



تحلیل انتقال حرارت سه وارپته نخود و لوبیا در فرآیند جذب رطوبت

سید مجتبی شفاعی^{۱*}، امین اله معصومی^۲ و هانیه روشن^۳

۱- دانشجوی دکتری بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه شیراز. کد پستی: ۶۵۱۸۶-۷۱۴۴۱

*پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: smshafaei@shirazu.ac.ir

۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی

دانشگاه صنعتی اصفهان. کد پستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

چکیده

در تحقیق حاضر پارامترهای ترمودینامیکی جذب رطوبت سه وارپته لوبیا (تلاش، صدی و محلی خمین) و سه وارپته نخود (کابلی، چیکو و دسی) مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها در سه دمای مختلف آزمایشی (۵، ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) در سه تکرار با آب مقطر انجام شد. مدل پلگ بر داده‌های آزمایشی برازش گردیده و ضرایب ثابت مدل تعیین شد. با استفاده از ضرایب ثابت مدل پلگ و تحلیل رگرسیونی انرژی جذب شده، تغییرات آنتالپی، آنتروپی و انرژی آزاد شده هر سه وارپته نخود و لوبیا در دماهای آزمایشی محاسبه گردید. با اندازه‌گیری حجم متوسط دانه‌ها با استفاده از پیکنومتر و استفاده از نسبت رطوبت دانه‌ها، ضریب مؤثر پخش رطوبت برای هر وارپته نخود و لوبیا در دماهای آزمایشی محاسبه گردید. نتایج نشان داد با افزایش دمای غوطه‌وری از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد آنتالپی دانه‌ها افزایش یافته که در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری بوده ($P < 0.05$) در حالی که آنتروپی و انرژی آزاد شده روند افزایشی داشته و اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نداشتند. ضریب مؤثر پخش رطوبت وارپته‌های لوبیا و نخود با افزایش دما افزایش یافته است. بیشینه و کمینه انرژی جذب شده در فرآیند غوطه‌وری دانه‌ها به ترتیب برای نخود وارپته چیکو برابر با ۳۰۱/۲۸ و وارپته محلی خمین لوبیا برابر با ۸۶/۷۷ کیلو ژول بر مول بدست آمد. مقادیر منفی تغییرات آنتالپی برای وارپته‌ها نشان دهنده تغییرات محتوای رطوبتی دانه‌ها در فرآیند غوطه‌وری به صورت تحولی گرمازا و انتقال انرژی مطلوب بوده است.

کلمات کلیدی: آنتالپی، آنتروپی، انرژی، ضریب مؤثر پخش رطوبت، محتوای رطوبت.

مقدمه

حبوبات پس از غلات، دومین منبع مهم غذایی می‌باشد. حبوبات دانه‌های خشک خوراکی هستند که به خانواده بقولات تعلق دارند. بذر رسیده و خشک این گیاهان دارای ارزش غذایی زیادی بوده و به لحاظ قابلیت نگهداری آن از جمله مهمترین منابع غذایی سرشار از



پروتئین به شمار می‌روند. بررسی سطح زیرکشت و تولید جهانی حبوبات حاکی از آن است که طی دوره ۲۰۰۷-۲۰۰۰ سطح زیر کشت حبوبات با ۱۲/۱۷ درصد افزایش به حدود ۷۳/۳ میلیون هکتار رسیده است.

خیساندن دانه‌ها در فرآیند پوست گیری و پخت آن‌ها به منظور نرم شدن پوسته وهسته آن‌ها و جذب رطوبت، معمول می‌باشد. مقدار آب جذب شده توسط دانه‌های مختلف در مدت زمان غوطه‌وری در آب متفاوت است. اندازه بذور، دمای آب و مدت زمان غوطه‌وری در آب در میزان رطوبت جذب شده توسط بذر مؤثر می‌باشد. استفاده از آب با دمای بالا معمول‌ترین روش در کاهش زمان برای رسیدن به نرخ بالای جذب رطوبت در فرآیند غوطه‌وری در آب می‌باشد (Kashaninejad *et al.*, 2009).

مدل ارائه شده توسط پلگ (۱۹۸۸) این مزیت عمده را دارد که با استفاده از نتایج آزمایشگاهی جذب رطوبت و خشک شدن مواد در فاصله زمانی کوتاه مدت می‌توان زمان به تعادل رسیدن رطوبتی آن مواد را به‌خوبی پیش بینی کرد. به این دلیل مدل فوق معمولاً برای توصیف خاصیت جذب رطوبتی و خشک شدن مواد مورد توجه و استفاده اکثر محققین بوده است (Turhan *et al.*, 1990; Sopade and Obekpa, 2002). مدل ارائه شده توسط پلگ:

$$M_t = M_o + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (1)$$

که در آن M_t محتوای رطوبتی در زمان t پس از غوطه‌وری (%، M_0 محتوای رطوبتی اولیه مواد (%، t زمان غوطه‌وری (ساعت)، K_1 ثابت نرخ جذب آب ($\%^{-1}$ ساعت)، K_2 ثابت ظرفیت ($\%^{-1}$) می‌باشد.

آنتالپی سیستم، تابعی ترمودینامیکی است که با مجموع انرژی درونی سیستم و حا

محیط سیستم، هم ارز است. به عبارت دیگر گرمای جذب شده بوسیله واکنشی که در فشار ثابت انجام می‌گیرد، برابر با تغییر آنتالپی سیستم است. آنتالپی، همانند انرژی داخلی، تابعی از حالت سیستم و مستقل از راهی است که به آن حالت می‌رسد. انتروپی پخش شدن خود به خودی انرژی را نشان می‌دهد. در یک دمای خاص، چه مقدار انرژی در یک فرآیند پخش می‌شود یا با چه وسعتی پخش می‌شود. به عبارت دیگر انتروپیکمیتی ترمودینامیکی است که اندازه‌ای برای درجه بی‌نظمی در هر سیستم است. هر چه درجه بی‌نظمی بالاتر باشد، آنتروپی بیشتر است (Jideani *et al.*, 2002; Sanchez *et al.*, 1992).

هدف از تحقیق حاضر بررسی تغییرات آنتالپی و آنتروپی، انرژی جذب شده و آزاد شده

سه وارسته لوبیا چیتی (تلاش، صدری و محلی خمین) و سه وارسته نخود (کابلی، چیکو و دسی) در فرآیند غوطه‌وری در سه دمای آزمایشی ۵، ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از برازش مدل پلگ بر داده‌های آزمایشی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱-۲- آماده سازی نمونه‌ها

انواع دانه‌های لوبیا (تلاش، صدری و محلی خمین) و نخود (کابلی، چیکو و دسی) از مرکز جمع‌آوری دانه‌های حبوبات خمین، سازمان جهاد کشاورزی خمین، واقع در استان اراک تهیه گردیدند. قبل از انجام آزمایشات مواد خارجی اضافی و دانه‌های شکسته شده و مخدوش جدا گردیده و حذف شدند. دانه

تقسیم بندی شدند. به منظور حذف اثر اندازه دانه‌ها در مقدار جذب آب، از دانه‌ها با اندازه متوسط استفاده گردید. رطوبت اولیه دانه‌ها بر اساس استاندارد ASAE S352.2 DEC97 برای دانه‌های لوبیا (ASAE, 1999) و استاندارد AACC 44-15 برای دانه‌های نخود تعیین شد (AACC, 1999)، که هر شش رقم دارای رطوبت اولیه زیر ۱۰ درصد بر پایه خشک بوده و اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد نداشتند ($P > 0.05$). ظروف مورد استفاده در آزمایش‌ها به همراه آب مقطر از چندین ساعت قبل، در دمای مورد نظر برای انجام آزمایشات قرار داده می‌شد.

۲-۲- انجام آزمایش‌ها

برای هر رقم، آزمایشات در سه دمای ۵، ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد در یخچال و آون انجام شد (در دمای بالاتر احتمال ژلاتینه شدن مواد وجود داشت). در هر آزمایش ۱۰ دانه از دانه‌ها با اندازه متوسط بطور تصادفی انتخاب و با ترازوی آزمایشگاهی (با نشان تجاری AND، مدل GF-400 ساخت کشور ژاپن) با دقت (۰/۰۰۱ گرم) وزن می‌شدند و در ظروف فومی حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم آب مقطر قرار می‌گرفتند. پس از مدت زمان معینی (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ دقیقه و بعد از آن به فاصله هر یک ساعت پس از شروع آزمایش) دانه‌ها از ظرف بیرون آورده می‌شدند و پس از خشک کردن رطوبت سطحی دانه‌ها توسط دستمال کاغذی حوله‌ای مجدداً وزن می‌شدند. از زمان سنج دیجیتال و ترازوی آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری زمان غوطه‌وری و جرم دانه‌ها قبل و بعد از هر مرحله غوطه‌وری استفاده گردید. آزمایشات با سه تکرار انجام گردید. مقدار جذب رطوبت دانه‌ها بر اساس رابطه (۲) محاسبه گشت (McWatters *et al.*, 2002):

$$W_a = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

که W_a مقدار جذب رطوبت بر پایه خشک (% d. b.)، W_f وزن دانه‌ها بعد از غوطه‌وری بر حسب گرم و W_i وزن دانه‌ها قبل از غوطه‌وری بر حسب گرم می‌باشد.



آزمایشات بر اساس جدول زمان‌بندی انجام گردید. داده‌های جمع‌آوری شده در مراحل اولیه و انتهائی آزمایش حذف گردیدند. به-
طوریکه داده‌های اولیه که تفاوت وزن بسیار جزئی ناشی از جذب رطوبت اولیه به علت تراوا نبودن پوسته را نشان می‌داد و همچنین
داده‌های انتهائی پس از حل شدن بیش از ۱٪ وزن اولیه نمونه‌ها در آب در محاسبات وارد نشدند (Peleg, 1988). برای کنترل درصد
حل شدن مواد جامد نمونه‌ها در آب، قبل و بعد از هر آزمایش جرم مخصوص آب مقطر به وسیله پیکنومتر اندازه‌گیری می‌شد.

۳-۲- اندازه‌گیری حجم دانه‌ها

به منظور تعیین حجم دانه‌ها، از هر وارسته دانه‌های آزمایشی یک نمونه ۵۰ تایی با ابعاد متوسط انتخاب گردید. برای اندازه‌گیری حجم
هر دانه از رابطه (۳) استفاده گردید (Mohsenin, 1978).

$$V_s = \frac{(W_{pf} - W_p) - (W_{pfs} - W_{ps})}{\rho_f} \quad (3)$$

که در آن V_s حجم ذرات جامد یا دانه‌ها بر حسب سانتی‌متر مکعب، W_p وزن پیکنومتر خالی بر حسب گرم، W_{pf} وزن پیکنومتر پر شده
با سیال بر حسب گرم، W_{ps} وزن پیکنومتر حاوی دانه‌ها بر حسب گرم، W_{pfs} وزن پیکنومتر حاوی دانه‌ها و پر شده با سیال بر حسب
گرم و ρ_f دانسیته سیال بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب است. در این تحقیق به منظور جلوگیری از نفوذ سیال به داخل بافت بذور از
الکل اتانول به عنوان سیال، استفاده گردید.

۴-۲- برازش مدل پلگ و محاسبات تئوری

مدل پلگ با استفاده از رویه برازش مدل‌های یک متغیره نرم افزار MATLAB R2012b بر داده‌های آزمایشی هر وارسته در
دماهای آزمایشی برازش گردید و ضرایب ثابت مدل تعیین گشت. بررسی های قبلی نشان داده‌اند که در طی فرایند جذب رطوبت مواد
غذایی، انتقال رطوبت عمدتاً از طریق فرآیند پخش صورت می‌گیرد، که به خوبی توسط قانون دوم فیک بیان می‌گردد (Doymaz
, 2003):

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 (D_{eff} M) \quad (4)$$

که در آن M محتوای رطوبتی دانه‌ها (% d. b.)، t زمان (S) و D_{eff} ضریب مؤثر انتشار رطوبت (m^2/s) می‌باشد. رابطه (۴) را در
مختصات کروی می‌توان به صورت معادله (۵) بازنویسی نمود:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \left(D_{eff} \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (5)$$



در حالی که T شعاع کرویت دانه می‌باشد. حل جبری معادله (۵) را می‌توان به شکل معادله (۶) نوشت:

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-D_{eff} n^2 \pi^2}{r^2} t\right) \quad (6)$$

با نادیده گرفتن جملات درجه بالا به صورتی که تغییر محسوسی در نتایج نداشته باشد، ترم اول رابطه (۶) بصورت رابطه (۷) نوشته می‌شود:

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(\frac{-D_{eff} n^2 \pi^2}{r^2} t\right) \quad (7)$$

که در آن MR نسبت رطوبت بوده و به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌گردد:

$$MR = \frac{M(t) - M_e}{M_0 - M_e} \quad (8)$$

در رابطه (۸)، $M(t)$ ، M_e و M_0 به ترتیب رطوبت لحظه‌ای، رطوبت نهایی و رطوبت اولیه دانه‌ها می‌باشد. با لگاریتم‌گیری از طرفین رابطه (۸):

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \frac{D_{eff} \pi^2}{r^2} t \quad (9)$$

بارسم لگاریتم طبیعی داده‌های بدست آمده در طول آزمایش نسبت به زمان، خطی با شیب S بدست می‌آید که از مساوی قرار دادن این شیب با ضریب t در رابطه (۹) ضریب مؤثر انتشار رطوبت را می‌توان به کمک رابطه (۱۰) محاسبه کرد. این روش توسط بسیاری از محققین مورد استفاده قرار گرفته است (Ozbek and Dadali, 2007; Wang *et al.*, 2007).

$$S = \frac{D_{eff} \pi^2}{r^2} \quad (10)$$

با اندازه‌گیری حجم متوسط دانه‌های در هر وارسته و استفاده از حجم کره معادل، شعاع معادل کرویت بذور (r) محاسبه گردید. برخی از محققین نشان دادند که با ترکیب معادله (۷) و معادله (۱) می‌توان وابسته بودن ضرایب ثابت مدل پلگ را به دما مطابق با رابطه (۱۱) نشان داد:

$$\frac{1}{K_1} = K_{ref} \exp\left[\frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (11)$$

در این رابطه K_{ref} ضریب جذب رطوبت در دمای مرجع، E_a انرژی جذب شده (Kj/mol)، R ثابت عمومی گازها (8.314)



T ، k (J/mol/K)، دمای آزمایشی و T_{ref} دمای مرجع (کلوین) می‌باشد. به منظور کاهش خطای خطی سازی معادله (۱۱) دمای مرجع، متوسط دماهای آزمایشی انتخاب گردید (Gowen *et al.*, 2007). با لگاریتم گیری از طرفین معادله (۱۱) معادله خطی (۱۲) حاصل می‌گردد.

$$\ln\left(\frac{1}{k_1}\right) = \ln K_{eff} + \left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right) \quad (12)$$

اگر $\ln(1/k_1)$ در مقابل $(1/T_{ref}) - (1/T)$ رسم شود خطی با شیب (E_a/R) بدست آمده که از آن می‌توان انرژی جذب شده را محاسبه نمود. با محاسبه انرژی جذب شده می‌توان تغییرات آنتالپی، آنتروپی و انرژی آزاد شده را به ترتیب مطابق روابط (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) محاسبه نمود.

$$\Delta H = E_a - RT \quad (13)$$

$$\Delta S = R \left(\ln A - \ln \frac{K_B}{h_p} - \ln T \right) \quad (14)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (15)$$

در این روابط R ثابت عمومی گازها، $\ln A$ عرض از مبدا، K_B ثابت بولتزمن $(1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1})$ ، h_p ثابت پلانک $(6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})$ و T دمای مطلق بر حسب کلوین می‌باشد.

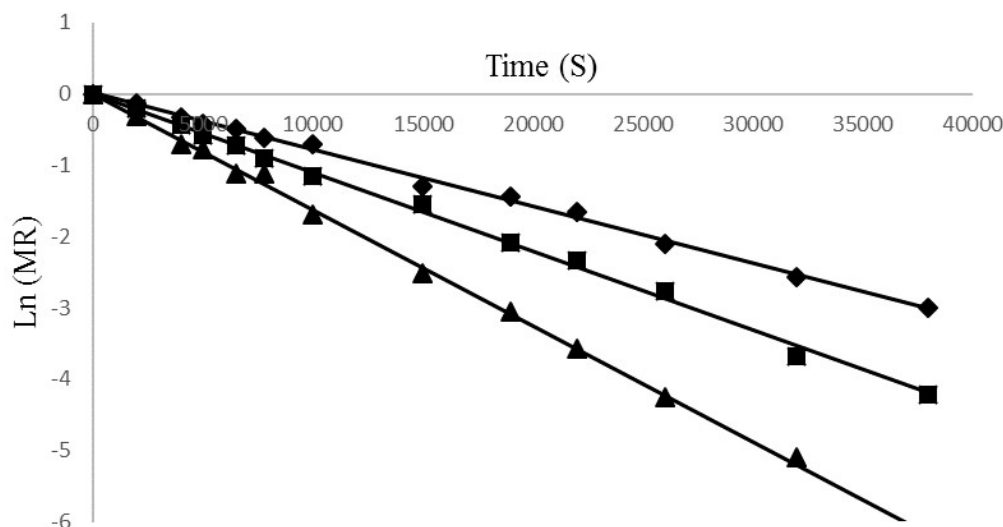
نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر دما بر ضریب مؤثر انتشار رطوبت

شکل (۱) لگاریتم طبیعی داده‌های بدست آمده در طول آزمایش نسبت به زمان را برای لوبیا وارپته چیکو در سه دمای آزمایشی ۵، ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که شیب تغییرات نمودار ضریب مؤثر انتشار رطوبت این وارپته در دماهای مختلف می‌باشد. سایر وارپته‌ها هم دارای رفتار مشابهی بوده‌اند. برای وارپته‌های لوبیا نتایج مقایسه شیب خطوط در دماهای مختلف نشان داد که با افزایش دما ضریب مؤثر انتشار رطوبت افزایش می‌یابد که در سطح احتمال ۵ درصد دارای احتمال معنی داری می‌باشد ($P < 0.05$). در حالی که برای وارپته‌های نخود با افزایش دما ضریب مؤثر انتشار رطوبت افزایش می‌یابد که در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نمی‌باشد ($P > 0.05$). با افزایش دمای غوطه‌وری دانه‌ها در زمان کمتری به محتوای رطوبتی بیشتری رسیده و افزایش سطح اتفاق افتاده که به تبع آن انتقال حرارت در سطح بیشتر در فاصله زمانی کمتر اتفاق می‌افتد. مشابه بودن خواص فیزیکی وارپته‌های نخود، رفتار مشابه



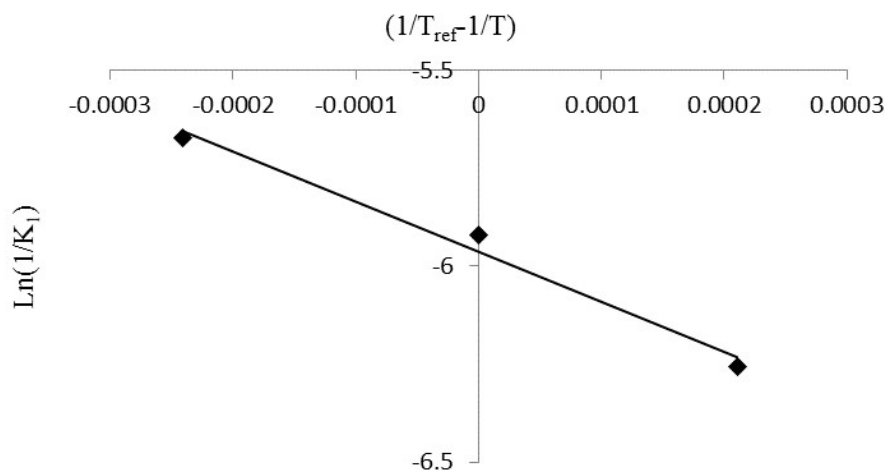
این واریته‌ها را منجر می‌شود. در جدول (۲) و (۳) ضریب مؤثر انتشار رطوبت به ترتیب برای واریته‌های لوبیا و نخود درج شده است. برخی از محققین نتایج مشابهی برای ضریب مؤثر انتشار رطوبت ذرت دانه‌ای در فرآیند جذب رطوبت دست یافتند (Kashiri et al., 2010).



شکل ۱. محاسبه ضریب مؤثر انتشار رطوبت واریته چکیو نخود، ۵ °◆، ۲۵ °■ و ۴۵ °▲

۳-۲- انرژی جذب شده

در شکل (۲) مقادیر $\ln(1/k_1)$ در مقابل $((1/T_{ref}) - (1/T))$ که خطی با شیب (E_a/R) می‌باشد برای واریته صدی لوبیا ترسیم شده است. رفتاری مشابه برای سایر واریته مشاهده شد. بیشینه و کمینه انرژی جذب شده در فرآیند غوطه‌وری دانه‌ها به ترتیب برای نخود واریته چیکو برابر با $301/28$ و لوبیا واریته محلی خمین برابر با $86/77$ کیلو ژول بر مول بدست آمد. جدول (۱) مقادیر انرژی جذب شده هر واریته را نشان می‌دهد. مقادیر انرژی جذب شده برای واریته‌های مختلف لوبیا و نخود متفاوت بوده که در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری می‌باشند ($P < 0.05$). این موضوع بیانگر تفاوت در خواص فیزیکی واریته‌ها به انتقال حرارت و جذب انرژی می‌باشد. مقادیر مثبت انرژی بیانگر جذب انرژی توسط دانه‌ها به هنگام غوطه‌وری به منظور جذب رطوبت و افزایش حجم دانه‌ها می‌باشد. افزایش دمای آزمایشی از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد فقط باعث تغییر در سست شدن بافت دانه و انتشار سریعتر رطوبت در دانه‌ها بوده است. سایر محققین به نتایج مشابه مقادیر انرژی جذب شده در مقابل تغییرات دما برای ۴ واریته لوبیا کشت شده در مناطق آفریقای جنوبی دست یافتند (Jideani and Mpotokwana, 2009).



شکل ۲. محاسبه انرژی جذب شده در فرآیند غوطه‌وری لوبیا رقم صدری در دماهای آزمایشی

۵، ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد

جدول ۱. مقادیر انرژی جذب شده در انتقال حرارت از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد

واریته	انرژی جذب شده (kJ/mol)	$K_{ref} \times 10^{-4}$	R^2
تلاش	۲۵۳/۷۱۷	۳۳/۱۹	۰/۹۷۷
صدری	۱۵۴/۳۵۴	۲۶/۸۳	۰/۹۸۵
محلی خمین	۸۶/۷۷۳	۵۲/۱۵	۰/۹۵۵
کابلی	۱۲۶/۲۶۹	۲۴۰	۰/۹۱۳
چیکو	۳۰۱/۲۷۵	۱۶۰	۰/۹۷۴
دسی	۱۴۱/۱۲۳	۲۹۰	۰/۹۲۰

۳-۳- تاثیر دما بر آنتالپی، آنتروپی و انرژی آزاد شده فرآیند

در جدول (۲) و (۳) تاثیر تغییرات دما بر آنتالپی، آنتروپی و انرژی آزاد شده فرآیند به ترتیب برای واریته لوبیا و نخود مشاهده می‌گردد. برای تمام واریته‌ها، مقدار منفی مقادیر آنتالپی بر تغییرات محتوای رطوبتی دانه‌ها در فرآیند غوطه‌وری به صورت تحولی گرمازا و انتقال انرژی مطلوب تاکید دارد (Reusch, 2007). با افزایش دمای غوطه‌وری برای هر واریته، آنتالپی در سطح احتمال ۵ درصد افزایش یافت ($P < 0.05$). این پدیده به دلیل گرمای جذب شده در فشار ثابت به همراه افزایش حجم دانه‌ها می‌باشد. افزایش حجم دانه‌ها در واقع افزایش جذب رطوبت در زمان یکسان در اثر افزایش دما می‌باشد.

در فرآیند غوطه‌وری با افزایش دمای غوطه‌وری آنتروپی با مقادیر منفی افزایش یافته که اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج



درصد نداشت ($P > 0.05$). همچنین انرژی آزاد شده با افزایش دما با مقادیر مثبت افزایش می‌یابد که اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نداشت ($P > 0.05$). مقادیر مثبت انرژی آزاد شده بیانگر جذب انرژی از محیط اطراف بوده است (Reusch, 2007). نتایج مشابه توسط محققین برای ۴ وارپته لوبیا گزارش گردیده است (Jideani and Mpotokwana, 2009).

جدول ۲. پارامترهای ترمودینامیکی وارپته‌های لوبیا در فرآیند جذب رطوبت

وارپته	دما (C°)	تغییرات آنتالپی (cal/mol)	تغییرات آنتروپی (cal/Kmol)	انرژی آزاد شده (kcal/mol)	ضریب مؤثر انتشار رطوبت $(m^2/s) \times 10^{-6}$
تلاش	۵	-۲۰۵۸/۸۲۳	-۲۴۴/۲۸۶	۶۵/۸۹۰	۱/۷۷۸
	۲۵	-۲۲۲۵/۱۰۴	-۲۴۵/۴۶۱	۶۸/۵۷۴	۳/۹۵۲
	۴۵	-۲۳۹۱/۳۸۶	-۲۴۶/۳۳۳	۷۵/۹۷۹	۵/۱۴۱
صدری	۵	-۲۱۵۸/۱۸۷	-۲۴۵/۴۳۱	۶۶/۱۰۸	۱/۶۲۷
	۲۵	-۲۳۲۴/۴۶۳	-۲۴۵/۹۵۸	۶۸/۶۲۳	۳/۶۵۱
	۴۵	-۲۴۹۰/۷۴۱	-۲۴۶/۴۵۸	۷۵/۶۰۲	۴/۹۳۲
محلی خمین	۵	-۲۲۲۵/۷۷۹	-۲۳۴/۸۲۱	۶۳/۰۹۰	۱/۸۸۶
	۲۵	-۲۳۹۲/۰۵۵	-۲۳۶/۷۵۲	۷۰/۲۸۳	۳/۱۶۲
	۴۵	-۲۵۵۸/۳۳۲	-۲۳۷/۴۵۲	۷۲/۹۸۷	۵/۳۵۴

جدول ۳. پارامترهای ترمودینامیکی وارپته‌های نخود در فرآیند جذب رطوبت

وارپته	دما (C°)	تغییرات آنتالپی (cal/mol)	تغییرات آنتروپی (cal/Kmol)	انرژی آزاد شده (kcal/mol)	ضریب مؤثر انتشار رطوبت $(m^2/s) \times 10^{-6}$
کابلی	۵	-۲۱۸۶/۲۷۶	-۲۴۳/۲۵۳	۶۵/۴۷۴	۱/۵۰۳
	۲۵	-۲۳۵۲/۵۵۱	-۲۴۶/۶۹۵	۷۱/۸۶۹	۱/۶۷۱
	۴۵	-۲۵۸۳/۸۳۲	-۲۵۱/۶۸۲	۷۷/۵۵۳	۱/۹۴۳
چیکو	۵	-۲۰۱۱/۲۶۹	-۲۴۵/۹۳۵	۶۶/۳۹۵	۱/۰۲۳
	۲۵	-۲۱۷۷/۵۴۲	-۲۴۸/۳۵۳	۷۱/۸۶۹	۱/۳۴۸
	۴۵	-۲۳۴۳/۸۲۳	-۲۴۹/۳۸۹	۷۳/۴۸۹	۱/۷۵۱
دسی	۵	-۲۱۷۱/۴۲۸	-۲۴۱/۲۰۴	۶۴/۹۱۹	۱/۵۹۱
	۲۵	-۲۳۳۷/۷۰۰	-۲۴۲/۱۶۸	۷۱/۷۷۶	۱/۹۰۱
	۴۵	-۲۵۰۳/۹۸۷	-۲۴۸/۵۸۹	۷۴/۵۴۱	۲/۰۲۴

نتیجه‌گیری

تغییرات پارامترهای ترمودینامیکی در طول فرآیند جذب رطوبت دانه‌های نخود و لوبیا بیانگر تحولی گرمازا و انتقال انرژی مطلوب بوده است. آنتالپی، آنتروپی، انرژی آزاد شده و ضریب مؤثر پخش رطوبت دانه‌ها برای واریته‌های لوبیا و نخود با افزایش دمای غوطه‌وری از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

منابع

- 1-AACC. 1999. Methods 44-15A, Moisture – air – oven. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, The Association, St. Paul.
- 2-ASAE. 1999. ASAE Standards, 46th ed. 1999. S352.2: Moisture measurement - unground grain and seeds. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- 3-Doymaz, I., and M. Pala. 2003. The Thin-layer Drying Characteristics of Corn. *Journal of Food Engineering*, 60, 125-130.
- 4-Gowen, A., A. Abu-Ghannam, J. Frias, and J. Oliveira. 2007. Influence of preblanching on the water absorption kinetics of soybeans. *Journal of Food Engineering*, 78 (3), 965–971.
- 5-Jideani, V. A., and S. M. Mpotokwana. 2009. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering*, 92, 182–188.
- 6-Jideani, V.A., I. Nkama, E. B. Agbo, and I. A. Jideani. 2002. Mathematical modeling of odor deterioration of millet (*Pennisetum glaucum*) dough (fura) as affected by time-temperature and product packaging parameters. *Cereal Chemistry*, 79 (5), 710–714.
- 7-Kashaninejad, M., A. M. Dehghani, and M. Khashiri. 2009. Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). *Journal of Food Engineering*, 91(4), 602–607.
- 8-Kashiri, M., M. Kashaninejad, and N. Aghajani. 2010. Modeling Water Absorption of Sorghum during Soaking. *Latin American Applied Research*, 40:383-388.
- 9-Mc Watters, K. H., M. S. Chinnan, R. D. Phillips, L. R. Beuchat, L. B. Reid, and R. M. Mensa-Wilmot. 2002. Functional, nutritional, mycological and akara-making properties of stored cowpea meal. *Journal of Food Science*, 67 (6), 2229–2234.



- 10-Mohsenin N. N. 1978. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Press, New York.
- 11-Ozbek, B., and G. Dadali. 2007. Thin-layer Drying Characteristics and Modelling of Mint Leaves undergoing Microwave Treatment. Journal of Food Engineering, 83, 541-549.
- 12-Peleg, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. Journal of Food science, 53, 1216-1219.
- 13-Reusch, W. 2007. The nature of energy. In: Virtual Textbook of Organic Chemistry.
- 14-Sanchez, L., J. M. Peiro, M. D. Castillor, M. D. Perez, J. M. Ena, and M. Calvo. 1992. Kinetics parameters for denaturation of bovine milk lactoferrin. Journal of Food Science, 57, 873-879.
- 15-Sopade, P. A., J. A. Obekpa. 1990. Modeling water absorption in soybean, cowpea and peanuts at three temperatures using Peleg's equation. Journal of Food Science, 55, 1084-1087.
- 16-Turhan, M., S. Sayar, and S. Gunasekaran. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. Journal of Food science, 53, 153-159.
- 17-Wang, Z., J. Sun, F. Chen, X. Liao, and X. Hu. 2007. Mathematical Modeling on Thin Layer Microwave Drying of Apple Pomace with and without Hot Air Pre-drying. Journal of Food Engineering, 80, 536-544.



Heat Transfer Analysis of Three Varieties of Chickpea and Bean during Water Absorption

S. M. Shafaei^{1*}, A. A. Masoumi² and H. Roshan³

1- Ph. D. Student of Mechanics of Farm Machinery Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, 71441-65186, Iran.

* Corresponding author's E-mail: smshafaei@shirazu.ac.ir

2, 3- Assistant Professor and Former M. Sc. Student respectively, Department of Farm Machinery, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.

Abstract

Thermodynamic parameters of water absorption of three varieties of bean (Talash, Sadri and Mahali Khomein) and three varieties of chickpea (Kabuli, Chico and Desi) was investigated in this study. The experiments were carried out at three different temperatures (5, 25 and 45°C) in triplicate using distilled water. The Peleg model was fitted to data and constants of model for each sample at different temperatures were determined. An energy activation, enthalpy and entropy variations, and entropy of activation of three varieties of bean and chickpea in different temperature was determined using regression analysis and Peleg constant model. The effective moisture diffusivity of each variety was settled by metering average seed volume using pycnometer device and seed moisture ratio equation. Result demonstrated that with increasing temperature from 5 to 45°C, seed enthalpy increased in significantly difference ($P < 0.05$). While the entropy and entropy of activation have increased and were not significantly different at the 5% level. The effective moisture diffusivity of varieties of bean and chickpea increased with increasing temperature. Maximum and minimum energy activation in the seeds soaking were obtained for chickpea variety, Chico with 301.28 and bean variety Mahali Khomeini with 86.77 kJ/mol, respectively. The negative values of enthalpy for all the variety indicate that changes during the hydration of bean and chickpea seeds are associated with exothermic and energetically favorable transformation.

Keywords: enthalpy and entropy, energy, effective moisture diffusivity, moisture content.