سینتیک خشک کردن برگ کرفس با امواج مایکروویو

احمد کوچک زاده[۱] و ندا شبانی[۲]

۱- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ایلام
akouchakzadeh@mail.ilam.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ایلام

چکیده

در این تحقیق با بکارگیری یک دستگاه مایکروویو فرایند خشک شدن برگ کرفس بصورت تک لایه و تغییر رنگ نمونه خشک شده به کمک یک دستگاه آنالیزر رنگ بررسی شد و با استفاده تاثیر توان مایکروویو بر زمان خشک کردن، نرخ خشک شدن، میزان تغییر رنگ و مدل ریاضی خشک کردن برگ کرفس بررسی گردید .همچنین تاثیر تغییرات دو عامل مهم توان خشک کردن و مساحت سطح برگ بر روی پارامتر زمان و مصرف انرژی مخصوص مایکروویو مورد ارزیابی قرار گرفت .نتایج بدست آمده نشان داد که بین زمان لازم برای خشک کردن برگ کرفس در توان ۱۸۰ و۳۶۰ وات، همچنین بین توان۵۴۰ و ۷۲۰ وات تفاوتی وجود ندارد .در حالیکه با افزایش توان از ۳۶۰ به ۵۴۰ وات و افزایش آن از ۷۲۰ به ۹۰۰ وات، تفاوت معنی دار می باشد .و نیز افزایش توان مایکروویو منجر به افزایش مصرف انرژی مخصوص مایکروویو و یا کاهش بازده انرژی می گردد .با افزایش توان مایکروویو از ۱۸۰ به ۷۲۰ وات، میزان تغییر رنگ برگ کرفس افزایش می یابد اما با افزایش بیشتر توان از ۷۲۰ به ۹۰۰ وات کاهش تغییر رنگ در برگ کرفس مشاهده می شود .در مدل سازی فرایند خشک شدن برگ کرفس مدل پیج دارای ارجحیت می باشد.

واژه‌های کلیدی: برگ کرفس ، تغییر رنگ، خشک کردن مایکروویو، نرخ خشک شدن

مقدمه

خشک شدن یکی از فرایندهای مهم پس از برداشت محصولات کشاورزی می باشد، هدف از خشک کردن مواد، امکان افزایش دوره نگهداری آنها، کاهش حجم مواد و فضای لازم برای بسته بندی آنها و کاهش هزینه های حمل و نقل می باشد. رایج ترین روش خشک کردن، استفاده از خشک کن هوای گرم است اما چون استفاده از این روش نیاز به زمان طولانی و دمای بالا برای خشک کردن محصولات دارد و منجر به وارد شدن آسیب به محصول و از بین رفتن رنگ و طعم محصولات می شود (Ozkaan et al,. 2007).

امروزه استفاده از خشک کنهای ریز موج یا مایکروویو مرسوم شده است، زیرا مایکروویو علاوه بر این که باعث افزایش سرعت خشک شدن محصول و کاهش مصرف انرژی میگردد بعلت انتشار یکنواخت گرما در محصول آسیب کمتری به آن وارد می کند و در پایان کار محصول خشک شده با رنگ، بو و طعم واقعی بدست می آید (Wang and Sheng,. 2006).

بررسی های انجام شده نشان می دهد که تاکنون تحقیقات گسترده ای بر روی خشک کردن انواع محصولات کشاورزی به روش مایکروویو و مدلینگ ریاضی آنها انجام شده است .از جمله: خشگ کردن برگ های گیاه جعفری را به روش مایکروویو و تعیین مدل ریاضی و بهترین توان تششعی برای خشک کردن (Soysal et al,. 2006) ، بررسی خشک کردن برگ های شوید و مدلینگ ریاضی آن (Doymaz et al,. 2006) ، خشک کردن اسفناج به روش مایکروویو (Ozkan et al,. 2007) ، مدل های ریاضی برای خشک کردن مایکروویو لایه های نازک سیب (Wang et al,. 2007) ، خشک کردن مایکروویو برگ های نعناع و ارائه بهترین مدل ریاضی (Ozbek and Dadali, 2007)، تاثیر توان مایکروویو را بر سنیتیک خشک کردن و تغییر رنگ موز (Pereira et al,. 2007) را میتوان نام برد. اما بر اساس جستجوی رایانه ای منابع اطلاعاتی، هیچ گزارشی از بررسی سینیتیک خشک کردن کرفس یافت نشد و این پژوهش برای اولین بار است که انجام می پذیرد. هدف از انجام این تحقیق تعیین رابطه بین توان دستگاه مایکروویو و زمان لازم برای خشک کردن و بدست آوردن بهترین سطح توان برای خشک کردن کرفس (Apium graveolens) با توجه به مصرف انرژی و رنگ محصول .تعیین مدل ریاضی بین زمان خشک کردن و نرخ رطوبت در فرآیند خشک کردن کرفس در روش مایکروویو می باشد .

مواد و روش ها

در این تحقیق با استفاده از یک دستگاه مایکروویو مدل (CH-3071W, LG) با فرکانس ۲۴۵۰ MHZ و ماکزیمم توان ۹۰۰ w ، در پنج سطح توان۱۸۰، ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ و ۹۰۰ wدر سه تکرار اقدام به خشک کردن برگ کرفس به صورت تک لایه (لایه نازک) گردید .

پیش از شروع آزمایش، کرفس ها شسته و برگ های سالم درون کیسه های پلاستیکی مخصوص و درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتیگراد قرار گرفت، تا شرایط رطوبتی آن حفظ شود .رطوبت اولیه برگ کرفس با استفاده از دستگاه آون برای مدت ۲۴ ساعت در دمای۱۰۵ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد و مقدار ۸۵ درصد بر پایه تر (w.b) به دست آمد.

بعد از تنظیم دستگاه مایکروویو در توان مورد نظر، نمونه های ۱۰ گرمی برگ کرفس را بر روی بشقاب دواری که درون مایکروویو قرار دارد به طور یکنواخت پهن کرده، و به وسیله یک دستگاه آنالیزر رنگ (RGB-1002, Lutron Taiwan) ، که رنگ نمونه را بر اساس مقادیر R (شاخص رنگ قرمز) ، G (شاخص رنگ سبز) و B (شاخص رنگ آبی) نشان می دهد اندازه گیری گردید. رنگ برگ

کرفس در سه نقطه آن اندازه گیری شد. قبل از شروع کار، دستگاه آنالیزر کالیبره و مقادیرR ، G و B نشان داده شده در این دستگاه برای نمونه با رنگ سفید مقایسه گردید، سپس نمونه درون مایکروویو قرار گرفت، بعد از روشن کردن دستگاه مایکروویو هر ۳۰ ثانیه یکبار بشقاب را درآورده و وزن نمونه به کمک یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری و یادداشت شد .بعد از ثابت شدن وزن نمونه و کامل شدن فرآیند خشک شدن، مجددا رنگ نمونه خشک شده در سه نقطه متفاوت اندازه گیری شد. به منظور بررسی تاثیر سطح توان مایکروویو بر روی مدت زمان لازم برای خشک شدن کرفس، داده های مربوط به زمان خشک شدن برگ ها در مایکروویو با استفاده از روش آزمون t مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

مدلینگ خشک کردن کرفس

به منظور مدلینگ کردن فرآیند خشک کردن کرفس مانند سایر محصولات کشاورزی ابتدا M_R ، نرخ رطوبت کرفس از رابطه ۱ بدست آمد (Akpinar, 2006) .

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \qquad (۱)$$

که M میزان رطوبت محصول بر پایه خشک در زمان های مشخص است که از رابطه 3بدست می‌آید، M_o میزان رطوبت اولیه محصول بر پایه خشک و M_e میزان رطوبت متعادل محصول است که با توجه به مقدار ناچیز آن در مقابل پارامترهای دیگر موجود در رابطه بالا آن را صفر در نظر می گیرند (Doymaz, 2007) .

سپس با استفاده از نرم افزار StatGraphics مقادیر به دست آمده با مدل های مشهوری که فرآیند های خشک شدن مواد بیولوژیکی را شبیه سازی می کنند نظیر: مدل نیوتن، مدل پیج، مدل هندرسون پابیس، مدل لوگاریتمی، مدل ونگ و سینگ و مدل ورما و همکاران(روابط ۲ تا ۷) مقایسه شد(Ertekin and Yaldiz, 2004) .

$$X = \exp(-kt) \qquad \text{(Newton)} \qquad (۲)$$

$$X = \exp(-kt^n) \qquad \text{(Page)} \qquad (۳)$$

$$X = a\exp(-kt) \qquad \text{(Henderson Pabis)} \qquad (٤)$$

$$X = a\exp(-kt) + c \qquad \text{(Logarithmic)} \qquad (٥)$$

$$X = 1 + at + bt^2 \qquad \text{(Wang and Singh)} \qquad (٦)$$

$$X = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt) \qquad \text{(Werma et al)} \qquad (٧)$$

مدلی که دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار X^2 بود به عنوان مدل ریاضی مناسب برای خشک کردن قسمت های مختلف کرفس معرفی شد .مقدار X^2 ، مقدار کاهش باقیمانده مربع میانگین است که از رابطه ۸ بدست آمد:

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_{\mathrm{Re}xp,i} - M_{Rpre,i})}{N-n} \qquad (۸)$$

$M_{Rexp,i}$ نرخ رطوبت محصول است که از آزمایش بدست می آید و $M_{Rpre,i}$ نرخ رطوبتی است که از مدل مورد نظر بدست می آید. N تعداد مشاهدات و n تعداد پارامترهای ثابت خشک کردن در مدل مورد نظر می باشد. (به عنوان مثال در مدل پیج، n برابر با ۲ میباشد) (Kouchakzadeh and Sharfeei, 2010).

تعیین نرخ خشک شدن کرفس

نرخ خشک کردن یک محصول عبارت است از نسبت مقدار رطوبت حذف شده از محصول بر واحد ماده خشک در یک دقیقه، که مقدار آن از رابطه ۹ بدست می آید و واحد آن برابر است با. $kg[H_2O]/kg[DM]\min$

$$D_R = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \qquad (۹)$$

M_t مقدار رطوبت محصول در زمان مشخص t می باشد و M_{t+dt} مقدار رطوبت آن در dt بعد از آن است .dt فاصله زمانی مورد نظر برای تعیین نرخ خشک شدن می باشد (Doymaz et al,. 2006) .

بازده انرژی خشک کردن و مصرف انرژی مخصوص در مایکروویو

بازده خشک کردن مایکروویو به صورت نسبت مقدار انرژی گرمایی مصرف شده برای تبخیر آب از نمونه به مقدارگرمای تولید شده بوسیله مایکروویو معرفی می شود که از رابطه ۱۰ بدست می آید (Soysal, 2004).

$$\eta_d = \frac{m_\omega \times \lambda_\omega}{Pdt} \times 100 \qquad (۱۰)$$

m_ω جرم آب تبخیر شده بر حسب کیلوگرم، P توان مایکروویو بر حسب وات، dt مدت زمان مورد نظر بر حسب ثانیه و λ_ω گرمای نهان تبخیر آب (J/kg) است که مقدار آن برای آب در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ۲۲۷۵ kj/kg می باشد.

در این مرحله برای بدست آوردن بازده انرژی، برگ های کرفس را در سه سطح به ابعاد cm1×2 ، cm2×2 و cm3×2 بریده و برای هر کدام از سطوح مختلف، آزمایش خشک کردن در توان های ۱۸۰، ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ و ۹۰۰ وات تا ثابت شدن وزن نمونه در سه تکرار انجام شد .پس از جمع آوری نتایج، در تعداد تکرار مورد نظر برای هر آزمایش، مقدار میانگین جرم نمونه در زمان های مشخص تعیین شد و نیز طبق رابطه ۱۱ مقدار آبی که برگ کرفس در فاصله زمانی مشخص از دست می دهد در هر آزمایش

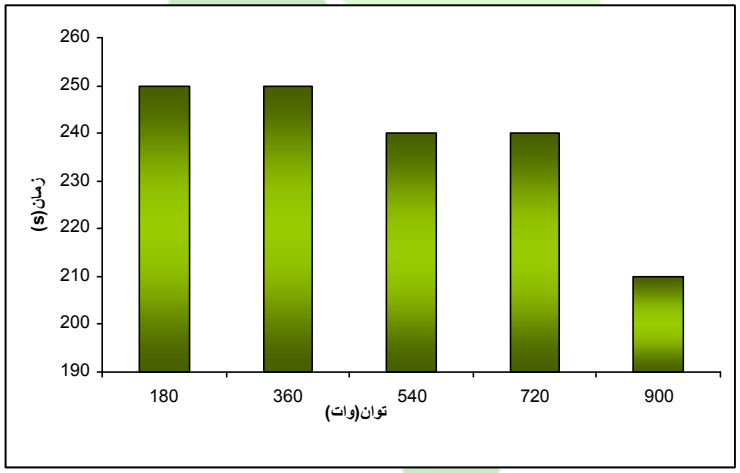
بدست آمد. سپس با استفاده از رابطه ۱۲ انرژی مخصوص مربوط به خشک کردن هر کدام از سطوح محاسبه شد و با استفاده از روش های آماری مقایسه گردید .و بدین ترتیب میزان تاثیر سطح برگ بر روی انرژی بدست آم. و میزان تاثیر سطح برگ و همچنین توان مایکروویو با استفاده از طرح آماری فاکتوریل بر روی مقدار مصرف انرژی بررسی شد.

$$m_{\omega} = m_{t+dt} - m_t \qquad (۱۱)$$

$$Q_s = \frac{t_{on} P \times 10^{6}}{m_w} \times 100 \qquad (۱۲)$$

نتایج و بحث

نمودار مربوط به زمان خشک کردن برگ کرفس و تجزیه واریانس داده های مربوط به زمان خشک شدن تیمارهای آزمایش در زیر آورده شده است.

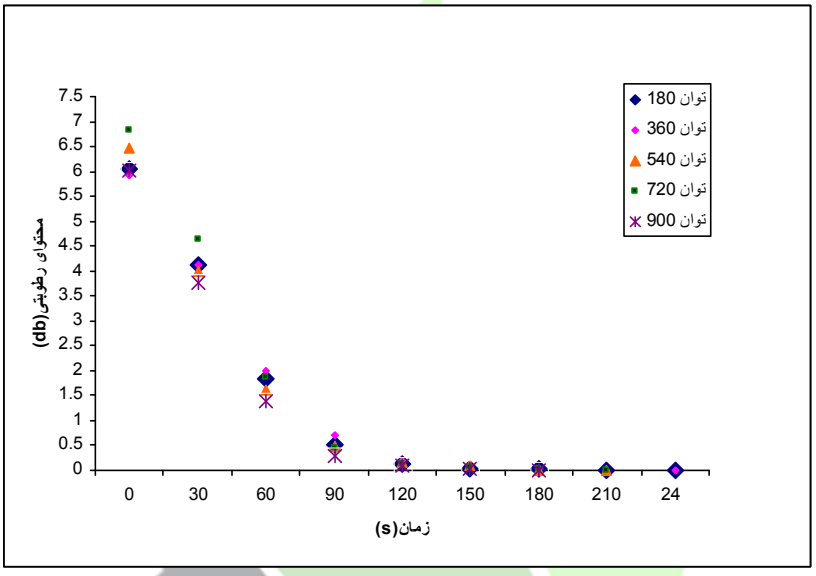


شکل۱ . زمان لازم برای خشک کردن برگ کرفس در توانهای متفاوت مایکروویو

جدول۱ .جدول واریانس تاثیر توان مایکروویو بر زمان خشک کردن کرفس

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	واریانس	Fمحاسبه شده	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
تیمار	۸۵۲۹۰۰	۴	۲۱۳۲۲۵	۲۴/۲۴**	۳/۴۸	۵/۹۹
تکرار	۸۷۹۶۶	۱۰	۸۷۹۶/۶	-		
کل		۱۴	۲۲۲۰۲۱/۶			

نتایج مربوط به اثر توان مایکروویو بر زمان مورد نیاز خشک کردن برگ کرفس نشان داد که سطح توان مایکروویو بر زمان خشک کردن برگ کرفس تاثیر معنی داری دارد .همچنین مشاهده شد که بین زمان لازم برای خشک کردن برگ کرفس در توان ۱۸۰ و ۳۶۰ وات، و بین توان۵۴۰ و ۷۲۰ وات تفاوتی وجود ندارد .در حالیکه با افزایش توان از ۳۶۰ به ۵۴۰ وات و افزایش آن از ۷۲۰ به ۹۰۰ وات، تفاوت معنی دار می باشد . در شکل ۲، نمودار مربوط به کاهش محتوای رطوبتی برگ کرفس در توانهای متفاوت مایکروویو نشان داده شده است.

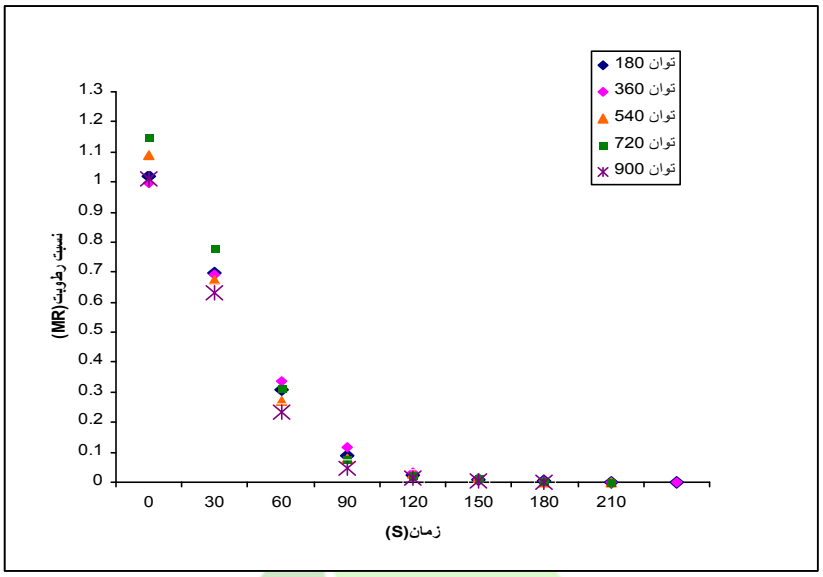


شکل۲ . نمودار تغییر محتوای رطوبتی -زمان برای برگ کرفس در توان های متفاوت (وات)

شکل ۲ نشان می دهد که روند تغییر محتوای رطوبتی برگ های کرفس در توانهای متفاوت مایکروویو یکسان می باشد .اما در توانهای بالاتر در زمان کمتری مقدار آن به صفر می رسد و این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط سایر محققین برای سبزیجات دیگر مطابقت دارد .

مدلسازی ریاضی فرآیند خشک کردن کرفس

با توجه به مقادیر بالای R^2 در هر شش مدل مذکور، می توان گفت که همه مدل های ۲ الی ۷ می تواند سنیتیک خشک شدن برگ کرفس را در مایکروویو به درستی توضیح دهد .اما با توجه به این موضوع که در همه موارد بالاترین R^2 و کمترین X^2 مربوط به مدل پیج است بنابراین مدل پیج به عنوان مناسبترین مدل ریاضی برای خشک کردن برگ کرفس در مایکروویو تحت توانهای ۱۸۰، ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ و ۹۰۰ وات معرفی می شود .در شکل ۳، نمودار نسبت رطوبت -زمان آورده شده است .



شکل۳ . نمودار تغییر نسبت رطوبت -زمان برای برگ کرفس در توان های متفاوت مایکروویو (وات)

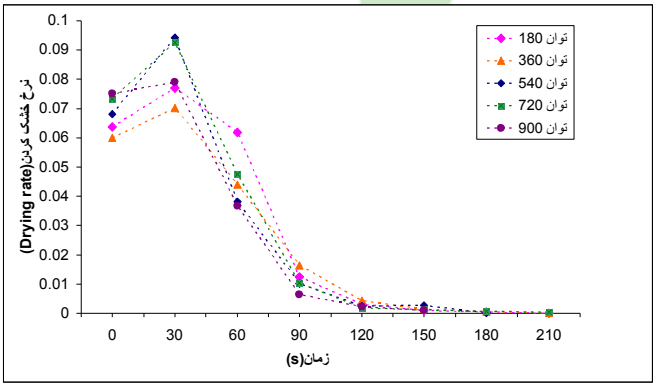
نرخ خشک کردن کرفس

با استفاده از رابطه ۹ نرخ خشک کردن برگ و ساقه های کرفس در توانهای متفاوت مایکروویو در فواصل زمانی مشخص بدست آمد .

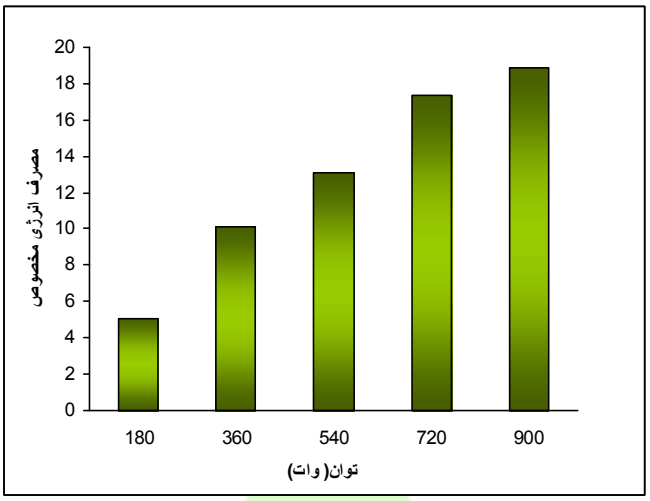
در شکل ۴ نمودار مربوط به نرخ خشک کردن برگ کرفس نشان داده شده است.

بازده انرژی خشک کردن و مصرف انرژی مخصوص در مایکروویو

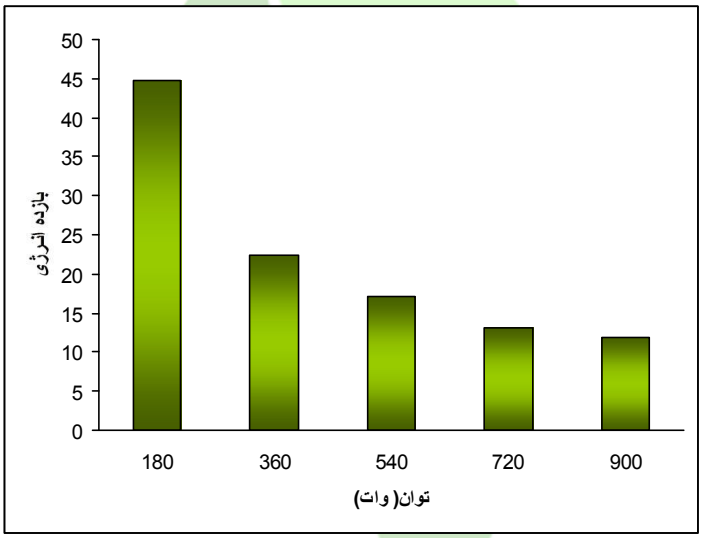
همانطوریکه از نمودارهای شکل ۵ و ۶شکل مشاهده می شود افزایش توان مایکروویو در برگ کرفس باعث کاهش بازده انرژی مایکروویو و افزایش مصرف انرژی مخصوص می شود.



شکل۴ .نرخ خشک کردن برگ کرفس در مایکروویو



شکل ۵. تفاوت مصرف انرژی مخصوص برای برگ کرفس در توانهای متفاوت مایکرویو



شکل۶ .تفاوت مصرف بازده انرژی در توانهای متفاوت مایکرویو

تاثیر مساحت سطح برگ کرفس در سنیتیک خشک کردن

تجزیه واریانس داده های مربوط به زمان خشک شدن تیمارهای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲ . جدول تجزیه واریانس مربوط به تاثیر دو فاکتور سطح برگ و توان مایکرویو بر روی زمان خشک کردن

تغییرات منبع	مربعات مجموع	df	واریانس	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
تیمار	۶۷۵۲۴/۴۴	۱۴	۴۸۲۳/۱۷۴	۵۷/۱۷**	۲/۰۴	۲/۷۴
A	۲۸۹۲۴/۴۴	۲	۱۴۴۶۲/۲۲	۱۷۱/۲۶**	۳/۳۲	۵/۳۹
B	۲۳۱۶۸/۸۹	۴	۵۷۹۲/۲۲۳	۶۸/۶۰**	۲/۶۹	۴/۰۲
AB	۱۵۴۳۱/۱۱	۸	۱۹۲۸/۸۸۹	۲۲/۸۴**	۲/۲۷	۳/۱۷
اشتباه	۲۵۳۳/۳۳	۳۰	۸۴/۴۴۴۳۳	-		
کل	۷۰۰۵۷/۷۹	۴۴	-	-		

**معنی دار در سطح ۰/۰۱

تجزیه واریانس مربوط به اثر توان مایکرویو و مساحت سطح برگ کرفس بر زمان مورد نیاز خشک کردن برگ کرفس نشان داد که بین سطوح A مختلف (مساحت برگ) و سطوح مختلف B (توان مایکرویو) از لحاظ اثر روی زمان خشک کردن برگ کرفس اختلاف بسیار معنی داری وجود دارد .همچنین اثر متقابل دو فاکتور بسیار معنی دار است یعنی دو فاکتور بطور مستقل از همدیگر عمل نکرده اند.

با استفاده از رابطه ۱۲ مقدار مصرف انرژی مخصوص مربوط به هر تکرار محاسبه و با استفاده از نرم افزار spss و آزمون فاکتوریل، تاثیر دو فاکتور مساحت برگ و توان مایکرویو بر روی میزان مصرف انرژی مخصوص نیز مورد بررسی قرار گرفت .در جدول۳ تجزیه واریانس مربوط به این آزمایشات آورده شده است.

جدول۳ . جدول تجزیه واریانس مربوط به تاثیر دو فاکتور سطح برگ و توان مایکرویو بر روی مصرف انرژی مخصوص

تغییرات منبع	مربعات مجموع	df	واریانس	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
تیمار	۹۹۹۳۶۵/۶	۱۴	۷۱۳۸۳/۲۶	۲۸/۸۶۸۹۲**	۲/۰۴	۲/۷۴
A	۵۰۳۶۰۰/۶	۲	۲۵۱۸۰۰/۳	۱۰۱/۸۳۳۴**	۳/۳۲	۵/۳۹
B	۴۶۳۰۸۷	۴	۱۱۵۷۷۱/۸	۴۶/۸۲۰۵۷**	۲/۶۹	۴/۰۲
AB	۳۲۶۷۷/۹۷	۸	۴۰۸۴/۷۴۶	۱/۶۵۱۹۵۹	۲/۲۷	۳/۱۷
اشتباه	۷۴۱۸۰/۰۵	۳۰	۲۴۷۲/۶۸۸	-		
کل	۱۰۷۳۵۴۶	۴۴	-	-		

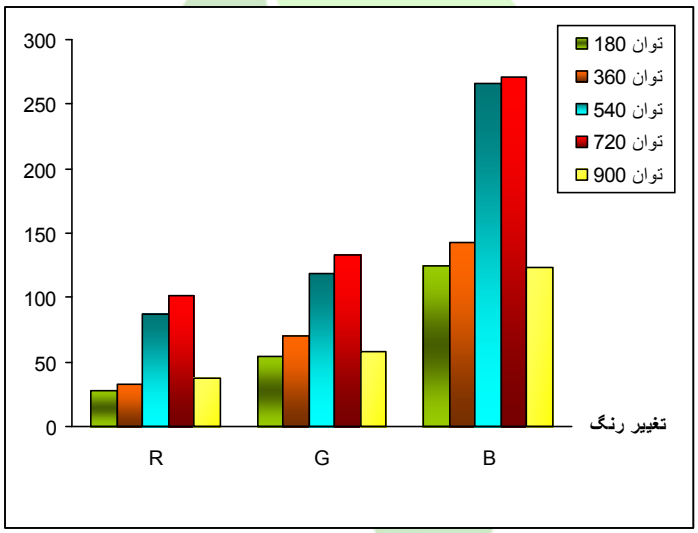
**معنی دار در سطح ۰/۰۱

با استفاده از جدول تجزیه واریانس مربوط به میزان مصرف انرژی مخصوص و تاثیر دو فاکتور سطح برگ و توان مایکرویو بر روی این مقدار مصرف انرژی و مقایسه میانگین سطوح فاکتورها به روش $HSD_{0.05}$ مشاهده شد که اندازه مساحت برگ بر روی مقدار مصرف انرژی تاثیر دارد و مساحت 1×2 mm بهتر از 2×2 mm و آنهم بهتر از 2×3 mm در میزان این انرژی موثر می باشد .همچنین نتیجه

گیری شد که بین مقدار مصرف انرژی مخصوص در سطح mm 1×2 و mm2×2 تفاوت معنی دار است در حالیکه بین mm 2×2 و mm 2×3 تفاوت معنی داری موجود نمی باشد .نتیجه دیگری که از جدول بالا دریافت می شود تاثیر معنی دار میزان توان مایکروویو بر روی مقدار مصرف انرژی مخصوص است که همانطوریکه مشاهده می شود با افزایش سطح توان میزان مصرف انرژی مخصوص کاهش می یابد البته بین مقدار مصرف انرژی در دو سطح توان ۳۶۰ و ۵۴۰ وات و بین دو سطح توان ۷۲۰ و ۹۰۰ وات تفاوت معنی دار نمی باشد.

تغییر رنگ کرفس در آزمایش خشک کردن

نتایج آزمایش نشان داد که بعد از خشک کردن برگ کرفس، رنگ نمونه های خشک و نمونه های تازه کرفس متفاوت می باشد . همچنین با تغییر سطح توان مایکروویو، تغییر رنگ برگ کرفس متفاوت می باشد .این تفاوت ها در نمودارهای شکل ۷ مشاهده میشود.



شکل۷ . نمودار تغییر رنگ برگ کرفس در توانهای متفاوت مایکروویو

با توجه به نمودار شکل۷، با افزایش توان مایکروویو از ۱۸۰ به ۷۲۰ وات، میزان تغییر رنگ برگها کرفس افزایش می یابد اما با افزایش بیشتر توان از ۷۲۰ به ۹۰۰ وات کاهش تغییر رنگ در برگ کرفس مشاهده شد .

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که توان مایکروویو بر زمان مورد نیاز خشک کردن برگ کرفس تاثیر معنی داری دارد .و در توانهای بالاتر مدت زمان لازم برای خشک کردن کاهش می یابد .افزایش توان مایکروویو باعث افزایش مصرف انرژی مخصوص و کاهش بازده انرژی مایکروویو می شود .و با توجه کاهش تغییر رنگ برگ کرفس در توان ۱۸۰ و ۹۰۰ وات و کاهش مصرف انرژی در توان ۱۸۰

وات، با وجود مدت زمان بیشتر، مناسبترین توان ۱۸۰ معرفی می‌شود .تاثیر فاکتورهای توان و مساحت برگ بر روی خشک شدن برگ کرفس یکسان نمی باشد. بین سطوح مساحت برگ و سطوح مختلف توان مایکروویو از لحاظ اثر روی زمان خشک کردن برگ کرفس اختلاف بسیار معنی داری وجود دارد.و دو فاکتور بطور مستقل از همدیگر عمل نمی کنند .در مدل سازی فرایند خشک شدن برگ کرفس، مدل پیج دارای برازش بهتری بود.

منابع

1- Akpinar, k E. 2006. Mathematical modelling of thin layer process under open sun of some aromatic plants. Journal of Food Engineering, 77, pp. 864-870.
2- Doymaz, I. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering, 78, pp. 1291-1297.
3- Doymaz, I., L Tugrul, and M Pala. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. Journal of Food Engineering, 77, pp. 559–565.
4- Ertekin, C., and O Yaldiz. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of Food Engineering, 63, pp. 349-359.
5- Kouchakzadeh, A., and S Sharfeei. 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios. Energy Conversion and Management, 51. pp. 2012-2015.
6- Ozkan, A I., B Akbudak, and N Akbudak. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. Journal of Food Engineering, 78, pp. 577–583.
7- Ozbek, B., and G Dadali. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. Journal of Food Engineering. 83. pp. 541–549.
8- Pereira, R N., J A Marsaioli, and L M Ahrne. 2007. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. Journal of Food Engineering, 81, pp. 79-87.
9- Soysal, Y. 2004. Microwave Drying Characteristics of Parsley, Biosystems Engineering, 89, pp.167–173.
10- Soysal, Y., S O ztekin, and O Eren. 2006. Microwave Drying of Parsley: Modelling, Kinetics, and Energy Aspects. Biosystems Engineering, 93, pp. 403–413.
11- Wang, J., and K Sheng. 2006. Far-infrared and microwave drying of peach, LWT, 39, pp. 247–255.
12- Wang, Z., J Sun, F Chen, X Liao, and X Hu. 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal of Food Engineering, 80, pp. 536–544.

Microwave drying kinetics of celery leaves

Ahmad Kouchakzadeh[1] and Neda Shabani[2]

1- Assistant professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Ilam University, Ilam
akouchakzadeh@mail.ilam.ac.ir
2- MSc Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Ilam University, Ilam

Abstract

Celery leaves were dried in a microwave oven to determine the effects of microwave output power on drying rate, specific energy consumption, drying efficiency, effect of leaves surface area and the color of dried product. Five different microwave output powers ranging from 180 to 900 W were used in the drying experiments. As the drying progressed, the loss of moisture caused a decrease in absorbing microwave power and resulted in a fall in the drying rate. Significant differences were observed between the colors variables of leaf in five microwave powers but discoloration in microwave drying were less than oven drying. This means only time dependence in drying celery leaves. The Page model has a more compability with the results.

Keyword: celery leaves; microwave heating; drying rates; color assessment