



## مطالعه خصوصیات خشک شدن بادمجان با استفاده از خشک‌کن ترکیبی مایکروویو-

### جریان هوای گرم

محمد کاوه<sup>۱</sup>، فاروق شریفیان<sup>۲\*</sup>، رضا امیری چایجان<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سردشت، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، سردشت، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

ایمیل مکاتبه کننده: faroogh.sharifian@gmail.com

#### چکیده

در این پژوهش، خشک‌شدن لایه نازک بادمجان در یک خشک‌کن ترکیبی مایکروویو- جریان هوای گرم آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. خشک‌کردن محصول در سه دمای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سلسیوس و در سرعت جریان هوای ۱/۱ متر بر ثانیه و سه توان مایکروویو ۲۷۰، ۴۵۰ و ۶۳۰ وات انجام شد. برای انتخاب یک منحنی خشک‌کردن مناسب، چهار مدل لایه نازک خشک‌شدن به داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد. در میان مدل‌های ریاضی مورد تحقیق، مدل میدلی و همکاران بهترین مدل برای شرح رفتار خشک‌شدن لایه نازک بادمجان با بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقدار  $\chi^2$  و RMSE انتخاب شد. نتایج بررسی‌های مقدار ضریب پخش موثر رطوبت برای خشک‌شدن لایه نازک بادمجان نیز نشان داد که دمای ۷۰ درجه سلسیوس و توان مایکروویو ۶۳۰ وات دارای بیشترین ضریب پخش موثر رطوبت است. همچنین بیشترین انرژی فعال‌سازی (۱۳/۹۳ kJ/mol) در توان مایکروویو ۶۳۰ وات به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: "بادمجان"، "خشک‌کردن"، "خشک‌کن مایکروویو"، "انرژی فعال‌سازی"، "ضریب پخش موثر رطوبت"

#### مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena L.*) بومی شمال آمریکا، آسیا و منطقه‌ی مدیترانه می‌باشد. عمر مفید آن یکی از محدودیت‌های مهم در تجارت بادمجان به عنوان یک محصول تازه است. برای نگهداری و ثبات آب داخل بادمجان و جلوگیری از زوال و پوسیدگی آن برای عرضه به بازارهای خارجی باید محصول را خشک نمود. بادمجان برای مصارف غذایی، معمولاً به عنوان سبزی پخته شده کاربرد دارد. کشت بادمجان دارای اهمیت اقتصادی قابل توجه در بسیاری از نقاط گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان است (Puig et al., 2012). رطوبت زیاد بادمجان در هنگام برداشت که حدود ۱۰ d.b. می‌باشد، سبب می‌شود ماندگاری محصول زیاد نباشد.



در گذشته از انرژی خورشید برای خشک کردن انواع محصولات کشاورزی و غذایی استفاده می‌شد، اما مشکلات زیادی در استفاده از این روش وجود دارد که عبارتند از: تغییرات نامناسب در کیفیت غذا، عدم کنترل کافی در فرآیند خشک کردن، طولانی بودن زمان خشک شدن و غیر بهداشتی بودن محصول. مشکلاتی از این قبیل استفاده از تکنولوژی جدید در فرآیند خشک کردن را ضروری می‌سازد. خشک‌کن‌های صنعتی مزایایی نسبت به روش‌های سنتی دارند که عبارتند از: برداشت به موقع محصول، کاهش تلفات در مزرعه، برنامه‌ریزی برای برداشت در شرایط نامطلوب آب و هوایی، افزایش مدت انبارمانی مواد غذایی و محصولات کشاورزی (Cakmak and Yildiz, 2011).

خشک کردن به روش میکروویو چندین مزیت نسبت به روش‌های حرارتی دارد از جمله: سرعت عمل، صرفه‌جویی در انرژی، کنترل دقیق فرآیند و راه‌اندازی سریع‌تر. در روش میکروویو به دلیل عمقی بودن حرارت ناشی از نوسانات شدید مولکول‌های قطبی آب درون محصول، حرارت در درون ماده بسیار بالا بوده و در نهایت نمونه خشک شده به دلیل حرکت بخار آب از داخل به خارج، حالتی پف کرده و متخلخل دارد (Li et al., 2011). روش میکروویو دارای معایبی از جمله گرمایش غیر یکنواخت محصول است. با ترکیب روش میکروویو با روش جریان هوای گرم می‌توان بر این عیب فایز آمد (Sharifian et al., 2012).

در رابطه با خشک کردن میوه‌ها و محصولات کشاورزی به روش میکروویو تحقیقات زیادی انجام گرفته است از جمله: انجیر (Sharifian et al., 2012)، پسته (Kouchakzadeh, and Shafeei, 2010) و نعنای (Arslan et al., 2010). اهمیت خشک کردن بادمجان و کاهش رطوبت آن برای نگهداری و انبارمانی این محصول ضروری می‌باشد. در مورد سینتیک خشک کردن و خواص حرارتی بادمجان با استفاده از خشک‌کن میکروویو- جریان هوای گرم اطلاعاتی وجود ندارد. بنابراین هدف از این پژوهش عبارت است از: مدل‌سازی سینتیک کاهش رطوبت، تعیین ضریب پخش موثر رطوبت و انرژی فعال‌سازی بادمجان در خشک‌کن ترکیبی میکروویو- جریان هوای گرم.

## مواد و روش‌ها

بادمجان تازه از گلخانه‌ای در همدان تهیه شد. محصول قبل از انجام آزمایش‌ها در یخچال در دمای  $1 \pm 4^\circ\text{C}$  نگهداری می‌شد. رطوبت اولیه بادمجان با استفاده از روش آون به دست آمد. نمونه‌های ۱۰ گرمی در آون در دمای  $1 \pm 70^\circ\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. مقدار رطوبت اولیه بادمجان ۱۰/۲۵ d.b. به دست آمد. برای انجام آزمایشات از یک خشک‌کن میکروویو- جریان هوای گرم آزمایشگاهی استفاده شد. آزمایش‌ها در سطح سرعت ۱/۱ متر بر ثانیه، در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سلسیوس و در سه سطح توان ۲۷۰، ۵۴۰ و ۶۳۰ وات در شرایط آزمایشگاهی که مقدار رطوبت نسبی آزمایشگاه در طی آزمایش‌ها ۲۲/۵ - ۳۱/۱۵٪ بود و دمای محیط آزمایشگاه بین ۲۵/۲۰۵ تا ۳۰/۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شده بود، انجام شد. قانون دوم فیک که توسط کرانک برای شرایط لایه نازک در محصولات دارای ضخامت حل شده، با نادیده گرفتن اثرات دما و مجموع گرادیان فشار می‌تواند انتقال رطوبت در مرحله نزولی فرآیند خشک کردن را توصیف کند (Crank, 1975). با فرض اینکه در فرآیند



خشک‌کردن، پخش رطوبت ثابت و شعاعی است، می‌توان مقدار نسبت رطوبت را از معادله ۱ محاسبه نمود (Aghbashlo et al., 2009).

$$MR = \frac{(W_t - W_e)}{(W_0 - W_e)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp\left(\frac{-D_{eff}(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

که در آن n تعداد جملات معادله (۱، ۲، ۳، ...)، t زمان خشک شدن (s)، L ضخامت اسلایس‌های بادمجان (m)، MR نسبت رطوبت،  $W_t$  رطوبت در زمان t (d.b.)،  $W_0$  مقدار رطوبت اولیه محصول (d.b.)،  $W_e$  مقدار رطوبت تعادلی (d.b.) و  $D_{eff}$  ضریب پخش رطوبت موثر ( $m^2/s$ ) می‌باشد. وقتی t افزایش می‌یابد، تمام جملات به غیر از جمله اول، به صفر میل می‌کنند (Aghbashlo et al., 2009). بنابراین می‌توان معادله ۱ را به صورت زیر ساده نمود.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

معادله ۲ را می‌توان به صورت خطی نوشت. با لگاریتم‌گیری از طرفین معادله ۲، می‌توان آن را به شکل خطی درآورد.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{W_t - W_e}{W_0 - W_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{D_{eff} \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (3)$$

با رسم  $\ln(MR)$  نسبت به زمان، خطی با شیب k به دست می‌آید که از مساوی قرار دادن این شیب با ضریب t در رابطه ۳، ضریب پخش موثر رطوبت را می‌توان از رابطه ۴ به دست آورد.

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

با استفاده از معادله آرنیوس رابطه بین دما و ضریب پخش رطوبت موثر حاصل می‌شود که می‌توان انرژی فعال‌سازی را به دست آورد (Amiri Chayjan, et al., 2014).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{R_g T_a}\right) \quad (5)$$

$E_a$  انرژی فعال‌سازی ( $kJ/mol$ )،  $R_g$  ثابت جهانی گازها و برابر با  $8.3143 \text{ kJ/mol}$ ،  $T_a$  دمای هوای داخل محفظه خشک‌کن (K) و  $D_0$  ضریب نمایی معادله آرنیوس که مقدار آن برای هر محصولی متفاوت می‌باشد و در استانداردها ارائه شده است. با لگاریتم‌گیری از طرفین معادله ۵، معادله به صورت زیر در می‌آید.

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_0) - \left(\frac{E_a}{R_g} \cdot \frac{1}{T_a}\right) \quad (6)$$

با رسم نمودار  $\ln(D_{eff})$  در مقابل  $(1/T_a)$  خطی با شیب  $K_1$  به دست می‌آید.

$$K_1 = \frac{E_a}{R_g} \quad (7)$$

برای انتخاب یک منحنی خشک‌کردن مناسب، چهار مدل لایه نازک خشک شدن (جدول ۱) به داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد. به عنوان مثال با استفاده از معادله ۸ پیش‌بینی مقدار رطوبت به کمک مدل پیچ انجام گرفت.

$$MR = \frac{(W_t - W_e)}{(W_0 - W_e)} = a \exp(-kt) \quad (8)$$



مقادیر نسبت رطوبت حاصل از داده‌های آزمایشگاهی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها مقایسه شد و پارامترهای آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، مربع کای ( $\chi^2$ ) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در شرایط مختلف آزمایشات برای هر یک از مدل‌ها مطابق روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ محاسبه و گزارش گردید (Aghbashlo et al., 2009). مقدار رطوبت تعادلی در مقایسه با رطوبت اولیه و رطوبت لحظه‌ای ناچیز بوده و صفر در نظر گرفته شده است. محققین زیادی در تعیین رطوبت نسبی محصولات مختلف، از مقدار ناچیز رطوبت تعادلی صرف‌نظر کرده‌اند (Sharifian et al., 2012, Amiri Chayjan, et al., 2014).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [MR_{pre,i} - MR_{exp,i}]^2}{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\sum_{i=1}^N MR_{pre,i}}{N} - MR_{exp,i} \right]^2} \quad (9)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (10)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

در روابط N تعداد مشاهدات، z تعداد ثابت‌های خشک کردن،  $MR_{exp,i}$  آمین نسبت رطوبت حاصل از داده‌های آزمایشی و  $MR_{pre,i}$  آمین پیش‌بینی نسبت رطوبتی به توسط مدل است. برای محاسبه مقادیر  $R^2$ ،  $\chi^2$  و RMSE از نرم‌افزار Curve Expert (Ver 1.4) استفاده شد.

جدول ۱- مدل‌های لایه نازک مورد استفاده برای خشک کردن بادمجان با خشک‌کن ترکیبی مایکروویو- جریان هوای گرم

نام مدل	رابطه مدل	منبع
پیچ	$MR = \exp(-kt^n)$	(Sharifian et al., 2012)
لگاریتمی	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Ruiz Celma et al., 2012)
لوجستیک	$MR = a / (1 + b \exp(kt))$	(Amiri Chayjan, et al., 2014)
میدلی و همکاران	$MR = a \exp(-kt)^n + b$	(Amiri Chayjan, et al., 2014)

## نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از مدل‌سازی سینتیک بادمجان در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مدل میدلی و همکاران دارای بهترین برازش بود زیرا  $R^2 = 0/999$ ،  $\chi^2 = 0/015$  و  $RMSE = 0/0330$  به دست آمدند. مقادیر ضریب تبیین هر چهار مدل برازش داده شده به داده‌های آزمایشگاهی (پیچ، لگاریتمی، لوجستیک، میدلی و همکاران) بیشتر از ۰/۹۹ بدست آمد. اما نتایج به دست آمده نشان داد مدل میدلی و همکاران دارای بیشترین مقدار  $R^2$  است (جدول ۲).

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی



(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



جدول ۲- نتایج آماری مدل‌های خشک‌کردن بادمجان در تیمارهای مختلف

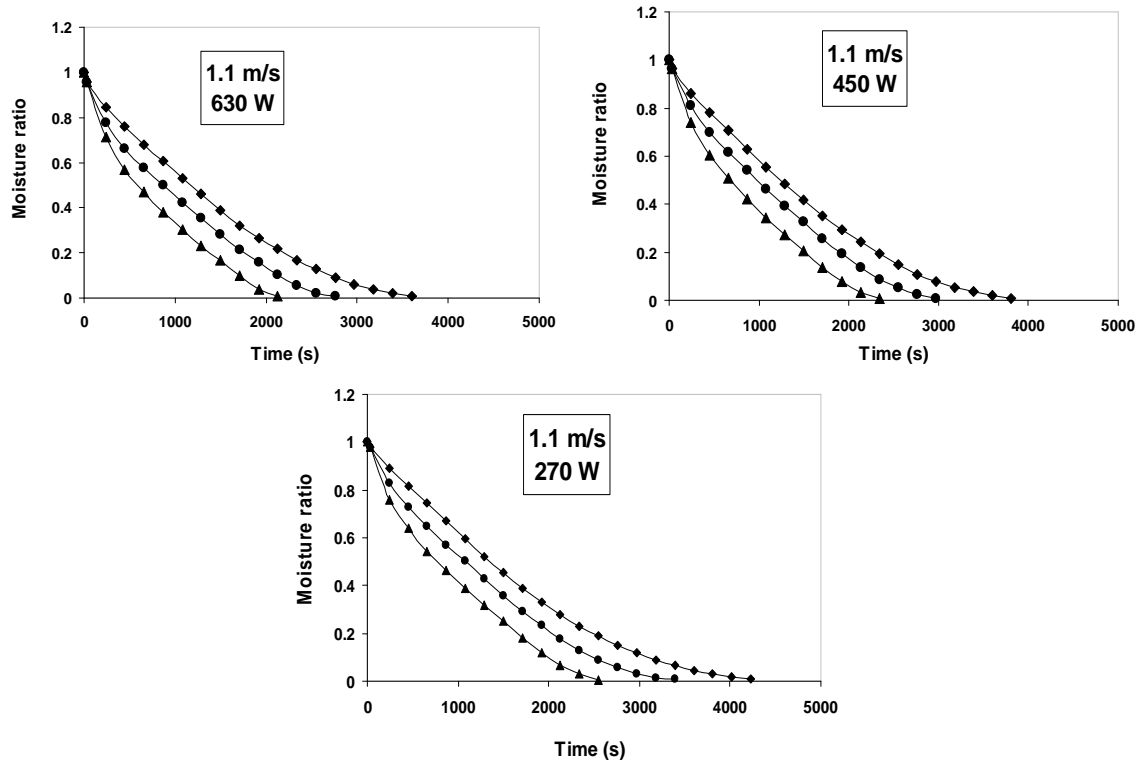
R <sup>2</sup>			χ <sup>2</sup>			RMSE			دما	مدل
۲۷۰ W	۴۵۰ W	۶۳۰ W	۲۷۰ W	۴۵۰ W	۶۳۰ W	۲۷۰ W	۴۵۰ W	۶۳۰ W	(سلسیوس)	
۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۳۳۳	۰/۰۴۶۴	۰/۰۴۵۱	۴۰	میدلی و همکاران
۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۹۱	۰/۹۹۹۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۴۰	۰/۰۳۰۲	۰/۰۲۳۲	۵۵	
۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۹۰	۰/۰۲۲۳	۰/۰۲۳۲	۷۰	
۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۲۶	۰/۰۷۰۲	۰/۰۵۴۹	۰/۰۴۷۰	۴۰	لگاریتمی
۰/۹۹۸۰	۰/۹۹۸۰	۰/۹۹۶۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۴۷	۰/۰۵۳۸	۰/۰۴۸۲	۰/۰۶۱۳	۵۵	
۰/۹۹۵۶	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۴۸	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۵۵	۰/۰۶۶۴	۰/۰۶۳۹	۰/۰۶۴۶	۷۰	
۰/۹۹۶۶	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۲۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۴۸	۰/۰۸۳۰	۰/۱۱۱۱	۰/۱۱۵۰	۴۰	پیچ
۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۸۶	۰/۹۸۷۰	۰/۰۱۸۱	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۹۵	۰/۱۲۶۸	۰/۱۲۰۷	۰/۱۳۰۲	۵۵	
۰/۹۸۹۴	۰/۹۹۰۴	۰/۹۹۲۰	۰/۰۱۳۴	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۸۵	۰/۱۰۷۱	۰/۰۹۶۷	۰/۰۸۴۱	۷۰	
۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۷۴	۰/۰۵۲۸	۰/۰۷۵۲	۰/۰۷۸۹	۴۰	لوجستیک
۰/۹۹۳۶	۰/۹۹۲۲	۰/۹۹۰۴	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۱۳	۰/۰۱۳۰	۰/۰۹۴۸	۰/۰۹۶۱	۰/۱۰۲۳	۵۵	
۰/۹۹۰۸	۰/۹۹۱۶	۰/۹۹۲۶	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۹۵۵	۰/۰۸۷۴	۰/۰۷۷۳	۷۰	

شکل ۱ نسبت رطوبت بادمجان به صورت تابعی از زمان را در سرعت ثابت ۱/۱ متر بر ثانیه، دماها و توان‌های مختلف مایکروویو نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش دمای محفظه خشک‌کن و همچنین توان مایکروویو، رطوبت محصول سریعتر کاهش می‌یابد. افزایش دمای محفظه خشک‌کن باعث افزایش انتقال جرم و حرارت شده و کاهش رطوبت در محصول سریعتر رخ می‌دهد. منحنی‌های خشک‌کردن نشان می‌دهند که شیب منحنی با افزایش دما افزایش چشمگیری می‌یابد (شکل ۱).

تاثیر توان مایکروویو بر روی ضریب پخش موثر رطوبت نشان می‌دهد که با افزایش توان مایکروویو در تمامی سطوح دمایی مقدار ضریب پخش افزایش پیدا می‌کند (شکل ۲). بیشترین مقدار ضریب پخش ( $2/94 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و توان مایکروویو ۶۳۰ وات به دست آمده است و کمترین مقدار آن ( $1/59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) در دمای ۴۰°C و توان مایکروویو ۲۷۰ وات به دست آمد. درجه حرارت و توان مایکروویو تاثیر زیادی بر روی ضریب پخش رطوبت موثر دارند. شکل ۲ بیان می‌کند که با افزایش دما میزان ضریب پخش رطوبت موثر افزایش می‌یابد. محاسبات نشان می‌دهد رابطه مستقیمی بین ضریب پخش موثر رطوبت با درجه حرارت و توان مایکروویو وجود دارد. به طور کلی مقادیر ضریب پخش موثر رطوبت در محصولات مختلف در بازه‌ی  $10^{-11} - 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  متغیر می‌باشد که مقادیر به دست آمده برای بادمجان نیز در این محدوده است. نتایج به دست آمده در ارتباط با تاثیر توان

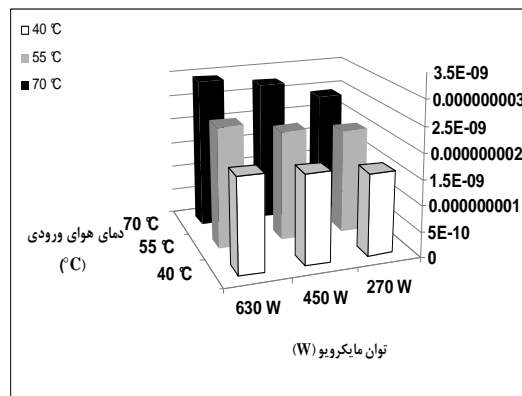


مایکروویو و دمای خشک کردن بر مقدار ضریب پخش موثر رطوبت بادمجان با نتایج محققان دیگر مانند خشک کردن دانه‌های زلزاک (Amiri Chayjan, et al., 2014)، سیر (Sharma et al., 2009) و لفل (Arslan, and Ozcan, 2011) مشابهت دارد.



شکل ۱- نسبت رطوبت بادمجان به صورت تابعی از زمان خشک‌کردن در توان‌های مختلف و دماهای  $40^{\circ}\text{C}$ ،  $55^{\circ}\text{C}$ ،  $70^{\circ}\text{C}$

برای محاسبه انرژی فعال‌سازی ابتدا مقدار  $1/T_a$  محاسبه شد. سپس انرژی فعال‌سازی با استفاده از معادله ۷ محاسبه گردید. مقدار انرژی فعال‌سازی و ضریب تبیین سطوح مختلف سرعت هوا در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار انرژی فعال‌سازی برای مواد غذایی و محصولات کشاورزی مختلف در محدوده  $140 - 12/7$  kJ/mol گزارش شده است (Amiri Chayjan, et al., 2014). مقادیر بدست آمده برای انرژی فعال‌سازی در تحقیق حاضر، در بازه مذکور می‌باشد؛ کمترین و بیشترین مقدار انرژی فعال‌سازی بادمجان در تیمارهای مطالعه شده در تحقیق به ترتیب  $13/33$  و  $13/93$  kJ/mol محاسبه شدند. بیشترین مقدار انرژی فعال‌سازی در توان مایکروویو  $630$  وات و کمترین مقدار آن در توان مایکروویو  $270$  وات به دست آمدند (جدول ۳). یعنی با افزایش توان مایکروویو، مقدار انرژی فعال‌سازی افزایش یافته است.



شکل ۲- تغییرات ضریب پخش موثر رطوبت در مقابل دمای هوای ورودی و توان مایکروویو

جدول ۳- مقادیر انرژی فعال‌سازی در سرعت‌های مختلف با ضریب تبیین ( $R^2$ ) حاصله

توان مایکروویو (W)	۶۳۰	۴۵۰	۲۷۰
انرژی فعال‌سازی (kJ/mol)	۱۳/۹۳	۱۳/۷۵	۱۳/۳۳
ضریب تبیین حاصله	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۴۳	۰/۹۹۳۱

### ۱- نتیجه‌گیری

در این تحقیق رفتار خشک‌کردن بادمجان در خشک‌کن مایکروویو- جریان هوای گرم آزمایشگاهی در دماهای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سلسیوس در سرعت هوای ۱/۱ متر بر ثانیه و توان‌های مایکروویو ۲۷۰، ۴۵۰ و ۶۳۰ وات مطالعه شد. دمای هوای ورودی و توان مایکروویو عوامل تاثیرگذار بر زمان خشک‌شدن، انرژی فعال‌سازی و میزان ضریب پخش موثر رطوبت محصول هستند. برای پیش‌بینی رطوبت بادمجان از چهار مدل ریاضی استفاده گردید. نتایج نشان داد مدل میدلی و همکاران بهترین مدل برای پیش‌بینی رفتار خشک کردن محصول است. مقادیر ضریب پخش موثر رطوبت در شرایط مختلف تحقیق در محدوده‌ی  $1/59 \times 10^{-9} - 2/94 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  به دست آمد. بیشترین مقدار انرژی فعال‌سازی در توان مایکروویو ۶۳۰ وات و کمترین مقدار آن در توان مایکروویو ۲۷۰ وات به دست آمدند.

### منابع و مأخذ

1. Aghbashlo, M. Kianmehr, M. H. & Arabhosseini, A. 2009. Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. Energy Conversion and Management. Vol. 50, 1348-1355.
2. Amiri Chayjan, R. Kaveh, M. & Khayati, S. 2014. Modeling drying characteristics of hawthorn fruit under microwave- convective conditions. Journal of Food and Processing Preservation. doi:10.1111/jfpp.12226, (in press)



3. Arslan, D. & Ozcan, M. M. 2011. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*. Vol. 89, 504-513.
4. Arslan, D. Ozcan, M. M. & Menges, H.O. 2010. Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). *Energy Conversion and Management*. Vol. 51, 2769-2775.
5. Cakmak, G. & Yildiz, C. 2011. The drying kinetics of seeded grape in solar dryer with PCM-based solar integrated collector. *food and bioproducts processing*. Vol. 89, 103-108.
6. Crank, J. 1975. *Mathematics of diffusion* (2nd ed.) London: Oxford University Press.
7. Kouchakzadeh, A. & Shafeei, S. 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios. *Energy Conversion and Management*. Vol. 5, 2012-2015.
8. Li, Z. Raghavan, G. S. V. Wang, N. Vigneault, C. 2011. Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of Food Engineering*. Vol. 104, 234-238.
9. Puig, A. Perez-Munuera, I. Carcel, J. A. Hernando, I. & Garcia-Perez, J. V. 2012. Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (*Solanum melongena* L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying. *Food and Bioproducts Processing*. Vol. 90, 624-632.
10. Ruiz Celma, A. Cuadros, F. López-Rodríguez, F. 2012. Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. *Food and Bioproducts Processing*. Vol. 90(2), 224-234.
11. Sharifian, F. Motlagh, A. M. & Nikbakht, A. M. 2012. Pulsed microwave drying kinetics of fig fruit (*Ficus carica* L.) *Australian Journal of Crop Science*. Vol. 6(10), 1441-1447.
12. Sharma, G. P. Prasad, S. & Chahar, V. K. 2009. Moisture transport in garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Food and Bioproducts Processing*. Vol. 87, 11-16.





نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Drying characteristics of eggplant using microwave- convection dryer

### Abstract

In this study, thin layer drying of eggplant was studied in microwave- convection dryer. Drying experiments were conducted at three temperatures of 40, 55 and 70 °C and one air velocities of 1.1 m/s and three microwave powers of 270, 450 and 630 W. To select a suitable drying curve, four thin-layer drying models were fitted to the experimental data. Among the applied mathematical models, Midili et al. model was the best to describe the thin layer drying behavior of eggplant with maximum value for  $R^2$  and minimum values for  $\chi^2$  and RMSE. Results showed that the effective moisture diffusivity for thin layer drying of eggplant was the highest at microwave power of 630 W and air temperature of 70 °C. The highest value of activation energy (13.93 kJ/mol) at microwave power of 630 W was obtained.

**Keywords:** eggplant, drying, microwave- convection dryer, activation energy, effective moisture diffusivity