

بررسی و مدلسازی فرایند جذب آب در دماهای مختلف و تأثیر آن بر آسیاب کردن هسته خرما

احمد غضنفری مقدم*، مطهره واعظی زاده و شهین نوربخش**

*نگارنده مسئول، نشانی: کرمان، دانشگاه شهید باهنر، دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، تلفن:

۰۳۴۱-۳۲۰۲۶۲۶، پیام نگار: aghazanfari@mail.uk.ac.ir

** به ترتیب دانشیار پژوهشکده باغبانی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی ماشینهای کشاورزی و عضو هیئت علمی پژوهشکده

باغبانی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۶

چکیده

در فرایند تهیه خوراک دام یا روغن از هسته خرما ابتدا آن را می‌خیسانند تا هسته نرم شود و انرژی کمتری صرف آسیاب کردن آن گردد. در این پژوهش به بررسی اثر دمای آب در چهار سطح ۲۵، ۳۵، ۵۵، و ۶۵ درجه سلسیوس در میزان جذب آب و قطر ذرات آسیاب شده خرما پرداخته شده است. بررسی روند جذب آب توسط هسته خرما نشان می‌دهد که با افزایش دمای آب، سرعت و میزان جذب آب و همچنین میزان رطوبت نهایی هسته خرما افزایش می‌یابد. حداکثر میزان جذب آب در دماهای ذکر شده به ترتیب ۵۹، ۶۲، ۷۱، و ۷۳ درصد بر پایه وزن خشک بود. بررسی فرایند جذب آب توسط سه مدل تحلیلی، پیچ و نمایی نشان داد که هر سه مدل به خوبی در داده‌های آزمایشگاهی برازش شده ولی مدل پیچ با ضریب تبیین بیشتر ($R^2=0/99$) بهتر داده‌ها را توجیه کرد. بررسی تأثیر دما و مدت آب دادن بر روی هسته‌های خرما نشان داد که با افزایش دما و مدت خیساندن، اندازه ذرات آسیاب شده با نرخ بیشتری کاهش یافت. مناسب‌ترین دمای آب ۳۵ درجه سلسیوس بود که با خیساندن هسته‌ها در این دما به مدت ۷۲ ساعت و آسیاب کردن آنها به مدت ۳۰ ثانیه، قطر متوسط ذرات به کمتر از ۱/۲ میلی‌متر کاهش یافت در حالی که این کاهش اندازه برای دمای ۲۵ درجه سلسیوس پس از گذشت حدود ۱۷۵ ساعت به دست آمد. مدل لگاریتمی ارائه شده برای بیان قطر ذرات آسیاب شده به صورت تابعی از زمان خیساندن به خوبی با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت کرد ($R^2>0/98$).

واژه‌های کلیدی

آسیاب کردن، جذب آب، مدلسازی، هسته خرما

مقدمه

(2003). هسته خرما نسبتاً سخت بوده، و وزن آن حدود ۱۲ درصد وزن میوه است. هسته دارای حدود ۱۰ درصد روغن، ۷۰ درصد هیدروکربن، ۱۰ درصد رطوبت و مقدار جزئی فیبر و مواد معدنی است (Al-Shahib et al., 2003). معمولاً از هسته خرما برای تغذیه دام و طیور استفاده می‌شود و همچنین از آن روغنی گرفته می‌شود که مصارف صنعتی دارد (Devshony et al., 1992). برای روغن‌گیری از هسته خرما یا تهیه خوراک دام ابتدا هسته‌ها را در آب خیسانده و سپس آسیاب می‌کنند.

نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) به واسطه پرورش اقتصادی، ارزش غذایی و فواید زیست محیطی، امروزه بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. پرورش نخل در مناطق گرم، خشک و نیمه خشک دنیا صورت می‌گیرد. ایران در سال ۱۳۸۷ با تولید بیش از یک میلیون تن میوه خرما بزرگترین تولید کننده این میوه در جهان بود (Hamshahri Newspaper, 1389). میوه خرما دارای درصد بالای هیدروکربن، مواد معدنی، پروتئین، ویتامین‌ها و فیبرهای خوراکی است (Al-Shahib et al.,

آسیاب کردن آن لازم است. در آسیاب کردن ذرت، سورگوم و گندم، دانه‌ها برای مدتی در آب خیس می‌شوند تا انرژی مورد لزوم برای آسیاب کردن آن کاهش یابد (Haros *et al.*, 1999; Norris *et al.*, 1970; Yuan *et al.*, 1998). هسته خرما در مقایسه با هسته بسیاری از محصولات کشاورزی دیگر سخت‌تر است و به همین دلیل قبل از آسیاب کردن خیس‌انده می‌شود. در این پژوهش، فرایند جذب آب توسط هسته خرما در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و جذب آب به کمک سه مدل (۱) تحلیلی جذب رطوبت، (۲) پیچ، و (۳) نمایی، مدل‌سازی می‌شود و مدل‌های مزبور از طریق برازش آن‌ها در داده‌های آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه می‌گردند. همچنین تأثیر جذب رطوبت در دماهای مختلف در میزان خردشدگی هسته خرما مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

آماده سازی مواد اولیه و فرایند جذب رطوبت

هسته خرما مورد نیاز برای آزمایش در تابستان ۱۳۸۷ از نخلستان‌های خرما در شهرستان بم تهیه گردید. این هسته‌ها از رقم عبدالهی بوده‌اند و پس از جمع‌آوری، تمیز و با آب شسته شدند و در محیط آزمایشگاه (دمای نزدیک به ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۴۵ درصد) به مدت ۲ هفته پهن شدند تا خشک شده و به رطوبت تعادل برسند. سپس، رطوبت موجود در هسته‌ها با قرار دادن سه نمونه ۵۰ گرمی هسته در آون با دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت بر پایه وزن خشک تعیین گردید (ASAE, 1997).

برای بررسی اثر دمای آب بر میزان جذب آب و بر آسیاب کردن دانه‌ها، چهار حمام آب با دماهای ۲۵، ۳۵، ۵۵، و ۶۵ درجه سلسیوس فراهم گردید. در بررسی فرایند جذب آب، ۱۲ نمونه ۵۰ گرمی هسته خرما در کیسه‌های

خیساندن هسته را نرم می‌کند و انرژی کمتری برای آسیاب آن مصرف می‌شود.

تحقیقات وسیعی در مورد نحوه توزیع، سرعت و مقدار جذب رطوبت توسط دانه‌های مختلف کشاورزی صورت گرفته است. میزان جذب آب توسط دانه به عوامل مختلفی از جمله میزان رطوبت اولیه، وارپته، مدت آب دادن، دمای آب و میزان مواد محلول در آن بستگی دارد (Karapantsios *et al.*, 2002; Laria *et al.*, 2005; Hsu *et al.*, 1983). مطالعات بر روی جذب آب توسط دانه سرخ مرز نشان داد که با افزایش دما مقدار جذب آب در این دانه به طرز معنی‌داری افزایش یافت (Calzetta Resio *et al.*, 2003). همچنین با اسیدی شدن آب، مقدار جذب آب توسط دانه افزایش می‌یابد (Haros & Viollaz *et al.*, 1995) و احتمال رشد میکروارگانیسم‌ها در آن کم می‌شود (Perez *et al.*, 2003).

مطالعه و بررسی چگونگی جذب آب توسط دانه‌ها به مدیریت انرژی و مدت لازم برای نگه‌داشتن دانه در آب کمک می‌کند. برای بررسی بهتر و پیش‌بینی وضعیت رطوبت در دانه، اغلب به مدل‌سازی ریاضی جذب رطوبت پرداخته می‌شود. اغلب بررسی‌های جذب رطوبت در دانه‌های کشاورزی بر اساس قانون دوم فیک^۱ انجام شده‌اند که با استفاده از این مدل یک ضریب نفوذپذیری برای دانه در شرایط محیطی خاص تعیین می‌گردد. (Noorbakhsh *et al.*, 2006; Hung *et al.*, 1993; Waezi *et al.*, 2010). بعضی از پژوهشگران از مدل‌های تجربی برای توجیه جذب رطوبت استفاده کرده‌اند. در مدل‌های تجربی پژوهشگر بر اساس داده‌های آزمایشگاهی یک یا چند مدل را انتخاب می‌کند و برازش داده‌های آزمایشگاهی را در هر مدل مورد بررسی قرار می‌دهد (Turhan *et al.*, 2002).

آسیاب کردن دانه‌ها که به‌منظور تهیه آرد، نشاسته، خوراک دام و روغن‌گیری انجام می‌شود یک فرایند انرژی‌بر است و هرچه دانه سخت‌تر باشد انرژی بیشتری برای

که d_i و d_{i+1} به ترتیب قطر الک i ام و الک بالای آن، W_i وزن ذرات روی الک i ام و d قطر متوسط ذرات آسیاب شده است.

برای بررسی اثر زمان و دمای خیساندن بر روی قطر متوسط ذرات آسیاب شده از یک طرح آماری فاکتوریل 4×7 با ۳ تکرار استفاده گردید. در این طرح، دماهای آب در چهار سطح ۲۵، ۳۵، ۵۵، و ۶۵ درجه سلسیوس و مدت‌های خیساندن با هفت سطح، ۱، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، و ۱۴۴ ساعت در نظر گرفته شدند. آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار (SPSS: 15.0) انجام شد.

مدلسازی فرایند جذب آب

الف: مدل تحلیلی

میزان جذب رطوبت در طی فرایند خیساندن در محصولات مختلف متفاوت است. در صورتی که دمای آب ثابت باشد فرایند نفوذ آب در دانه از قانون دوم فیک تبعیت می‌کند. برای یک جذب متقارن رابطه فیک در محورهای مختصات (x, y, z) کارترین به صورت رابطه ۳ بیان می‌شود:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

که در آن، M محتوای رطوبت بر پایه وزن خشک در زمان t (ثانیه) و D ضریب نفوذپذیری آب بر حسب مترمربع بر ثانیه است که شدت نفوذ آب را در هسته نشان می‌دهد. زمانی که شکل هندسی محصول به کره‌ای به شعاع r نزدیک باشد

حل رابطه ۳ به صورت رابطه ۴ است: (Crank, 1975)

$$MR = \frac{M - M_i}{M_e - M_i} = 1 - \left(\frac{6}{\pi^2}\right) \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{i^2}\right) \exp(-D_i^2 \pi^2 \frac{t}{r^2}) \quad (4)$$

پارچه‌ای مشبک قرار داده شدند و سپس در هر حمام سه نمونه گذاشته شد. در فواصل زمانی مختلف این نمونه‌ها را از آب خارج می‌کنند و رطوبت سطحی آن‌ها را توسط پارچه خشک می‌نمایند و پس از وزن کردن با ترازوی دیجیتال (رقمی) با دقت ۰/۱ گرم، نمونه‌ها به حمام آب مربوطه برگردانده می‌شوند. عمل خیساندن هسته تا زمانی ادامه می‌یابد که افزایشی در جرم نمونه‌ها پس از گذشت ۲۴ ساعت مشاهده نشود.

آسیاب کردن هسته‌ها

برای بررسی تأثیر جذب آب در دماهای مختلف بر روی فرایند آسیاب کردن دانه‌ها، در هر حمام آب، ۴۵ نمونه ۵۰ گرمی قرارداد شد. در ۱۵ فاصله زمانی مختلف تا پایان دوره آبدهی در هر فاصله ۳ نمونه از هر حمام بیرون آورده شد و رطوبت سطحی آنها توسط پارچه خشک گردید. سپس هر نمونه توزین شد و با استفاده از یک آسیاب تیغه‌ای کوچک (W ۱۴۰، مدل: HR 2109 شرکت فیلیپس آلمان) به مدت ۳۰ ثانیه آسیاب شدند. هر نمونه آسیاب شده با استفاده از چهار الک با مش‌های ۶، ۱۶، ۲۰، و ۴۰ غربال شد و میانگین قطر ذرات آسیاب شده (d) در هر فاصله زمانی و برای هر حمام با استفاده از رابطه ۱ تخمین زده شد (ASAE, 1997a).

$$d = \log^{-1} \left[\frac{\sum_i^n = (W_i \log \bar{d}_i)}{\sum_i^n = W_i} \right] \quad (1)$$

که در آن،

\bar{d}_i قطر متوسط هندسی دو الک متوالی است و این متغیر با رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\bar{d}_i = \sqrt[2]{d_i \times d_{i+1}} \quad (2)$$

که در آن،

مدل‌های پیچ^۱ و نمایی^۲ دو مدل متداول برای پیش‌بینی و مدل‌سازی ریاضی فرایند جذب رطوبت می‌باشند. بنابراین با استفاده از این دو مدل فرایند جذب آب را در هسته خرما مدل‌سازی شده است. رابطه کلی مدل‌های پیچ و نمایی به ترتیب در رابطه‌های ۷ و ۸ ذکر شده‌اند (Noorbakhsh *et al.*, 2006).

$$MR=1-\exp(-k t^N) \quad (7)$$

$$MR=1-\exp(-k t) \quad (8)$$

که در آن،

MR نسبت رطوبت، t مدت جذب آب بر حسب ساعت و k و N پارامترهای مدل‌ها می‌باشند که شکل منحنی را تعیین می‌کنند. شکل کلی هر دو مدل یکسان است ولی پارامتر N توان برازش بیشتری به مدل می‌دهد.

مدلسازی قطر ذرات آسیاب شده

برای شبیه‌سازی فرایند تغییر قطر ذرات آسیاب شده نسبت به مدت آب دادن، فرض بر این است که با گذشت زمان آسیاب کردن، قطر ذرات بیشتر کاهش می‌یابد ولی نهایتاً ثابت می‌شود. بنابراین از مدل لگاریتمی کاهشی^۳ برای مدل‌سازی فرایند کاهش قطر ذرات استفاده گردید، که به صورت رابطه ۹ بیان می‌گردد.

$$d=A-N \ln (Kt) \quad (9)$$

که در آن،

d میانگین قطر ذرات آسیاب شده بر حسب میلی‌متر، زمان t بر حسب ساعت، N پارامتر شکل منحنی، K نرخ کاهش میانگین قطر ذرات آسیاب شده با گذشت زمان، و A

که در آن،

MR، M_i و M_e به ترتیب نسبت رطوبت، محتوای رطوبت اولیه و رطوبت تعادلی می‌باشند. لازم به توضیح است که رطوبت تعادلی، رطوبت نهایی هسته است که براساس شرایط آزمایش، متفاوت است و برای هر دمای آزمایش، باید تعیین شود. در مطالعات جذب رطوبت برای تخمین ضریب نفوذپذیری (D) تنها از ۱ یا ۲ جمله اول سری استفاده می‌گردد. در این پژوهش برای t از شعاع متوسط هندسی (GMR) هسته خرما بر حسب متر که با رابطه زیر محاسبه می‌شود استفاده گردید.

$$GMR = \frac{\sqrt[3]{a \times b \times c}}{2} \quad (5)$$

که در آن،

a، b و c به ترتیب طول، عرض و ضخامت هسته می‌باشند که به وسیله کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند.

با توجه به اینکه هسته خرما بیضی‌گون است، مقدار ضریب نفوذپذیری به دست آمده با ضریب نفوذپذیری واقعی متفاوت است. رابطه بین ضریب نفوذپذیری D_e در حالت بیضی‌گون با D که به صورت کروی است با رابطه ۶ بیان می‌گردد (Gaston *et al.*, 2004).

$$D_e = f_e^2 \times D \quad (6)$$

که در آن،

f_e ضریب تصحیح کروی است و برای هسته‌های خرما این ضریب، برابر ۰/۸۷ محاسبه گردید (Gaston *et al.*, 2002).

ب: مدل پیچ و نمایی

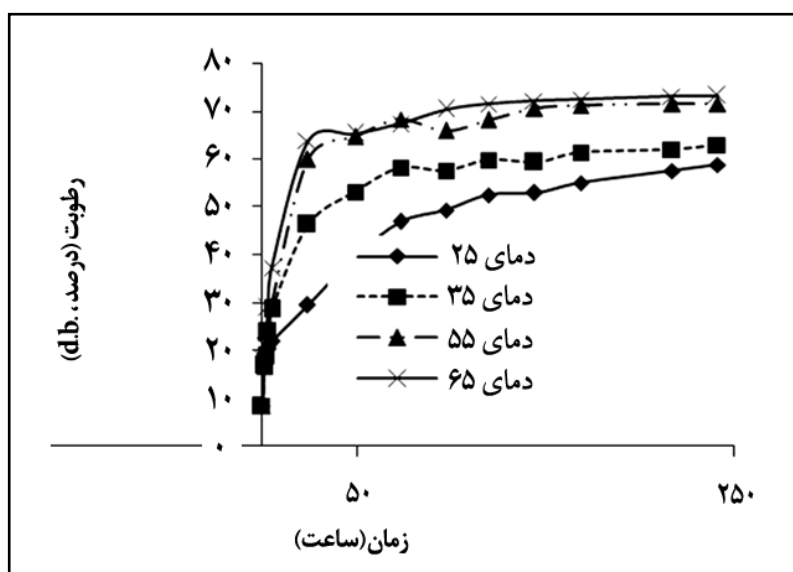
باشد (Noorbakhsh *et al.*, 2006). میانگین قطر ($2 \times GMR$) هسته خرما قبل از آسیاب شدن است که از رابطه ۵ مقدار GMR آن به دست می‌آید.

نتایج و بحث

بررسی میزان جذب آب توسط هسته خرما با افزایش زمان و در دماهای آزمایش شده در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان رطوبت اولیه هسته‌ها برابر ۸/۵ درصد بر پایه خشک به دست آمد. همان‌طور که نمودارها نشان می‌دهد با افزایش دمای آب، میزان جذب رطوبت و همچنین نرخ جذب افزایش می‌یابد. مقدار رطوبت نهایی هسته نیز با افزایش دمای محیط زیادتر می‌شود. حداکثر میزان جذب رطوبت در دماهای ۲۵، ۳۵، ۵۵، و ۶۵ درجه سلسیوس پس از گذشت ۲۴۰ ساعت به ترتیب ۵۹، ۶۲، ۷۱، و ۷۳ درصد بر پایه وزن خشک می‌باشد. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد نرخ جذب رطوبت در ۲۴ ساعت اول آبدهی به شدت تحت تأثیر دما قرار گرفته به طوری که هسته‌ها در دو دمای بالاتر پس از گذشت این مدت، بیش از ۸۵ درصد رطوبت قابل جذب را جذب می‌نمایند.

تعیین پارامترها و ارزیابی مدل‌ها

با استفاده از داده‌های حاصله از آزمایش‌های جذب آب، مقادیر MR در زمان‌های مختلف محاسبه گردید. سپس داده‌های زمان و MR به جعبه ابزار Curve fitting در نرم‌افزار MATLAB برده شدند و پارامترهای مورد نظر برای سه مدل تحلیلی، پیچ و نمایی تخمین زده شدند. پارامترهای مدل لگاریتم کاهش (رابطه ۹) نیز با دادن اندازه‌های قطر متوسط ذرات در زمان‌های مختلف خیساندن به نرم‌افزار MATLAB تعیین شدند. برای ارزیابی برازش هر مدل در داده‌های آزمایشگاهی و مقایسه مدل‌ها با یکدیگر، علاوه بر بررسی عینی نمودارهای به دست آمده، ریشه دوم میانگین مربع خطاها ($RMSE$) و ضریب تبیین (R^2) برای هر مدل محاسبه شد. مدل بهتر برازش شده باید دارای R^2 بزرگتر و $RMSE$ کوچکتری



شکل ۱ - تغییر محتوای رطوبت هسته خرما با افزایش مدت آب دادن

تخمین پارامترهای مدل‌ها

می‌کند و این ضریب با افزایش دمای آب، زیاد می‌شود. افزایش ضریب نفوذپذیری با افزایش دما توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Kang et al., 2000). هرچه دانه سخت‌تر باشد سرعت جذب آب کاهش می‌یابد و بنابراین مدت بیشتری طول می‌کشد که دانه به رطوبت مورد نظر برسد و در نتیجه ضریب نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد. ضریب نفوذپذیری برای گندم بین $1/345 \times 10^{-11}$ تا $6/88 \times 10^{-11}$ متر مربع بر ثانیه (Gaston et al., 2002) و برای برنج بین $1/4 \times 10^{-11}$ تا $9/36 \times 10^{-11}$ متر مربع بر ثانیه (Bello et al., 2007) گزارش شده است. مقایسه این مقادیر با ضرایب نفوذپذیری محاسبه شده برای هسته خرما نشان می‌دهد که نفوذ آب در هسته خرما با سرعت کمتری در مقایسه با گندم و برنج صورت می‌گیرد. تحقیقات انجام شده بر روی دانه ذرت نیز نشان داد که مقدار ضریب نفوذپذیری آن از $0/4 \times 10^{-11}$ تا $2/9 \times 10^{-11}$ متر مربع بر ثانیه متغیر بوده و ضریب نفوذپذیری تحت تأثیر شکل هندسی، رقم و دمای محیط قرار دارد (Kang et al., 2000).

پارامترهای تخمین زده شده برای هر مدل در دماهای مختلف در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. مقادیر مربوط به ضریب تبیین (R^2) و ریشه دوم میانگین مربع خطاها (RMSE) نیز در این جدول نشان داده شده‌اند. مقایسه ضرایب تبیین و ریشه دوم میانگین مربع خطاها نشان می‌دهد که خروجی مدل‌ها به خوبی با داده‌های آزمایشگاهی توافقی دارند ($R^2 \geq 0/95$). با وجود این، در بین این سه مدل، مدل پیچ با بیشترین ضریب تبیین و کمترین مقدار ریشه دوم میانگین مربع خطاها بهتر از دو مدل دیگر داده‌های آزمایشگاهی را توجیه می‌کند. سه مدل برازش شده در داده‌های آزمایشگاهی در دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود تقریباً هر سه مدل به خوبی از داده‌ها عبور کرده‌اند ولی به نظر می‌رسد که مدل پیچ بهتر در داده‌ها برازش شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که مقادیر ضریب نفوذپذیری از $1/16 \times 10^{-11}$ تا $1/993 \times 10^{-11}$ متر مربع بر ثانیه تغییر

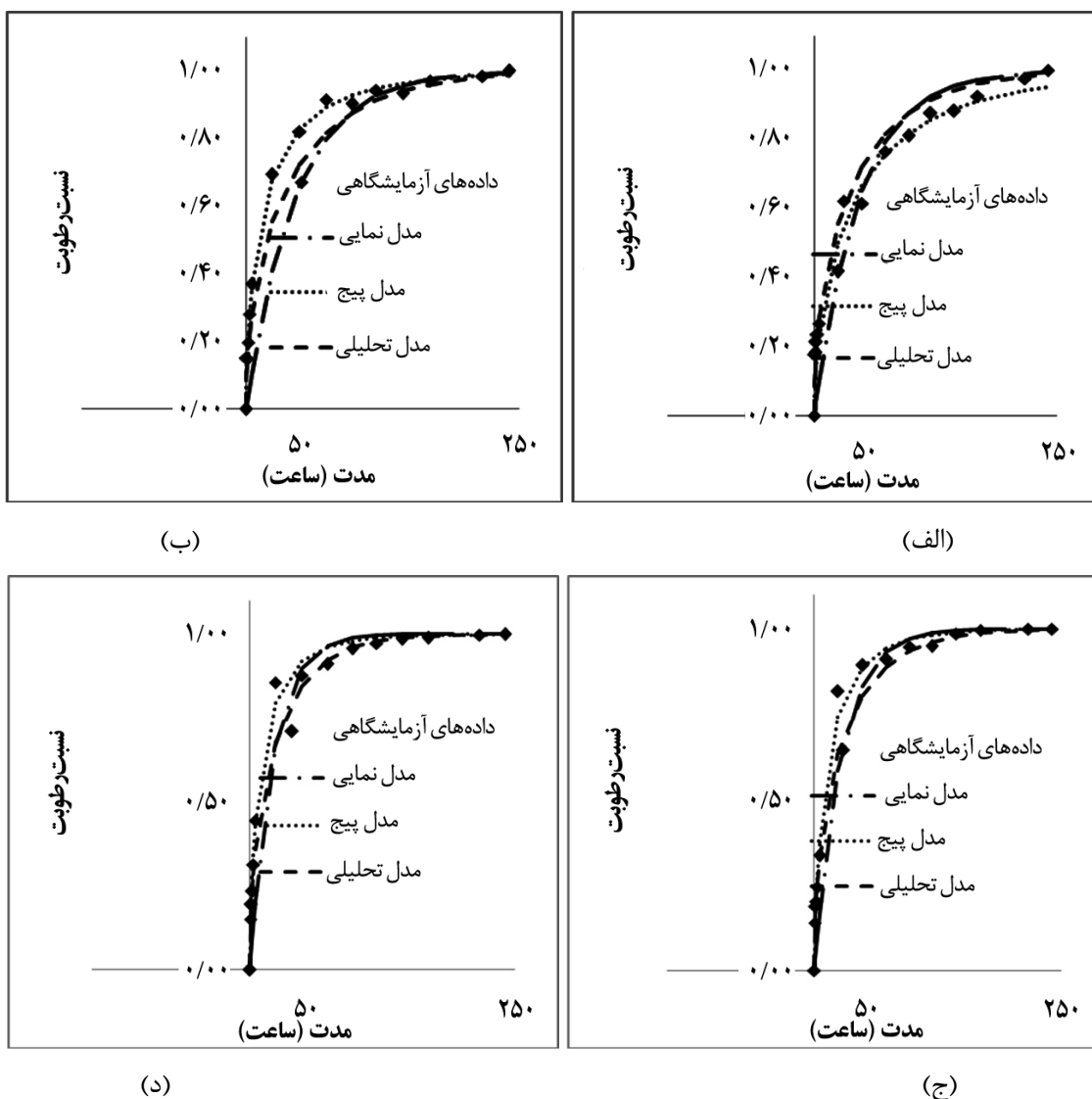
جدول ۱- پارامترهای تخمین زده شده برای برازش مدل‌های مختلف

مدل	دمای محیط (درجه سلسیوس)	k (در ساعت)	N	$D \times 10^{11}$ (متر مربع در ثانیه)	R^2	RMSE
پیچ	۲۵	۰/۰۹۲۵	۰/۶۳۵۶	-----	۰/۹۸۲	۰/۰۰۳
	۳۵	۰/۱۷۱۸	۰/۵۹۷۰	-----	۰/۹۹۷	۰/۰۰۳
	۵۵	۰/۱۵۹۹	۰/۶۷۲۵	-----	۰/۹۹۲	۰/۰۰۱
	۶۵	۰/۲۰۸۴	۰/۶۳۹۰	-----	۰/۹۹۴	۰/۰۱۲
	۲۵	۰/۰۲۱۶	-----	-----	۰/۹۷۸	۰/۰۱۰
نمایی	۳۵	۰/۰۲۱۹	-----	-----	۰/۹۵۳	۰/۰۲۰
	۵۵	۰/۰۳۶۴	-----	-----	۰/۹۷۳	۰/۰۱۱
	۶۵	۰/۰۴۶۴	-----	-----	۰/۹۶۸	۰/۰۱۳
تحلیلی	۲۵	-----	-----	۱/۱۶۰	۰/۹۸۰	۰/۰۰۴
	۳۵	-----	-----	۱/۱۶۴	۰/۹۸۵	۰/۰۰۴
	۵۵	-----	-----	۱/۶۴۰	۰/۹۸۲	۰/۰۰۳
	۶۵	-----	-----	۱/۹۹۳	۰/۹۸۴	۰/۰۰۳
	-----	-----	-----	-----	-----	-----

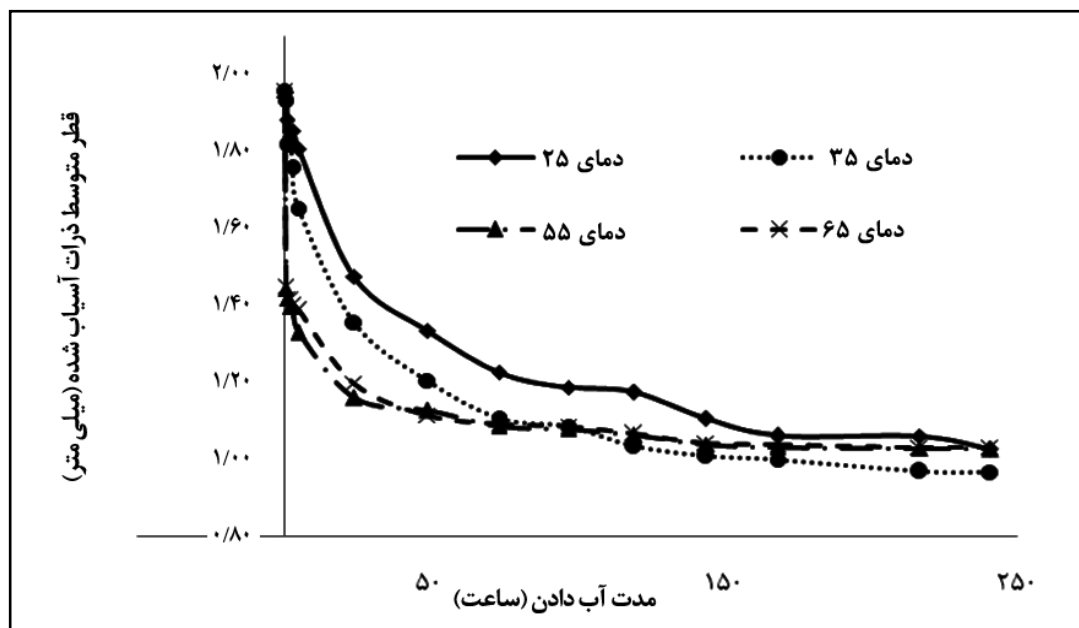
بررسی آسیاب کردن هسته

شکل ۳ تغییرات قطر متوسط ذرات آسیاب شده با افزایش مدت آب دادن در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. روند کاهش قطر در دماهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش دمای آب نرخ و میزان جذب آب توسط هسته‌ها افزایش یافته و افزایش رطوبت سبب نرم‌تر شدن هسته خرد می‌گردد و در نتیجه کاهش قطر ذرات آسیاب شده با نرخ بیشتری انجام می‌شود.

هرچه مدت نگهداری افزایش یابد و رطوبت هسته به رطوبت تعادلی نزدیکتر شود، هسته خردتر شده و آسیاب کردن آن آسانتر می‌شود و در نتیجه زمان و انرژی کمتری برای رسیدن به قطر مورد نظر صرف می‌گردد. تحلیل واریانس نشان داد که اثر زمان و دما و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر قطر ذرات آسیاب شده در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بوده است.



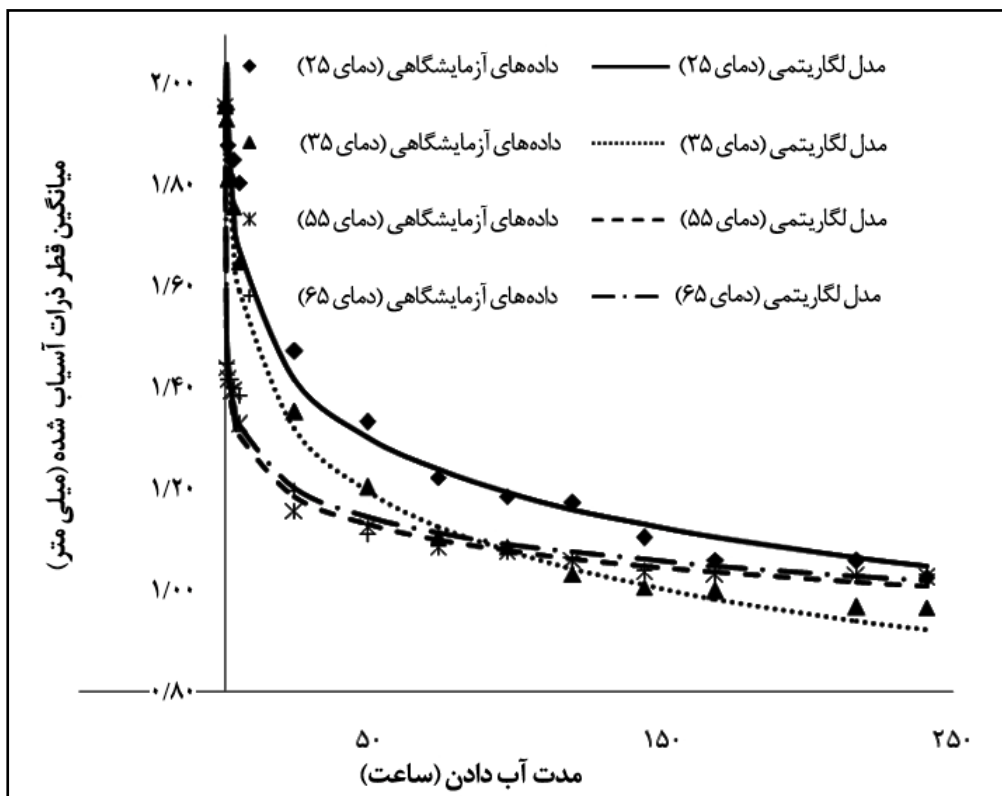
شکل ۲- مقایسه مدل‌های برازش شده در داده‌های آزمایشگاهی



شکل ۳ - نمودار تغییرات قطر متوسط ذرات آسیاب شده با گذشت زمان

می‌شود به طوری که پس از گذشت حدود ۱ ساعت از آب دادن در دو دمای ۵۵ درجه سلسیوس و ۶۵ درجه سلسیوس قطر ذرات از ۱۰/۰۵ میلی‌متر در هسته سالم، به ۱/۴۴ میلی‌متر می‌رسد ولی در دو دمای دیگر این مقدار از ۱۰/۰۵ میلی‌متر در هسته سالم به ۱/۹۰ میلی‌متر می‌رسد. مدل‌ها نشان می‌دهند که با خیس کردن حدود ۷۲ ساعت در دمای بالای ۳۵ درجه سلسیوس و آسیاب کردن تحت شرایط تشریح شده، قطر ذرات به کمتر از ۱/۲ میلی‌متر کاهش می‌یابد، درحالی‌که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس این اندازه قطر متوسط پس از گذشت حدود ۱۷۵ ساعت به دست می‌آید.

شکل ۴ برازش مدل لگاریتمی کاهش یافته را در داده‌های به دست آمده از چهار دمای آزمایش نشان می‌دهد. مقایسه منحنی‌ها با داده‌ها نشان می‌دهد که مدل‌های به دست آمده با داده‌های آزمایشگاهی برازش خوبی دارند. پارامترهای این مدل‌ها به همراه مقادیر مربوط به ضریب تبیین (R^2) و ریشه دوم میانگین مربع خطاهای (RMSE) هر مدل در جدول ۲ ثبت شده‌اند. پارامتر K که نرخ کاهش میانگین قطر ذرات آسیاب شده را نشان می‌دهد با افزایش دما به شدت افزایش می‌یابد. این موضوع به خوبی از داده‌های آزمایشگاهی نیز حاصل



شکل ۴- مقایسه مدل برازش شده در داده‌های آزمایشگاهی

جدول ۲- پارامترهای تخمینی برای مدل لگاریتمی تغییر میانگین قطر هسته‌های خرما آسیاب شده با افزایش مدت آب دادن در چهار دمای ۲۵، ۳۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس.

دما (درجه سلسیوس)	$k \times 10^{-15}$ (در ساعت)	A (میلی‌متر)	N (میلی‌متر)	R^2	RMSE
۲۵	۰/۲۳۳	۱۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۹۸۳	۰/۵۵۴
۳۵	۲/۴۸	۱۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۹۸۷	۰/۶۱۳
۵۵	۷۰۵/۳۴	۱۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۹۸۰	۰/۹۲۴
۶۵	۵۸۴۶/۰۵	۱۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۹۸۴	۰/۸۹۱

نتیجه گیری

ساعت، هسته‌ها به ۸۵ درصد رطوبت اشباع رسیدند. در دمای ۲۵ درجه سلسیوس پس از گذشت ۲۴۰ ساعت هسته‌ها به رطوبت اشباع رسیدند. ارزیابی سه مدل برازش شده در داده‌های جذب رطوبت در دماهای مختلف نشان داد که هر سه مدل به خوبی در داده‌ها برازش شده ولی مدل پیچ، در مجموع، دارای ضریب تبیین بزرگتر و ریشه

آزمایش‌های انجام شده برای خیساندن هسته خرما نشان دادند که نرخ جذب رطوبت در ۲۴ ساعت اول خیساندن به شدت تحت تأثیر دمای آب قرار گرفته و با افزایش دما میزان جذب رطوبت شدیداً افزایش می‌یابد. در دو دمای ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس، پس از گذشت ۲۴

دوم میانگین مربع خطای کوچکتری بود. ضریب نفوذ پذیرى آب در هسته خرما، که با استفاده از قانون دوم فیک (رابطه ۳) محاسبه شد، با افزایش دمای آب افزایش یافت. فرایند آسیاب کردن هسته‌های خرما نشان داد که افزایش دمای خیساندن از ۲۵ به ۳۵ درجه سلسیوس تأثیر عمده‌ای در نرخ کاهش اندازه ذرات داشت ولی دماهای بالاتر از ۳۵ درجه، چندان اختلافی در کاهش قطر ذرات نشان نداد. در مجموع، خیساندن هسته خرما در دمای ۳۵ درجه سلسیوس برای مدت حدود ۷۲ ساعت، برای آسیاب کردن آن مناسب است.

مراجع

- Al-Shahib, W. and Marshall, R. J. 2003. The fruit of the date palm: Its possible use as the best food for the future? Int. J. of Food Sci. Nutr. 54(4):247-259.
- ASAE. 1997. ASAE Standard, S352.2: Moisture measurement—Unground grain and seeds. American Society of Agriculture Engineers (ASAE), St. Joseph, MI.
- ASAE. 1997. ASAE Standard, S319.2: Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. American Society of Agriculture Engineers (ASAE), St. Joseph, MI.
- Bello, M. O., Tolaba, M. P. and Suarez, C. 2007. Water absorption and starch gelatinization in whole rice grain during soaking. LWT. 40, 313-318.
- Calzetta Resio, A. N., Aguerre, R. J. and Suarez, C. 2003. Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. J. Food Eng: 60:391-396.
- Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. New York, N.Y.: Oxford University Press.
- Devshony, S., Eteshola, E. and Shani, A. 1992. Characteristics and some potential application of date palm (*Phoenix dactlifera* L.) seeds and seed oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 69(6):595-597.
- Gaston, A. L., Abalone, R. M. and Giner, S. A. 2002. Wheat drying kinetics. Diffusivities for sphere and ellipsoid by finite elements. J. Food Eng. 52, 313-322.
- Gaston, A. L., Abalone, R. M., Giner, S. A. and Bruce, D. M. 2004. Effect of modeling assumptions on the effective water diffusivity in wheat. Biosyst. Eng. 88(2): 175-185.
- HamShahri Newspaper. 1389. Production more than one million tons of date fruits in Iran, www.hamshahri.org/news-12264.aspx, (In Farsi).
- Haros, C. M., Viollaz, P. E. and Suarea, C. 1995. Effect of temperature and SO₂ on the rates of water absorption of three maize hybrids. J. Food Eng. 25, 473-482.
- Haros, C. M. and Suarea, C. 1999. Effect of chemical treatments and lactic acid on the rate of water absorption and starch yield in corn wet-milling. Cereal Chem. 76, 783-787.
- Hsu, K. H., Kim, J. and Wilson, L. A. 1983. Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. Cereal Chem. 60(3):208-211.
- Hung, T. V., Liu, L. H., Black, R. G. and Trehwella, M. A. 1993. Water absorption in chickpea (*C. arietinum*) and field pea (*P. sativum*) cultivars using the Peleg model. J. of Food Sci. 58(4):848-852.
- Kang, S. and Delwiche, S. 2000. Moisture diffusion coefficients of single wheat kernels with assumed simplified geometries: Analytical approach. Trans. ASAE. 43(6):1653-1659.
- Karapantsios, T. D. Sakonidou, E. P. and Raphaelides, S. N. 2002. Water dispersion kinetics during starch gelatinization. Carbohydrate Polymers. 49, 479-490.
- Laria, J., E. Meza, Mondragon, M. Silva, R. and Pena J. L. 2005. Comparison of overall water uptake by corn kernel with and without calcium hydroxide at room temperature. J Food Eng. 67, 451-456.
- Noorbakhsh, S. Lope, T. and Ghazanfari, A. 2006. Analysis and modeling of water absorption by yellow dent corn kernels before and during gelatinization process. Asian J. Plant Sci. 5(5): 805-810.
- Norris, J. R. and Rooney, L. W. 1970. Wet milling properties of four sorghum parents and their hybrids. Starch. 47, 64-69.

- Perez, O. E. Haros, M. Suarez, C. and Rosell, C. M. 2003. Effects of steeping time on the starch properties from ground whole corn. *J. Food Eng.* 60, 281-287.
- Turhan, M. Sayar, S. Gunasekaran, S. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *J. Food Eng.* 53, 153-159.
- Waezi_Zadeh, M. Ghazanfari, A. and Noorbakhsh, Sh. 2010. Finite element analysis and modeling of water absorption by date pits during a soaking process. *J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol)*. 11(7): 482-488.
- Yuan, J. Chaung, D. S. Seib, P. A. and Wang, Y. 1998. Effects of steeping condition on wet-milling characteristics of hard red winter wheat, *Cereal Chem.* 75, 392-393.

Investigating and Modeling Water Absorption at Different Temperatures and its Effect on Grinding Date Pits

A. Ghazanfari Moghaddam^{*}, M. Vaezi Zadeh and Sh. Noorbakhsh

*Corresponding Author: Associate professor, Horticultural research Institute Shahid Bahonar University of Kerman.

E-mail: aghazanfari@mail.uk.ac.ir

Received: 24 July 2010, Accepted: 27 November 2010

Part of the process of feed preparation or oil extraction for date pits is to soak the pits in water. Soaking softens the pits and reduces the required milling energy. In this research, the effects of water temperature at 25°, 35°, 55° and 65°C on water absorption and grinding of the date pits was investigated. The water absorption curves indicated that the rate of absorption and the final moisture content of the pits increased as the water temperature increased. The final moisture content of the pits for these temperatures were 59%, 62%, 71% and 73% w.b., respectively. Modeling water absorption using analytical, Page and exponential models indicated that the three models showed good fit with the experimental data ($R^2 > 0.95$). The best results were obtained using the Page model with $R^2 = 0.99$. The results of grinding the pits indicated that the average diameter of the ground particles decreased as soaking time and temperature of the water increased. A logarithmic model was defined to express the diameter of the particles as a function of grinding time. The presented model fit well with the experimental data ($R^2 > 0.98$).

Keywords: Date pit, Grinding, Modeling, Water absorption