

تعیین سینتیک خشک شدن پسته با استفاده از یک خشک کن

بستر سیال ناپیوسته آزمایشگاهی

وحید محمدپور^(۱)*محمد تقی حامد موسویان^(۲)

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ ثبت اولیه: ۸۵/۱۱/۲۰، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۶/۰۳/۲۷، تاریخ پذیرش: ۸۶/۰۵/۲۰

چکیده پسته به عنوان دومین محصول صادراتی غیر نفتی نقش قابل توجهی در توسعه اقتصادی کشور ایفا می‌کند به طوری که بهینه سازی مراحل مختلف فرآوری آن نقش قابل توجهی در دستیابی به کیفیت مطلوب، افزایش صادرات و در آمد ارزی کشور دارد. خشک کردن یکی از مراحل مهم فرآوری پسته است. در این پژوهش، برای تعیین سینتیک خشک شدن پسته، یک خشک کن بستر سیال ناپیوسته آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. مدل‌های تجربی مختلفی جهت انطباق با داده‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور مهمترین پارامترهای موثر در فرآیند خشک کردن یعنی دمای هوا (در چهار سطح مختلف 25°C , 30°C , 45°C , 60°C) و سرعت جریان هوا (در سه سطح $6, 8, 10 \text{ m/s}$) بررسی شد. دما و سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن پسته به طور معنی داری اثر گذار بوده، ضمن این که تأثیر دما نسبت به سرعت جریان هوا به مراتب بیشتر است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت خشک شدن پسته در مرحله سرعت نزولی اتفاق می‌افتد و کنترل کننده فرآیند خشک کردن، نفوذ رطوبت می‌باشد. با تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که مدل دوپارامتری در تمام محدوده مورد آزمایش و مدل هندرسون - پیبیس در دماها و سرعت جریان‌های بالا بهترین انطباق را با داده‌های آزمایشی دارند.

واژه های کلیدی خشک کن بستر سیال، خشک کردن، پسته، مدلسازی سینتیکی

*عهده دار مکاتبات

نشانی: دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

تلفن: ۰۵۱۱-۸۸۱۵۱۰۰ پست الکترونیکی: Mohammadpour_vahid@yahoo.com

۱- مقدمه

نشان داده شد کیفیت پسته در خشک کردن دو مرحله‌ای شامل خشک کردن در 93°C و سپس جریان هوا با دمای محیط بهتر خواهد بود [4]. در پژوهشی دیگر سرعت جریان هوای بالاتر ترجیح داده شد، چرا که سرعت جریان پایین هوا به دلیل طولانی شدن زمان خشک کردن، احتمال کپک زدگی پسته را افزایش می‌دهد، ضمن اینکه افزایش دمای خشک کردن تأثیر به‌سزایی در افزایش میزان خندان بودن پسته خواهد داشت [5]. در فرآیند خشک کردن یکی از ارقام پر محصول پسته ترکیه (رقم قاضی انتپ)، فقط مرحله سرعت نزولی مشاهده شد [6]. در طی فرآیند خشک کردن، خصوصیات فیزیکی همچون دانسیته، ابعاد، ضریب اصطکاک، سرعت حد و میزان خندان بودن پسته، تغییر می‌یابد. میردامادها و راعی گزارش کردند، میزان آفلاتوکسین پسته‌های خشک شده در روش آفتابی نسبت به روش‌های صنعتی خشک کردن بیشتر است [2]. هدف از این مطالعه پس از طراحی و ساخت یک خشک کن بستر سیال ناپیوسته آزمایشگاهی، تعیین سینتیتیک خشک شدن پسته می‌باشد.

۲- مدلسازی سینتیتیک فرآیند خشک کردن

برای توصیف پدیده خشک کردن و به عبارت دیگر ارائه مدلی که سینتیتیک فرآیند خشک کردن را تشریح کند، مطالعات زیادی صورت گرفته است [7,8,9]. مدل‌های ارائه شده، فرآیند خشک کردن را در طیف وسیعی از مواد غذایی، محصولات کشاورزی و فرآورده‌های بیولوژیکی پوشش می‌دهد. برخی از مهمترین مدل‌های ریاضی ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف در جدول (۱) خلاصه شده است. در این مطالعه انطباق ۶ مورد از مهمترین این مدل‌ها (مدل دو پارامتری، مدل هندرسون، مدل نیوتن، مدل پیچ، مدل پیچ اصلاح شده و مدل لگاریتمی) با داده‌های به دست آمده از آزمایش بررسی شد.

از زمان‌های قدیم پسته در میان ایرانیان از ارزش و اهمیت والایی برخوردار بوده و در نواحی چون خراسان و ماوراءالنهر کشت می‌شده است. کشور ایران با وجود تجزیه بخش‌های وسیع و پهناوری از مناطق پسته‌خیز خود، هنوز هم عمده‌ترین تولید کننده پسته جهان است. در مورد منشاء و خاستگاه درختان پسته و پیشینه کاشت آن نظرات متفاوتی وجود دارد؛ به طوری که در چگونگی شناخت و مورد استفاده قرار گرفتن پسته، از اقوام و ملل مختلف سخن به میان آمده و بستر جغرافیایی بسیار گسترده‌ای، گهواره اولین درختان پسته معرفی شده است. می‌توان گفت هیچ یک از ملل جهان سابقه و تجارب ایرانیان را در باب امور مربوط به زراعت و تجارت پسته ندارند. به طور مسلم مبدأ هر درختی رویشگاه طبیعی آن است. با توجه به مستندات تاریخی مبدأ درختان پسته محدوده‌ای در قلمرو ایران بوده که بعدها پارت و سپس خراسان نام گرفته است. قدیمی‌ترین اثری که از پسته در جهان به دست آمده، قطعه چوب نیم سوخته‌ای است مربوط به عصر حجر که در حدود پنج هزار سال پیش در اطراف شهرستان فسا (استان فارس) پیدا شده و هم اکنون در موزه پارس نگهداری می‌شود. مغز پسته حاوی مقدار قابل توجهی چربی (۵۰ تا ۶۰ درصد) به ویژه اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد که برای رژیم غذایی ضروری هستند. تسریع در فرآوری بعد از برداشت به ویژه مراحل پوست‌گیری و خشک کردن اهمیت زیادی در کیفیت، بازاریابی و قیمت محصول نهایی دارد [1]. تولید عمده پسته در دنیا در دست کشورهای ایران، آمریکا و ترکیه است [3]. بنابراین مانند دیگر محصولات و فرآورده‌های غذایی، تحقیقات و مطالعات زیادی در مورد فرآوری پسته و به خصوص خشک کردن آن انجام نشده است. در پژوهشی که توسط کادر و همکاران، صورت گرفت،

جدول ۱ مهمترین مدل‌های ریاضی ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف برای تعیین سینتیک خشک شدن مواد غذایی

ردیف	نام مدل	معادله ارائه شده برای مدل	مراجع
1	Newton or Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[10,11]
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[12,13]
3	Modified page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	[14,15]
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[16,17]
5	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	[18]
6	Two term	$MR = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$	[19,20]
7	Two term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	[21]
8	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[22]
9	Thompson	$t = A \ln(MR) + B [\ln(MR)]^2$	[23,24]
10	Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	[25]
11	Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	[26]
12	Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	[27]
13	Simplified Fick's diffusion (SFFD) equation	$MR = a \exp[-c(t/L^2)]$	[28]
14	Modified Page equation-2	$MR = \exp[-k(t/L^2)^n]$	[29]
15	Midilli and Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	[30]

۳- مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه. در این مطالعه پس از تهیه پسته از بازار، پسته‌های با اندازه یکسان و یکنواخت جدا شده و نمونه‌ها بعد از اندازه‌گیری مقدار رطوبت اولیه، در پاکت پلی اتیلن دو لایه بسته بندی و در یخچال نگهداری شدند. مقدار رطوبت اولیه نمونه پسته با قرار دادن در آون با دمای $103 \pm 2^\circ C$ به مدت حدود ۱۵ ساعت اندازه‌گیری شد. در تمام آزمایشات رطوبت اولیه نمونه‌ها $1 \pm 33\%$ ثبت شده است.

دستگاه خشک کن

خشک کن های بستر سیال یکی از مهمترین خشک کن های مورد استفاده برای خشک کردن محصولات و فرآورده‌های غذایی، کشاورزی، بیولوژیکی و دارویی می‌باشند. در این مطالعه برای خشک کردن پسته، از یک

در مدل های ارائه شده در جدول (۱)، MR نسبت رطوبت است که پارامتری بدون بعد بوده و براساس معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$MR = (M - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq}) \quad (1)$$

که در رابطه فوق، M_0 رطوبت اولیه، M_{eq} رطوبت تعادلی و M مقدار متوسط رطوبت نمونه در لحظه توزین می‌باشد. روابط مختلفی برای تعیین میزان رطوبت تعادلی ارائه شده است که در این مطالعه از معادله تیا و همکاران استفاده گردید.

$$RH = \exp\left[\left(\frac{-21065}{R.T}\right) \cdot M_{eq}^{-1.25}\right] \quad (2)$$

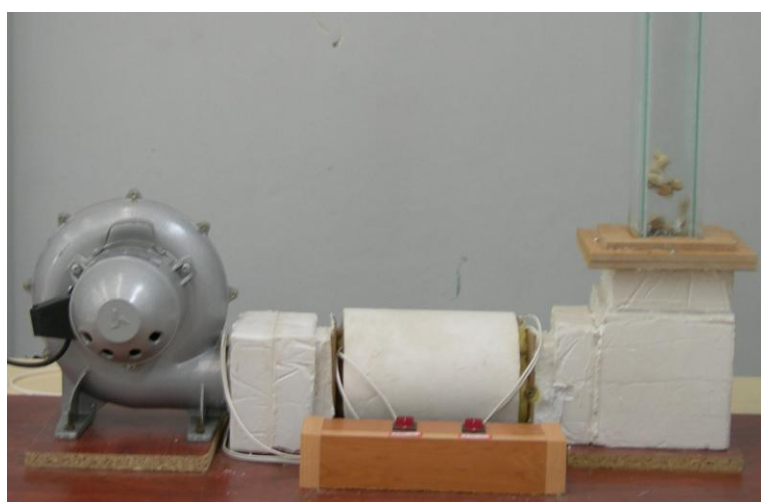
یا برحسب رطوبت تعادلی می‌توان نوشت:

$$M_{eq} = \left[\frac{-21065}{R.T \cdot \ln(RH)}\right]^{0.8} \quad (3)$$

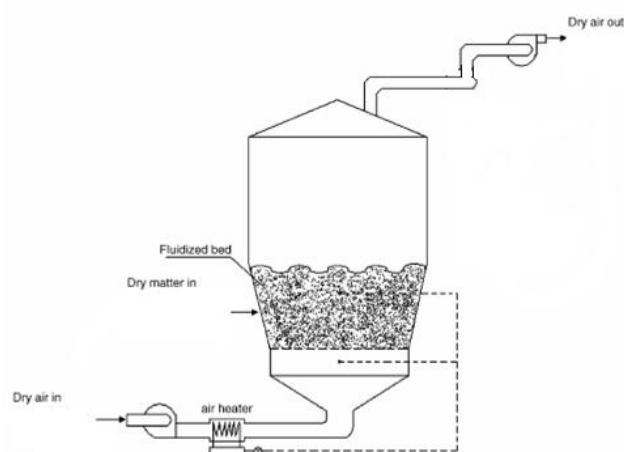
که در روابط فوق RH رطوبت نسبی هوا است.

خشک کن بستر سیال ناپیوسته آزمایشگاهی که در شکل (۱) نشان داده شده است، استفاده شد. همان طور که در نمودار جریان فرآیند (شکل ۲) نیز مشاهده می شود این خشک کن ها دارای سه قسمت اصلی هستند: ۱- دمنده هوا ۲- گرم کن ۳- محفظه خشک کن. برای دستیابی به سرعت جریان هوا در دامنه $10-6 \text{ m/s}$ از یک دمنده با قابلیت تولید شدت جریان هوای بیشینه $2/85 \text{ m}^3/\text{min}$ (در

دمای هوا در دامنه $25-60^\circ\text{C}$ با استفاده از دو المنت حرارتی با توان 2000 و 3000 وات فراهم گردید. محفظه اصلی خشک کن از جنس شیشه و با ابعاد $60 \times 60 \times 50 \text{ mm}$ ساخته شد. سرعت جریان هوا با استفاده از یک جریان سنج هوا تعیین و کنترل دمای خشک کردن به صورت دستی و با دقت 1°C انجام پذیرفت.



شکل ۱ خشک کن بستر سیال ناپیوسته آزمایشگاهی



شکل ۲ نمودار جریان فرآیند خشک کن بستر سیال

۴- روش انجام آزمایش

هدف از انجام آزمایش بررسی تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر خشک شدن پسته بوده است. به این منظور آزمایشات در چهار سطح مختلف دما (25°C , 30°C , 45°C , 60°C) و نیز سه سطح سرعت جریان هوا (6 m/s , 8 m/s , 10 m/s) انجام شد. قبل از شروع هر آزمایش، نمونه هایی که رطوبت اولیه آنها اندازه گیری شده برای هم دما شدن با دمای محیط ($23 \pm 1^{\circ}\text{C}$)، از یخچال خارج و در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. دستگاه خشک کن قبل از انجام هر آزمایش حدود $30 - 40$ دقیقه روشن شده تا حالت پایدار برای انجام آزمایش فراهم گردد. در حین فرآیند خشک کردن، نمونه ها هر 10 دقیقه از محفظه خشک کن خارج و وزن نمونه توسط ترازوی دیجیتالی اندازه گیری شد. انجام آزمایش تا رسیدن به رطوبت مطلوب محصول که برای پسته حدود 5 تا 7 درصد می باشد، ادامه یافت. برای تأیید رطوبت نهایی حاصله، نمونه ها در آون با دمای $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و به مدت حدود 5 ساعت قرار گرفتند تا کاملاً خشک شده و تغییرات وزن آنها به کمتر از 0.001 گرم برسد.

۵- نتایج و بحث

در جدول (۲) زمان مورد نیاز برای خشک شدن پسته در

شرایط مختلف دما و سرعت جریان هوا ارائه شده است.

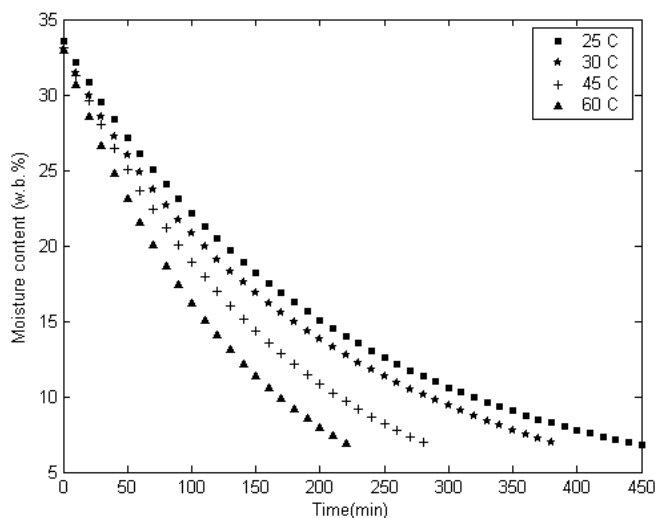
نتایج به دست آمده نشان می دهد که دمای خشک کردن اثر به مراتب بیشتری نسبت به سرعت جریان هوا دارد. این یافته با نتایج دیگر پژوهشگران در مورد سایر فرآورده های غذایی که دمای هوا را به عنوان پارامتر اصلی در خشک کردن معرفی کرده اند، مطابقت دارد. (چینان، ۱۹۸۱؛ دوی مایز، ۲۰۰۴؛ کاشانی نژاد و تبیل، ۲۰۰۴؛ مادامبا و همکاران، ۱۹۹۶).

۱-۵ اثر درجه حرارت بر خشک شدن پسته

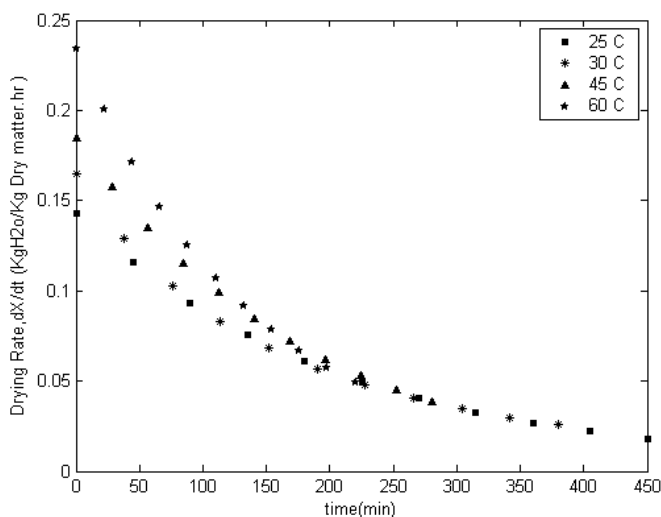
شکل (۳) تغییرات محتوای رطوبت نمونه پسته با زمان را در دماهای مختلف و سرعت جریان هوای $v = 6\text{ m/s}$ نشان می دهد. نتایج نشان داده شده حاکی از آن است که با افزایش دمای خشک کردن در یک سرعت جریان هوای ثابت، زمان خشک شدن به طور قابل توجهی کاهش می یابد. اثر دما در سرعت جریان هوای $v = 8\text{ m/s}$ و $v = 10\text{ m/s}$ نیز بررسی شد که نتایج به دست آمده مشابه فوق است. شکل (۴)، شدت خشک کردن بر حسب زمان در دماهای مختلف و سرعت جریان هوای $v = 6\text{ m/s}$ را به تصویر کشیده است. با توجه به نمودار می توان دریافت شدت خشک کردن با افزایش دما، افزایش می یابد.

جدول ۲ اثر شرایط مختلف خشک کردن بر زمان خشک شدن

شماره آزمایش	درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$)	سرعت جریان هوا (m/s)	زمان خشک کردن (min)
1	25	6	450
2	25	8	400
3	25	10	380
4	30	6	380
5	30	8	340
6	30	10	320
7	45	6	280
8	45	8	260
9	45	10	240
10	60	6	220
11	60	8	190
12	60	10	170



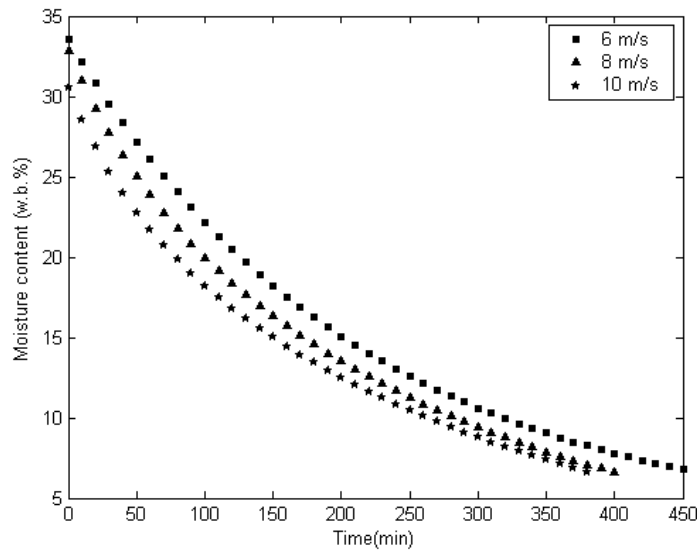
شکل ۳ اثر درجه حرارت بر محتوای رطوبت نمونه پسته ($V=6\text{m/s}$)



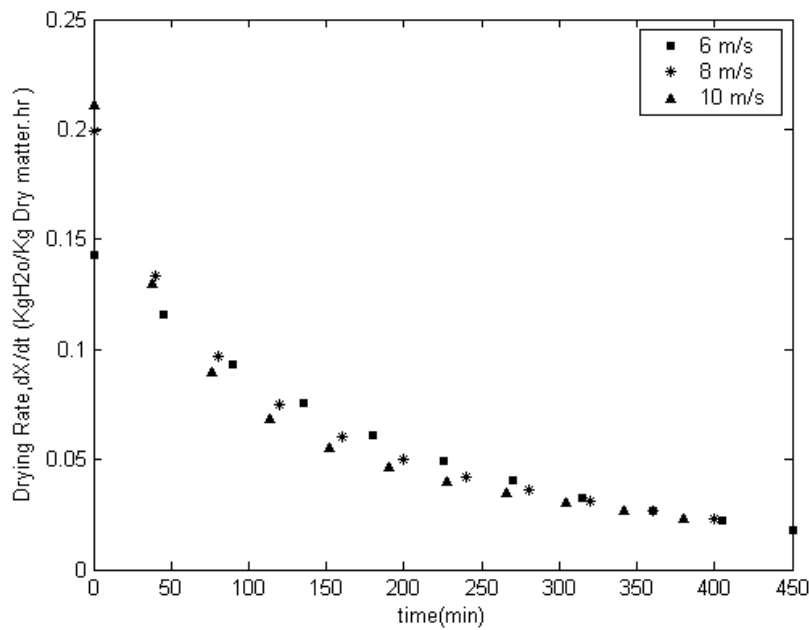
شکل ۴ اثر درجه حرارت بر شدت خشک شدن نمونه پسته ($V=6\text{ m/s}$)

کاهش مدت زمان خشک شدن و افزایش شدت جریان خشک شدن را به دنبال دارد. ضمن اینکه از مقایسه نتایج این بخش با بخش قبل، می‌توان دریافت اثر دما بر زمان و شدت خشک شدن به مراتب نسبت به سرعت جریان هوا بیشتر است، اگرچه سرعت جریان هوا نیز اثر گذار بوده است.

۲-۵ اثر سرعت جریان هوا بر خشک شدن پسته
 شکل (۵) و شکل (۶)، اثر سرعت جریان هوا بر محتوای رطوبت نمونه پسته و شدت خشک شدن آن را در دمای 25°C نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده برای دماهای دیگر (30°C ، 45°C ، 60°C) مشابه و حاکی از این است که در یک دمای ثابت خشک کردن، افزایش سرعت جریان هوا؛



شکل ۵ اثر سرعت جریان هوا بر محتوای رطوبت نمونه پسته (°C T=25)



شکل ۶ اثر سرعت جریان هوا بر شدت خشک شدن نمونه پسته (°C T=25)

۳-۵ مدل سازی سینتیکی خشک کردن پسته

در تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش، انطباق نتایج با مدل‌های ریاضی مختلفی بررسی شد. با توجه به دو مشخصه آماری $SSE, R\text{-square}$ می‌توان دریافت که مدل دو پارامتری در تمام محدوده آزمایش و مدل هندرسون در دماها و سرعت جریان‌های بالا

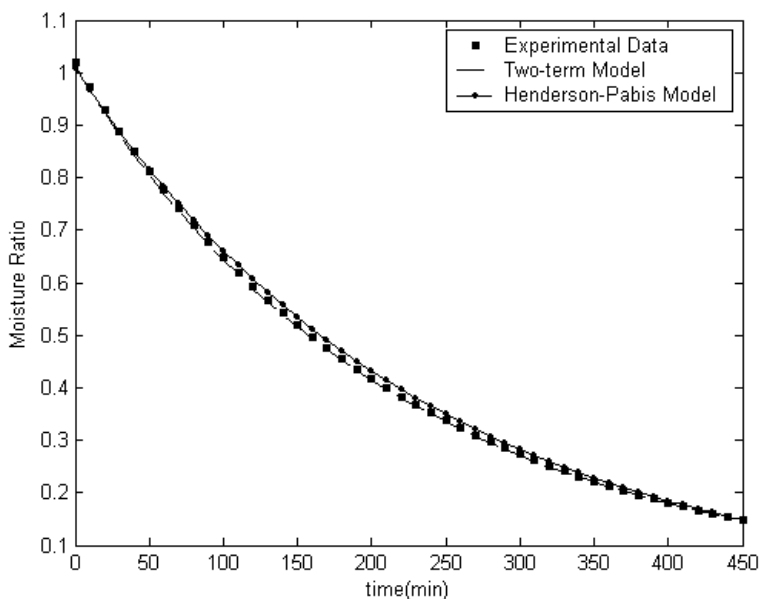
بهترین انطباق را با داده‌های تجربی دارند. ضرایب بهینه دو مدل یاد شده برای شرایط مختلف دما و سرعت جریان هوا در جدول‌های (۴ و ۵) ارائه شده است. اینک که شکل‌های (۷ و ۸) نتیجه حاصل از برازش این دو مدل را با داده‌های آزمایشگاهی به تصویر کشیده است.

جدول ۴ ضرائب بهینه مدل دو پارامتری برای شرایط مختلف دما و سرعت جریان هوا

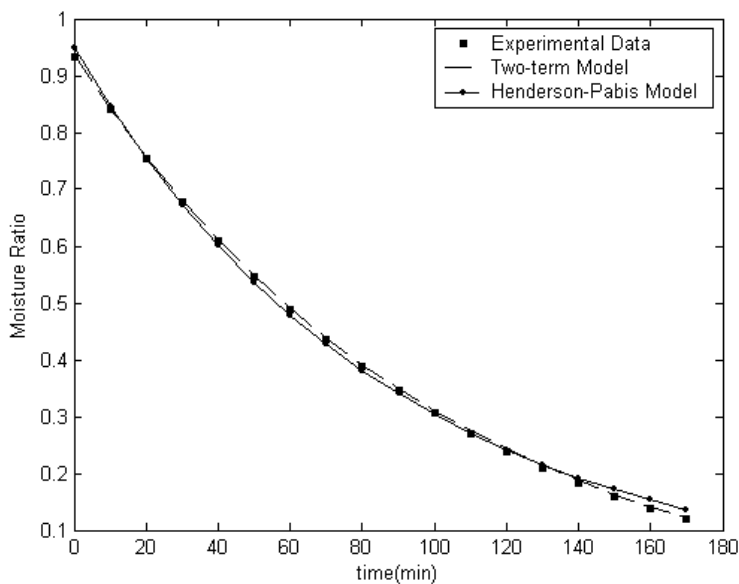
Run	1st coefficient (a)	2 th coefficient (b)	3 th coefficient (c)	4 th coefficient (d)
T=25 °C , V=6m/s	0.83	-0.00504	0.18	-0.0024
T=25 °C , V=8m/s	0.1035	-0.02598	0.8926	-0.004474
T=25 °C , V=10m/s	0.1179	-0.0312	0.8034	-0.004419
T=30 °C , V=6m/s	0.03524	-0.02363	0.9565	-0.004735
T=30 °C , V=8m/s	0.2252	-0.01639	0.7765	-0.0045
T=30 °C , V=10m/s	0.234	-0.03234	0.7701	-0.00483
T=45 °C , V=6m/s	-0.07322	-4.139e-005	1.076	-0.005573
T=45 °C , V=8m/s	-0.06493	0.000218	1.006	-0.006044
T=45 °C , V=10m/s	-0.06379	0.000292	0.9988	-0.006624
T=60 °C , V=6m/s	-0.03976	0.001475	1.038	-0.007328
T=60 °C , V=8m/s	-0.114	-0.001391	1.081	-0.008094
T=60 °C , V=10m/s	-0.06092	0.0004972	0.9954	-0.009893

جدول ۵ ضرائب بهینه مدل هندرسون - پیپس برای شرایط مختلف دما و سرعت جریان هوا

Run	1st coefficient (a)	2 th coefficient (b)
T=25 °C , V=6m/s	1.009	-0.00425
T=25 °C , V=8m/s	0.9569	-0.004807
T=25 °C , V=10m/s	0.8704	-0.004825
T=30 °C , V=6m/s	0.9889	-0.00485
T=30 °C , V=8m/s	0.9597	-0.005442
T=30 °C , V=10m/s	0.9143	-0.005836
T=45 °C , V=6m/s	1.016	-0.006405
T=45 °C , V=8m/s	0.9544	-0.006966
T=45 °C , V=10m/s	0.9483	-0.007644
T=60 °C , V=6m/s	1.011	-0.008177
T=60 °C , V=8m/s	0.9792	-0.009551
T=60 °C , V=10m/s	0.9478	-0.01141



شکل ۷ پیش بینی محتوای رطوبت توسط مدل هندرسون - پیبیس و مدل دو پارامتری در شرایط خشک کردن ثابت (T=25°C, V=6m/s)



شکل ۸ پیش بینی محتوای رطوبت توسط مدل هندرسون - پیبیس و مدل دو پارامتری در شرایط خشک کردن ثابت (T=60°C, V=6m/s)

۶- نتیجه گیری

۱- دما و سرعت جریان هوا تأثیر به سزایی در خشک

کردن پسته دارند.

۲- اگرچه تأثیر سرعت جریان هوا بر فرآیند خشک

کردن پسته قابل توجه است، اما دما عامل مهمتری

بر اساس مطالعه انجام شده در فرآیند خشک کردن

پسته با خشک کن بستر سیال ناپیوسته آزمایشگاهی

نتایج به دست آمده به شرح زیر است :

حالت بهینه دما و سرعت جریان هوا را بیشترین مقادیر مورد آزمایش معرفی کرد.

تشکر و قدردانی

هزینه‌های انجام این پروژه از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شد. بدین منظور از جناب آقای دکتر نوعی، جناب آقای دکتر فنایی و جناب آقای دکتر موید در تخصیص بودجه لازم برای اجرای طرح قدردانی می‌شود. نویسندگان، همچنین مراتب سپاس خود را از جناب آقای میر محرابی، جناب آقای مهندس زردست و سرکار خانم مهندس جعفری به خاطر مساعدت و همکاری در تهیه قطعات، تجهیزات و نصب دستگاه اعلام می‌دارند.

بوده و اثر آن به مراتب بیشتر است.

۳ - خشک کردن پسته در منطقه سرعت نزولی اتفاق می‌افتد، بنابراین می‌توان گفت که کنترل کننده فرآیند خشک کردن، نفوذ رطوبت می‌باشد.

۴ - مدل دو پارامتری ($MR = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$) در تمام محدوده آزمایش و مدل هندرسون-پیپس ($MR = a \exp(-kt)$) در دماها و سرعت جریان های بالا، بهترین پیش بینی را در مورد سینیتیک فرآیند خشک کردن پسته دارند.

۵ - با توجه به اینکه هر دو پارامتر دما و سرعت جریان هوا اثر هم سویی در فرآیند خشک کردن پسته دارند، و از طرفی در بازه مورد آزمایش افزایش توأم دما و سرعت جریان هوا بر کیفیت محصول اثر نامطلوبی نخواهد گذاشت، می‌توان

مراجع

۱. کاشانی نژاد، مهدی، مرتضوی، علی، "بررسی رفتار خشک شدن پسته رقم اوحدی در یک خشک کن جریان متقاطع آزمایشگاهی"، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۱۳۸۴، جلد ۲۰، شماره ۲.
۲. میردامادپها، ف، راعی، "مقایسه روش‌های مختلف خشک کردن پسته"، موسسه تحقیقات پسته، فسنجان، (۱۳۷۸).
۳. ابریشمی، محمد حسن، "شناخت پسته ایران"، بانک کشاورزی، اداره آمار و بررسی‌های اقتصادی، جلد اول و دوم، (۱۳۶۴).
4. A. A. Kader, C. M. Heintz, J. M. Labavitch and H. L. Rae. "Studies related to the description and evaluation of pistachio nut quality", J.Amer.Soc.Hort.Sci., 107(5):812 – 816, (1982).
5. A. A. Kader, J. M. Labivitch, F. G. Mitchell, N. F. Sommer. "Quality and safety of pistachio nuts as influenced by post harvest handling procedure". The pistachio association Annual Report, pp.45-5, (1979).
6. S. Karatas, F. M. Battalbey. "Determination of moisture diffusivity of pistachio nut meat during drying". Lebensmittel -Wissenschaft und -Technologie, 24 (6):484-487, (1991).
7. M. Kashaninejad, A. Mortazavi, A. Safekordi, L. G. Tabil. "Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. Journal of food engineering", 78,98-108, (2007).
8. S. M. Tasirin, S. K. Kamarudin, K. Jaafar, K. F. Lee, "The drying kinetics of bird's chillies in a fluidized bed dryer", Journal of food engineering, (2006).

9. A. Midilli, H. Kucuk , " Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar nergy". Energy conversion and management , 44,1111-1122, (2003).
10. Q . Lui, Bakker - Arkema FW, "Stochastic modelling of grain drying.Part2:Model development". J agricult Eng Res, 66;275-80, (1997).
11. J. R. O'Callaghan, D. J. Menzies, P. H. Bailey, Digital simulation of agricultural dryer performance.J Agricult Eng Res , 6;223-44, (1971).
12. Y. C. Agrawal, R. P. Singh, "Thin layer drying studies on short grain rough rice.ASAE Paper", No.3531, (1997).
13. Q. Zhang, J. B. Litchfield , "An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer". Dryer Technol, 9;383-95, (1991).
14. D.D. Overhults, G. M. White, M. E. Hamilton, I. J. Ross, "Drying soybeans with heated air". Trans ASAE, 16;195-200, (1973).
15. G. M. White, I. J. Ross, R. Ponekert, "Fully exposed drying of popcorn ",Trans ASAE,1981,24;466-8
16. M. S. Chhinnan, "Evaluation of few selected mathematical models for describing thin layer drying of in-shell pecans". Trans ASAE, 27(2);610-5, (1984).
17. P.W. Westerman, G. M. White, I. J. Ross, "Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn", Trans ASAE, 16;1136-9, (1973).
18. A. Yagcioglu, A. Degirmencioglu, F. Cagatay. "Drying characterisric of laurel leaves under different conditions. In:Bascetincelik A,editor". Proceeding of the 7th international congress on agricultural mechanization and energy,26-27 May, Adana, Turkey. Faculty of Agricultural, Cukurova university, p.565-9, (1999).
19. Henderson SM, "Progress in developing the thin layer drying equation". Trans ASAE 1974,17;1167-8
20. M. S. Rahman, C. O. Perera, C .Theband, "Desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas". Food Res Int, 30;485-91, (1988).
21. Y. I. Sharaf-Elden, J. L. Blaisdell, M. Y. Hamdy, "Amodel for ear corn drying".Trans ASAE, 23; 1261-5, (1980).
22. C.Y Wang, R.P. Singh, "A single layer drying equation for rough rice", ASAE , Paper No.3001, (1978).
23. M. R. Paulsen, T. L. Thomson,"Drying endysus of grain sorghum". Trans ASAE, 16;537-40, (1973).
24. T. L. Thomson, P. M. Peart, G. H. Foster, "Mathematical simulation of corn drying :A new model". Trans ASAE, 11;582-6, (1968).
25. A.S. Kassem, "Comparative studies on thin layer drying model for wheat". In:13th international congress on agricultural engineering , February, Morocco, Vol.6,2-6, (1998).

26. L. R. Verma, R A. Bucklin, J. B. Endan, Wratten FT, "Effect of drying air parameters on rice drying models". Trans ASAE, 28;296-301, (1985).
27. V. T. Karathanos, "Determination of water content of dried fruits by drying kinetics", J Food Eng, 39;337-44, (1999).
28. L. M. Diamente, P. A. Munro, "Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices", Int J Food Sci Technol, 26;99, (1991).
29. L.M. Diamente, P. A. Munro, "Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices", Solar Energy, 51;271-6, (1993).
30. A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar, "A new model for single drying, Drying Technol", 20(7);1503-13, (2002).