



بررسی سینتیک خشک شدن برگه‌ی گلابی آسیایی در خشک‌کن میکروویو

پگاه نعمتی‌زاده^۱، محمدهادی خوش‌تقاضا^۲، محمد عباسیان^۳

۱، ۲ و ۳-به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مکانیک ماشین‌های

کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

pegah644@yahoo.com

چکیده

گلابی آسیایی، یکی از گونه‌های قدیمی گلابی است که در دو دهه‌ی گذشته، علاقه‌مندی به پرورش ارقام اصلاح شده‌ی آن در جهان رو به تزاید گذاشته است. در این تحقیق خشک کردن برگه‌های گلابی آسیایی با ضخامت‌های ۲، ۴ و ۶ mm در خشک‌کن میکروویو با توان‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰W مورد مطالعه قرار گرفته و منحنی‌های نسبت رطوبت در طی زمان به دست آمدند. مدل‌های ریاضی خشک کردن لایه‌های نازک برای توان‌ها و ضخامت‌های مختلف از نظر R^2 ، SSE و $RMSE$ مقایسه شدند. بهترین مدل خشک کردن برای توان‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ W، مدل لگاریتمی و برای توان ۴۰۰W، مدل لگاریتمی و تقریب انتشار بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: میکروویو، گلابی آسیایی، خشک‌کردن، مدل ریاضی

مقدمه

خشک کردن یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی است. از این روش بخصوص برای افزایش زمان ماندگاری میوه‌ها و سبزیجاتی که دارای آب زیاد هستند، استفاده می‌گردد، زیرا آب مهم‌ترین عامل در ایجاد فساد، رشد و فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. خشک کردن مواد غذایی برای نگهداری بهتر آن‌ها در طول سال و ایجاد امکان دسترسی به آن‌ها در شرایط و فصولی که به صورت تازه وجود ندارند، از سال‌ها پیش مرسوم و متداول بوده است. در فرآیند خشک‌کردن میوه‌ها، به علت حذف مقداری از آب آن‌ها، غلظت سایر مواد مغذی بالاتر می‌رود. بیشتر مواد مغذی به حرارت حساس بوده و با قرار گرفتن در معرض فرآیند خشک‌کردن از بین می‌روند. برای مثال ویتامین C در فرآیند خشک‌کردن کاهش یافته یا به کلی از بین می‌روند. از سوی دیگر، میوه‌های خشک منبع غنی ویتامین‌های B_2 ، A، B_1 ، B_6 ، B_3 و پانتوتنیک اسید و نیز املاحی مانند کلسیم، آهن، منیزیم، فسفر، پتاسیم،

سدیم، مس و منگنز هستند و هر ۱۰۰ گرم میوه خشک تقریباً ۲۵۰ کالری انرژی و ۱ تا ۵ گرم پروتئین دارد (خوشنخوی و همکاران، ۱۳۷۳).

گلابی یکی از محصولات مهم باغی مناطق معتدله به ویژه غرب ایران است که در حال حاضر سطح قابل توجهی از باغات استان‌های این منطقه شامل کرمانشاه، همدان و کردستان را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت درختان گلابی در منطقه غرب کشور حدود ۸۳۴ هکتار می‌باشد که حدود ۲۰ درصد گلابی کشور را تولید می‌نمایند (بی‌نام، ۱۳۸۱).

پیروس پیروفولیا گونه‌ای درخت گلابی بومی در چین، ژاپن و کره است. میوه‌های خوراکی این درخت به نام‌های مختلفی شناخته شده‌اند، از جمله: گلابی آسیایی، گلابی سفید چینی، گلابی ژاپنی، گلابی کره‌ای، گلابی تایوانی، گلابی سنی و سیب گلابی. در شمال آسیا این میوه با نام ناشی پاتی یا ناش پاتی شناخته شده است (Anonymous, 2010). پیروس پیروفولیا در آسیای شرقی، استرالیا، هند، نیوزلند و کشورهای دیگر کشت می‌شود. بطور کلی این میوه برای مصارف پخت مثل شیرینی و کمپوت استفاده نمی‌شود، زیرا درصد رطوبت بالایی دارد و بافت ترد و دانه‌ای آن خیلی با گونه‌های روغنی اروپایی متفاوت است. پیروس پیروفولیا برخلاف نام متداولش، سیب گلابی، حاصل پیوند سیب و گلابی نیست اما شکل و بافت تردش یادآور سیب است. این میوه گونه‌ای هیبرید خاص از گلابی است و اغلب به صورت خام و پوست‌کنده مصرف می‌شود. این میوه واقعاً درشت و معطر است و زمانی که به دقت پیچیده می‌شود، تا هفته‌ها در یک مکان سرد و خشک دوام می‌آورد. این میوه به علت آبداری به راحتی کوبیده و له می‌شود (Anonymous, 2010). در ایران هنوز کشت و پرورش ارقام گلابی آسیایی (*Serotina Rehd Pyrus*) متداول نشده است. گلابی آسیایی، یکی از گونه‌های قدیمی گلابی است که در دو دهه‌ی گذشته، علاقه‌مندی به پرورش ارقام اصلاح شده‌ی آن در جهان رو به تزاید گذاشته است (کاوه‌یی، ۱۳۸۷).

در مطالعه‌ی امام جمعه و عسگری برش‌های ۴ میلی‌متری سیب وارپته‌ی زرد لبنانی را با روش ترکیبی پوشش دادن، خشک‌کردن با هوای داغ و انرژی مایکروویو، تحت فرایند قرار دادند. خشک‌کردن با انرژی مایکروویو (۳۰۰W و ۱۰ ثانیه) باعث بدست آمدن محصولی با بافت حجیم و متخلخل شد که نسبت به محصول خشک‌شده در خشک‌کن‌های مرسوم هوای داغ دارای ویژگی‌های کیفی بهتری می‌باشد (امام جمعه و عسگری، ۱۳۸۳). در یک بررسی برای خشک‌کردن برگه‌های نازک هویج از خشک‌کن هوای مجهز به سیستم مایکروویو استفاده شد که با استفاده از این روش، ۲۵-۹۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی به‌عمل آمد. مشخص شد که استفاده از سطوح پایین‌تر انرژی موجب بهبود کیفیت فراورده‌ی پایانی می‌شود (Rosenthal and Ansrew, 2007).

اندازه‌ی قطر و نحوه‌ی توزیع منافذ در بافت میوه‌های خشک و ارتباط آن با روش خشک کردن مورد بررسی قرار گرفته، در نهایت مشخص شده که خشک‌کردن به روش تصعیدی کمترین تاثیر نامطلوب را بر روی ویژگی‌های ساختمانی به‌جای می‌گذارد (Karathanos, 1996).

استفاده از انرژی مایکروویو بسته به چگونگی و زمان استفاده از آن می‌تواند نتایجی متفاوت و بعضاً متضاد داشته باشد. اثرات این انرژی بر روی رنگ محصول و نیز میزان تخلخل آن، از این قبیل موارد هستند (Krokida and Maroulis, 1997; Prabhanjan et al., 1994).

در مواردی که سطح میوه‌ها کاملاً خشک و سخت شده، انتقال جرم و حرارت از طریق آن به‌سختی صورت می‌پذیرد، استفاده از مایکروویو این مزیت را داراست که با عبور از این موانع و بدون تغییر در آن‌ها آب موجود در مرکز نمونه بخار شده نهایتاً بافت حجیم به‌وجود می‌آید. وجود یون کلسیم در بافت میوه موجب استحکام و تردی آن و تولید محصولی حجیم و متخلخل بعد از فرایند مایکروویو می‌شود (امام جمعه و عسگری، ۱۳۸۳).
نتایج مطالعه‌ی فنگ و همکاران (۱۹۹۸) بیانگر این موضوع بود که استفاده از انرژی مایکروویو در یک سیستم بستر فورانی موجب افزایش دانسیته‌ی ظاهری و به‌دنبال آن کاهش تخلخل محصول خشک می‌گردد (Feng and Tang, 1998).

توماس فانبو و همکاران نیز از انرژی مایکروویو برای خشک کردن سیب استفاده کردند. طبق گزارش این پژوهشگران، میزان دانسیته‌ی محصول بسته به سطح، زمان اعمال انرژی و شرایط دمایی خشک‌کن ۶۳۲-۷۹۶ kg/m^3 بوده است. علت اصلی افزایش دانسیته ظاهری محصول خشک حاصل از این روش‌ها (صرف‌نظر از توان به‌کار گرفته‌شده) به‌کارگیری انرژی مایکروویو در شرایطی است که میزان رطوبت محصول بالاست که این خود موجب تشدید ضریب تبدیل انرژی مایکروویو و در نهایت تخریب ساختار داخلی محصول خشک‌شده خواهد بود (Funebo et al., 2000).

با توجه به تحقیقات انجام شده، تا کنون در مورد خشک کردن برگه گلابی کاری در ایران و سایر نقاط جهان صورت نگرفته است. از این‌رو در این مقاله، سینتیک خشک کردن برگه گلابی در خشک‌کن مایکروویو مورد بررسی قرار گرفته است.

اهداف این تحقیق عبارتند از:

- ۱- تعیین تأثیر ضخامت بر چگونگی خشک شدن ورقه گلابی.
- ۲- تعیین تأثیر توان خشک‌کن مایکروویو بر چگونگی خشک شدن ورقه گلابی.
- ۳- ارائه بهترین مدل خشک کردن جهت تشریح فرآیند خشک شدن

مواد و روش‌ها

۱- مواد

از نمونه برگه‌های نازک با ضخامت ۲، ۴ و ۶ mm با استفاده از یک چاقوی بسیار نازک با ابعاد ۲۵×۵ mm جدا گردید. سپس وزن نمونه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ g اندازه‌گیری شد. برای خشک کردن ورقه‌های بریده شده از خشک‌کن ماکروویو SAMSUNG مدل M945 با قدرت ۱۰۰۰ W استفاده شد.

۲- روش آزمایش

برای آزمایشات این تحقیق، حدود ۷ کیلوگرم گلابی آسیایی دراوایل زمستان ۸۸ تهیه و به آزمایشگاه مربوطه منتقل شد. سپس، میوه‌های کال، خراب و صدمه دیده جدا شد. سه عدد از نمونه‌ی بریده شده با ضخامت یکسان بر روی یک صفحه مشبک قرار گرفت. سپس صفحه مشبک در داخل سیستم خشک‌کن قرار داده شد. نمونه‌ها در ابتدا هر ۳ دقیقه از داخل خشک‌کن بیرون آورده می‌شد تا وزن آن ثبت گردد و این زمان کم کم کوتاه می‌شد. آزمایشات

برای سطوح مختلف توان مایکروویو، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ W برای سه ضخامت ۲، ۴ و ۶ mm و در سه تکرار انجام گرفت. برای اندازه گیری میزان رطوبت اولیه، از استاندارد اون استفاده گردید. برای این کار ۱۰۰ گرم از ورقه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵°C قرار داده شد (McGlone et al., 2002). در نتیجه میزان رطوبت ۸۰/۲۷ بر پایه ی تر محاسبه شد.

در جدول (۱) برای خشک شدن میوه ها و سبزیجات در طی خشک شدن، یک سری مدل های نیمه تجربی که در آن تنها نرخ نزولی در طی خشک شدن رخ می دهد، ارائه شده است. داده های آزمایش توسط نرم افزارهای *MATLAB* و *EXCEL* مورد تجزیه و تحلیل و تطبیق با مدل های معرفی شده در جدول (۱) قرار گرفت.

نسبت رطوبت (MR) معمولاً به صورت زیر تعریف می شود (Diammante and Munro, 1991; Yaldiz and Ertekin, 2001):

$$MR = (M - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (1)$$

ضریب تبیین (R^2) یکی از مقدماتی ترین پارامترهای آماری برای تعیین مناسب بودن معادله تعریف شده با مدل واقعی می باشد. علاوه بر R^2 ، پارامترهای آماری متفاوتی مانند: انحراف معیار (RMSE) و مجموع مربعات خطا (SSE) برای تعیین میزان تطابق مورد استفاده قرار می گیرند. این پارامترها را می توان از روابط زیر محاسبه نمود:

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

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

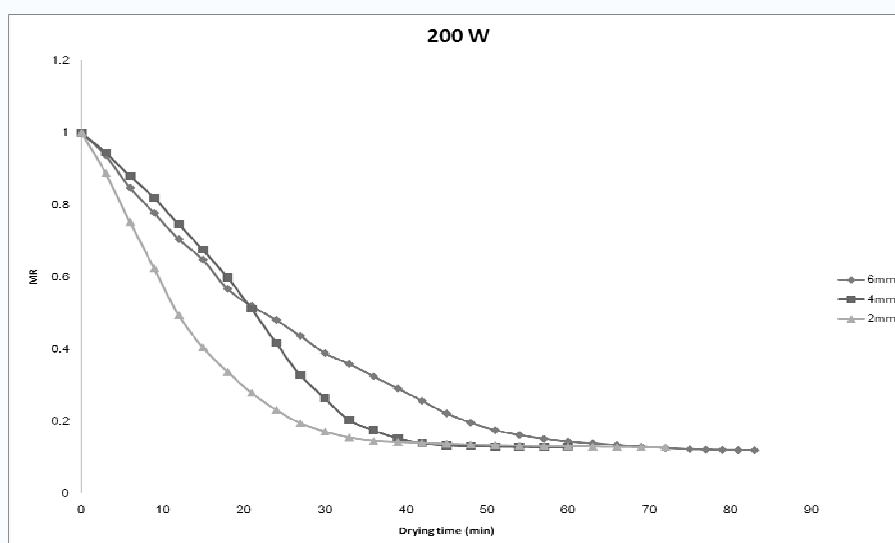
که در آن، $MR_{exp,i}$ مقادیر به دست آمده از آزمایشات، $MR_{pre,i}$ مقادیر پیشگویی شده بوسیله ی مدل های ارائه شده، N و Z به ترتیب تعداد مشاهدات و ثابت ها می باشند.

جدول ۱- مدل های لایه نازک خشک کردن

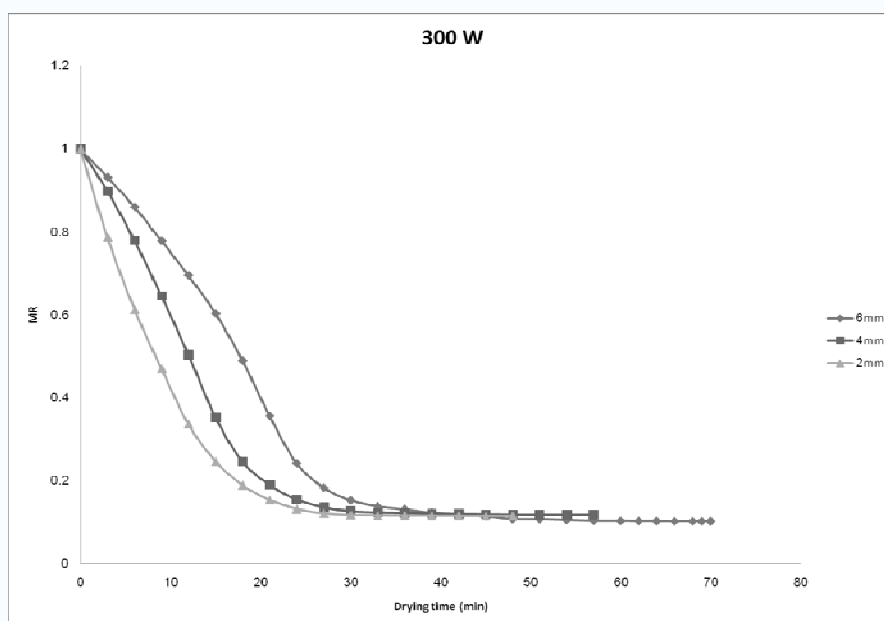
	معادله ی مدل	نام	مراجع
۱	MR= exp(-kt)	Newton	O'Callaghan et al., 1971
۲	MR= exp(-kt ⁿ)	Page	Page, 1949
۳	MR= exp(-(kt) ⁿ)	Modified Page	Overhults et al., 1973
۴	MR= a exp(-kt)	Henderson and Pabis	Henderson and Pabis, 1969
۵	MR= a exp(-kt) + c	Logarithmic	Yagcioglu et al., 1999
۶	MR= a exp(-k ₀ t) + b exp(-k ₁ t)	Two-term	Sharaf-Eldeen et al., 1980
۷	MR= 1 + at + bt ²	Wang and Singh	Wang and Singh, 1978
۸	MR= a exp(-kt) + (1 - a) exp(-kbt)	Approximation of diffusion	Sharaf-Eldeen et al., 1979
۹	MR= a exp(-kt) + (1 - a) exp(-gt)	Verma et al.	Verma et al., 1985
۱۰	MR= a exp(-kt) + b exp(-gt) + c exp(-ht)	Modified Henderson and Pabis	Karathanos, 1999

نتایج و بحث

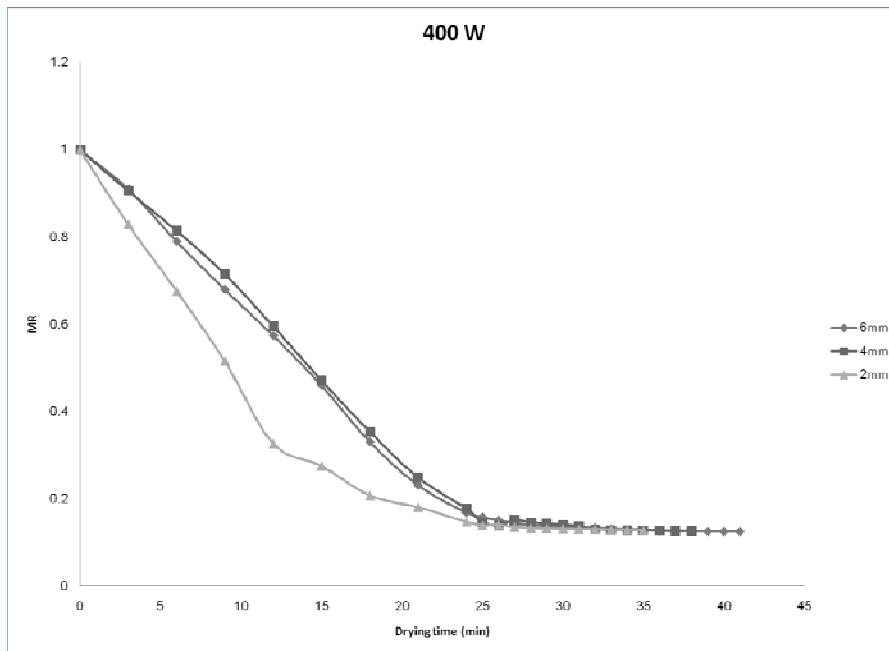
منحنی نسبت رطوبت در مقابل زمان برای توان‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ W و ضخامت‌های ۲، ۴ و ۶ mm در شکل‌های ۱ تا ۶ نشان داده شده است. منحنی نمونه‌ها با ضخامت‌های مختلف و برای توان‌های مختلف، متفاوتند. علت آن نیز به محتوای رطوبتی برگه‌ها مربوط می‌شود. برگه‌های ضخیم‌تر دیرتر خشک می‌شوند و خشک کردن با توان‌های پایین‌تر مدت زمان بیشتری طول می‌کشد. همان‌طور که از شکل‌های ۱ تا ۳ پیداست، برگه‌های با ضخامت ۲ mm سریع‌تر خشک شدند. البته این امر قابل پیش‌بینی بود زیرا، برگه‌ی نازک‌تر میزان رطوبت کمتری بوده و در نتیجه با سرعت بیشتری خشک می‌شود.



نمودار ۱- منحنی کاهش رطوبت نسبت به زمان در ضخامت‌های مختلف برای توان ۲۰۰ W

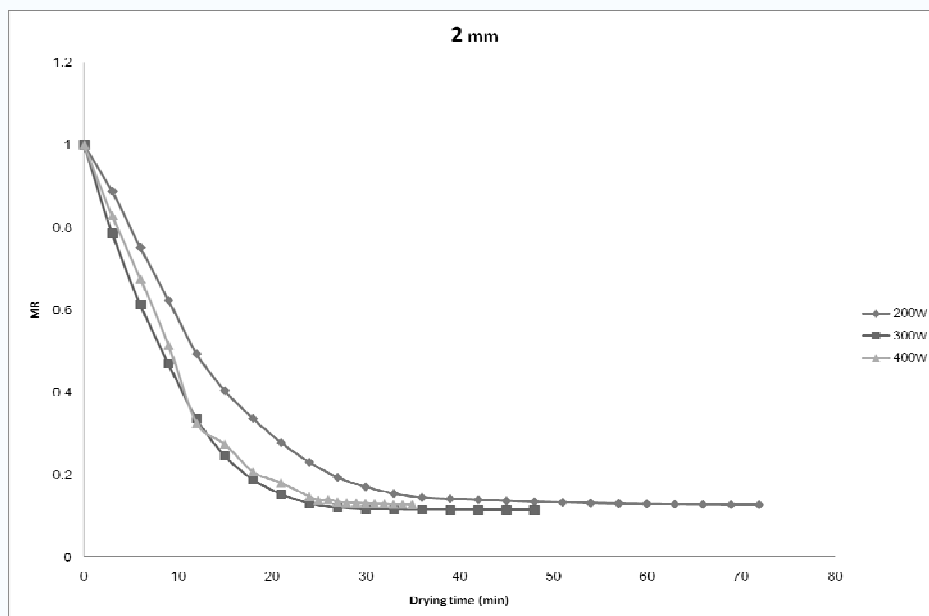


نمودار ۲- منحنی کاهش رطوبت نسبت به زمان در ضخامت‌های مختلف برای توان ۳۰۰ W

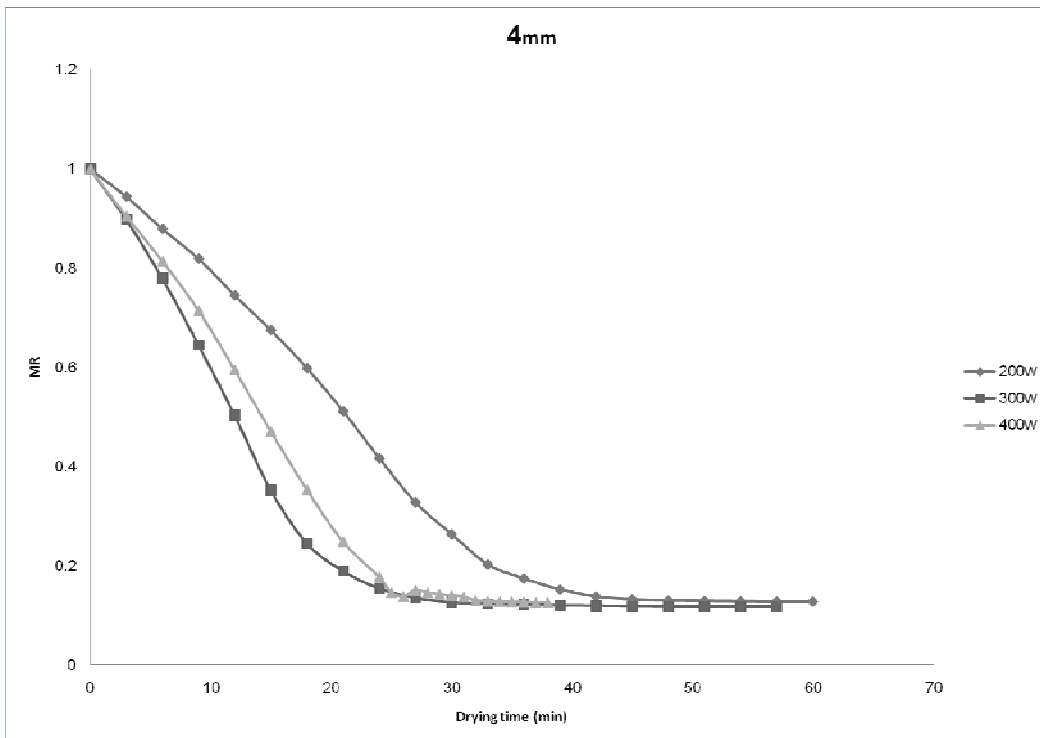


نمودار ۳- منحنی کاهش رطوبت نسبت به زمان در ضخامت‌های مختلف برای توان 400 W

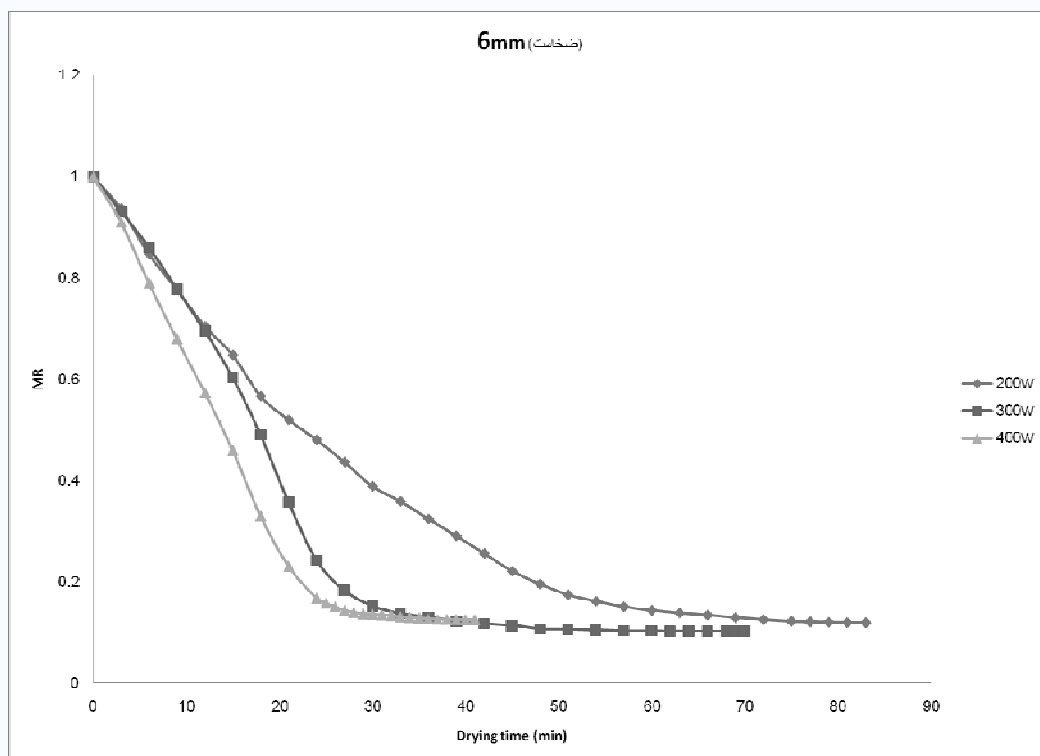
از منحنی‌های نمودارهای (۴) تا (۶) این نتیجه حاصل می‌شود که برای هر سه ضخامت، توان بیشتر یعنی 400 W زمان کمتری برای خشک کردن لازم دارد. در شکل ۴ منحنی قدرت‌های 300 W و 400 W برای ضخامت 2 mm به‌طور تقریبی نزدیک به هم هستند. زیرا، برگه‌ی نازک‌تر محتوی رطوبت کمتری بوده و در نتیجه با سرعت بیشتری خشک می‌شود. حال اگر توان بیشتر باشد، این اتفاق سریع‌تر رخ می‌دهد.



نمودار ۴- منحنی کاهش رطوبت نسبت به زمان در قدرت‌های مختلف برای ضخامت 2 mm



نمودار ۵- منحنی کاهش رطوبت نسبت به زمان در قدرت‌های مختلف برای ضخامت ۴ mm



نمودار ۶- منحنی کاهش رطوبت نسبت به زمان در قدرت‌های مختلف برای ضخامت ۶ mm

در جدول (۲) نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری برای ضخامت‌ها و توان‌های مختلف بر اساس توابع ذکر شده در جدول ۱ آورده شده است. مناسب‌ترین تابع، تابعی است که دارای $R^2 = 1$ و $SSE = 0$ و $RMSE = 0$ باشد. از

بررسی نتایج به دست آمده برای توان ۲۰۰ W و ۳۰۰ W تابع لگاریتمی و برای توان ۴۰۰ W تابع لگاریتمی و تقریب انتشار با تقریب مناسبی، بهترین مدل سینتییک خشک کردن محسوب می‌شوند. ضرایب مدل لگاریتمی برای توان‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ W به ترتیب در جدول‌های (۳) و (۴) و ضرایب مدل‌های لگاریتمی و تقریب انتشار برای توان ۴۰۰ W در جدول (۵) آورده شده‌اند.

نتیجه‌گیری

- ۱- بهترین مدل خشک کردن برگه‌های گلابی آسیایی در توان ۲۰۰ W و ۳۰۰ W، مدل لگاریتمی و برای توان ۴۰۰ W، مدل لگاریتمی و تقریب انتشار می‌باشد.
- ۲- افزایش توان مایکروویو در مدت زمان خشک کردن آن‌ها تأثیر داشت. این تأثیر بر روی نمودارهای خشک کردن قابل مشاهده می‌باشد.
- ۳- کاهش ضخامت برگه‌ها نیز روی مدت زمان خشک کردن تأثیر مثبت داشتند.

جدول ۲- نتایج مقایسه مدل‌ها در ضخامت و توان مختلف

توان		2mm			4mm			6mm		
حالت	NO	R ²	SSE	RMSE	R ²	SSE	RMSE	R ²	SSE	RMSE
200 W	۱	0.9942	0.01255	0.02081	0.9547	0.09	0.06708	0.9458	0.08704	0.06022
	۲	0.9943	0.01244	0.02108	0.9838	0.03214	0.04113	0.9591	0.06573	0.05346
	۳	0.9943	0.01244	0.02108	0.9838	0.03214	0.04113	0.9591	0.06573	0.05346
	۴	0.9946	0.01173	0.02047	0.9684	0.06293	0.05755	0.9463	0.08624	0.06123
	۵	0.9962	0.00825 9	0.01749	0.9713	0.05703	0.05629	0.9914	0.01377	0.02502
	۶	0.9948	0.01133	0.9942	0.9772	0.04533	0.9732	0.9468	0.08538	0.9392
	۷	0.9879	0.02635	0.987	0.9473	0.1048	0.9414	0.9824	0.02826	0.03584
	۸	0.9948	0.01136	0.02051	0.9868	0.02624	0.03818	0.9868	0.02624	0.03818
	۹	0.9948	0.01135	0.02013	0.9948	0.01135	0.02013	0.9924	0.01219	0.02354
	۱۰	0.8054	0.4221	0.1326	0.7078	0.581	0.1968	0.9264	0.1182	0.07887
300 W	۱	0.9492	0.1186	0.06753	0.9544	0.07432	0.06254	0.9634	0.0434	0.05208
	۲	0.9572	0.09992	0.06322	0.9549	0.07337	0.06384	0.9701	0.03322	0.04706
	۳	0.9572	0.09992	0.06322	0.9549	0.07337	0.063	0.972	0.03322	0.04706
	۴	0.9567	0.1012	0.06362	0.9571	0.06986	0.0623	0.9639	0.04282	0.05343
	۵	0.9613	0.09035	0.06136	0.9716	0.04632	0.0522	0.9929	0.00836 4	0.02444
	۶	0.9627	0.08706	0.06152	0.9607	0.06395	0.06322	0.9649	0.04166	0.05661

	۷	0.9382	0.1442	0.07753	0.9568	0.0703	0.06431	0.9899	0.01202	0.0293
	۸	0.9655	0.08059	0.05795	0.9608	0.06383	0.06128	0.9608	0.06383	0.06128
	۹	0.9655	0.08059	0.05795	0.9608	0.06383	0.06128	0.996	0.00479	0.0185
	۱۰	0.7805	0.5127	0.1562	0.893	0.1743	0.1116	0.9593	0.04832	0.06628
400 W	۱	0.9662	0.06209	0.04984	0.9584	0.07515	0.05845	0.9796	0.02669	0.03748
	۲	0.9786	0.03923	0.04043	0.9836	0.02956	0.03752	0.9804	0.02561	0.03772
	۳	0.9786	0.03923	0.04043	0.9836	0.02956	0.03752	0.9804	0.02561	0.03772
	۴	0.9734	0.04884	0.04511	0.9691	0.05585	0.05157	0.9796	0.02664	0.03847
	۵	0.9734	0.0488	0.04606	0.9725	0.04962	0.04981	0.9885	0.01503	0.02973
	۶	0.9808	0.0352	0.04	0.9801	0.03602	0.04354	0.9797	0.02657	0.04075
	۷	0.9536	0.08528	0.06089	0.9533	0.08442	0.06497	0.9801	0.02603	0.03913
	۸	0.9828	0.03152	0.03702	0.9865	0.02443	0.03495	0.9796	0.02661	0.03956
	۹	0.9828	0.03152	0.03702	0.9865	0.02443	0.03495	0.9796	0.0266	0.03956
	۱۰	0.8928	0.1969	0.09922	0.8641	0.2455	0.1202	0.9484	0.06749	0.06943

جدول ۳- ضرایب مدل لگاریتمی برای مدل خشک شدن با توان ۲۰۰ W

k	a	c	ضخامت (mm)
0.03528	0.9936	0.04018	۲
0.03515	1.165	-0.08254	۴
0.07731	0.9494	0.1079	۶

جدول ۴- ضرایب مدل لگاریتمی برای مدل خشک شدن با توان ۳۰۰ W

k	a	c	ضخامت (mm)
0.05605	1.066	0.04525	۲
0.08143	1.014	0.07289	۴
0.11	0.9409	0.08981	۶

جدول ۵- ضرایب مدل لگاریتمی و تقریب انتشار برای مدل خشک شدن با توان $W = 400$

لگاریتمی			تقریب انتشار			ضخامت (mm)
k	a	c	k	a	b	
0.06319	1.084	-0.00506	0.3314	-0.2845	0.2192	۲
0.05308	1.158	-0.08395	0.2255	-0.5619	0.3571	۴
0.09718	0.9714	0.07217	0.9427	-0.01139	0.08071	۶

فهرست علائم

k, k ₀ , k ₁ , a, b, g, h, n	ضرایب ثابت	M ₀ (% w.b.)	میزان رطوبت اولیه
t (s)	زمان	M _e (% w.b.)	رطوبت تعادلی
l (mm)	ضخامت	MR	نسبت رطوبت ^۱
		RMSE	متوسط مربعات خطا

فهرست منابع

۱. امام جمعه، ز و عسگری، غ (۱۳۸۳). بکارگیری روش خشک کردن ترکیبی (پوشش دادن، خشک کن هوا و مایکروویو) در خشک کردن برگه‌های نازک سیب. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵. شماره ۳.
۲. بی‌نام (۱۳۸۱). آمارنامه کشاورزی. جلد اول - محصولات زراعی و باغی - سال زراعی ۱۳۷۹ - ۱۳۸۰. ۸۱۰ / ۰۶: ۴۱-۱۵۵. وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی.
۳. خوشخوی، م، شیبانی، ب، روحانی، ا و تفضلی، ع (۱۳۷۳). اصول باغبانی. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه شیراز. ص ۵۶۶.
۴. رفیعی ش (۱۳۷۶). بررسی روش متداول خشک کردن شلتوک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
۵. کاوه‌بی، ز (۱۳۸۷). میوه‌های خشک شده مغذی‌ترند یا میوه‌های تازه؟. سلامت، ۱۹۵: ۱۴.

¹ Moisture Ratio (MR)

6. **Anonymous** (2010). Asian Pear. Available on http://en.wikipedia.org/wiki/Nashi_pear.
7. **Diammante, L. M. and Munro, P. A.** (1991). Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*, **26**: 99.
8. **Feng, H. and Tang, J.** (1998). Microwave finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed., *Journal of Food Science* V 63 ,No 4 .
9. **Funebo, T., Kidman, S. and Langton, M.** (2000). Microwave heat treatment of apple before air dehydration effects on physical properties and microstructure, *Journal of Food Engineering* 46: 173-182
10. **Henderson, S. M. and Pabis, S.** (1969). Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, **6**: 169- 174.
11. **Jia, C., Yang, W. and Wu, B.** (2002). Mathematical modeling and glass transition mapping for rice drying in a cross flow dryer. *ASAE Annual International Meeting*. Hyatt Regency Chicago. Illinois. USA.
12. **Karathanos, V.T.** (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Food Engineering*. **39**: 337-344.
13. **Karathanos, V.T., Kanellopoulos, N.K. and Belessiotis, V. G.**(1996). Development of Porous Structure during Air Drying of Agricultural Plant Products. *Journal of Food Engineering* 29: 167-183
14. **Krokida, M.K. and Maroulis, Z.B.** (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*. 15(10), 2441-2458.
15. **McGlone, V.A., Jordan, R.B., Seelye, R. and Martinsen, P.J.** (2002). Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. *Journal of the Postharvest Biology and Technology*, **26**: 191–198.
16. **O’Callaghan, J.R., Menzies, D.J. and Bailey, P.H.** (1971). Digital simulation of agricultural dryer performance. *Agricultural Engineering research*. **16**: 223-244.
17. **Overhults, D.D., White, G.M. and Ross, I.J.** (1973). Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*. **16**: 195-200.
18. **Page, G.** (1949). Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers: M.S. Thesis. Lafayette, IN: Purdue University.
19. **Prabhanjan, D.G., Rammaswamy, H.S. and Raghavan, G.S.V.** (1994). Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 25:283-293
20. **Rosenthal, J.A. and Ansrew, J.** (2007). *Food Texture, Measurement and Perception*. School of Biological and Molecular Science. Oxford Brokes University. United Kingdom.
21. **Sharaf-Eldeen, Y.I., Hamdy, M.Y. and Blaisdell, J.L.** (1979). Mathematical description of drying fully exposed grains. *ASAE paper*. 79-3034.
22. **Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L. and Hamdy, M.Y.** (1980). A model for ear com drying. *Transactions of the ASAE*. **5**: 1261-1265.

23. **Sun, Z.H. and Siebenmorgen, T.** (1993). Milling characteristics of various rough rice kernel thickness fractions. *Cereal Chemistry* **70(6)**: 727-733.
24. **Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B. and Wratten, F.T.** (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*. **28**: 296-301.
25. **Wang, C.Y. and Singh, R.P.** (1978). A single layer drying equation for rough rice. *ASAE Paper*. **3001**.
26. **Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A. and Cagatay, F.** (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In A.Bascetincelik (Ed.), *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*. 26-27 May, Adana, Turkey. Faculty of Agriculture, Cukurova University.
27. **Yaldiz, O and Ertekin, C** (2001). Thin layer solar drying of some different vegetables. *Drying Technology*. **19**: 583-596.

Abstract

Asian pear is one of the oldest varieties of pear that interesting to grow its breeding varieties has been increased, in the last decades. In this study pear slices were dried in microwave at three different thicknesses and microwave power levels being 2, 4 and 6 mm and 200, 300 and 400W, respectively. The resulted data were used to represent moisture ratio versus time. The mathematical drying models were compared according to R^2 , SSE and RMSE criteria. The result showed that for the microwave drying power of 200 and 300 W, Logarithmic model and for the power of 100 W, Logarithmic and Approximation of diffusion were the best models to simulate drying process.

Keywords: Microwave; Asian pear; Drying; Mathematical model