



مدل سازی ریاضی سینیتیک خشک شدن گیاه نعناع فلفلی (*L piperita mentha*)

نگین حاجی ویسه^۱، ناصر بهروزی خزایی^۲، هادی صمیمی اخیجهانی^۳

^۱دانشجوی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان؛ n.hajivayseh@gmail.com

^۲استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان؛ n.behroozi@uok.ac.ir

^۳استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان؛ h.samimi@uok.ac.ir

چکیده

مدل سازی سینیتیک خشک شدن یکی از راه‌های مناسب برای کنترل زمان و شرایط خشک کردن می‌باشد. جهت پیدا کردن بهترین مدل ریاضی، محصول نعناع در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن جریان هوای گرم، زیر نور خورشید و همچنین در سایه با سه تکرار خشک شد. رطوبت اولیه محصول ۸۳ درصد بر پایه تر اندازه‌گیری شد و تا رسیدن نمونه‌ها به محتوای رطوبتی ۹ درصد بر پایه تر آزمایش ادامه پیدا کرد. برای برازش مدل‌ها از محیط نرم افزار MATLAB 2013 استفاده گردید. به منظور تعیین بهترین مدل از ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان شاخص استفاده شد. با مقایسه این شاخص‌ها مدل لگاریتمی به عنوان بهترین مدل با $R^2 = 0.99$ و $RMSE = 0.02$ انتخاب شد.

کلمات کلیدی: مدل لگاریتمی؛ محتوای رطوبتی؛ هوای گرم

Mathematical modeling of drying kinetics of Peppermint (*L piperita mentha*) leaves

Negin hajivayseh¹, naser behroozi khazae², hadi samimi akhijahani²

¹Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran, Email: N.hajivayseh@gmail.com

²Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran, Email: n.behroozi@uok.ac.ir

ABSTRACT

Mathematical modeling of drying kinetics of agricultural products is one of the most appropriate methods to control the drying time and drying conditions. In order to find the best of the mathematical model, the samples were dried in three levels of hot air temperature (40, 50, 60°C), and under sunny and shaded conditions. The initial moisture content was 83% wet basis and drying continued until the samples moisture content declined to 9% wet basis. For fitting the models, the MATLAB 2013 software was used. In order to determine the best model, the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error (RMSE) were used as the index. The results demonstrated that the logarithmic model by $R^2 = 0.99$ and $RMSE = 0.02$ had best results than other models

Keywords: Logarithmic Model; Moisture content; Hot air



نعناع فلفلی با نام علمی *L. piperita mentha* از خانواده *Lamiaceae* می‌باشد و از جمله گیاهان دارویی و معطری است که بیشتر در منطقه‌ی مدیترانه‌ای رشد می‌کند و اسانس آن مصارف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی فراوانی دارد. گیاه دارویی نعناع به دلیل دارا بودن مواد مؤثر با ارزش از جمله منتول، که استفاده‌های دارویی زیادی از آن می‌شود، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. از جمله ترکیبات موجود در اسانس نعناع فلفلی می‌توان به منتول، منتون، کاریوفیلن، پیرپتون، ایزومنترول، فیتول، توکروفولها، بتائین، تانن کاروتن و غیره اشاره کرد (Solaymani et al., 2014). از ساده‌ترین روش‌ها برای افزایش عمر انبارداری محصولات، کاهش درصد رطوبت آن با استفاده از روش‌های مختلف خشک کردن است. خشک کردن عبارت است از خارج نمودن آب از ماده‌ی غذایی به گونه‌ای که محصول خشک حاصل از این عمل را بتوان به مدت طولانی و سالم نگهداری کرد. با خشک کردن محصولات، فعالیت آبی آن کاهش یافته و پایداری آن نیز افزایش پیدا می‌کند. افزایش تقاضا برای مصرف محصولات خشک با کیفیت خوب موجب افزایش مطالعات در زمینه فرآیند خشک کردن شده است. امروزه خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات بخش قابل توجهی از صنعت کشاورزی است که یک تکنولوژی کلیدی برای حفظ محصولات تازه در مناطق روستایی می‌باشد و در نتیجه زباله‌های مواد غذایی را کاهش می‌دهد (Esfahani and et al., 2014). از ابتدایی‌ترین روش‌ها برای خشک کردن محصولات کشاورزی به منظور حفظ اسانس و ویژگی‌های ماده غذایی می‌توان به روش‌های سنتی پهن کردن محصول در مجاورت آفتاب و سایه اشاره کرد. در یک تحقیق با بررسی روش‌های خشک کردن در گیاه بابونه نشان دادند کمترین و بیشترین زمان خشک کردن به ترتیب مربوط به روش مایکروویو و روش سایه بود، بیشترین درصد اسانس در روش ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سایه به دست آمد و کمترین آن در روش مایکروویو با توان بالا و دمای بالای آن و روش آفتاب بود (Azizi et al., 2009).

یکی از جنبه‌های مهم فرآوری خشک کردن به خصوص برای فرآیندهای صنعتی، مدل‌سازی فرآیند خشک کردن است. هدف از مدل‌سازی این است که مناسب‌ترین روش خشک کردن و بهترین شرایط عملیاتی را برای به دست آوردن محصول معین بتوان انتخاب کرد. آگاهی از رفتار خشک شدن در طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند خشک شدن مهم است. برای مدل کردن فرآیند خشک کردن می‌توان به مدل‌های ریاضی، روش‌های عددی و کامپیوتری نظیر شبکه عصبی مصنوعی اشاره کرد هر کدام از این روش‌ها با مهیا کردن اطلاعات کافی در خصوص ویژگی ماده خشک شده می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی خشک‌کن‌ها حائز اهمیت باشد. متداول‌ترین روش در استخراج مدل خشک کردن، کاربرد روش‌های آماری است. در این روش برای بیان یک پدیده معادله‌ی جبری بر حسب یک متغیر بیان می‌شود که اغلب برای تحلیل آماری نیازمند ارائه‌ی تعدادی روابط ریاضی است که جهت استفاده و تفسیر خیلی مشکل‌ساز خواهد بود.

مدل‌سازی سینتیک خشک کردن لایه‌های نازک تحت شرایط خشک کردن در معرض تابش مستقیم آفتاب را برای برخی از گیاهان آروماتیک (نعناع، جعفری و ریحان) مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند خشک کردن هر سه گیاه مورد مطالعه در مرحله نزولی خشک کردن انجام گرفت. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مدل پیچ اصلاح شده توانست به بهترین صورت منحنی خشک کردن نعناع و ریحان و مدل ورما و همکاران نیز توانست منحنی خشک کردن جعفری را توصیف نماید (Akpınar., 2006).

در تحقیقی دیگر مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک شدن گیاه نعناع فلفلی در خشک‌کن خورشیدی فعال در حالت تابش غیر مستقیم انجام شد. با تحلیل داده‌ها در نرم افزار متلب مدل میدیلی را با $R^2 = 0.9989$ و $\chi^2 = 0.04328$ و $RMSE = 0.02254$ انتخاب شد (Norouzi et al., 2015). سینتیک خشک شدن لایه نازک داروی گیاهی شوید در یک خشک‌کن خورشیدی در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ درجه سانتیگراد و در سه سرعت هوای ۱، ۵، ۲ متر بر ثانیه مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که مدل آغباشلو و همکاران منحنی خشک شدن شوید را نسبت به مدل‌های دیگر بهتر برآورد می‌کند (Mirzaee Ghaleh et al., 2015).

با توجه به اهمیت گیاه نعناع فلفلی و اهمیت خشک کردن آن هدف از این پژوهش مدل‌سازی روند خشک کردن این گیاه و بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر روی سینتیک خشک کردن آن به منظور انتخاب بهترین مدلی که بتواند روند تغییرات رطوبت این ماده غذایی را به خوبی نشان دهد تا بلکه بتوان با توجه به آن سیستم‌های خشک‌کن‌های مناسب جدیدی طراحی کرد. با توجه به این که بیشتر مدل‌سازی‌هایی که انجام شده است مربوط به سامانه‌های خشک‌کن دیگری و محصولات متفاوت می‌باشد انجام این پژوهش می‌تواند حائز اهمیت باشد.



آزمایش‌ها در بخش مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در اردیبهشت ۹۶ انجام گرفت. نعنای فلفلی به عنوان ماده خام از یکی از مغازه‌های محلی در سنندج تهیه شد. قبل از خشک کردن برگ‌های تازه نعنای از ساقه جداسازی شد و به منظور جلوگیری از حذف رطوبت سطحی و پژمردگی برگ‌های تازه نعنای در کیسه‌هایی از جنس پلی اتیلن قرار گرفت و تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال در دمای استاندارد ۴ درجه قرار داده شد. به منظور به دست آوردن رطوبت اولیه نعنای نمونه‌های خرد شده به مدت سه ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد و رطوبت اولیه نعنای ۸۳ درصد بر پایه تر (w.b) طبق رابطه (۱) اندازه‌گیری شد (Mokhtarian., 2016).

$$M_{w.b.} = 100 \frac{W_w}{W_t} = 100 \frac{W_w}{W_w + W_d} \quad (1)$$

در این رابطه $M_{w.b.}$: محتوای رطوبتی بر پایه تر، W_d : جرم ماده خشک موجود در محصول، W_w : جرم آب موجود در محصول، W_t : جرم کل نمونه می باشد.

به منظور بررسی سینیتیک خشک شدن و مقایسه بین روش‌های خشک شدن بر روی نرخ آزدایی، برگ‌های نعنای در وزن ۱۰۰ گرم توسط خشک‌کن جریان هوای گرم با سرعت هوای ۰/۵ متر بر ثانیه در سه دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین سرعت باد ۷ کیلومتر بر ساعت و رطوبت نسبی ۱۴ درصد و در سایه با میانگین دمای ۲۶ درجه سلسیوس و رطوبت ۲۲ درصد در سه تکرار انجام شد. با توجه به سرعت خشک شدن در هر روش در فواصل زمانی مشخص توسط یک ترازو با دقت ۱ گرم توزین انجام شد.

۲-۱- مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک کردن

مدل‌های ریاضی خشک کردن محصولات کشاورزی در طراحی و بهینه‌سازی خشک‌کن‌ها و نیز برای کنترل مراحل عملیاتی آنها مؤثر است. این مدل‌ها پدیده‌ی خشک کردن را در یک روش واحد بدون توجه به مکانیزم‌های کنترل تشریح می‌کنند. در این پژوهش داده‌های آزمایشگاهی توسط ۷ مدل تجربی که به طور معمول برای مدل‌سازی خشک شدن محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند مدل‌سازی شد. (جدول ۱). که در این مدل‌ها منحنی-های خشک کردن از رسم تغییرات نسبت رطوبت بر حسب زمان خشک کردن حاصل می‌شود. جهت برازش داده‌های آزمایشگاهی از نرم افزار MATLAB 2013 استفاده شد.

جدول ۱- انواع مدل‌های ریاضی

Table 1. Types of mathematical Models

model name	Model	Reference
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Westerman <i>et al.</i> , (1973)
Page	$MR = (-kt)^n$	Page (1949)
Henderson and pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis., (1961)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Togrul and Pehlivan .,2004
Tow term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kat)$	Sharaf-Eldin <i>et al.</i> , 1980
Wang and Sing	$MR = 1 + at + bt^2$	Yaldiz <i>et al.</i> ,2001
Modified Henderson and pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Kiranoudis <i>et al.</i> ,1992

۲-۲- آنالیز آماری:

مدل‌ها توسط نرم‌افزار متلب پیاده سازی شد و برای انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های موجود از ضریب تعیین R^2 نشان‌دهنده دقت مدل و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان‌دهنده تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی، استفاده شد. مدلی که بهترین برازش را بر داده‌های آزمایشگاهی داشت به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.



$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i}) \sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i})^2] [\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})^2]}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2} \quad (3)$$

برای بررسی تغییرات رطوبت نسبت به زمان از پارامتر بدون بعد نسبت رطوبتی (MR) که میزان تغییرات رطوبت را نشان می‌دهد، استفاده شد

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad (4)$$

در این معادله X_0 رطوبت اولیه (گرم ماده خشک/گرم آب)، X_t رطوبت در لحظه t (گرم ماده خشک/گرم آب) و t زمان خشک کردن (دقیقه) می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی سینتیک خشک کردن

در شکل (۱) تغییرات نسبت رطوبتی به زمان برای خشک کردن در سه دمای (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) در خشک‌کن جریان هوای گرم، مقابل نور خورشید و سایه نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود بیشترین زمان خشک شدن مربوط به سایه در ۱۰۰۰ دقیقه (۱۶ ساعت) و کمترین زمان مربوط به خشک‌کن هوای گرم با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در ۶۰ دقیقه بود که این می‌تواند به دلیل اختلاف بیشتر دما و رطوبت بین محصول و هوای اطراف در خشک کردن به وسیله خشک‌کن جریان هوای گرم نسبت به سایه باشد. در خشک کردن توسط جریان هوای گرم همانطور که در شکل نیز نشان داده شده است، بین دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف زیادی وجود دارد در حالی که این اختلاف بین دمای ۵۰ و ۶۰ درجه کمتر است که نشان دهنده آن است دماهای بیشتر از ۵۰ اثر قابل توجهی بر روزگاهش زمان خشک کردن ندارد و انتقال جرم از محصول به هوا بیشتر تحت تاثیر خود محصول قرار می‌گیرد تا دمای هوای گرم.

در خشک کردن در مقابل خورشید به گونه‌ای که در شکل (۱) نشان داده شده است، روند کاهش رطوبت متغیر است به طوری که در زمان هایی میانی سرعت کاهش رطوبت افزایش یافته و سپس کاهش یافته است که این به دلیل تغییرات دمایی و میزان وزش باد و همچنین میزان تابش نور آفتاب در طول روز می‌باشد توجه به نمودارها با گذشت زمان سرعت خشک شدن و از دست دادن رطوبت کاهش می‌یابد این امر به دلیل بالا بودن محتوای رطوبت در لحظه اول می‌باشد و همچنین با گذشت زمان به دلیل چروکیدگی محصول، سطح محصول کاهش می‌یابد که باعث کاهش انتقال جرم به هوا می‌شود. شبیه این نتایج در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Doymaz., 2004 ; Pathare et al., 2005).

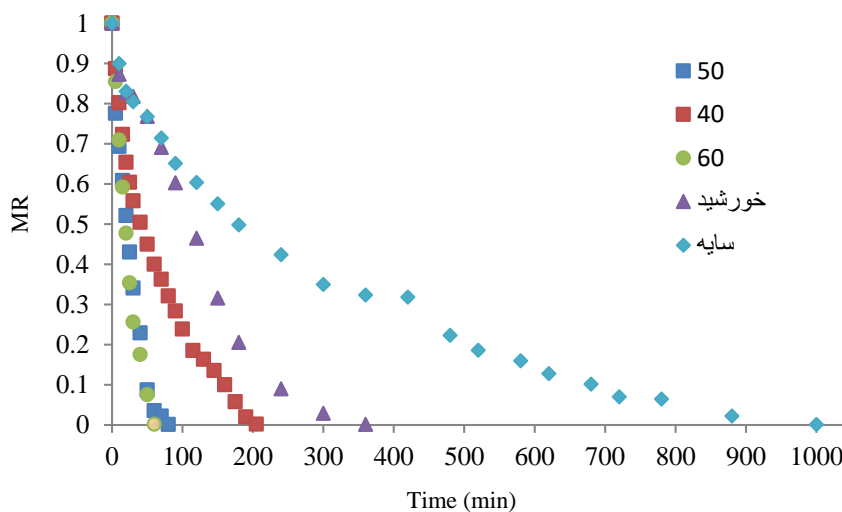


Figure 1. Changes in moisture ratio over time

شکل ۱- تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان



۳-۲- مدل سازی سینیتیک خشک کردن

برای مدل سازی و پیش بینی سینیتیک خشک کردن از نرم افزار متلب استفاده شد. مقادیر R^2 و RMSE به دست آمده از مدل ها در جدول های ۳ و ۲ نشان داده شده است. جدول ۲ نتایج مدل ها برای خشک کردن در روش های خشک کردن درسایه و مقابل آفتاب را نشان می دهد با توجه به این که به هر اندازه R^2 به یک نزدیک تر و RMSE کوچکتر باشد مدل برازش بهتری بر داده ها خواهد داشت، مدل لگاریتمی با بیشترین مقدار R^2 برابر ۰/۹۹۸۶ و کمترین مقدار RMSE برابر ۰/۳۲ به عنوان بهترین مدل انتخاب شد و مدل نیوتون دارای کمترین دقت برای این داده های آزمایشگاهی بود.

جدول ۲- نتایج بهینه مدل ها در روش سایه و خورشید

Table2. Optimization results model in shadow's and sun's method

Model Name	Shadow		Sun	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Newton	0.9728	0.05162	0.9592	0.073
Page	0.989	0.03362	0.9807	0.05084
Henderson and pabis	0.9894	0.03304	0.9659	0.06766
Logarithmic	0.9986	0.032	0.9848	0.04736
Tow term exponential	0.9894	0.3297	0.9806	0.05096
Wang and Sing	0.9875	0.03631	0.9794	0.05506
Modified Henderson and pabis	0.9947	0.026	0.9665	0.084

جدول ۳- نتایج بهینه مدل ها در روش هوای گرم

Table3. Optimization results model in hot air dryer

Equation	Oven (40 ° c)		Oven (50 ° c)		Oven (60 ° c)	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Newton	0.98	0.04169	0.9813	0.04542	0.9817	0.4544
Page	0.9917	0.02749	0.9857	0.04166	0.9968	0.02016
Henderson and pabis	0.9976	0.03816	0.9813	0.04756	0.9853	0.04311
Logarithmic	0.9986	0.03316	0.993	0.03073	0.9973	0.01982
Tow term exponential	0.9939	0.02359	0.9812	0.04769	0.9816	0.04826
Wang and Singh	0.9977	0.01492	0.9926	0.03155	0.9717	0.064
Modified Henderson and pabis	0.9651	0.0636	0.948	0.1022	0.991	0.0479

جدول ۴- نتایج بهینه با استفاده از مدل لگاریتمی

Table 4. Optimization results using by Logarithmic's model

Name of model	R^2	RMSE	a	k	c
Shadow	0.9986	0.0123	0.93	0.00297	- 0.02297
Sun	0.9848	0.04736	1.272	0.004592	- 0.2891
Oven (T= 40 °C)	0.9986	0.01216	0.9378	0.01419	- 0.008487
Oven (T= 50 °C)	0.993	0.03073	1.121	0.02793	- 0.1459
Oven (T= 60 °C)	0.9977	0.01492	1.216	0.03014	- 0.2002

جدول ۳ نتایج مدل ها برای خشک کردن در خشک کن جریان هوای گرم را نشان می دهد. با توجه به نتایج آورده شده برای این روش خشک کردن نیز، روش لگاریتمی به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. در دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد روش هندرسون و پابیس اصلاح یافته و برای دمای ۶۰ درجه سانتی گراد مدل وانگ و سینگ دارای کمترین دقت بود. جدول (۴) نتایج بهینه مدل لگاریتمی را با ضرایب به دست آمده برای این مدل را نشان



می دهد. با توجه به نتایج، مدل برازش بهتری بر داده های سایه و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد دارد. و هر اندازه ضرایب کوچکتر باشند دقت مدل بهتر است. شکل (۲) تغییرات نسبت رطوبتی مدل لگاریتمی را نسبت به نسبت رطوبتی به دست آمده در حالت واقعی را نشان می دهد. با توجه به نمودار داده های به دست آمده از مدل با $R^2 = 0.9749$ بر داده های واقعی منطبق است که این به معنای مناسب بودن این مدل برای پیش بینی فرآیند خشک شدن این محصول می باشد.

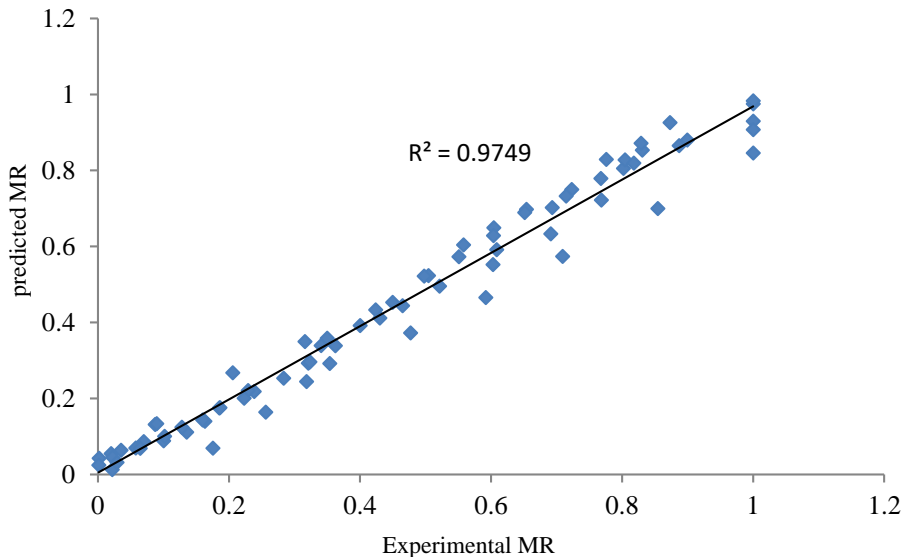


Figure 2. Experimental versus predicted moisture ratio values using the Logarithmic model

شکل ۲- تغییرات رطوبت نسبی پیش بینی شده با مدل لگاریتمی نسبت به رطوبت نسبی واقعی

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق روند خشک شدن گیاه نعنای با استفاده از جریان هوای گرم، تابش آفتاب و سایه با استفاده از مدل های ریاضی مدل سازی شد. بهترین مدل برای پیش بینی کاهش رطوبت برگ های نعنای فلفلی مدل لگاریتمی با $R^2 > 0.90$ و $RMSE < 0.08$ انتخاب شد. همچنین با توجه به اختلاف زمان خشک شدن بین روش های خشک شدن مقابل آفتاب و سایه و دمای ۴۰ درجه با دمای ۵۰ و ۶۰ درجه میتوان نتیجه گرفت که دماهای پایین تر از ۵۰ درجه برای کاهش رطوبت نعنای مناسب نیستند و مدت زمان خشک شدن را افزایش می دهند.

۵- مراجع

- Akpinar, E. K. (2006). Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. *Food Engineering*, 77, 864 - 870.
- Azizi, M., Rahmati, M., Ebadi, T. & Hasanzadeh-Khayyat, M. (2009). The effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazulene contents of chamomile (*Matricaria recutita*) flowers. *Medicinal and Aromatic Plants*, 25, 182-192. (Persian)
- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.
- Esfahani, J.A., Majdi, H., & Barati, E. (2014). Analytical two-dimensional analysis of the transport phenomena occurring during convective drying Apple slices. *Food Engineering*, 123, 87-93.
- Henderson S.M., & Pabis S. (1961). Grain drying theory: 1. Temperature affection drying coefficient. *Agricultural Engineering Research*, 6, 169-170.
- Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., & Kouris, M. D. (1992). Drying kinetics of onion and green pepper. *Drying Technology*, 10: 995-1011.
- Mirzaee ghaleh, E., Nejat Lorestani, A., & Germi, H. (2015). *Modeling of thin layer drying kinetics of dill*, international conference on applied research in agriculture. june, Tehran, Iran. (Persian)
- Mokhtarian, M., Tavakolipour, H., & Kalbasi-Ashtari, A. (2016). Energy and exergy analysis in solar drying of pistachio with air recycling system. *Drying Technology*, 34(12), 1484-1500.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



- Norouzi, A., Ebrahimi, R., & shakeri chaleshteri, H. (2015). *Math Modeling Mentha peppermint (.Mentha piperita L) drying process in active solar dryer in indirect radiation*. Fourth National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. February, Tehran, Iran. (Persian)
- Page G.E. (1949): Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. [MSc. Thesis.] Purdue University, West Lafayette, IN.
- Pathare, P. B., Sharma G. P. & Verma, R. C. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Food Engineering*, 67, 361–366.
- Sharaf-Elden, Y.I., Blaisdell J.L., & Hamdy, M.Y. (1980)., A model for ear corn drying. *Transactions of ASAE*, 5, 1261–5.
- Solaymani, F., Hemati, A., & safar khazade, S. (2014). *Medicinal plant peppermint and menthol production in this plant*. The first National Conference on Medicinal Plants, Traditional Medicine and Organic Farming. October, Hamedan, Iran. (Persian)
- Togrul, I.T., & Pehlivan, D. (2004). Modelling of thin-layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Food Engineering*, 65, 413–425.
- Westerman, P.W., White, G.M., & Ross, I.J. (1973). Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. *Transactions of the ASAE* .16, 1136-1139.
- Yaldiz O., Ertekin C., & Uzun H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457–465.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران