. در سال ١٩٩٢، ضرایب انتقال حرارت و جرم در لایه نازک جو با استفاده از روش اجزاء محدود تعیین شد [١٨] و در همین سال انتشار رطوبت در داخل دانه بلند گندم در طی جذب سطحی رطوبت با مدل سازی دانه بیضوی و کروی تخمین زده شد [١٩]. معادلات جفت شده انتقال حرارت، رطوبت و ممنتم در سال ١٩٩٤ حل شده و در مطالعات خشک کردن چند محصول استفاده شد [٢٠] و در سال ١٩٩٦ رطوبت در دانه ذرت برای دماها و رطوبتهای مختلف هوا گزارش شد [٢١]. در سال ١٩٩٩ از روش اجزاء محدود برای تعیین ضریب رطوبت مواد اصلی دانه‌های گندم (یعنی آندوسپرم، جنین و پریکارپ) برای آزمایش مرطوب کردن دانه‌های گندم استفاده شد [٢٢]. گاستون و همکاران در سال ٢٠٠٢ مدل سینتیک خشک شدن توده بستر نازک گندم را بوسیله روش اجزاء محدود با فرض دوشکل کروی و بیضوی دانه گندم استخراج کردند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به داده‌های آزمایشگاهی مدل بیضوی دانه گندم فرآیند خشک شدن را بهتر شبیه‌سازی می کند [٢٣]. به هر حال، کار بسیار کمی‌در رابطه با استخراج اثر هندسه دانه بر روی تعیین خصوصیات انتقال در طول دفع رطوبت انجام شده است.

رفیعی و همکاران در سال ١٣٨١ انتقال حرارت را در داخل دانه شلتوک برنج با استفاده از روش اجزاء محدود شبیه‌سازی کردند. دانه شلتوک برنج به صورت بیضوی مدل شده و معادلات انتقال جرم و حرارت به صورت همزمان بصورت مدل خطی و غیر خطی حل گردید. دمای بدست آمده در طی خشک کردن حاصل از مدل خطی و غیر خطی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردید و بین داده‌های مدل غیر خطی و داده‌های آزمایشگاهی تفاوت معنی‌داری دیده نشد [٢٤].

در این مقاله مدل انتقال جرم برای پیش بینی خشک شدن دانه بوسیله برنامه تخصصی خشک کردن دانه بر اساس روش اجزاء محدود در دمای هوای مختلف استفاده شد و میزان برازش داده‌های حاصل از حل عددی مسئله با داده‌های آزمایشگاهی بدست آمد. داده‌های حاصل از مدل کروی و بیضوی دانه با هم مقایسه گردیدند.

1. Moisture Diffusion

Archive of SID
www.SID.ir
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۲- مواد و روشها

۲-۱- تئوری مسئله

معادله (۱) معادله حاکمه انتقال جرم بر اساس مدل بیضوی را بیان می‌کند:

(۱)

$$\frac{\partial W}{\partial t} = div\big(D(r,z,t)\nabla W(r,z,t)\big)$$

که t زمان (ثانیه)، D(r,z,t) ضریب انتشار رطوبت (m2/s) و W(r,z,t) رطوبت (برپایه خشک) است

شرط اولیه انتقال جرم

$$W(t=0) = W_0$$

شرط مرزی انتقال جرم

$$W_{es} = W_e$$

که We رطوبت تعادلی (برپایه خشک، اعشاری)

برای استخراج معادله سیستم از معادله حاکمه انتقال جرم، از روش گالرکین[1] استفاده شد. بدین منظور یک ربع دانه به اجزاء محدودی که هر جزء دارای n گره است تقسیم شد. با فرض تابع شکل برای هر گره المان معادله باقیمانده نوشته شد:

(۲)

$$\iiint_V \left[-\nabla^T D \nabla W + \frac{\partial W}{\partial t} \right] N_i dV = 0$$

با بسط معادله و ثابت فرض کردن D و با استفاده از فرمول انتگرال زنجیره ای و فرمول دیورژانس شکل انتگرالی معادلات اجزاء برای مدل بیضوی بدست می‌آید و با انتگرالگیری از معادله شکل انتگرالی معادلات اجزاء شکل جبری معادلات اجزاء بدست می‌آید. با توجه به فرمول پیشرو در تفاضل محدود و مقدار یک فرض کردن پارامتر آزادسازی معادله زیر بدست می‌آید:

(۳)

$$\left(K_W + \frac{C}{\Delta t}\right) W^{n+1} = \frac{C}{\Delta t} W^n + F_W$$

معادله حاصل شکل جبری معادلات اجزاء است و با مونتاژ اجزاء، معادله سیستم بدست می‌آید. برنامه شبیه سازی رطوبت دانه گندم، به روش اجزاء محدود به زبان فرترن نوشته شد که با انتخاب تعداد گره ها شبکه بندی و مونتاژ اجزاء، ماتریسهای سختی (K_W)، ظرفیت رطوبت (C) و بار (F_W) بوسیله برنامه بدست آمد و سپس با قرار دادن در معادله استخراج شده ۳ مسئله حل شد. سپس با توجه به معادله زیر:

(٤) برای هر گام زمانی

$$\bar{W}(t) = \frac{\int_V W(r,z,t)dm}{\int_V dm}$$

که $\bar{W}(t)$ متوسط رطوبت دانه در زمان t دقیقه پس از شروع خشک کردن و dm جرم هر یک از المانها می‌باشد. متوسط رطوبت دانه گندم در زمانهای مختلف خشک شدن بدست آمد. برنامه به شکلی نوشته شده که گام زمانی، مدت خشک کردن، تعداد اجزاء و همه پارامترهای موثر در حل (رطوبت و دمای اولیه، ضریب انتقال جرم جابه جایی و هدایتی، دما و سرعت هوای خشک کننده و ابعاد دانه) به عنوان ورودی های برنامه بود و با وارد کردن ورودی ها و اجرای برنامه مسئله حل شد.

از ریشه متوسط مربعات خطای داده‌ها[2] (RMSE) به عنوان یک شاخص برای مشخص کردن نزدیکی مدل تخمینی ($W_{pre,i}$) و مدل حاصل از داده‌های آزمایشگاهی ($W_{\exp,i}$) استفاده می‌گردد:

(۵)

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

۲-۲- ضرایب به کار رفته در حل انتقال جرم

مقدار و نحوه تغییرات ضرایب و پارامترها در طی مدت خشک کردن بر دقت حل معادلات تاثیر مهمی‌دارند درنتیجه مقدار ضرایب و پارامترها از تحقیقات در

1. Galerkin method

2. Root mean square error

Archive of SID
www.SID.ir
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

دسترس استخراج شده است. این ضرایب و پارامترها عبارتند از:

۱- حجم (V) و مساحت بیضوی رویه دانه گندم، (A) [٤و ١٤]:

(٦) حجم دانه بیضوی

$$V = \frac{\pi}{6} l_1 l_m^2$$

(۷) متوسط هندسی قطر دانه

$$l_m = \sqrt{l_2 l_3}$$

(۸) مساحت سطح رویه دانه

$$A = \frac{\pi}{2} l_1 l_n \left(\frac{l_n}{l_1} + \frac{1}{U} \arcsin U \right)$$

که l_1 قطر بزرگ، l_2 قطر میانی، l_3 قطر کوچک دانه گندم و l_m قطر متوسط هندسی l_2 و l_3 است و ضرایب معادله بالا بوسیله دو معادله زیر بیان می‌گردد.

(۹)

$$l_n = \frac{l_2 + l_3}{2}$$

که ln قطر متوسط حسابی l2 و l3 است.

(۱۰)

$$U = \frac{\sqrt{l_1^2 - l_n^2}}{l_1}$$

رطوبت تعادلی (۹):

(۱۱)

$$W_e = 0.01 \left[\frac{-\ln(1 - RH)}{k(T_k + c)} \right]^{1/N}$$

که پارامترهای ثابت معادله (۱۱) براساس گزارش بروکر و همکاران در سال ۱۹۹۲ عبارت از $k = ۲/۳۱ \times ۱۰^{-۵}$، $c = ۵۵/۸۱۵$ و $N = ۲/۲۹$ است [۵].

۲-۳- روش انجام آزمایش

از آنجا که لازم است صحت شبیه سازی منحنی سینتیک خشک شدن حاصل از مدل بررسی شود باید با انجام آزمایش، داده‌های شبیه سازی را با داده‌های آزمایشگاهی سینتیک خشک شدن بستر نازک گندم مقایسه کرد. بدین منظور از خشک کن آزمایشگاهی بستر نازک استفاده شد زیرا در خشک کن بستر نازک فرض بر این است که رطوبت و دمای توده برابر با رطوبت و دمای هر یک از دانه های موجود در توده است. هوای جریان یافته بوسیله دمنده از کوره گذشته و گرم شده و بوسیله کانال به توده گندم هدایت می‌شود. جریان هوا هنگامی‌که از توده می‌گذرد، رطوبت گندم را جذب و باعث گرم شدن آن می‌شود. توده گندم روی صفحه مشبک ظرف بگونه‌ای ریخته شد که ارتفاع توده یکسان و حداکثر ۱ سانتیمتر بود [۲۵]. زمان خشک کردن توده در دماهای مختلف در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱ مدت زمان خشک کردن برای دمای‌های مختلف هوای خشک کننده

دمای هوای خشک کننده (°C)	۳۵	٤٥	٥٠	٦٠	۷۰
رطوبت نسبی هوا (درصد)	۳۲	۲۲	۱۸	۱۱	۸
مدت زمان خشک کردن توده (دقیقه)	۲٤٦	۱٥٠	۱۲٥	۸٠	٦۲

نحوه اندازه‌گیری رطوبت دانه براساس اندازه گیری وزن توده در طی خشک شدن توده محاسبه شد بدین منظور وزن توده در هر پنج دقیقه بوسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. جامعه آماری گندم رقم تجن بود. پس از انجام کارهای تئوری و شبیه سازی خشک کردن دانه گندم، در طی خشک کردن در زمانهای دلخواه با توجه به اطلاعات ورودی (ابعاد دانه گندم، سرعت و دمای هوای ورودی، دما و رطوبت اولیه دانه، ضریب پخش رطوبت

Archive of SID

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

www.SID.ir

در داخل و سطح دانه) منحنی سینتیک خشک شدن دانه بوسیله مدل تئوری تخمین زده شد. این رطوبتهای تخمینی، داده‌های تئوری نامیده شد و داده‌های منحنی سینتیک براساس متوسط رطوبتهای دانه در طی خشک شدن با فرمول زیر بدست می‌آید.

$$WR(t) = \frac{\overline{W}(t) - W_e}{W_0 - W_e} \qquad (۱۲)$$

که WR: نسبت رطوبت در زمان t دقیقه پس از شروع خشک کردن به میزان رطوبت اولیه می‌باشد.

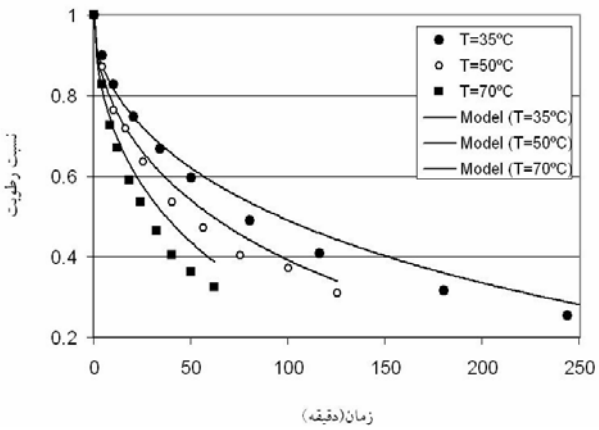
۳- نتایج و بحث

رطوبت اولیه توده بستر نازک گندم ۰/۲٦ (بر پایه خشک) بود. برای اندازه‌گیری سطح و حجم دانه ابعاد (l1,l2,l3) ۱۰۰ عدد دانه گندم اندازه گیری و متوسط سه قطر محاسبه شده که به ترتیب ٦/٤۹، ۳/۳۷ و ۲/۹٦ میلیمتر بود. از معادله (۷) متوسط هندسی قطر کوچک (۳/۱۵۸) دانه بیضی شکل بدست آمد و با فرض ثابت بودن حجم کروی دانه، قطر ٤/۰۱۵mm محاسبه شد [۲۳].

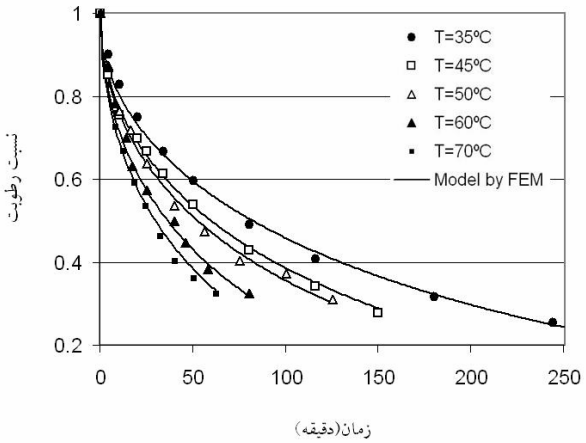
خشک کردن توده برای پنج سطح دمای هوا انجام شد و مدل عددی نیز برای همین دماها با گام زمانی یک دقیقه حل شد. ضریب پخش رطوبت و رطوبت تعادلی در دماهای مختلف در جدول (۲) آورده شده است که به عنوان ورودی مدل می‌باشد.

جدول ۲ ضریب پخش رطوبت و رطوبت تعادلی در دماهای مختلف [۲۳]

دمای هوای خشک کننده ($^{\circ}C$)	ضریب پخش رطوبت (m^2/s)	رطوبت تعادلی بر پایه خشک
۳۵	$۲/۱\times۱۰^{-۱۱}$	۰/۰۵۵۸
٤۵	$۲/۹\times۱۰^{-۱۱}$	۰/۰٤۱۵
۵۰	$۳/۳\times۱۰^{-۱۱}$	۰/۰۳۸
٦۰	$٤/۸\times۱۰^{-۱۱}$	۰/۰۲۹۳
۷۰	$۵/۸\times۱۰^{-۱۱}$	۰/۰۲۳



شکل۱ مقایسه تغییر نسبت رطوبت در طی خشک شدن حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و مدل کروی دانه گندم



شکل۲ مقایسه نسبت رطوبت حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و مدل بیضوی دانه گندم

www.SID.ir
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

حاصل شبیه‌سازی مدل سینتیک با فرض شکل دانه به صورت کروی و بیضوی با استفاده از حل معادله انتقال جرم (۳) به کمک روش اجزاء محدود به همراه داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۱ و ۲ آورده شده است.

ریشه متوسط مربعات خطای (RMSE) داده‌ها مدلهای سینتیک خشک شدن با فرض شکل کروی و بیضوی با داده‌های آزمایشگاهی برای هر یک از دماهای خشک کننده محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است.

نحوه تغییرات و میزان نزدیکی داده‌های مدلهای سینتیک خشک شدن با فرض شکلهای کروی و بیضوی با داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۱ و۲ نشان داده شده است.

جدول ۳ ریشه متوسط مربعات خطای (RMSE) داده‌های مدل سینتیک خشک شدن نسبت به داده‌های آزمایشگاهی

دما (°C)	ریشه متوسط مربعات خطای داده‌ها آزمایشگاهی با (بدون بعد)		همبستگی (r)	
	مدل کروی	مدل بیضوی	مدل کروی	مدل بیضوی
۳۵	۰/۰۳۰۱۲	۰/۰۱۶۸۶	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹
٤٥	۰/۰۲۹۸٤	۰/۰۰۹۷۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
٥٠	۰/۰۳۰۲۰	۰/۰۱۳۰٥	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸
٦٠	۰/۰۲۹۹٥	۰/۰۲۰۱۲	۰/۹۹٦	۰/۹۹۹
۷۰	۰/۰٤۹۷۳	۰/۰۱۷۲۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸

٤- نتیجه‌گیری کلی

مطابق جدول ۲ با افزایش دما، ضریب پخش رطوبت در دانه افزایش و رطوبت تعادلی بین هوای خشک کننده و دانه کاهش می‌یابد که این دو عامل بر نرخ خشک شدن توده موثر است، برای مثال مطابق شکل(۱) ۵۰ دقیقه پس از شروع خشک شدن توده گندم، رطوبت توده در حالتی که با دمای هوای ۷۰ °C و ۳۵ خشک شده به ترتیب ۱۱/۷٪ و ۱۸/۳٪ بوده است به عبارتی با افزایش ضریب پخش جرم توده و کاهش رطوبت تعادلی نرخ خشک شدن افزایش می‌یابد. جینر و ماسچرونی در سال ۲۰۰۱ نیز به نتیجه مشابه‌ای دست یافت [۱۲و ۱۳].

همانگونه که در شکل ۱ و۲ دیده می‌شود روند تغییرات نسبت رطوبت حاصل از مدل کروی و بیضوی نزدیک به داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. مدل بیضوی نسبت به مدل کروی داده‌های آزمایشگاهی را بهتر شبیه‌سازی نموده است (جدول ۳) زیرا ریشه متوسط مربعات خطای داده‌های حاصل مدل بیضوی با داده‌های آزمایشگاهی کمتر از مدل کروی می‌باشد.کمترین و بیشترین مقدار RMSE برای مدل کروی به ترتیب ۰/۰۲۹۸٤ و ۰/۰٤۹۷۳ و برای مدل بیضوی به ترتیب ۰/۰۰۹۷۱ و ۰/۰۲۰۱۲ بود. آپکینار و همکاران در سال ۲۰۰۳ از ریشه مربعات خطای داده‌های مدل با داده‌های آزمایشگاهی به عنوان یک شاخص نزدیکی مدل با واقعیت استفاده کردند. ضریب همبستگی بین مدلها و داده‌های آزمایشگاهی مقدار قابل قبولی می‌باشد (جدول ۳) [۲٦].

رطوبت توسط مدل کروی در طی خشک کردن کمتر از داده های آزمایشگاهی تخمین رده است. مدل بیضوی برای دمای ٤٥°C و ٦٠ بسیار نزدیک و برای دماهای ۳٥°C، ٥٠ و ۷۰ تقریبا تا زمان ۳۰ دقیقه اول خشک کردن بیشتر و سپس کمتر از داده های آزمایشگاهی تخمین زده شده است. با توجه به خطای کم مدلها به ویژه مدل بیضوی، این مدل برای شبیه سازی خشک شدن دانه کندم رقم تجن قابل استناد است و می توان برای پیش بینی روند خشک شده و توزیع رطوبت و نحوه انتشار رطوبت در داخل دانه گندم رقم تجن از این مدل استفاده کرد.

Archive of SID
www.SID.ir
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۵- توصیه و پیشنهاد

۱- از مدل بیضوی برای شبیه‌سازی خشک شدن دانه گندم استفاده شود.

۲- شبیه‌سازی انتقال جرم در گندم در طی خشک شدن نیز انجام گیرد.

۳- الگوی توزیع رطوبت در داخل دانه گندم در طی خشک شدت بدست آید.

٤- گرادیان رطوبتی در طی خشک شدن مدلسازی شود.

پارامترها و ثابتها

t	زمان (s)
D(r,z,t)	ضریب پخش رطوبت (m^2/s)
W(r,z,t)	رطوبت (برپایه خشک، اعشاری)
W_e	رطوبت تعادلی (برپایه خشک، اعشاری)
K_W	ماتریس های سختی
C	ظرفیت رطوبت
F_W	ماتریس بار
$\bar{W}(t)$	متوسط رطوبت دانه در زمان t دقیقه پس از شروع خشک کردن (برپایه خشک، اعشاری)
dm	جرم هر یک از المانها (m^3)
$W_{pre,i}$	رطوبت حاصل از مدل تخمینی (برپایه خشک، اعشاری)
$W_{\exp,i}$	رطوبت حاصل از داده‌های آزمایشگاهی (برپایه خشک، اعشاری)
V	حجم دانه بیضی (m^3)
A	مساحت بیضوی رویه دانه گندم (m^2)
l_m	متوسط هندسی قطر دانه (m)
L_1	قطر بزرگ دانه (m)
L_2	قطر میانی دانه (m)
L_3	قطر کوچک دانه (m)
l_n	قطر متوسط حسابی دانه (m)

٦- منابع

[1] Yang W., Jia C., Siebenmorgen T.J., Howell T.A., and Cnossen A.G. (2002). Intra-kernel moisture responses of rice to drying and tempering treatments by finite element simulation. Transaction of the ASAE. 45(4): 1037-1044.

[2] Nellist M.E. and Bruce D.M. (1995). Heated-air grain drying. In D.S. Jayas, N.D.G. White & W.E. Muir (Eds), Stored Grain Ecosystems Chap. 16, pp. 609-659. New York: Marcel Decker.

[3] Bruce, D.M. (1985). Exposed- layer barley drying: three models fitted to new data up to 150 °C. Journal of Agricultural Engineering Research. 32: 337-347.

Archive of SID

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

www.SID.ir

[4] Giner, S. A., & Bruce, D. M. (1998). Two-dimensional model of steady-state mixed-.ow grain drying. Part 2: Experimental validation. Journal of Agricultural Engineering Research. (71), 51–66.

[5] Brooker, D. B. , F. W. (1992). Bakker-Arkema & Hall, C. W. Drying and storage of Grians and oilseeds. Van Nostrand Reinhold. New York, NY.

[6] Zogzas, N.P., Z.B. Maroulis & Marinos-Kouris D. (1996). Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. Drying Technology. 14(10): 2225-2254.

[7] Sokhansanj, T. & Cenkowski S. (1998). Equipment and methods of thin-layer drying. A review. Proceeding of the Sixth International Drying Symposium IDS'88 Vrsailles. 160-170.

[8] Jayas, D.S., S. Cenkowski, S. Pabis & Muir, W.E. (1991). Review of thin layer drying and wetting equations. Drying Technology. 9(3): 551-588.

[9] Sun, D.W. & Woods, J. L. (1994). Low temperature moisture transfer characteristics of barely: Thin layer models and equilibrium isotherms. Journal of Agricultural Engineering Research. 59(4):273-283.

[10] Suarez, C., J. Chirife & Viollaz, p. (1981). Shape characterization for a simple diffusion analysis of air drying of grain. Journal of Food Scienc. 47:97-101.

[11] Becker, H. A. & Sallans, H. R. (1955). A study of internal moisture movement in the drying of the wheat kernel. Cereal chemistry. 32: 212-226.

[12] 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 (doi: 10.1006/jaer 2001.0753).

[13] Giner, S.A. & Mascheroni, R.H. (2001). Diffusive drying kinetics in wheat, part 2: Applying the simplified analytical solution to experimental data. Journal of Agricultural Engineering Research (doi: 10.1006/jaer 2001.0753).

[14] Becker, H.A. (1959). A study of diffusion in solids of arbitrary shape, with application to the drying of the wheat kernel. Journal of Applied Polymer Science. 1(2): 212-226.

[15] Tolaba, M.P., R.J. (1997). Aguerre & Suarez, C. Modeling cereal grain drying with variable diffusivity. Cereal Chemistry. 74(6):842-845.

[16] Haghighi, K., J. Irudayaraj, R. L. Stroshine & Sokansanj, S. (1990). Grain kernel drying simulation using the finite element method. Transactions of the ASAE. 33: 1957-1965.

[17] Muthukumarappan, K., & Gunasekaran, S. (1990). Vapor diffusivity and hygroscopic expansion of corn kernels during adsorption. Transactions of the ASAE. 33(5), 1637–1641.

[18] Miketinac, M. J. , S. Sokhansanj & Tutek, Z. (1992). Determination of heat and mass transfer coefficients in thin layer drying of grain.

Archive of SID

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

www.SID.ir

kernel during soaking. Transactions of the ASAE. 42(5):1359-1365.

[23] Gaston, A.L., R. M., Abalone & Giner, S. A. (2002). Wheat drying kinetics. Diffusivities for sphere and ellipsoid by finite elements. Journal of Food Engineering. 52: 313-322.

[٢٤] رفیعی، ش.، توکلی هشتجین، ت. و کاضم‌زاده حنائی، س. ۱۳۸۱. شبیه‌سازی دمای دانه شلتوک برنج رقم بینام در فرآیند خشک شدن به‌وسیله روش اجزاء محدود. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۰(بهار): ص. ۱–۱۸.

[25] ASAE standards. (2000). American Society of Agricultural Engineers. pp.578-580.

[26] Akpinar, E. K., Y. Bicer & Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. Journal of Food Engineering. 59: 99-104.

Transactions of the ASAE. 35: (1853)-1858

[19] Lu, R. & Siebenmorgen, T. J. (1992). Moisture diffusivity of long- grain rice components. Transcations of the ASAE. 35(6): 1955-1961.

[20] Irudayaraj, J. & Wu, Y. (1994). Finite Element analysis of coupled heat, mass tand pressure transfer in porous biomaterials. Numerical Heat Transfer Part A. 26(3): P.337-350.

[21] Muthukumarappan K. & Gunasekaran S. (1996). Finite element simulation of corn moisture adsorption. Transactions of the ASAE. 39(6): 2217-2222.

[22] Kang, S. & Delwiche, S.R. (1999). Moisture diffusion modeling of wheat

Archive of SID

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

www.SID.ir

Simulation of wheat (Tagan) kernel drying kinetics model

Shahin Rafiee[1*], Yahya Maghsoudlou[2]

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Gorgan University of Agricultural Scienecs and Natural Resources

2- Assistant Professor, Department of Food Sciences and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Artificial drying of agricultural products is one of the most common methods of preservation. Proper drying procedures eliminate the extent of spoilage during subsequent storage and increases the shelf life of the product. Controlled the drying process is important for improving dryer design. A finite element method is used to obtain numerical solutions to the simultaneous moisture equation describing the moisture removal process for isotropic sphere and axisymmetric ellipsoid. It assumes that moisture diffuses to the outer boundaries of the kernel in liquid form and that evaporation takes place only at the surface of grain. Thin layer of wheat dried at 35, 45, 50, 60 and 70 ºC temperatures. The least and the most values of Root Mean Square Error between sphere model and experimental data are 0.02984 and 0.04973 respectively and between ellipsoid model and experimental data are 0.00971 and 0.02021 respectively. Simulation of ellipsoid model results agreed well with the experimental data of thin layer drying. So ellipsoid model for simulation of mass transfer in wheat kernel during drying can successfully be used.

Keywords: Wheat Kernel, Simulation of Drying, Finite Element Method, Kinetics Model

Archive of SID

* Corresponding author E-mail: shahinfariee@yahoo.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

www.SID.ir