Archive of SID

مقاله نامه هفتمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه مازندران
۲۰و۲۱ آبان ۱۳۹۴

تعیین ضریب پخش موثر و انرژی فعال‌سازی برگه سیب در طی خشک کردن خلأ

نادی ، فاطمه[۱] ؛آبدانان مهدیزاده، سامان[۲]

[۱] گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر

[۲] گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

چکیده

خشک کردن فرآیندی است که در آن از افزایش حرارت برای کاهش رطوبت داخلی مواد استفاده می‌شود. به‌کارگیری خلأ در این روش، میزان حرارت مورد نیاز برای خشک کردن را کاهش می‌دهد و در نتیجه صدمات وارده به محصول کاهش یافته و تخریب کمتری در ساختار آن ایجاد می‌شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از خلأ در تمامی روش‌های خشک کردن میوه‌ها، تاثیری متفاوت دارد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی آزمایشگاهی سینتیک خشک کردن خلأ ورقه‌های نازک سیب برای محاسبه ضریب پخش موثر می‌باشد . آزمایشات خشک کردن لایه نازک تحت سه سطح دمای خشک کن ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس تحت فشار ۰/۲ بار و ضخامت ۵ میلی‌متر انجام شد. آزمایش خشک کردن خلا سیب در مرحله نرخ کاهنده خشک شدن بود . برای توضیح انتقال رطوبت از لایه‌های نازک سیب، مدل فیک پخش مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد مقدار ضریب پخش موثر در نمونه های خشک شده در دماهای بین ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس، از $۴/۷۶ \times ۱۰^{-۱۰}$ تا $۶/۷۲ \times ۱۰^{-۱۰}$ تغییر می‌کند. که نشان دهنده اثر دمای خشک کن روی پدیده پخش می‌باشد. با استفاده از رابطه‌ی آرنیوس انرژی لازم برای فعال سازی ۱۴/۷۱ kJ/mol به‌دست آمد.

Determination of the effective diffusivity coefficient of Apple Slice during Vacuum Drying

Nadi, Fatemeh[1]; Abdanan Mehdizadeh, Saman[2]

[1]*Department of Agricultural Machinery Engineering, Azadshar Branch, Islamic Azad University, Iran.*
[2]*Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan,Iran.*

Abstract

Drying is the process in which, increase of heat is utilized to reduce moisture content of materials. Employing vacuum in this method, reduce the heat required for drying; this leads to reduce damages to the final product as well as degradation of its structure. The results show that the use of vacuum in all methods of drying fruits has different effects. The aim of this study was to determine the kinetics of vacuum drying of thin apple layers to calculate effective diffusivity coefficient. Thin layer drying experiments were performed under three levels of temperatures (50, 60 and 70 °C), pressure of 2.0 bar and thickness of 5 mm. The entire process occurred in the falling rate period. To explain moisture transfer of thin layer of apples, Fick's diffusion model was used. The results showed that the effective diffusivity coefficient in the samples dried at temperatures between 50 to 70°C, 4.76×10-10-6.72×10-10, which shows the effect of drying temperature on the diffusivity. Using Arrhenius relation, activation energy 14.71 kJ/mol was obtained.

مقدمه

بخش عمده‌ای از میوه‌ها و سبزی‌های کشور ما به‌طریق سنتی و با استفاده از نور خورشید و یا با استفاده از جریان هـوای گـرم بـه خشکبار تبدیل می‌شوند. بدون شک روش سنتی رایج بـه دلایلـی نظیر کندی فرآیند و افزایش آلودگی‌های میکروبـی، چروکیـدگی و قهوه‌ای شدن شدید محصول نهایی، شیوه مطلوبی نیست [۱،۲]. از

www.SID.ir

Archive of SID

طرفی در روش‌های متداول صنعتی، با بهره‌گیری از جریان هوای نسبتاً داغ حتی در مدت زمان بسیار کوتاهتری نسبت به روش سنتی اولاً، نیاز به انرژی جهت انجام فرآیند افزایش می‌یابد و ثانیاً کیفیت محصول نهایی به‌لحاظ ویژگی‌های ارگانولپتیک و تغذیه‌ای شدیداً افت و کاهش پیدا می‌کند [۲]. به‌علاوه در این دو روش جهت جلوگیری از واکنش‌های قهوه‌ای شدن از ترکیبات متفاوت شیمیایی به‌ویژه مواد گوگرد دار استفاده می‌شود و بدین ترتیب سلامت مصرف کننده در معرض خطر قرار می‌گیرد.

خشک کردن در خلأ یکی از راه‌های موثر خشک کردن مواد غذایی حساس به دما، اکسید شونده سریع و محصولات بیولوژیکی است. فشار کمتر (خلأ) در سامانه، اجازه استفاده از دماهای پایین‌تر خشک کردن را برای رسیدن به محتوی رطوبتی نهایی محصول می‌دهد و باعث تولید محصولی با کیفیت بهتر نسبت به خشک کردن تحت فشار اتمسفر می‌شود[۳].

با توجه به مطالعات انجام شده، با تجزیه یک فرآیند ترکیبی مانند خشک کردن، به عناصر اصلی آن، به یک سیستم ساده‌تر تبدیل شده که می‌تواند مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. بنابراین اندازه‌گیری خصوصیات خشک کردن مانند پارامترهای موثر در سینتیک خشک کردن لایه نازک می‌تواند در ایجاد دورنمایی مناسب برای طراحی تجهیزات صنعتی خشک کردن مورد استفاده قرار گیرد [۴]. از این رو هدف از مطالعه حاضر تعیین ضریب نفوذ و انرژی فعال‌سازی به‌عنوان مهمترین پارامتر در سینتیک خشک کردن است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سیب رقم گلدن دلیشز استفاده شد. پس از شستن و پوست کندن سیب‌ها، برگه‌های سیب با ضخامت ۵ میلی‌متر به‌وسیله دستگاه ورقه‌بر تهیه شد. برای انجام آزمایش‌ها از یک خشک‌کن خلاء آزمایشگاهی استفاده گردید. برای رسیدن سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایش‌ها ۳۰ دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع می‌شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده میشد. ۸۰ گرم ورقه نازک سیب بر روی دو سینی توری آلومینیمی به ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی‌متر به‌گونه‌ای ریخته شد که روی هر سینی یک لایه از محصول قرار می‌گرفت. آنگاه آزمایش‌های خشک کردن در سه سطح دمایی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس تحت فشار ۰/۲ بار در سه تکرار انجام شد. در طی خشک شدن، وزن برگه‌ها به‌وسیله حسگر داخل خشک‌کن، که متصل به رایانه بود، اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. خشک شدن تا زمان ثابت شدن وزن برگه‌های سیب ادامه داشت.

محاسبه ضریب نفوذ موثر

برای محاسبه ضریب نفوذ موثر از قانون دوم فیک استفاده شد.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} = \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} \qquad (۱)$$

که در آن M مقدار رطوبت موضعی در مبنای خشک، t زمان، r شعاع، D_{eff} ضریب نفوذ موثر می‌باشد. حل معادله فیک برای نمونه سیلندری شکل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{L^2}\right) \qquad (۲)$$

که در آن MR نسبت رطوبت و L نصف ضخامت ورقه سیب می‌باشد.

ضریب k با رسم منحنی Ln(MR) در مقابل زمان طبق معادله (۳) قابل محاسبه است (۴):

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \qquad (۳)$$

محاسبه انرژی فعال‌سازی

با داشتن ضریب نفوذ موثر و در نظر گرفتن رابطه آرنیوس برای بیان رابطه ضریب نفوذ با انرژی فعال‌سازی؛ E_a تعیین شود:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT_a}\right) \qquad (۴)$$

D_0 ثابت ضریب نفوذ m^2/s، E_a انرژی فعال‌سازی kJ/mol، R ثابت جهانی گازها kJ/mol و T_a دمای مطلق هوا K می‌باشد.

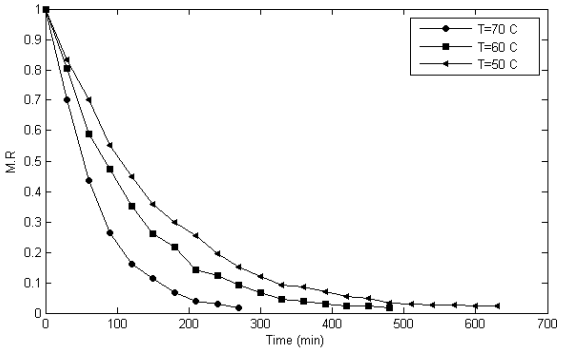
www.SID.ir

Archive of SID

انرژی فعال‌سازی از طریق نمودار(D) Ln در مقابل (1/T) به‌دست می‌آید.

نتایج و بحث

آزمایش‌ها در سه سطح دمایی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس تحت فشار خلأ ۰/۲ بار با برگه‌های سیب به ضخامت ۵ میلی‌متر در سه تکرار انجام شد. رطوبت برگه‌های سیب در ابتدای فرآیند خشک کردن ۸۷٪ بر پایه تر بود که در انتهای فرآیند خشک کردن رطوبت برگه‌های سیب به۱۰٪ بر پایه تر رسید. خشک کردن تا زمانی ادامه داشت که تغییرات برگه‌ها بسیار کم شده در نتیجه شدت خشک کردن تقریباً صفر شود و نیازی به خشک کردن تا رطوبت تعادلی نباشد[۵]. منحنی خشک کردن برگه‌های سیب در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی نمودارها نشان می‌دهد که افزایش دمای خشک کردن از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس باعث کاهش ۵۷/۱۴٪ در مدت زمان خشک کردن برگه‌های سیب شد. شکل ۱ نشان می‌دهد که فرآیند خشک کردن برگه سیب در منطقه سرعت نزولی اتفاق می‌افتد.



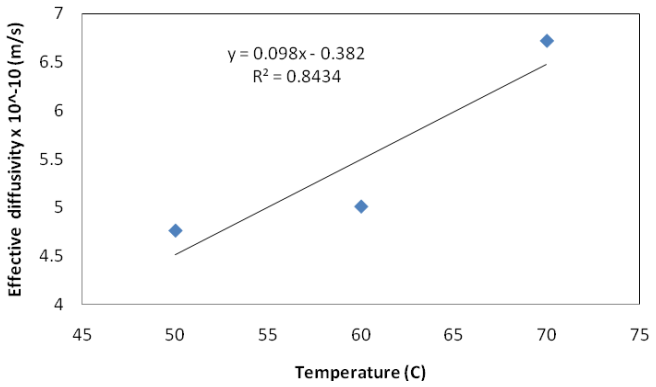
شکل ۱ منحنی خشک کردن برگه سیب تحت خلأ

ضریب پخش موثر D_{eff} توسط معادله (۳) محاسبه شد و در جدول (۱) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقدار ضریب پخش موثر در برگه‌های خشک شده در دماهای بین ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس از $۴/۷۶ \times ۱۰^{-۱۰}$ **تا** $۶/۷۲ \times ۱۰^{-۱۰}$ تغییر می‌کند. مشاهده می‌شود که کم‌ترین مقدار ضریب پخش موثر در دمای ۵۰ درجه سلسیوس است در حالیکه بیش‌ترین مقدار ضریب پخش موثر در دمای ۷۰ درجه سلسیوس است. به‌طور کلی، مقدار ضریب پخش موثر برای مواد غذایی در محدوده‌ی $۱۰^{-۹}$ تا $۱۰^{-۱۱}$ تغییر می‌کند. دانستن پخش رطوبت برای طراحی فرآیند، کنترل کیفی، مسائل مربوط به انبار کردن و چگونگی جابجایی مناسب محصولات لازم می‌باشد [۶،۷].

جدول ۱ اثر تغییرات دمای خشک کردن برضریب نفوذ موثر

دما (درجه سلسیوس)	ضریب نفوذ موثر (m^2/s)
۵۰	$۴/۷۶ \times ۱۰^{-۱۰}$
۶۰	$۵/۰۱ \times ۱۰^{-۱۰}$
۷۰	$۶/۷۲ \times ۱۰^{-۱۰}$

نتایج نشان‌دهنده رابطه مستقیم خطی بین دما و ضریب پخش موثر است. که نشان می‌دهد هرچه دما افزایش یابد.

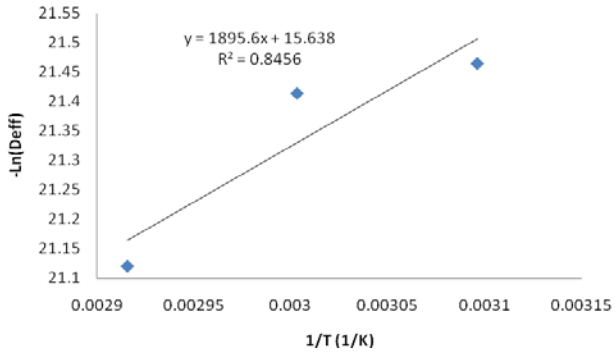


شکل ۲ منحنی تغییرات ضریب نفوذ با دمای خشک کردن

با استفاده از رابطه ی آرنیوس که در معادله‌ی ۴ آمده است، وابستگی ضریب موثر پخش به دما به درستی توضیح داده شد. انرژی فعال سازی و ثابت ضریب پخش از شیب نمودار آرنیوس (Ln(D)-1/T) محاسبه شد و ۱۴/۷۱ kJ/mol K به‌دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ ارتباط بین ضریب پخش موثر و دما

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعه انجام شده در فرآیند خشک کردن برگه سیب با خشک‌کن خلأ آزمایشگاهی نتایج به‌دست آمده به شرح زیر است:

۱- ضریب نفوذ موثر سیب همچون اغلب مواد غذایی بین $۱۰^{-۹}$ تا $۱۰^{-۱۱}$ تعیین شده است.

۲- تغییر دما تاثیر بسزایی در فرآیند خشک کردن سیب خواهد داشت.

۳- خشک کردن سیب در منطقه نزولی انفاق می‌افتد بنابراین می‌توان گفت که پدیده نفوذ رطوبت کنترل کننده فرآیند خشک کردن سیب است.

مرجع‌ها

[۱] W. B. Van Arsdel and M. J. Copley; "Food Dehydration"; Vol. 1. (1963) Publishing Co.

[۲] R. N. Biswal and K. Bozorgmehr; "Mass transfer in solute osmotic dehydration of apple rings"; *Transactions of ASAE*. 35 (1992) 253-262.

[۳] L. Wu, T. Orikasa, Y. Ogawa and A. Tagawa,; "*Vacuum drying characteristics of eggplants*"; *Journal of Food Engineering*. 83: (2007) 422-429.

[۴] C. A. Marquez and S. A. G. DeMichelis; "Drying kinetics of rose hip fruits (Rosa eglanteria L.) ", *Journal of Food Engineering*, **77** (2006) 566-575.

[۵] S. Rafiee, A. Keyhani, and A. jafari; "Modeling effective moisture diffusivity of wheat (Tajan) during air drying". *International Journal of Food Properties*, **11** (2008) 1–10.

[۶] M. Aghbashlo, M. Kianmehr, and H. Samimi- Akhijahani; "Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of beriberi fruit (Berberidaceae)"; *Energy Conversion and Management*, 49 (2008) 2865–2871.

[۷] J. Bablis and V. G. Belessiotis; "Influence of the drying conditions on the drying contents and moisture diffusivity during the thin layer drying of figs"; *Journal of Food Engineering*, 65 (2004), 449–458.

www.SID.ir