

## تحلیل انرژی خشک کن مایکروویو با پیش تیمار اهمیت و بلانچینگ در خشک کردن هویج

محسن آزادبخت<sup>۱\*</sup>، فاطمه نوشاد<sup>۲</sup>، محمد جواد محمودی<sup>۲</sup>، رضا جاهد<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشجوی کارشناسی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۰)

### چکیده

در این تحقیق ابتدا هویج‌ها به قطعات مساوی خرد شده و سپس تحت پیش تیمارهای متفاوت با سطوح مختلف مورد نظر قرار گرفتند. سطوح ولتاژ در پیش تیمار اهمیت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ ولت و زمان ۳، ۵ و ۷ دقیقه بود. پارامتر مورد بررسی در پیش تیمار بلانچینگ شامل زمان، با سطوح مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه بود. سپس بلافاصله بعد از پیش تیمار، نمونه‌ها در مایکروویو با سطوح توانی ۳۶۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات خشک شدند. در نهایت برای هر مورد از نمونه‌های خشک شده با مایکروویو و پیش تیمار و سطوح مختلف آن، مقادیر انرژی بهره‌وری و انرژی از دست رفته آن‌ها محاسبه شد. طبق نتایج بدست آمده در اکثر موارد، شاهد این بودیم که با افزایش مقدار توان مایکروویو، انرژی بهره‌وری افزایش و به دنبال آن انرژی از دست رفته کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار آن ۱۵/۸۷۹۷٪ بود. در بررسی اثر ولتاژ در پیش تیمار اهمیت نیز نتیجه‌ای مشابه بدست آمده که بیشترین مقدار بهره‌وری انرژی ۱۵/۷۰۶۱٪ بود. همچنین در بررسی اثر پارامتر زمان در پیش تیمارهای اهمیت مشاهده شد که با افزایش زمان پیش تیمار مقدار انرژی بهره‌وری نیز افزایش و انرژی از دست رفته کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار انرژی بهره‌وری و کمترین مقدار انرژی از دست رفته به ترتیب ۱۵/۷۴۰۹٪ و ۸/۲۳۵۸ مگاژول اندازه گیری شد.

کلید واژگان: هویج، مایکروویو، اهمیت، بلانچینگ، خشک‌کن، پیش تیمار

\*مسئول مکاتبات: azadbakht@gau.ac.ir

## ۱- مقدمه

مرتبط می‌باشد. گرمایش اهمیک، به عنوان یک روش پردازش جایگزین، نشان داده است که به تولید غذاهای با کیفیت بالاتر، نسبت به گرمایش معمولی منجر می‌شود. این تفاوت عمدتاً به دلیل توانایی آن برای گرم کردن مواد با سرعت بالا و یکنواختی بیشتر، منجر به تبدیل آن به پیش تیمار حرارتی مفیدتری نسبت به سایر روش‌های گرمایش حرارتی کرده است [۶].

گرمایش بلانچینگ از جمله روش‌های مورد استفاده توسط مصرف کنندگان و ارائه دهندگان خدمات غذایی به منظور افزایش زمان ذخیره سازی محصولات غذایی، پس از برداشت آن‌ها می‌باشد. این روش صرف نظر از بسیاری از هشدارهای دانشمندان همچنان نیز خوشایند به نظر می‌رسد. در این روش محصولات غذایی در مدتی مشخص به آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد افزوده می‌شود [۸-۶].

مهمترین موضوعی که در سیستم‌های تبدیل انرژی مطرح است، قابلیت به دست آوردن بازده حداکثر از سیستم می‌باشد. تحلیل انرژی یک روش تحلیل ترمودینامیکی، مبتنی بر قانون دوم ترمودینامیک است، که به وسیله آن به ارزیابی و مقایسه فرآیندها و سیستم‌ها به طور منطقی و بامعنا می‌پردازد [۹].

در آزمایشی بر روی خشک کردن گیاه گوجه فرنگی در خشک کن مایکروویو، نتیجه شد که با افزایش توان مایکروویو، سرعت نرخ خشک شدن محصول افزایش می‌یابد [۱۰]. در آزمایشی بر روی آنالیز عملکرد انرژی و اکسرژی و مدل سازی اسلایس‌های کیوی با یک خشک کن مایکروویو گزارش شد که بازده انرژی و اکسرژی با افزایش توان مایکروویو و کاهش ضخامت اسلایس‌های کیوی افزایش می‌یابد. همچنین این پارامتر با کاهش محتوای رطوبتی اسلایس‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در آزمایشی مشابه بر روی اسلایس‌های هویج، سینتیک خشک کردن محصول با یک خشک کن مایکروویو-خلا اندازه‌گیری شد [۱۱].

هدف از این تحقیق تجزیه و تحلیل انرژی عملکرد خشک کن مایکروویو برای خشک کردن قطعه‌های هویج تحت پیش تیمارهای گرمایش اهمیک و بلانچینگ به منظور کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی در خشک کن مایکروویو می‌باشد.

هویج یک سبزی ریشه‌ای منبع غنی بتاکاروتن و پیش‌ساز ویتامین A می‌باشد. هویج به صورت خام و پخته شده در اکثر مرباها، دسرها، سالاد، سوپ‌ها، شوربجیات و غذاها استفاده می‌شود. خشک کردن هویج یکی از روش‌های نگهداری آن محسوب شده و هویج خشک شده را می‌توان در انواع مواد غذایی استفاده نمود. این محصول حاوی انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبر بوده و به محصول رنگ مناسبی می‌دهد [۱].

امروزه یکی از راهکارهای افزایش عمر مفید محصولات کشاورزی، خشک کردن می‌باشد. خشک کردن شاخص‌ترین و قدیمی‌ترین روش فرآوری و نگهداری محصولات کشاورزی است. در طی فرآیند خشک شدن قسمتی از رطوبت محصول، از آن خارج می‌شود [۲]. همچنین خشک کردن عمر محصول را افزایش می‌دهد و با کاهش وزن و حجم مواد، بسته‌بندی، حمل و نقل و ذخیره‌سازی محصولات را تسهیل می‌کند و این امر باعث کاهش هزینه‌های ذکر شده می‌شود. خشک کردن علاوه بر موارد ذکر شده می‌تواند بازار محصولات مختلف را کنترل نماید تا بتوان در مواقع حساس از محصول مورد نظر استفاده کرد [۳].

خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن‌های مایکروویو می‌تواند جانشین مناسبی برای خشک کن‌های هوای گرم محسوب شود. فرآیند خشک کردن با استفاده از مایکروویو روشی نسبتاً ارزان بوده که امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. لازم به ذکر است بیان گردد که طیف الکترومغناطیسی بین فرکانس‌های ۳۰۰ مگا هرتز تا ۳۰۰ گیگا هرتز نشان‌گر امواج مایکروویو است. با این حال بر خلاف سامانه‌های رایج، امواج مایکروویو در غذا نفوذ کرده و گرمایش در سراسر ماده غذایی گسترش می‌یابد. خشک کن مایکروویو دارای مزیت‌های زیادی از جمله سرعت خشک شدن بالا، بهره‌وری انرژی بالا، کیفیت بهتر محصول و استفاده موثر از فضا می‌باشد [۴ و ۵].

گرمایش اهمیک یکی از روش‌های گرمایش الکترونی است که بر اساس عبور جریان الکتریسته از طریق یک محصول غذایی دارای مقاومت الکتریکی می‌باشد. انرژی الکتریکی تبدیل شده به گرما به طور مستقیم به مقدار ولتاژ و هدایت الکتریکی محصول غذایی

هم داخل ماکروویو مرتب گردید و پس از قرارگیری مراحل خشک شدن انجام شد. آزمایش‌ها در سه توان ۳۶۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات خشک شدند (شکل ۱). وزن هویج‌ها با استفاده از ترازویی با دقت ۰,۰۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. وزن هر یک از نمونه‌ها در بازه‌ی زمانی هر ۱ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد تا در نهایت به یک رطوبت ثابت رسیدند و برای هر کدام از تیمارها، آزمایش‌ها سه بار تکرار شد. این آزمایش در دمای محیط ۲۰ درجه و رطوبت نسبی محیط ۷۱ درصد انجام شد. همچنین محتوای رطوبت هویج‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد [۱۴].

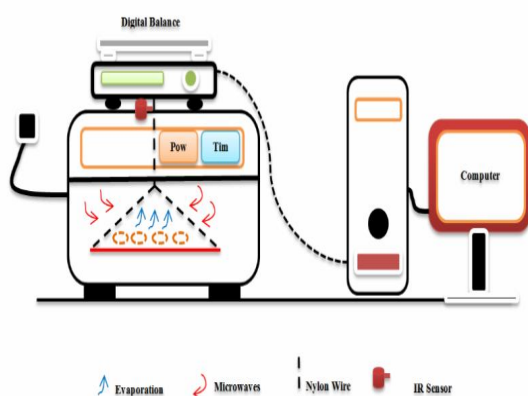


Fig 1 Diagram of microwave drying system.

$$MC = W - W_e / W \quad (1)$$

## ۲-۵- تحلیل انرژی

بقا جرم و انرژی در محفظه خشک‌کن‌های ماکروویو در شکل ۲ نشان داده شده است. رابطه عمومی بقا رطوبت توده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد [۱۵].

$$\sum m_{in} = \sum m_{out} \quad (2)$$

جرم ورودی ( $m_{in}$ )، جرم خروجی ( $m_{out}$ )

$$m_{wp} = m_{dp} + m_{wt} \quad (3)$$

جرم اولیه نمونه ( $m_{wp}$ )، جرم ماده خشک ( $m_{dp}$ )، جرم آب تبخیر شده ( $m_{wt}$ )

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده سازی نمونه

در این آزمایش هویج رقم نانت، از بازار محلی استان گلستان- گرگان خریداری شد و در آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سلسیوس تا زمان انجام آزمایش نگهداری شدند. نمونه‌ها به آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان آورده و شستشو شدند. سپس برای اندازه‌گیری رطوبت در درون آن قرار گرفت. نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت در درون آن قرار گرفته و سپس رطوبت آنها در این آزمایش بر اساس استاندارد ۱۳۴-۱۲۹:۱(۱) ۴۱ اندازه‌گیری شد [۱۳ و ۱۲]. رطوبت نهایی نمونه‌های خشک شده ۱۴/۳٪ بر پایه خشک بود.

### ۲-۲- پیش تیمار اهمیک

دستگاه اهمیک از یک محفظه شیشه‌ای با ضخامت ۱۰ میلی‌متر با ابعاد (طول ۸ سانتی‌متر، عرض ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) و دو الکترود از جنس استیل ضد زنگ با ابعاد ۱۵×۸ سانتی‌متر تشکیل شده است. در این پیش تیمار، دو قطب مثبت و منفی خارج شده از منبع انرژی به دو صفحه فلزی قرار گرفته شده در سلول اهمیک متصل می‌شوند. نمونه‌ها به صورت دایره‌ای با ضخامت ۴ میلی‌متر بریده و وزن شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳، ۵ و ۷ دقیقه در محلول اهمیک (۷ درصد وزنی) که حاوی ۱۰۰۰ گرم آب مقطر و ۷۰ گرم نمک بود قرار داده شد تا پیش تیمار انجام گردد.

### ۲-۳- پیش تیمار بلانچینگ

ابتدا آب مقطر موجود در دستگاه بلانچینگ به نقطه جوش رسیده و سپس نمونه‌ها تحت اثر هوای داغ ناشی از بخار آن قرار گرفتند. پیش تیمار در یک دمای ثابت و در سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه انجام شد. سپس برش‌های پیش تیمار شده در داخل ظروف استوانه‌ای از جنس شیشه قرار گرفت.

### ۲-۴- روش آزمایش

تعداد ۲۰ اسلایس هویج پیش تیمار شده درون پنج پتری دیش قرار داده شد و ظروف در فاصله ۲ سانتی‌متری از

گرمای پنهان تبخیر آب آزاد توسط بروکر و همکاران محاسبه و با استفاده از رابطه ۸ انجام شد [۱۹].

$$\lambda_{wf} = 2503 - 2.386(T - 273) \quad (8)$$

ظرفیت گرمایی تابع محتوای رطوبت است و از طریق رابطه ۹ محاسبه شد [۲۰].

$$C_p = 840 + 3350 \times \left( \frac{M_t}{1 + M_t} \right) \quad (9)$$

بازده گرمایی خشک کن از رابطه ۱۰ محاسبه شد [۲۱].

$$\eta_{en} = \frac{\text{energy absorption}}{P_{in} \times t} \quad (10)$$

انرژی ویژه از دست رفته با استفاده از رابطه ۱۱ اندازه گیری شد [۱۶].

$$E_{loss} = \frac{E_{in} - E_{abs}}{m_w} \text{ or } E_{loss} = (1 - \eta_{en}) \times \frac{P_{in} \times t}{m_w} \quad (11)$$

### ۲-۶- تحلیل آماری

نمونه‌ها پس از پیش تیمارهای اهمیک و بلانچینگ، توسط دستگاه مایکروویو خشک شدند. پیش تیمار اهمیک در سه ولتاژ ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ولت و سه زمان ۳، ۵ و ۷ دقیقه و پیش تیمار بلانچینگ در سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه انجام شدند. همچنین فرآیند خشک شدن توسط دستگاه مایکروویو با سه توان ۳۶۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات انجام شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شده و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار آماری SAS تحلیل شدند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- پیش تیمار اهمیک

جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس تاثیر متغیرهای تحت بررسی شامل توان مایکروویو، ولتاژ و زمان را در پیش تیمار اهمیک بر روی مقدار انرژی مصرفی و انرژی از دست رفته در هویج را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده در این جدول می‌توان نتیجه گرفت که تمامی متغیرهای تحت بررسی تاثیر معنی‌داری بر مقدار انرژی

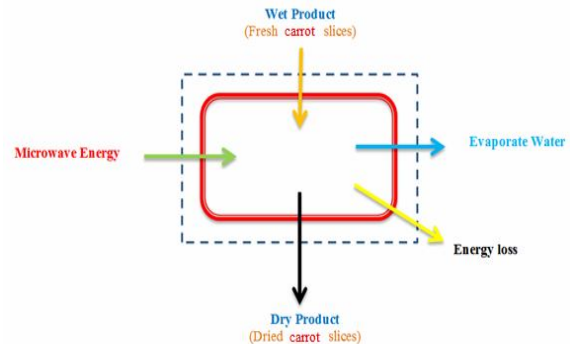


Fig 2 Volume control of microwave system

جرم آب تبخیر شده از معادله ۴ بدست آمد [۱۶].

$$m_{wt} = m_d(M_0 - M_t) \quad (4)$$

جرم نمونه خشک ( $m_d$ )، محتوای رطوبت ورودی ( $M_0$ ).

محتوای رطوبت ورودی در هر لحظه ( $M_t$ )

انرژی محافظت شده گرمای محسوس، گرمای پنهان و منبع گرمایی مایکروویو با استفاده از رابطه ۵ و انرژی ورودی خشک کن از رابطه ۶ محاسبه شد [۱۷]. در رابطه ۵ انرژی تلف شده ( $P_{ref} + P_{tra}$ ) می‌باشد. همچنین در رابطه ۶  $((mC_p T)_{dp} - (mC_p T)_{wp}) + \lambda_K m_w$  برابر با انرژی جذب شده محصول است.

$$P_{in} = P_{abs} + P_{ref} + P_{tra} \quad (5)$$

توان ورودی مگنت ( $P_{in}$ )، توان مایکروویو جذب شده ( $P_{abs}$ )، توان مایکروویو بازگشت داده شده ( $P_{ref}$ )، توان مایکروویو عبور کرده ( $P_{tra}$ )

$$P_{in} \times t = ((mC_p T)_{dp} - (mC_p T)_{wp}) + \lambda_K m_w + E_{ref} + E_{tra}$$

زمان ( $t$ )، دما ( $T$ )، گرمای ویژه نمونه ( $C_p$ )، گرمای پنهان نمونه

( $\lambda_K$ )، انرژی بازگشت داده شده ( $E_{ref}$ )، انرژی جذب شده

( $E_{tra}$ )

گرمای پنهان نمونه‌های هویج با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد [۱۸].

$$\frac{\lambda_K}{\lambda_{wf}} = 1 + 23 \exp(-40M_t) \quad (7)$$

گرمای پنهان آب آزاد شده ( $\lambda_{wf}$ )

ولتاژ پیش تیمار اهمیتیک برای انرژی از دست رفته دارای اختلاف معنی داری نبودند.

مصرفی و انرژی از دست رفته، در سطح ۱٪ داشته‌اند. قابل ذکر است که تمامی اثرات متقابل به جز اثر متقابل توان ماکروویو در

**Table 1** Analysis of variance of consumed and lost energy in ohmic pre-treatment

Variables	DF	Energy efficiency		DF	Energy loss specifict(MJ)	
		Mean Squares	F value		Mean Squares	F value
Microwave	2	29.6036	8.96**	2	163.5124	384.15**
Voltage	2	17.3778	5.26**	2	19.5889	46.02**
Time	2	28.0148	8.48**	2	3.8263	8.99**
Microwave× Voltage	4	1.7511	0.53 <sup>ns</sup>	4	1.6014	3.76**
Microwave× Time	4	0.3130	0.09 <sup>ns</sup>	4	0.4573	1.07 <sup>ns</sup>
Voltage× Time	4	2.9954	0.91 <sup>ns</sup>	4	0.1723	0.40 <sup>ns</sup>

\*\* : Represent significant difference within probability level of 1% \* : Represent significant difference within probability level of 5% ns: Represents the lack of significant difference

محصول به انرژی جذب شده بیشتری نیاز دارد. در نتیجه با در نظر گرفتن رابطه مستقیم بین انرژی جذب شده و بهره‌وری انرژی می‌توان دریافت که با افزایش توان ماکروویو، میزان بهره‌وری انرژی ماکروویو افزایش می‌یابد [۲۲]. در نهایت با افزایش انرژی جذب شده توسط محصول، انرژی از دست رفته در خشک‌کن ماکروویو کاهش می‌یابد.

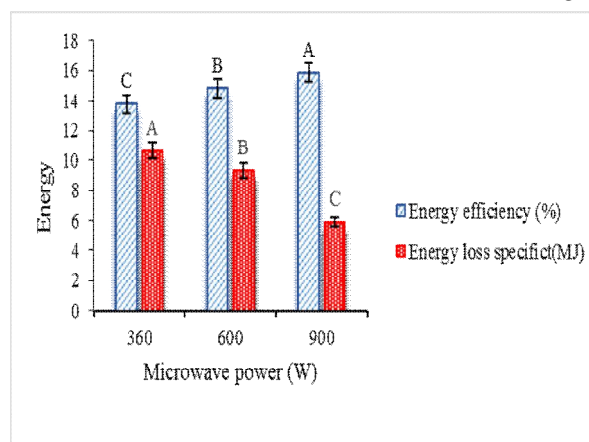
### ۳-۳- اثر ولتاژ پیش تیمار بر مقدار انرژی

اثر سطوح مختلف ولتاژ پیش تیمار اهمیتیک بر مقدار بهره‌وری انرژی و انرژی از دست رفته در شکل ۴ نشان داده شده است. در اکثر سطوح مختلف ولتاژ در پیش تیمار اهمیتیک، تغییرات معنی‌داری بدست آمد.

در این قسمت، بین مقادیر درصد بهره‌وری انرژی در ولتاژهای ۴۰ و ۶۰ ولت اختلاف افزایشی معنی‌داری وجود نداشت اما با افزایش ولتاژ پیش تیمار، مقدار درصد بهره‌وری در خشک‌کن ماکروویو افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین مقادیر انرژی از دست رفته، با افزایش ولتاژ پیش تیمار اهمیتیک کاهش معنی‌داری می‌یابد. افزایش انرژی بهره‌وری را می‌توان اینگونه توجیه کرد که با افزایش ولتاژ در پیش تیمار اهمیتیک شاهد افزایش عملیات حرارتی و در نتیجه کاهش بیشتر محتوای رطوبتی در سطوح با مقادیر بالاتر بودیم. به دنبال آن با توجه به رابطه معکوس بین محتوای رطوبتی و انرژی جذب شده و بهره‌وری، انرژی بهره‌وری با افزایش مواجه شده است [۲۳].

### ۳-۲- اثر توان ماکروویو بر مقدار انرژی

شکل ۳ اثر توان خشک‌کن ماکروویو پس از پیش تیمار اهمیتیک بر مقدار بهره‌وری انرژی و انرژی از دست رفته را نشان می‌دهد. در این شکل برای همه موارد از سطوح توان ماکروویو تغییرات معنی‌داری در مقادیر انرژی مشاهده شد.



**Fig 3** Effect of microwave power parameter in ohmic pretreatment on energy values

مقدار بهره‌وری انرژی با افزایش توان خشک‌کن ماکروویو از ۳۶۰ به ۶۰۰ و از ۶۰۰ به ۹۰۰ وات دارای افزایش معنی‌داری بود. همچنین مقدار انرژی از دست رفته با افزایش توان ماکروویو دارای کاهش معنی‌داری می‌باشد. می‌توان گفت افزایش توان خشک‌کن ماکروویو سبب کاهش سطح محتوای رطوبتی آن می‌شود. در ادامه به منظور خشک شدن نمونه‌های با سطح محتوای رطوبتی کمتر به دلیل سخت‌تر بودن خروج رطوبت آن،

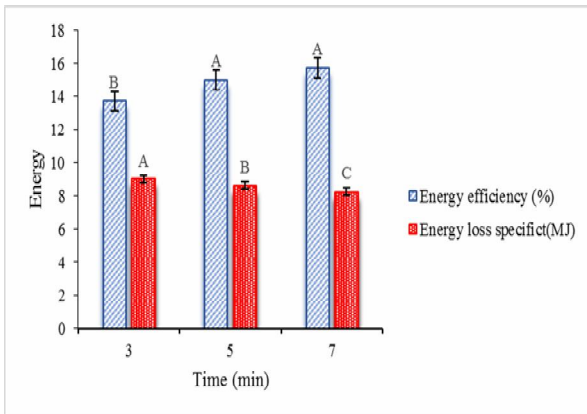


Fig 5 Effect of ohmic pretreatment time parameter on energy values

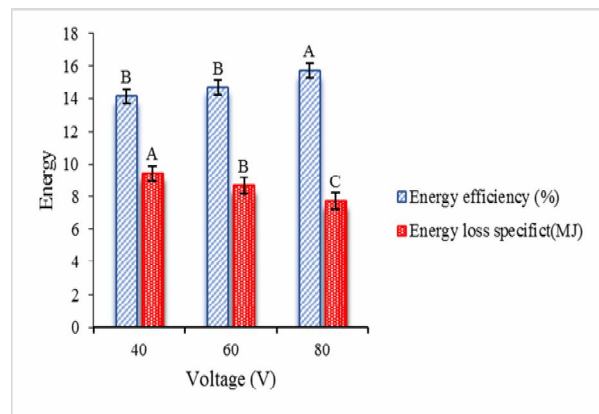


Fig 4 Effect of ohmic pretreatment voltage parameter on energy values

### ۳-۵- پیش تیمار بلانچینگ

جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس تاثیر متغیرهای تحت بررسی شامل توان مایکروویو و زمان را در پیش تیمار بلانچینگ بر روی مقدار انرژی مصرفی و انرژی از دست رفته در هویج را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده در این جدول می‌توان نتیجه گرفت که تمامی متغیرهای تحت بررسی تاثیر معنی‌داری بر مقدار انرژی مصرفی و انرژی از دست رفته داشته است. تمامی موارد به جز اثر زمان بر انرژی مصرفی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ بودند. اثر زمان بر انرژی مصرفی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بود. قابل ذکر است که اثر متقابل توان مایکروویو در زمان پیش تیمار بلانچینگ برای انرژی مصرفی و انرژی از دست رفته دارای اختلاف معنی‌داری نبود.

### ۳-۴- اثر زمان پیش تیمار بر مقدار انرژی

شکل ۵ اثر پارامتر زمان پیش تیمار، در سطوح مختلف را بر مقدار درصد بهره‌وری انرژی و انرژی از دست رفته را نشان می‌دهد. در بهره‌وری انرژی بین سطوح زمانی ۵ و ۷ دقیقه پیش تیمار اهمیت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما بین این دو سطح با زمان پیش تیمار ۳ دقیقه اختلاف معنی‌دار و افزایشی وجود داشت. در بخش انرژی از دست رفته، بین تمامی سطوح اختلاف معنی‌داری وجود داشته و با افزایش زمان پیش تیمار اهمیت، انرژی از دست رفته کاهش می‌یابد. این نتیجه می‌تواند به دلیل کاهش بیشتر محتوای رطوبتی در پیش تیمارهای با زمان بالاتر و در نتیجه وجود سطوح قوی و پایدارتری از محتوای رطوبتی در نمونه‌های با زمان پیش تیمار بیشتر و در نهایت کسب انرژی بیشتر به جهت کاهش این محتوا و نیز انرژی بهره‌وری بیشتری نیز می‌گردد [۲۴].

Table 2 Analysis of variance of consumed and lost energy in blanching pre-treatment

Variables	DF	Energy efficiency		Energy loss specific(MJ)		
		Mean Squares	F value	DF	Mean Squares	F value
Microwave	2	25.7322	111.36**	2	10.6926	36.46**
Time	2	1.3161	5.70*	2	1.7785	6.06**
Microwave× Time	4	0.0843	0.37 <sup>ns</sup>	4	0.7999	2.73 <sup>ns</sup>

\*\* : Represent significant difference within probability level of 1% \* : Represent significant difference within probability level of 5% ns: Represents the lack of significant difference

تغییرات معنی‌داری در مقادیر بهره‌وری انرژی مشاهده شد. همچنین بین توان ۳۶۰ و ۶۰۰ با ۹۰۰ وات اختلاف معنی‌داری در مقادیر انرژی از دست رفته حاصل شد. با در نظر گرفتن رابطه مستقیم بین توان مایکروویو، انرژی جذب شده و بهره‌وری انرژی می‌توان مشاهدات را اینگونه توجیه کرد

### ۳-۶- اثر توان مایکروویو بر مقدار انرژی

شکل ۶ اثر توان خشک‌کن مایکروویو پس از پیش تیمار بلانچینگ بر مقدار بهره‌وری انرژی و انرژی از دست رفته را نشان می‌دهد. در این شکل برای همه موارد از سطوح توان مایکروویو



با افزایش سطوح زمانی، مقادیر انرژی بهره‌وری کاهش و انرژی از دست رفته افزایش یافت. به طوری که بین سطوح ۱۰ و ۱۵ با ۵ دقیقه در انرژی بهره‌وری و بین سطوح ۵ و ۱۰ با ۱۵ دقیقه در انرژی از دست رفته اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در بخش اثر توان مایکروویو بر مقادیر مصرفی نتیجه شد که با افزایش مقدار سطوح توان، مقدار انرژی بهره‌وری در هر دو پیش- تیمار اهمیتیک و بلانچینگ افزایش می‌یابد. با بررسی اثر ولتاژ پیش تیمار اهمیتیک بر مقادیر انرژی بهره‌وری و از دست رفته نتیجه شد که تاثیر افزایش ولتاژ بر این دو پارامتر انرژی معکوس بوده به طوری که با افزایش ولتاژ، مقدار انرژی بهره‌وری محاسبه شده افزایش و مقدار انرژی از دست رفته برای هر سطح کاهش یافت. در بخش محاسبه انرژی‌های بهره‌وری و از دست رفته تحت پیش تیمارهای اهمیتیک نتیجه شد که با افزایش سطوح زمانی مقدار انرژی بهره‌وری افزایش و مقدار انرژی از دست رفته کاهش یافت.

#### ۵- منابع

- [1] Salehi F, Kashaninejad M, Akbari E, Sobhani SM, Asadi F. Potential of sponge cake making using infrared-hot air dried carrot. *J Texture Stud* 2016;47:34-9.
- [2] Afolabi TJ, Tunde-Akintunde TY, Adeyanju JA. Mathematical modeling of drying kinetics of untreated and pretreated cocoyam slices. *J Food Sci Technol* 2015;52:2731-40.
- [3] Darvishi H, Khodaie J, Azadbakht M. The parameters of mass transfer of convective drying in sliced melon. *Philipp Agric Sci* 2015;98:60-72.
- [4] Li ZY, Wang RF, Kudra T. Uniformity issue in microwave drying. *Dry Technol* 2011;29:652-60.
- [5] Kumar D, Prasad S, Murthy GS. Optimization of microwave-assisted hot air drying conditions of okra using response surface methodology. *J Food Sci Technol* 2014;51:221-32.
- [6] Nouroollahi Soghani B, Azadbakht M, Darvishi H. Ohmic blanching of white mushroom and its pretreatment during microwave drying 2018.
- [7] Bai J, Haven W, Brecht JK. Effect of

که با افزایش مقدار توان مایکروویو و در نتیجه کاهش بیشتر محتوای رطوبتی در توان‌های بالاتر، مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه‌ها نیز به دلیل سخت‌تر شدن خروج رطوبت در نمونه‌های با محتوای رطوبتی کمتر بالاتر رفته و به دنبال آن میزان بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد [۲۲]. در نهایت مشاهده شد که با افزایش انرژی جذب شده توسط محصول، انرژی از دست رفته در خشک‌کن مایکروویو نیز کاهش می‌یابد. این مشاهده را می‌توان اینگونه توجیه کرد که خروج لایه‌های رطوبتی با محتوای کمتر سبب کارکرد بیشتر دستگاه از لحاظ زمانی می‌شود. در نتیجه‌ی این کارکرد بیشتر، مقدار انرژی از دست رفته نیز کاهش می‌یابد [۲۴].

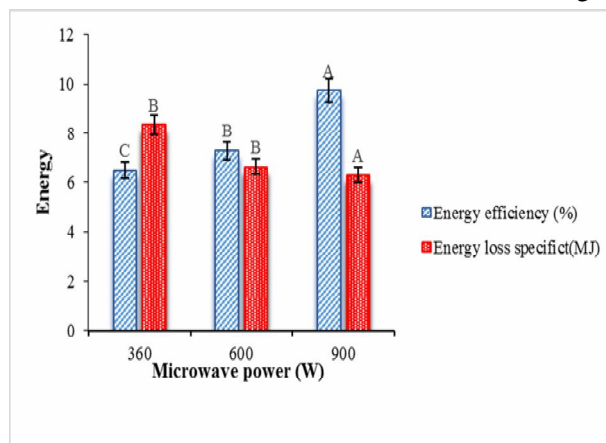


Fig 6 The effect of microwave power parameter in blanching pretreatment on energy values

#### ۳-۷- اثر زمان پیش تیمار بر مقدار انرژی

اثر پارامتر زمان با سطوح مختلف در پیش تیمار بلانچینگ بر مقدار درصد بهره‌وری انرژی و انرژی از دست رفته در شکل ۷ نشان داده شده است.

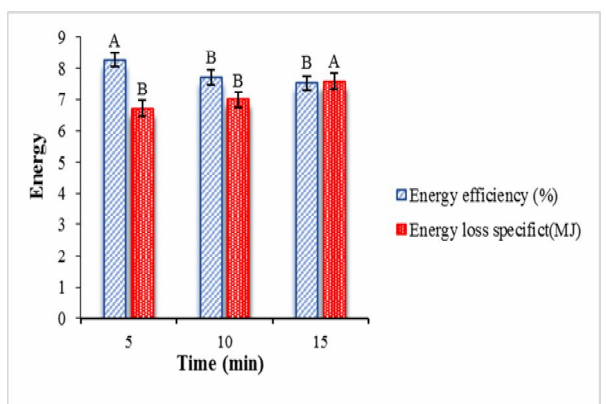


Fig 7 Effect of blanching pretreatment time parameter on energy values

- and exergetic performance analysis and modeling of drying kinetics of kiwi slices. *J Food Sci Technol* 2016;53:2317–33. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2199-7>.
- [16] Darvishi H, Zarein M, Minaei S, Khafajeh H. Exergy and energy analysis, drying kinetics and mathematical modeling of white mulberry drying process. *Int J Food Eng* 2014;10:269–80. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2013-0065>.
- [17] Jindarat W, Rattanadecho P, Vongpradubchai S. Analysis of energy consumption in microwave and convective drying process of multi-layered porous material inside a rectangular wave guide. *Exp Therm Fluid Sci* 2011;35:728–37. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.11.008>.
- [18] Abdelmotaleb A, El-Kholy MM, Abou-El-Hana NH, Younis MA. Thin layer drying of garlic slices using convection and combined (convection - infrared) heating modes. *Misr J Ag Eng* 2009;26:251–81.
- [19] Darvishi H. Quality, performance analysis, mass transfer parameters and modeling of drying kinetics of soybean. 2017;34:143–58.
- [20] Brooker DB, Bakker-Arkema FW, Hall W. Drying and storage of grains and oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York 1992;49:450.
- [21] Soysal Y, Öztekin S, Eren Ö. Microwave Drying of Parsley: Modelling, Kinetics, and Energy Aspects. *Biosyst Eng* 2006;93:403–13. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.017>.
- [22] Zarein M, Samadi SH, Ghobadian B. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *J Saudi Soc Agric Sci* 2015;14:41–7. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>.
- [23] Youssef KM, Mokhtar SM. Effect of Drying Methods on the Antioxidant Capacity, Color and Phytochemicals of *Portulaca oleracea* L. Leaves. *J Nutr Food Sci* 2014;04. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000322>.
- [24] Orikasa T, Ono N, Watanabe T. Impact of blanching pretreatment on the drying rate and energy consumption during far-infrared drying of Paprika (*Capsicum annum* L.) 2018:1–7. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy006>.
- Pretreatment of Intact ‘ Gala ’ Apple with Ethanol Vapor , Heat , or 1-Methylcyclopropene on Quality and Shelf Life of Fresh-cut Slices 2004;129:583–93.
- [8] Xu S, Li J, Baldwin EA, Plotto A, Roskopf E, Hong JC. Electronic tongue discrimination of four tomato cultivars harvested at six maturities and exposed to blanching and refrigeration treatments Postharvest Biology and Technology Electronic tongue discrimination of four tomato cultivars harvested at six maturities and exposed to blanching and refrigeration treatments. *Postharvest Biol Technol* 2018;136:42–9. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.04>.
- [9] Shukuya M, Hammache A. Introduction to the concept of exergy-for a better understanding of low-temperature-heating and high-temperature-cooling systems. *VTT Tied* 2002.
- [10] Al-harshesh M, Al-muhtaseb AH, Magee TRA. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration 2009;48:524–31. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2008.06.010>.
- [11] Cui Z-W, Xu S-Y, Sun D-W. Microwave–vacuum drying kinetics of carrot slices. *J Food Eng* 2004;65:157–64.
- [12] Azadbakht M, Vehedi Torshizi M, ghajar jazi E, Ziaratban A. Application of Artificial Neural Network ( ANN ) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading Application of Artificial Neural Network ( ANN ) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading. *Agric Eng Int* 2016;18:413–25.
- [13] Lanza B, Marsilio V, Lanza B, Campestre C, Angelis M De. Oven-dried table olives: Textural properties as related to pectic composition Oven-dried table olives: textural properties as related to pectic composition 2015;0010:1271–6. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200006\)80](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200006)80).
- [14] Yogendrasasidhar D, Pydi Setty Y. Drying kinetics, exergy and energy analyses of Kodo millet grains and Fenugreek seeds using wall heated fluidized bed dryer. *Energy* 2018;151:799–811. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.089>.
- [15] Darvishi H, Zarein M, Farhudi Z. Energetic



## **Microwave dryer energy analysis with ohmic and blanching pretreatments in drying carrots**

**Azadbakht, M. <sup>1\*</sup>, Noshad, F. <sup>2</sup>, Mahmoodi, M. J. <sup>2</sup>, Jahed, R. <sup>3</sup>**

1. Associate Professor of Department of Bio-system Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2. Msc. Student of Department of Bio-system Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3. Bsc. Student of Department of Bio-system Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

**(Received: 2019/06/06 Accepted:2019/12/11)**

In this research, carrots were first cut into equal pieces and then subjected to different treatments at different levels. The voltage levels were at 40, 60 and 80 volt in ohmic pretreatment and at 3, 5, and 7 minutes. The parameters studied in the blanching pretreatment included time, with different levels of 5, 10, and 15 minutes. Immediately after pretreatment, samples were dried in microwaves at 360, 600 and 900 watts. Finally, for each case of microwave dried and pretreated samples and their different levels, the energy efficiency values and their lost energy were calculated. According to the results, in the majority of cases, we see that increasing the amount of microwave power increases the energy efficiency, and subsequently the lost energy decreases, so that the maximum value was 15.8797%. In the study of the effect of voltage in the ohmic pretreatment, a similar result was obtained, with the highest energy efficiency of 15.7061%. Also, in evaluating the effect of time parameter in ohmic pretreatments, it was observed that with increasing pretreatment time, the amount of energy efficiency was also increased and the energy lost was reduced, so that the highest amount of energy efficiency and the lowest amount of energy lost were respectively 15.7409% and 8.2358 MJ were measured.

**Keywords:** Carrot, Microwave, Ohmic, Blanching, Drying, Pretreatment

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: azadbakht@gau.ac.ir