خشک‌کردن بادام در خشک‌کن میکروویو- پیوسته نیمه‌صنعتی

میثم صفری[۱*] و رضا امیری چایجان[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم ، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

meysamsafarybasu@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا همدان

چکیده

بادام یکی از محصولات باغی است که ارزش غذایی بالایی در تغذیه انسان دارد. در این مطالعه خواص خشک شدن بادام با رطوبت اولیه ۴۷ % بر پایه خشک (d.b.) در یک خشک کن میکروویو- پیوسته نیمه صنعتی مورد مطالعه قرار گرفت. سه سطح دمای هوای خشک‌کن (۴۵، ۶۰ و ۷۵° C) و دو سطح توان میکروویو (۲۷۰ و ۴۵۰W) و دو سرعت تسمه (۲/۵ و ۶/۵ mm/s) و سرعت هوای ثابت ۱/۵ m/s در محفظه خشک کن پیوسته نیمه صنعتی پارامترهای مورد مطالعه، در آزمایش صورت گرفته بودند. هدف از انجام این مطالعه، تعیین ضریب پخش موثر و انرژی فعالسازی بادام بود. با افزایش دما در توان های ثابت میکروویو و سرعت تسمه های خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی، ضریب پخش موثر، افزایش یافت. افزایش توان میکروویو و سرعت تسمه خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی، تاثیر بالایی بر روی افزایش ضریب پخش موثر داشت. بیشترین ضریب پخش موثر ($۲/۹۶\times۱۰^{-۹}$ m^2/s) در دمای ۷۵° C، توان میکروویو ۴۵۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s و کمترین مقدار ضریب پخش موثر ($۴/۹۶\times۱۰^{-۱۰}$ m^2/s) در دمای ۴۵°C، توان میکروویو ۲۷۰W و سرعت تسمه ۲/۵ mm/s بدست آمد. بیشترین مقدار انرژی فعالسازی (۲۴/۴۶kJ/mol) در توان میکروویو ۴۵۰W و سرعت تسمه mm/s ۶/۵ و کمترین مقدار آن (۱۰/۲۹ kJ/mol) در توان میکروویو ۲۷۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s بدست آمد.

واژه های کلیدی: بادام، خشک کردن، ضریب پخش موثر، انرژی فعالسازی

مقدمه

بادام (*Amygdales communist* L.) متعلق به خانواده Rosacea و زیر خانواده Prunoidea، یکی از محصولات باغی است که ارزش غذایی بالایی در تغذیه انسان دارد. این محصول ارزش صادراتی بالایی نیز دارد و به همین دلیل توجه به توسعه و بهبود روزافزون تولید و فرآوری آن از اهمیت خاصی برخوردار است. میزان رطوبت اولیه برای بادام حدود ۴۵٪ d.b.[۱] می‌باشد که رطوبت نهایی آن در هنگام خشک‌کردن به حدود ۱۲٪ d.b. می‌رسد (مقصودی، ۱۳۸۹). برای محافظت، نگهداری و جلوگیری از فساد بادام باید رطوبت

[1]- *Dry basis*

نهایی آن تقریبا بین .d.b ۱۲/۵٪– ۱۲ باشد. این کار فرایند خشک‌کردن را امری اجتناب ناپذیر می‌سازد. خشک‌کردن یکی از قدیمی ترین و گسترده ترین فرآیندهای بکاربرده شده برای حفظ مواد غذایی در مقابل فساد است که با تقلیل فعالیت های میکروبی و آنزیمی و کاهش سرعت فعل و انفعالات شیمیایی، مدت زمان ماندگاری محصول را افزایش می دهد. همچنین با کاهش حجم و وزن مواد غذایی، بسته بندی، حمل و نقل و انبارداری محصولات آسان می شود. این فرآیند باید به طریقی انجام شود که نه تنها مواد غذایی را در مقابل فساد حفظ کند، بلکه به شاخص های کیفی محصول، مثل رنگ، عطر، طعم، ارزش غذایی و بافت این موادکمترین خسارت ممکن وارد شود. ضریب پخش موثر و انرژی فعالسازی دو پارامتر مهم در مدل سازی و طراحی فرآیند خشک کردن به حساب می آیند. پخش رطوبت جزء یکی از مهمترین مشخصه های انتقال رطوبت می باشد که برای محاسبات مدل سازی سینتیک خشک‌کردن مواد غذایی، جذب و دفع رطوبت در طول انبارداری و آبگیری مجدد بکار می رود. ضریب پخش موثر یک تابع پیچیده است. در توصیف این پدیده می توان گفت ضریب پخش بیانگر تمامی مکانیزم های محرک انتقال رطوبت، مانند جریان مویینه ای (پخش در فاز مایع)، مهاجرت رطوبت از لایه سطحی، چگالش بخار و پخش واقعی بخار در هوا می باشد. ضریب پخش به دمای فرآیند، رطوبت و اندازه روزنه منافذ و ساختار و توزیع رطوبت در ماده مورد فرآوری وابسته است. با افزایش تخلخل ماده و دمای فرآیند، این پارامتر افزایش می یابد. در طول فرآیند خشک کردن با کاهش رطوبت محصول، نرخ خشک‌کردن و پخش موثر کاهش می یابد. بنابراین، در اکثر موارد، میانگین ضریب پخش موثر در نظر گرفته می شود. انرژی فعالسازی به کمترین انرژی مورد نیاز برای شروع تبخیر رطوبت از محصول و ادامه‌ی فرآیند اطلاق می‌شود. این یک پارامتر بسیار مهم برای تخمین حداقل شرایط خشک‌کردن جهت بدست آوردن ماده دلخواه خشک شده با میزان رطوبت تعادلی مناسب می باشد (Aghbashlo *et al*., 2008). انرژی فعالسازی به ساختار منافذ ماده غذایی بستگی دارد که به عنوان یکی از پارامترهای ساختمانی به شمار می رود. این پارامتر به نوع و مقدار مواد حل شده در آب بستگی دارد. همچنین خاصیت مذکور با مقدار رطوبت نسبت عکس دارد. یعنی معمولا در مواد با رطوبت بالا، انرژی فعالسازی پایین‌تر می باشد (توکلی پور،۱۳۸۶). میزان انرژی فعالسازی برای محصولات مختلف کشاورزی بین kJ/mol ۱۱۰– ۱۲/۷ گزارش شده است (Amiri Chayjan *et al*., 2011a).

مزایای خشک‌کن میکروویو– پیوسته نیمه صنعتی عبارتند از دامنه گرمایی و انتقال جرم بالا بین ذرات و هوای واسطه و همچنین کنترل مناسب شرایط خشک شدن و ظرفیت بالا. رادایوسکی و همکاران (۱۹۹۸) دانه گندم را در خشک کن جریان پیوسته مکمل با سیستم حرارتی میکروویو خشک کردند. بیشترین صرفه جویی هزینه هنگامی بدست آمد که دمای هوای ورودی ۷۵ درجه سلسیوس بود و رطوبت دانه از ۱۸٪ به ۱۲٪ رسانده شد. با توجه به اینکه در مورد خشک کردن بادام اطلاعات بسیار کمی در دست است، بنابراین ضرورت تحقیق حاضر ایجاب می شود. هدف از تحقیق حاضر تعیین ضریب نفوذ موثر و انرژی فعالسازی بادام در خشک‌کن میکروویو– پیوسته نیمه‌صنعتی می باشد.

مواد و روش‌ها

بادام تازه از باغهای بادام شهرستان اسدآباد واقع در استان همدان تهیه شد و برای انجام آزمایشها در یخچال در دمای ۱° C ± ۴ نگهداری شد. محتوای رطوبت اولیه بادام، به روش خشک کردن در آون بدست آمد. به این ترتیب که نمونه های ۱۰ گرمی با سه تکرار در آون در دمای ۱۰۵°C به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و محتوای رطوبتی بادام تازه در حدود ۴۷٪ برمبنای وزن خشک بدست آمد.

برای انجام آزمایشها از خشک‌کن ترکیبی میکروویو- پیوسته نیمه صنعتی آزمایشگاهی استفاده شد. این خشک کن دارای سیستم کنترل دمای خودکار می باشد که دما را در محدوده ی ۱° C ± ثابت نگه می دارد. نمونه های وزن شده به مدت ۲۰ ثانیه در میکروویو قرار داده می شدند و پس از خارج کردن نمونه ها از میکروویو توسط یک دستگاه ترازوی دیجیتال AND (مدل GF-600، ژاپن) با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن می شدند و پس از آن در خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی قرار داده می شدند. در طول آزمایش رطوبت نسبی و دمای محیط و همچنین دمای خشک کن ثبت می شد. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار، کلیه ی آزمایش ها ۴۵ دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع می شد. سپس ظرف حاوی نمونه ها (حاوی ۱۵ گرم نمونه) در محفظه ی خشک‌کن قرار داده می شد. بخشهای اصلی سیستم خشک‌کن همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است عبارتند از میکروویو، خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی، لامپ مادون قرمز، تسمه ها و دریچه های جریان هوای ورودی به خشک کن پیوسته نیمه صنعتی.

آزمایشها در سه سطح دمایی ۴۵، ۶۰ و ۷۵° C و در دو توان میکروویو ۲۷۰ و ۴۵۰W و دو سرعت تسمه ۲/۵ و ۶/۵ mm/s و با سرعت هوای ثابت ۱/۵ m/s در محفظه خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی انجام شد. دمای محیط در طول آزمایشها بین ۳۰ تا ۳۴ درجه سلسیوس و میزان رطوبت نسبی محیط ۱۵ تا ۲۴ درصد بود.

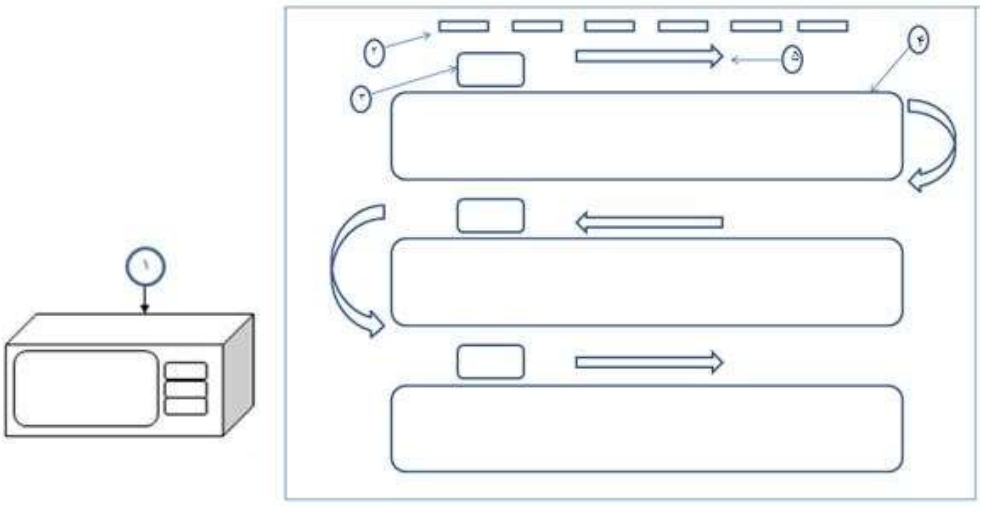
ضریب پخش موثر

برای تعیین ضریب پخش موثر از قانون دوم فیک طبق معادله ی (۱) استفاده شده است.

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \nabla[D_{eff}(\nabla M)] \qquad (۱)$$

که در آن D_{eff} ضریب پخش رطوبت موثر $(\frac{m^2}{s})$، M محتوی رطوبت (kg w[۲]/kg ds[۳]) و t زمان (s) می باشد. D_{eff} نشان دهنده‌ی قسمت هدایت در تمام مکانیزم های انتقال رطوبت است. این پارامتر معمولاً از منحنی های خشک کردن آزمایشگاهی تعیین می شود.

[2]- *Water*
[3] - *Dry Solid*



شکل **۱**. نمای شماتیک خشک‌کن میکروویو- پیوسته نیمه صنعتی (۱- میکروویو ۲- لامپ مادون قرمز ۳- دریچه جریان هوای ورودی به خشک‌کن ۴- تسمه ۵- جهت حرکت محصول بر روی تسمه).

قانون دوم فیک می تواند با نادیده گرفتن تاثیرات دما و مجموع گرادیان فشار، انتقال رطوبت در مرحله نزولی فرآیند خشک کردن را توصیف کند. با فرض اینکه در فرآیند خشک کردن پخش رطوبت موثر، ثابت و شعاعی است، می توان مقدار آن را با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}\exp\left(-n^2\pi^2\frac{D_{eff}t}{r_0^2}\right) \qquad (۲)$$

که در آن n تعداد ترم های خشک شدن (۱و ۲و ۳و...) در نظر گرفته شده از معادله، t زمان خشک شدن (s)، MR نسبت رطوبت، M_t رطوبت در یک زمان مشخص (d.b.)، M_o مقدار رطوبت اولیه (d.b.)، M_e مقدار رطوبت تعادلی (d.b.) و r_0 شعاع کره (m) می باشد که در فرآیند خشک شدن ثابت فرض شده است. برای دوره های طولانی آبزدایی، زمانی که t افزایش می یابد، جمله های دیگر به غیر از جمله اول ناچیز در نظر گرفته می شوند و معادله به صورت زیر در خواهد آمد:

$$MR = \frac{6}{\pi^2}\exp\left(-\pi^2\frac{D_{eff}t}{r_0^2}\right) \qquad (۳)$$

بعد از ساده شدن، معادله بالا را می توان به صورت خطی نوشت. با لگاریتم گیری از طرفین معادله بالا، معادله به صورت زیر درخواهد آمد:

$$Ln(MR) = Ln(\frac{6}{\pi^2}) - \left(-\pi^2\frac{D_{eff}t}{r_0^2}\right) \qquad (۴)$$

با رسم نمودار $Ln(MR)$ نسبت به زمان، خطی با شیب k_1 بدست می آید که از مساوی قرار دادن این شیب با ضریب t در رابطه (۴)، ضریب پخش موثر را می توان از رابطه زیر بدست آورد.

$$k_1 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r_g^2} \quad (۵)$$

که در آن r_g بیانگر شعاع میانگین هندسی بادام است.

انرژی فعالسازی

با استفاده از معادله آرنیوس، رابطه بین ضریب پخش موثر و دما در معادله زیر نشان داده شده است که می توان انرژی فعالسازی را از طریق معادله زیر محاسبه کرد.

$$D_{eff} = D_o \exp(-\frac{E_a}{R_g T}) \quad (۶)$$

که E_a انرژی فعالسازی (kJ/mol) ، T دمای داخل محفظه خشک کن بر حسب کلوین، R_g ثابت جهانی گازها برابر با ۸/۳۱۴۳ kJ/mol و D_o عرض از مبدا است که مقدار آن ثابت می باشد. با گرفتن لگاریتم از طرفین معادله (۶) معادله به صورت خطی در خواهد آمد.

$$LnD_{eff} = LnD_o - \frac{E_a}{R_g T} \quad (۷)$$

با رسم نمودار LnD_{eff} در مقابل $\frac{1}{T}$ خطی با شیب k_2 بدست خواهد آمد.

$$k_2 = \frac{E_a}{R_g} \quad (۸)$$

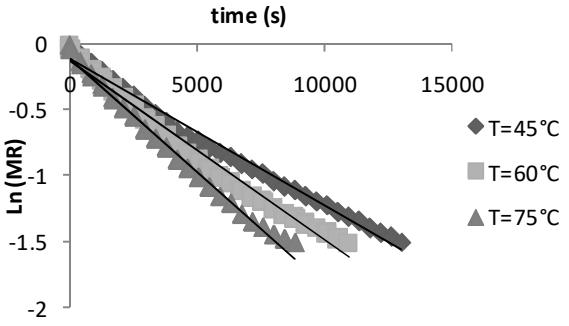
در پایان از تجزیه و تحلیل برازش خطی برای تطبیق معادله ها با داده های بدست آمده از آزمایش برای بدست آوردن ضریب همبستگی استفاده شد.

نتایج و بحث

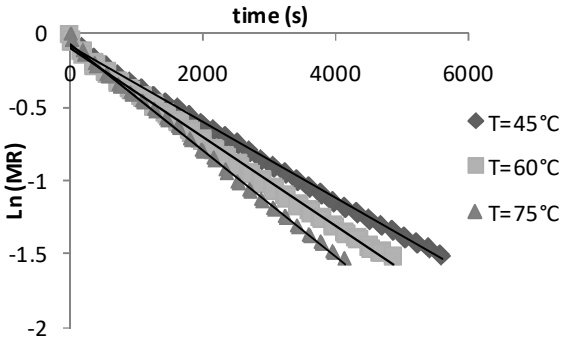
ضریب پخش موثر

شکل های۲، ۳، ۴ و ۵ $Ln(MR)$ را در مقابل t(s) در سرعت هوای ثابت و دماها و توان میکروویو و سرعت تسمه های متفاوت نشان می دهد. با افزایش دمای هوای خشک‌کن و توان میکروویو، رطوبت نسبی محصول بیشتر کاهش می یابد. افزایش دمای هوای خشک‌کن و توان میکروویو باعث انتقال جرم و حرارت بالاتری می شود و در نتیجه کاهش رطوبت بیشتر است. طبق محاسبات انجام شده و با توجه به شکل های ۲ تا ۵ با افزایش دمای هوای خشک‌کن و توان میکروویو، ضریب پخش موثر افزایش می یابد. در نتیجه کمترین دما و توان

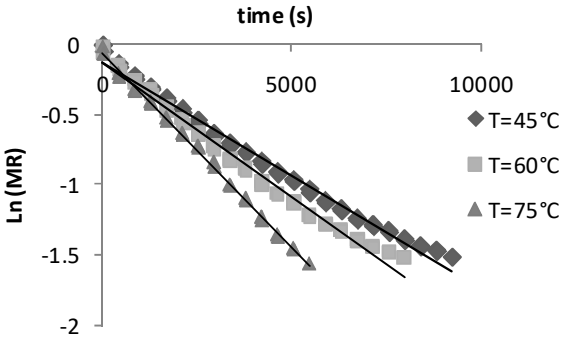
میکروویو باعث کمترین ضریب پخش موثر و بیشترین دما و توان میکروویو باعث بیشترین ضریب پخش موثر خواهد شد. مقادیر مختلف ضریب پخش موثر در جدول (۱) آمده است. معمولا ضریب پخش موثر برای محصولات کشاورزی بین $۱۰^{-۹}$ و $۱۰^{-۱۱}$ $\frac{m^2}{s}$ می باشد که مقادیر بدست آمده از آزمایشها در این بازه قرار دارد.



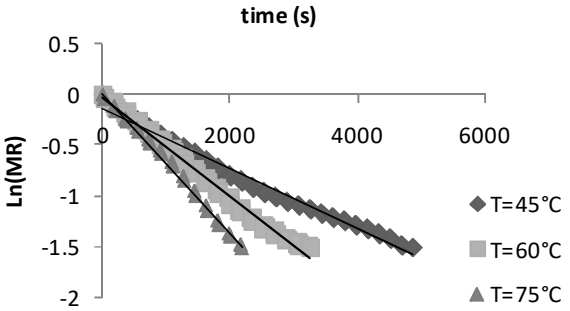
شکل **۲**. نمودار $Ln(MR)$ در مقابل زمان (s) در توان میکروویو ۲۷۰W و سرعت تسمه ۲/۵ mm/s و سرعت هوای ثابت ۱/۵ m/s.



شکل **۳**. نمودار $Ln(MR)$ در مقابل زمان (s) در توان میکروویو ۴۵۰W و سرعت تسمه ۲/۵ mm/s و سرعت هوای ثابت ۱/۵ m/s.



شکل **۴**. نمودار $Ln(MR)$ در مقابل زمان (s) در توان میکروویو ۲۷۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s و سرعت هوای ثابت ۱/۵ m/s.



شکل **۵**. نمودار $Ln(MR)$ در مقابل زمان (s) در توان میکروویو ۴۵۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s و سرعت هوای ثابت ۱/۵ m/s.

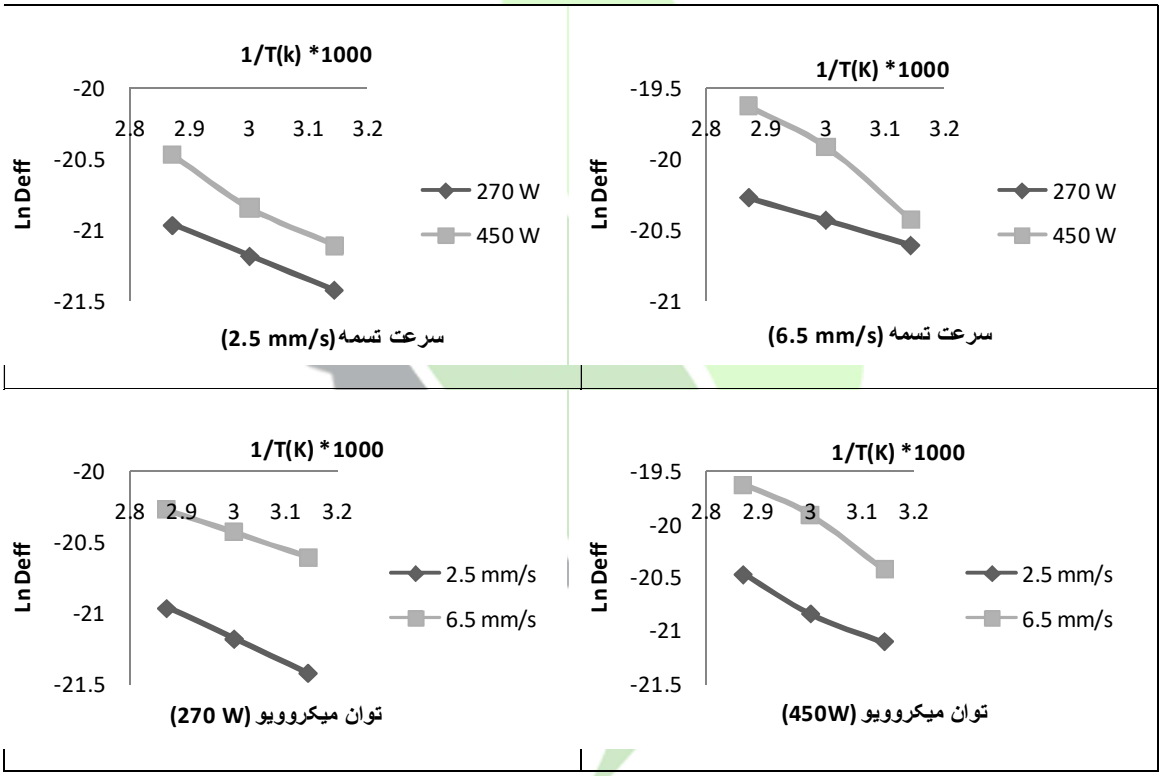
جدول **۱**. مقادیر ضریب پخش موثر در شرایط مختلف.

دما (°C)	توان (W)	سرعت تسمه (mm/s)	ضریب پخش موثر (m^2/s)	R^2
۴۵	۲۷۰	۲/۵	۴/۹۶×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۹۸۸۳
۶۰	۲۷۰	۲/۵	۶/۳۰×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۹۸۳۴
۷۵	۲۷۰	۲/۵	۷/۸۲×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۹۹۱۸
۴۵	۲۷۰	۶/۵	۱/۱۱×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۹۷۶
۶۰	۲۷۰	۶/۵	۱/۳۳×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۹۶۸
۷۵	۲۷۰	۶/۵	۱/۵۶×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۹۸۲
۴۵	۴۵۰	۲/۵	۶/۷۷×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۹۹۰۱
۶۰	۴۵۰	۲/۵	۸/۸۰×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۹۸۷۰
۷۵	۴۵۰	۲/۵	۱/۲۸×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۹۷۷
۴۵	۴۵۰	۶/۵	۱/۳۴×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۸۴۴
۶۰	۴۵۰	۶/۵	۲/۲۳×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۹۱۹
۷۵	۴۵۰	۶/۵	۲/۹۶×۱۰$^{-۹}$	۰/۹۹۵۶

نتایج نشان داد که با افزایش دما در توان های ثابت میکروویو و سرعت تسمه های ثابت خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی، ضریب پخش موثر، افزایش می یابد. مقادیر بدست آمده بیانگر این واقعیت است که افزایش توان میکروویو و سرعت تسمه خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی، تاثیر معنی‌داری بر روی افزایش ضریب پخش موثر داشته است.

انرژی فعالسازی

شکل های (۶) نمودار $Ln(D_{eff})$ در برابر $\frac{1}{T}$ در خشک کن میکروویو- پیوسته نیمه صنعتی را در شرایط مختلف خشک‌کردن نشان می دهند. انرژی فعالسازی برای بادام با استفاده از برازش خطی محاسبه شده و مقادیر آن همراه با ضریب همبستگی آن‌ها در جدول (۲) آمده است.



شکل **۶**. نمودار $Ln(D_{eff})$ در برابر $\frac{1}{T}$ در توان‌ها و سرعت های تسمه متفاوت.

جدول **۲.** مقادیر مختلف انرژی فعالسازی.

توان (W)	سرعت تسمه (mm/s)	انرژی فعالسازی (kJ/mol)	R^2
۲۷۰	۲/۵	۱۴/۰۲	۱
۲۷۰	۶/۵	۱۰/۲۹	۱
۴۵۰	۲/۵	۱۹/۴۱	۰/۹۸۴
۴۵۰	۶/۵	۲۴/۴۶	۰/۹۸۱

نتیجه گیری

رفتار خشک شدن بادام در خشک کن میکروویو- پیوسته نیمه صنعتی در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفت. دمای هوای خشک‌کن، توان میکروویو و سرعت تسمه خشک‌کن عوامل مهم و تاثیرگذاری در زمان خشک شدن، میزان ضریب پخش موثر و انرژی فعالسازی بودند که در این میان دمای هوای خشک‌کن دارای بیشترین تاثیر بود. بیشترین ضریب پخش موثر در دمای ۷۵° C، توان میکروویو ۴۵۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s با مقدار $۲/۹۶\times۱۰^{-۹}$ m^2/s و کمترین مقدار ضریب پخش موثر در دمای ۴۵°C، توان میکروویو ۲۷۰W و سرعت تسمه ۲/۵ mm/s با مقدار $۴/۹۶\times۱۰^{-۱۰}$ m^2/s بدست آمد. بیشترین مقدار انرژی فعالسازی در توان میکروویو ۴۵۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s با مقدار ۲۴/۴۶ kJ/mol و کمترین مقدار آن در توان میکروویو ۲۷۰W و سرعت تسمه ۶/۵ mm/s با مقدار ۱۰/۲۹ kJ/mol بدست آمد.

منابع

۱- توکلی پور، ح.، ۱۳۸۵. اصول خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی، انتشارات آییژ. چاپ اول. بهار ۱۳۸۵.

۲- مقصودی، ش.، ۱۳۸۹. فن آوری خشکبار، انتشارات آبنوس. چاپ اول. پاییز ۱۳۸۹.

3- Aghbashlo, M., M.H. Kianmehr., H. Samimi-Akhijahani. 2008. 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, 2865–2871.

4- Amiri Chayjan, R., J. Amiri Paryan., M. Esna-Ashari. 2011a. Modeling of moisture diffusivity, activation energy consumption of high moisture corn in a fixed and fluidized bed convective dryer. Spanish Journal of Agriculture research, 9 (1), 28-40.

5- Radajewski, W., Jolly, P., Abawi, G.Y., 1988. Grain drying in a continuous flow drier supplemented with a microwave heating system. Journal of Agricultural Engineering Research, 41, 211-225.

6- Gholami, R., A.L.Lorestani, and F. Jaliliantabar. 2012. Determination of physical and mechanical properties of Zucchini (summer squash). Agricultural Engineering International: CIGR Journal 14(1):136-140.

7- Kashaninejad, M., M. Ahmadi, A. Daraei, and D. Chabra. 2008. Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety. Powder Technology 188(1): 1-8.

8- Khazaei, J., M. Sarmadi, and J. Behzad. 2006. Physical properties of sunflower seeds and kernels related to harvesting and dehulling. Lucrari Stiintifice, 49.

9- Paksoy, M., and C.Aydin. 2004. Some physical properties of edible squash (Cucurbita pepo L.) seeds. Journal of Food Engineering 65(2): 225-231.

Almond drying in microwave-semi-industrial continuous dryer

Meisam Safary[1*] and Reza Amiri Chayjan[2]
1- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan
meysamsafarybasu@yahoo.com
2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan

Abstract

Almond is one of the horticultural products with high nutritional values in human nutrition. In this study, the drying properties of almond with moisture content of 47% (d.b.) in a microwave-continuous semi industry dryer were investigated. Three drying air temperatures (45, 60, 75°C), two microwave powers (270 and 450W) and two belt speeds (2.5 and 6.5 mm/s) were applies under constant air velocity of 1.5 m/s. The aim of this study was to determine the effective diffusivity and activation energy in almond. As the temperature was increased at constant microwave power and constant speed semi-industrial continuous dryer, the effective diffusivity was increased. Increasing microwave power and belt speed of semi-industrial continuous dryer had a high effect on the increasing of effective moisture diffusivity. The highest value of effective moisture diffusivity (2.96×10^{-9} m^2/s) was achieved at temperature 75°C, microwave power 450W and belt speed 6.5 mm/s and the lowest effective moisture diffusivity (4.96×10^{-10} m^2/s) was calculated at temperature 45°C, microwave power 270W and belt speed 2.5 mm/s. The maximum activation energy (24.46 kJ/mol) was obtained at microwave power 450W and belt speed 6.5 mm/s and the lowest activation energy (10.29 kJ/mol) was at microwave power 270 W and belt speed 6.5 mm/s.

Key words: Almond, Drying, Diffusivity, Activation energy