

مدل سازی ریاضی خواص بیوشیمیایی هویج در اثر خشک کردن توسط مایکروویو با پیش تیمارهای مختلف به کمک روش سطح پاسخ

محسن آزاد بخت^{۱*}، محمد واحدی ترشیزی^۲، محمدجواد محمودی^۳ و رضا قزاق جاهد^۴

۱ دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲ دانشجوی دکترا گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴ دانش آموخته کارشناسی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۸

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پیش تیمارهای اهمیک و بلانچینگ (آنزیم‌بری) بر تغییرات خواص بیوشیمیایی هویج در فرآیند خشک کردن با استفاده از روش سطح پاسخ است. نمونه‌های هویج بریده شده در ولتاژ ۴۰، ۶۰ و ۸۰ ولت و به مدت ۳، ۵ و ۷ دقیقه در پیش تیمار اهمیک باقی ماندند. در پیش تیمار بلانچینگ نیز نمونه‌های هویج تحت هوای داغ ناشی از آب مقطر در حال جوشیدن، به مدت زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه قرار گرفتند تا فرآیند پیش تیمار به صورت کامل طی شود. در این تحقیق در سه توان ۳۶۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات با استفاده از یک خشک کن مایکروویو نمونه‌های اسلایس شده هویج خشک شد و پس از آن مقدار آنتی‌اکسیدان، فنل کل و فلاونوئید آزمایش و سپس با استفاده از روش سطح پاسخ نتایج به دست آمده تحلیل شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد هرچه ولتاژ و زمان در پیش تیمار اهمیک و زمان در پیش تیمار بلانچینگ بیشتر باشد مقدار آنتی‌اکسیدان طی فرآیند خشک شدن کمتر کاهش پیدا کرده است. کمترین مقدار آنتی‌اکسیدان زمانی به دست آمد که ولتاژ و زمان کمترین مقدار در نظر گرفته شده بود. افزایش توان مایکروویو سبب کاهش مقدار آنتی‌اکسیدان شد و هرچه توان خشک کردن کمتر باشد مقدار آنتی‌اکسیدان بیشتری از نمونه‌های خشک شده به دست می‌آید. برای مقدار فنل کل و فلاونوئید در پیش تیمار اهمیک نیز زمان و ولتاژ پیش تیمار سبب کاهش مقدار آنها شده و افزایش توان مایکروویو سبب افزایش مقدار فنل کل و فلاونوئید در نمونه‌ها می‌شود. بر اساس بهینه‌سازی‌ها، بهترین توان مایکروویو ۳۶۰ وات، ولتاژ اهمیک ۴۰ ولت و زمان پیش تیمار ۳ دقیقه به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی:

هویج، بیوشیمیایی، مایکروویو، پیش تیمار، روش سطح پاسخ

مقدمه

مرگ‌ومیر حاصل از بیماری‌های مزمن مثل بیماری‌های قلبی عروقی، انسداد شرایین، سرماخوردگی و بیماری‌های عصبی مثل پارکینسون و آلزایمر دارد (Liu, 2004). هویج گیاهی دوساله و از خانواده چتریان است. این گیاه یکی از سبزی‌های مهم در تغذیه انسان

مصرف میوه و سبزی به منظور حفظ سلامتی انسان‌ها بسیار سودمند تشخیص داده شده است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که مصرف متعادل میوه و سبزی نقش مهمی در پیشگیری از بیماری‌ها و

است و به دلیل دارا بودن ویتامین، مواد معدنی و سایر مواد غذایی باارزش، لازم است در رژیم غذایی روزانه انسان قرار گیرد. هویج نقش مهمی در پیشگیری از سرطان و از جمله منابع مهم بتاکاروتن است. این گیاه به صورت خام، پخته، آب گیری شده و شور مصرف می شود. از هویج خشک در سوپ ها و از پودر آن در پخت شیرینی و سس ها استفاده می شود (Erenturk & Erenturk, 2007).

در زمینه آماده سازی هویج برای مصرف کننده تلاش های بسیاری شده است. مصرف زیاد میوه ها و سبزی ها و از طرفی عمر کوتاه و ماندگاری پایین این مواد غذایی باعث ایجاد روش های گوناگون فرآوری آنها شده است. یکی از عمومی ترین و قدیمی ترین روش های فرآوری محصولات کشاورزی، خشک کردن است. این روش باعث تسهیل در حمل و نقل (به دلیل حجم کمتر ماده غذایی)، افزایش قابلیت نگهداری (به دلیل پایین بودن آب فعال)، و کاهش واکنش های شیمیایی (به دلیل میزان رطوبت کمتر) می شود. در فرآیند خشک کردن، برای رسیدن به سطح معینی از فعالیت آبی و تضمین پایداری میکروبی، درصد آب ماده غذایی تا حد معینی کاهش می یابد تا تغییرات فیزیکی و شیمیایی را به حداقل برساند. خشک کردن، فرآیند کاهش رطوبت از طریق انتقال همزمان حرارت و جرم است. انتقال حرارت از هوای اطراف به ماده غذایی باعث کاهش فشار بخار آب در سطح و تبخیر رطوبت سطحی می شود. انتقال رطوبت در مواد غذایی طی فرآیند خشک شدن در دو مرحله اجرا می شود و شامل انتقال رطوبت از داخل جسم به سطح (انتقال رطوبت داخلی) و انتقال رطوبت از سطح به هوا (انتقال رطوبت سطحی) است (Naghipour zadeh mahani et al., 2014).

فرآیند خشک کردن با مایکروویو روشی است نسبتاً ارزان که امروزه توجه بسیاری از محققان را به خود

جلب کرده است. طیف الکترومغناطیسی بین بسامدهای ۳۰۰ مگاهرتز و ۳۰۰ گیگاهرتز نشانگر امواج مایکروویو است. برخلاف سامانه های گرمایشی رایج، امواج مایکروویو در غذا نفوذ می کند و گرمایش در سراسر ماده غذایی گسترش می یابد. چرخش دو قطبی مکانیسم مهمی است که تولید گرما را در ماده ای توضیح می دهد که در میدان مایکروویو قرار می گیرد. مواد غذایی حاوی مولکول های قطبی مانند آب هستند. این مولکول ها عموماً جهت گیری تصادفی دارند اما هنگامی که میدان الکتریکی اعمال می شود مولکول ها خودشان را با قطبیت میدان هم جهت می کنند در نتیجه مولکول های قطبی دوران می کنند تا در راستای قطبیتی قرار بگیرند که به سرعت در حال تغییر است. این چرخش مولکول ها منجر به اصطکاک با محیط اطراف و تولید گرما می شود (Schiffmann, 1992).

گرمایش اهمیتیک روش گرمایش الکتریکی بر اساس عبور جریان الکتریکی از میان ماده غذایی است. مواد غذایی که شامل آب و یون های نمک هستند برای به کارگیری در گرمایش اهمیتیک بسیار مناسب اند. از مزیت های آشکار روش گرمایش اهمیتیک، نسبت به روش های مرسوم دیگر، نبود اختلاف دما در محلول و محدودیت های ضریب انتقال حرارت است (Sarang et al., 2004; Icier & Ilicali, 2005; Castro et al., 2004). استفاده از پیش تیمارها در محصولات مختلف ارزیابی شده است. برای نمونه، در تحقیقاتی در سال ۲۰۰۷ که در زمینه تأثیر سطوح توان و جرم نمونه در خشک کردن مایکروویو بامیه انجام شد، نتایج تحقیق نشان داد با افزایش توان مایکروویو میزان خشک کردن بامیه به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است (Dadali et al., 2007). در تحقیقاتی روی آب پرتقال و بررسی اثر پیش تیمار اهمیتیک و اثر آن بر

طبیعی گرگان آورده و شسته شدند و برای اندازه‌گیری رطوبت در درون آن قرار گرفتند. نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در درون آن قرار گرفته رطوبت آنها در این آزمایش اندازه‌گیری شد (Lanza et al., 2015; Azadbakht et al., 2016). رطوبت نهایی نمونه‌های هویج خشک شده ۱۳/۶ درصد بر پایه خشک بود.

پیش تیمار اهمیک

دستگاه اهمیک از یک جعبه شیشه‌ای با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به طول ۸ سانتی‌متر، عرض ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و دو الکترود از جنس استیل ضدزنگ با ابعاد ۸×۱۵ 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 شدند. هنگامی که آب مقطر ریخته شده به درون سلول به نقطه جوش می‌رسید نمونه‌های با ضخامت ۲ میلی‌متر بریده شده به آن اضافه شد و در مدت زمان‌های ۳، ۵ و ۷ دقیقه و ولتاژهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ ولت در آن باقی ماند. شکل ۱ نمودار شماتیک و تصویری از پیش تیمار اهمیک را نشان می‌دهد (Mahmoodi & Azadbakht, 2019).

پیش تیمار بلانچینگ

در این پیش تیمار، نمونه‌های هویج تحت هوای داغ ناشی از آب مقطر که به نقطه جوش رسیده است قرار گرفتند و نمونه‌ها به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه در این شرایط نگاه‌داشته شدند تا فرایند پیش تیمار به صورت کامل طی شود و پس از فرایند، نمونه‌ها برای خشک شدن در خشک‌کن میکروویو قرار گرفتند.

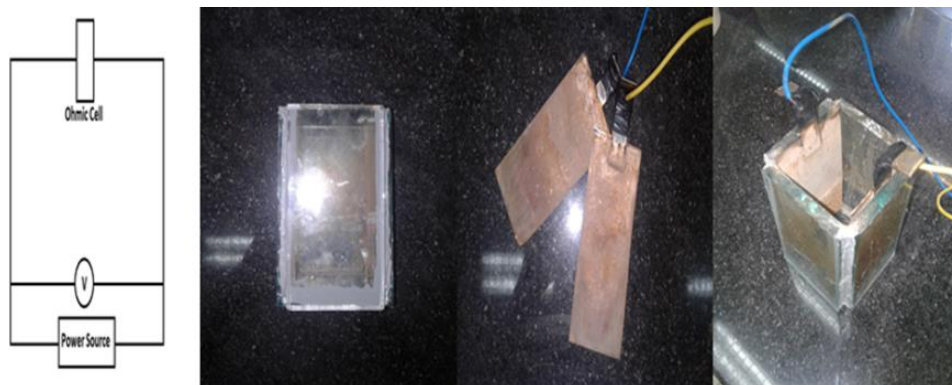
پارامترهای مختلف، مزایایی از جمله حفظ رنگ و کیفیت، کاهش زمان فرآوری و عملکرد بالای آن نتیجه‌گیری شد (Vikram et al., 2005). طی آزمایش‌هایی این نتیجه به دست آمد که با افزایش توان مایکروویو سطح بیشتری از فنل و آنتی‌اکسیدان در میوه انبه حاصل می‌شود که نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین توان خشک‌کن مایکروویو و مقادیر فنل و آنتی‌اکسیدان است (Izli et al., 2017). در آزمایش‌هایی روی انواع مختلفی از میوه‌های خشک‌شده مشاهده گردید که با افزایش دمای خشک‌کردن یا افزایش مدت زمان خشک‌کردن، مقدار فنل کاهش می‌یابد (Izli, 2017).

هدف از این پژوهش ارزیابی برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی هویج شامل مقدار آنتی‌اکسیدان، فنل کل و فلاونوئید تحت خشک‌کن مایکروویو در پیش تیمارهای اهمیک و بلانچینگ است. نمونه‌ها پس از پیش تیمار شدن، توسط خشک‌کن مایکروویو خشک شدند و سپس خواص بیوشیمیایی مورد نظر برای نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با توجه به این ارزیابی می‌توان تأثیر خشک‌کن مایکروویو با پیش تیمارهای اهمیک و بلانچینگ را بر خواص بیوشیمیایی هویج مشخص کرد به طوری که با یافتن شرایط مطلوب خشک‌کردن بتوان مقدار مناسبی از خواص بیوشیمیایی را حفظ کرد.

مواد و روش‌ها

آماده کردن نمونه

هویج تازه رقم نانت، با ابعاد متوسط دارای طول حدود ۱۸/۵ سانتی‌متر و قطر حدود ۳ سانتی‌متر، از بازارهای استان گلستان-گرگان، ایران تهیه شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع



شکل ۱- شکل واقعی و نمودار شماتیک پیش تیمار اهمیک

Fig. 1. Real figure and schematic diagram of ohmic pre-treatment.

فرایند خشک کردن

بیست گرم از اسلایس‌های پیش تیمار شده در درون ظروف قرار داده شدند و در سه توان ۳۶۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات در یک خشک‌کن مایکروویو خشک شدند. فرآیند خشک کردن نمونه‌ها در خشک‌کن مایکروویو با چگالی توان ویژه ۱/۲، ۴/۸ و ۱۲ ولت بر گرم در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان دنبال شد. وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. جرم هر یک از نمونه‌ها در بازه زمانی ۱ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد تا به رطوبتی ثابت رسیدند و آزمایش‌ها برای هر تیمار سه بار تکرار شد. این آزمایش در دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی محیط ۷۱ درصد اجرا شد. نمونه‌ها بعد از کامل شدن مرحله خشک‌کردن آسیاب و به‌منظور ادامه آزمایش‌های سنجش کیفیت به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

سنجش‌های کیفی

به‌منظور اندازه‌گیری فنل کل و میزان درصد مهار رادیکال‌های آزاد، مقداری از آسیاب شده هر نمونه با مقداری متانول ۸۰ درصد (نسبت ۱ به ۱۰) در هاون سرد کوبیده و همگن شدند. مواد همگن شده به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و روی شیکر قرار گرفتند و به

مدت چند دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. از قسمت فوقانی عصاره برای اندازه‌گیری ویژگی‌های موردنظر استفاده گردید (Mashayekhi, 2016).

درصد مهار رادیکال‌های آزاد به روش به دام اندازی رادیکال دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل

در این آزمایش، درصد مهار رادیکال‌های آزاد دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل از روش بانندت اندازه‌گیری شد. ابتدا چند میلی‌لیتر از دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار (۴ میلی‌گرم دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول) به لوله آزمایش اضافه و مقداری از عصاره متانولی تهیه‌شده به آن افزوده شد. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه در محیط تاریک قرار داده شد و بلافاصله با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۲۸۰۰ UV/VIS در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. نمونه شاهد حاوی ۲ میلی‌لیتر دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل و ۲ میلی‌لیتر متانول بود. دستگاه اسپکتروفتومتر با متانول کالیبره شد. اعداد به‌دست‌آمده با رابطه ۱ به درصد مهار تبدیل شد (Li *et al.*, 2012).

$$PPH = \frac{Ac - As}{Ac} \times 100 \quad (1)$$

Ac = جذب نمونه شاهد؛ As = جذب نمونه‌ها

مقدار فنل کل

دستگاه قرائت شد. اعداد به دست آمده برای فلاونوئید با رجوع به منحنی استاندارد واقعی شدند. منحنی استاندارد با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد. به این منظور غلظت‌های مختلف از استاندارد کوئرستین ساخته شد و بعد از خوانده شدن عدد جذب، اعداد واقعی و غلظت فلاونوئید کل به دست آمد (Mahmoodi & Azadbakht, 2019).

$$y = 0.0121x + 0.0722 \quad (3)$$

طراحی آزمایش و روش آماری

در این مطالعه، از نرم‌افزار Design Expert 11 برای پیش‌بینی اثر پیش تیمارهای مختلف خشک کردن توسط مایکروویو بر خواص بیوشیمیایی هویج استفاده شد. برای تعیین تعداد و طرح کلی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش سطح پاسخ به کمک این نرم‌افزار استفاده شد. در اجرای این پژوهش از طرح مرکب مرکزی (CCD) استفاده شد. در این پژوهش، متغیرهای مستقل برای اهمیتک و لتاژ و زمان فرایند بودند و برای پیش تیمار بلانچینگ (آنزیم‌بری) نیز مدت زمان حرارت دهی به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و متغیرهای وابسته مقادیر آنتی‌اکسیدان، فنل کل و فلاونوئید بودند. سطوح متغیرهای مستقل آزمایش در روش سطح پاسخ در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری فنل کل از روش فولین سیوکالتیو استفاده شد. بدین منظور مخلوط عصاره متانولی (۵/۰ گرم در ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد) با فولین سیوکالتیو و آب مقطر تهیه گردید و پس از ۵ تا ۸ دقیقه استراحت، کربنات سدیم یک مولار (۱۰/۶ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به آن افزوده شد. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار با دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شدند. با قرار دادن عدد جذب نمونه به جای y در رابطه ۲، میزان فنل (x) بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم به دست آمد (Jaramillo-Flores et al., 2003).

$$y = 0.0034x - 0.0114 \quad (2)$$

مقدار فلاونوئید

عصاره متانولی با متانول، آلومینیم کلرید ۱۰ درصد (۱۰ گرم آلومینیم کلرید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر)، استات پتاسیم یک مولار (۲/۴۱ گرم در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر) و آب مقطر مخلوط شد. برای تهیه نمونه شاهد، به جای عصاره متانولی، تنها از متانول خالص استفاده شد. مخلوط نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد و بلافاصله توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر تحت طول موج ۴۱۵ نانومتر قرار گرفت و عدد خروجی

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل آزمایش در روش سطح پاسخ

Table 1- Test independent variables levels in response surface methodology

سطوح Levels				واحد Unit	پارامترهای عددی Numerical Parameters	
+2	+1	0	-1		کد گذاری شده Encoded	واقعی Real
-	60	40	20	-	A	تعداد Number
-	3	2	1	ساعت (h) Hour	B	زمان Time
آغشته شدن With oil	عدم آغشته‌گی No oil	-	-	-	C	آغشته‌گی پوسته Eating Egg Shell

نتایج و بحث

آنالیز روش سطح پاسخ برای پیش تیمار اهمیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و ضرایب پیشگویی مقدار آنتی‌اکسیدان، فنل کل و فلاونوئید در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به این جدول برای آنتی‌اکسیدان می‌توان گفت که مدل استفاده شده، توان مایکروویو، ولتاژ اهمیک و زمان اهمیک به ترتیب در سطح ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۱۹۸، ۰/۰۰۰۷ و ۰/۰۰۰۱ معنی دار شده است. برای مقدار فلاونوئید نیز مقادیر مدل استفاده شده، توان مایکروویو و زمان اهمیک به ترتیب در سطح ۰/۰۰۵۵، ۰/۰۴۸۹ و ۰/۰۰۹۶ معنی دار شد. در نتایج آنالیز واریانس مقدار فنل کل نیز مدل استفاده شده، ولتاژ اهمیک و زمان اهمیک به ترتیب در سطح ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۳۲ و ۰/۰۰۰۱ معنی دار شده است. با توجه به مقادیر میانگین مربعات این

نتیجه به دست آمد که فاکتور مستقل زمان پیش تیمار اهمیک دارای اثر بیشتری نسبت به دیگر فاکتورهای مستقل است.

از طرفی، با توجه به اینکه میزان عدم تناسب هیچ کدام از پاسخ‌ها معنی دار نشده است، می‌توان گفت که این امر مناسب بودن مدل را پس از کاهش دادن تعداد جملات غیر معنی دار نشان می‌دهد. با توجه به جدول و مقادیر R^2 و R^2 adjusted می‌توان گفت که چون مقادیر بسیار نزدیک به یک هستند مدل پیش‌بینی فرایند بسیار قوی و مناسب بوده است و مقدار R^2 adjusted پیش‌بینی شده نیز بسیار خوب و مطلوب است. برای تمامی مدل‌ها نیز خطی در برابر میانگین برای مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها انتخاب شده بود و مدل‌های درجه سه و بالاتر نیز توسط تحلیل‌ها رد شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس و ضرایب پیشگویی مقدار برای مقدار آنتی‌اکسیدان، فنل کل و فلاونوئید

Table 2- Variation analysis and predictive coefficients of values for antioxidant content, total phenol and flavonoids

		آنتی‌اکسیدان Antioxidants					
منبع Source	ضریب برآورد Coefficient Estimate	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	مقدار F F-value	مقدار p p-value	
مدل Model	36.63	4074.87	3	1358.29	19.06	< 0.0001	
A- توان A-Power	-10.60	1249.00	1	1249.00	17.53	0.0007	
B- ولتاژ B-Voltage	6.33	477.74	1	477.74	6.70	0.0198	
C- زمان C-Time	12.66	2230.22	1	2230.22	31.29	< 0.0001	
باقیمانده Residual		1140.29	16	71.27			
عدم تناسب Lack of Fit		1103.66	13	84.90	6.95	0.0682	
خطای خالص Pure Error		36.62	3	12.21			
Cor Total		5215.16	19				
R^2		0.7814					
Adjusted R^2		0.7404					
Predicted R^2		0.6764					

اثر تیمارهای فیزیکی در کاهش میزان آلودگی میکروبی و کنترل آفات...

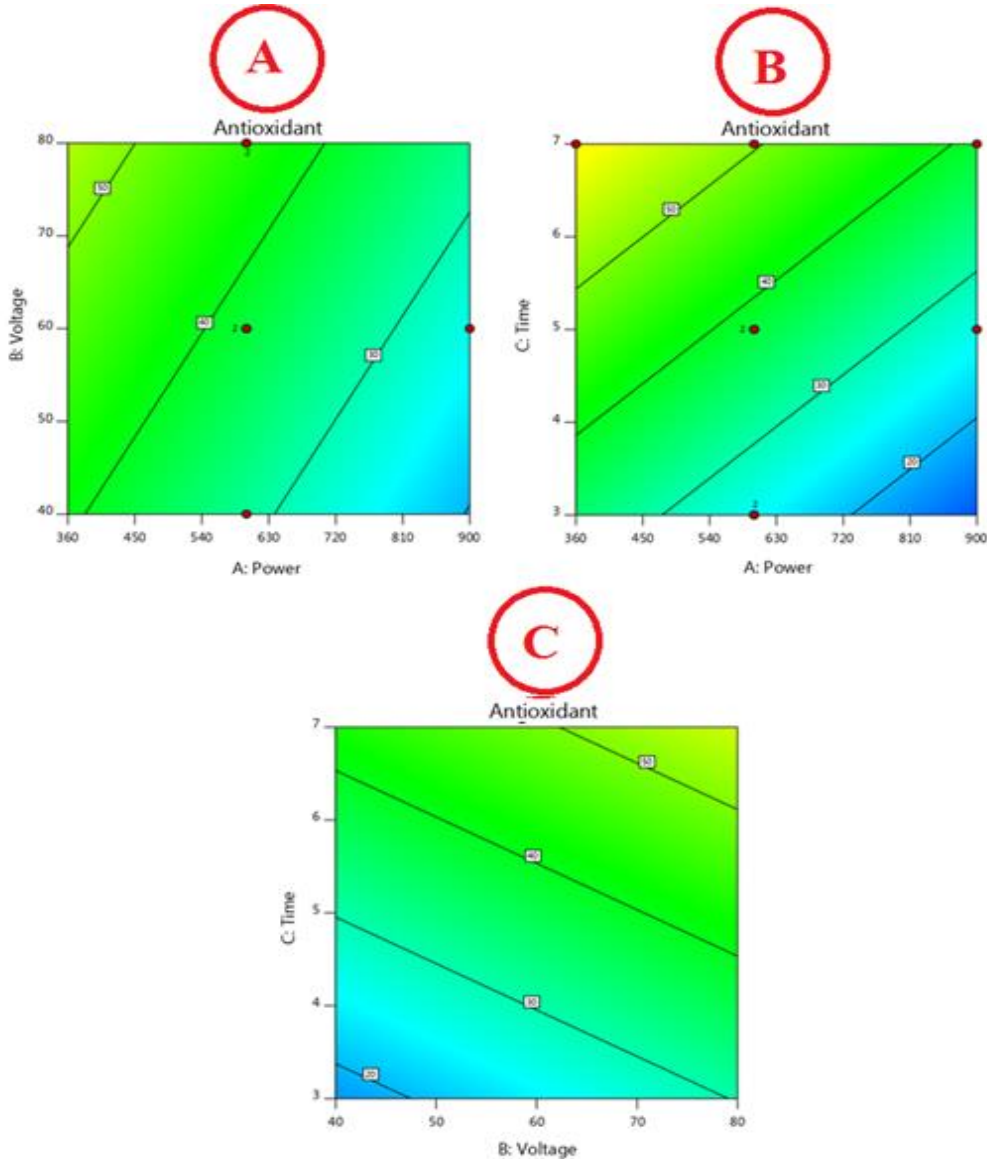
15.6772							Adeq Precision
فلاونوئید Flavonoids							
significant	0.0055	6.16	812.75	3	2438.26	61.95	مدل Model
	0.0489	4.55	599.76	1	599.76	7.35	-A توان A-Power
	0.0509	4.46	587.92	1	587.92	-7.02	-B ولتاژ B-Voltage
	0.0096	8.66	1142.03	1	1142.03	-9.06	-C زمان C-Time
			131.95	16	2111.17		باقیمانده Residual
not significant	0.9539	0.2844	89.65	13	1165.43		عدم تناسب Lack of Fit
			315.25	3	945.74		خطای خالص Pure Error
					19	4549.42	Cor Total
						0.5359	R ²
						0.4489	Adjusted R ²
						0.2999	Predicted R ²
						9.1215	Adeq Precision
محتوای فنل Phenol content							
significant	< 0.0001	19.03	76.72	3	230.16	17.85	مدل Model
	0.3001	1.15	4.62	1	4.62	0.6451	-A توان A-Power
	0.0322	5.50	22.18	1	22.18	-1.36	-B ولتاژ B-Voltage
	< 0.0001	47.86	192.91	1	192.91	-3.72	-C زمان C-Time
			4.03	16	64.49		باقیمانده Residual
not significant	0.1057	4.99	4.74	13	61.64		عدم تناسب Lack of Fit
			0.9497	3	2.85		خطای خالص Pure Error
					19	294.64	Cor Total
						0.7811	R ²
						0.7401	Adjusted R ²
						0.6683	Predicted R ²
						12.7698	Adeq Precision

شکل ۲. A, B به ترتیب تأثیر توان مایکروویو و ولتاژ اهمیتیک و زمان اهمیتیک و توان مایکروویو بررسی شد

در شکل ۲ نتایج حاصل از تأثیر فاکتورها بر روی هم بر میزان آنتی‌اکسیدان را نشان می‌دهد. در

اهمیک سبب افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان شده است یا در واقع می‌توان گفت که افزایش گرادیان ولتاژ اهمیک و زمان فرایند اهمیک سبب شده است تا مقدار آنتی‌اکسیدان کمتر کاهش پیدا کند.

که با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده کرد که با افزایش توان مایکروویو میزان آنتی‌اکسیدان هم در حالت ولتاژ و هم در حالت زمان اهمیک کاهش پیدا کرده است و افزایش گرادیان ولتاژ و زمان فرایند



شکل ۲- نمودارهای سطح پاسخ مقدار آنتی‌اکسیدان هویج بین A: توان مایکروویو و ولتاژ اهمیک B: توان مایکروویو و زمان فرایند اهمیک C: زمان فرایند اهمیک و ولتاژ اهمیک

Fig. 2. Chart of response surface of carrot antioxidant content between A: microwave power and ohmic voltage B: microwave power and time of ohmic process C: time of ohmic process and ohmic voltage.

از ۶۹ ولت بیشتر و بین توان ۳۶۰ تا ۴۵۰ بوده است، کمترین مقدار نیز از توان ۷۲۰ تا ۹۰۰ وات شروع و

با توجه به شکل ۲. A می‌توان گفت که بیشترین مقدار آنتی‌اکسیدان زمانی است که مقدار ولتاژ اهمیک

می‌شود و کمترین مقدار نیز در توان مایکروویو ۳۶۰ تا ۴۵۰ وات و ولتاژ اهمیتیک ۷۴ تا ۸۰ است. برای زمان اهمیتیک و توان مایکروویو که در شکل ۳. B مشاهده می‌شود، افزایش زمان اهمیتیک سبب کاهش میزان فلاونوئید شده است و توان مصرفی سبب افزایش آن و در بازه زمانی ۶ دقیقه زمان اهمیتیک و بیشتر، میزان فلاونوئید کمترین میزان خود بوده است و زمان ۳ تا ۴ دقیقه بیشترین میزان فلاونوئید را نشان می‌دهد. در شکل ۳. C نیز تأثیر زمان فرایند و ولتاژ اهمیتیک نشان داده شده است که با افزایش هر دو مقدار میزان فلاونوئید کاهش یافته است و در بازه ۴۰ تا ۵۰ ولت و ۳ تا ۴ دقیقه بیشترین میزان فلاونوئید و در بازه ۶ تا ۷ دقیقه و ۷۰ تا ۸۰ ولت کمترین میزان فلاونوئید مشاهده شده است. با توجه به ضرایب تخمین زده شده در رابطه ۶ می‌توان گفت که توان مایکروویو تأثیر بسزایی بر میزان فلاونوئید داشته است و بعد از آن ولتاژ اهمیتیک و در نهایت زمان فرایند اهمیتیک بر میزان فلاونوئید تأثیر داشته‌اند. احتمال دارد دلیل افزایش فلاونوئید در اثر افزایش توان مایکروویو، جهت افزایش سریعتر حرارت در میوه حین فرایند خشک کردن در مایکروویو باشد که این امر منجر به اختلال و پارگی بیشتر سلول و در نتیجه آزادی فلاونوئید بیشتر شده است، علاوه بر این، احتمالاً به دلیل دوره کوتاه خشک شدن و قرار گرفتن فلاونوئیدها در معرض اثرهای حرارتی کمتر احتمال رخ دادن چنین اتفاقی وجود دارد. در برخی از مطالعات نیز افزایش مقدار ترکیبات فنلی در نمونه‌های مختلف مواد غذایی مانند کشمش خشک، زردآلو و پرتقال پوست شده گزارش شده است (Carranza-Concha *et al.*, 2012; Sultana, 2012; Chen *et al.*, 2011).

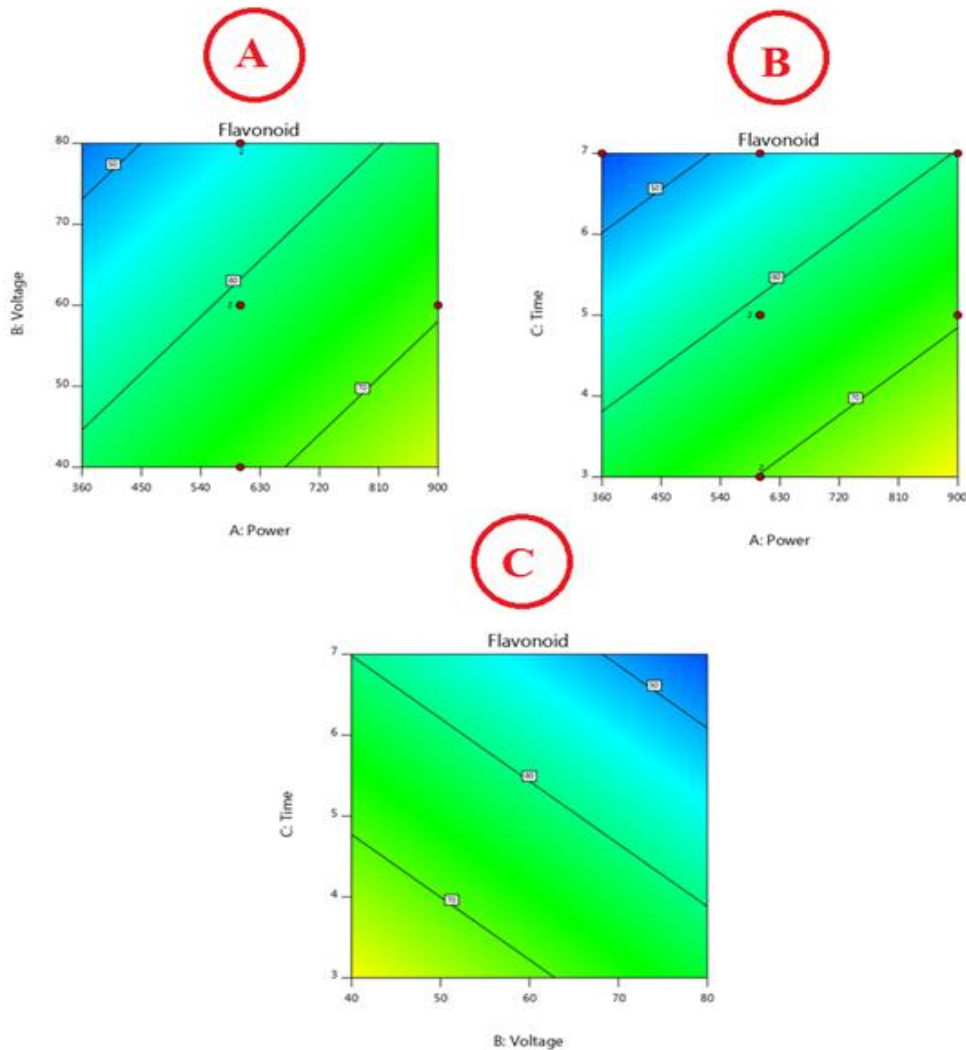
$$\text{Flavonoid} = 61.95 + 7.35A - 7.02B - 9.06C \quad (6)$$

برای گرادیان ولتاژ نیز از گرادیان ولتاژ ۴۰ تا ۶۰ ولت کمترین مقادیر آنتی‌اکسیدان طی خشک کردن نشان داده شده است. در شکل ۲. B می‌توان مشاهده کرد که با افزایش مقدار زمان فرایند اهمیتیک مقدار آنتی‌اکسیدان افزایش یافته است و بیشترین مقدار آنتی‌اکسیدان در بازه توان مایکروویو ۳۶۰ تا ۴۵۰ وات و زمان فرایند اهمیتیک ۶ تا ۷ دقیقه و کمترین مقدار نیز در بازه توان مایکروویو ۷۳۰ تا ۹۰۰ وات و زمان فرایند اهمیتیک ۳ تا ۴ دقیقه بوده است. برای اثر زمان فرایند اهمیتیک و ولتاژ اهمیتیک (شکل ۲. C) نیز می‌توان گفت که با افزایش میزان ولتاژ و زمان فرایند اهمیتیک میزان آنتی‌اکسیدان افزایش پیدا کرده است و کمترین مقدار در ولتاژ ۴۰ تا ۴۷ ولت و زمان فرایند ۳/۵ دقیقه کمتر کمترین میزان آنتی‌اکسیدان را به همراه داشته است. با توجه به ضرایب تخمین زده شده برای مدل، که در رابطه ۴ مشاهده می‌شود، می‌توان گفت که زمان فرایند اهمیتیک بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر میزان آنتی‌اکسیدان داشته است و بعد از آن مقادیر ولتاژ اهمیتیک و توان مایکروویو بیشترین تأثیر را داشته‌اند که توان مایکروویو تأثیری معکوس بر میزان آنتی‌اکسیدان داشته است ولی تأثیر زمان و ولتاژ فرایند اهمیتیک یک فرایند با تأثیر مستقیم است.

$$\text{Antioxidant} = 36.63 - 10.60A + 6.33B + 12.66C \quad (4)$$

نتایج اثر فاکتورهای زمان فرایند، ولتاژ اهمیتیک و توان مایکروویو بر مقدار فلاونوئید هویج در شکل ۳ نشان داده شده است.

در شکل ۳. A مشاهده می‌شود که افزایش توان مایکروویو سبب زیاد شدن فلاونوئید شده و با افزایش ولتاژ اهمیتیک میزان فلاونوئید کاهش یافته است. بیشترین میزان فلاونوئید در بازه توان مایکروویو ۸۲۰ تا ۹۰۰ وات و ولتاژ اهمیتیک ۴۰ تا ۵۰ ولت مشاهده



شکل ۳- نمودارهای سطح پاسخ مقدار فلاونوئید هویج بین A: توان مایکروویو و ولتاژ اهمیک B: توان مایکروویو و زمان فرایند اهمیک C: زمان فرایند اهمیک و ولتاژ اهمیک

Fig. 3. Response surface charts of flavonoid content of carrot between A: microwave power and ohmic voltage B: microwave power and time of ohmic process C: time of ohmic process and ohmic voltage.

مایکروویو افزایش پیدا کرده است و با توجه به شکل می توان مشاهده کرد که از ۶ دقیقه به بالا برای فرایند اهمیک میزان فنل تقریباً به یک مقدار در تمامی ولتاژها بوده است.

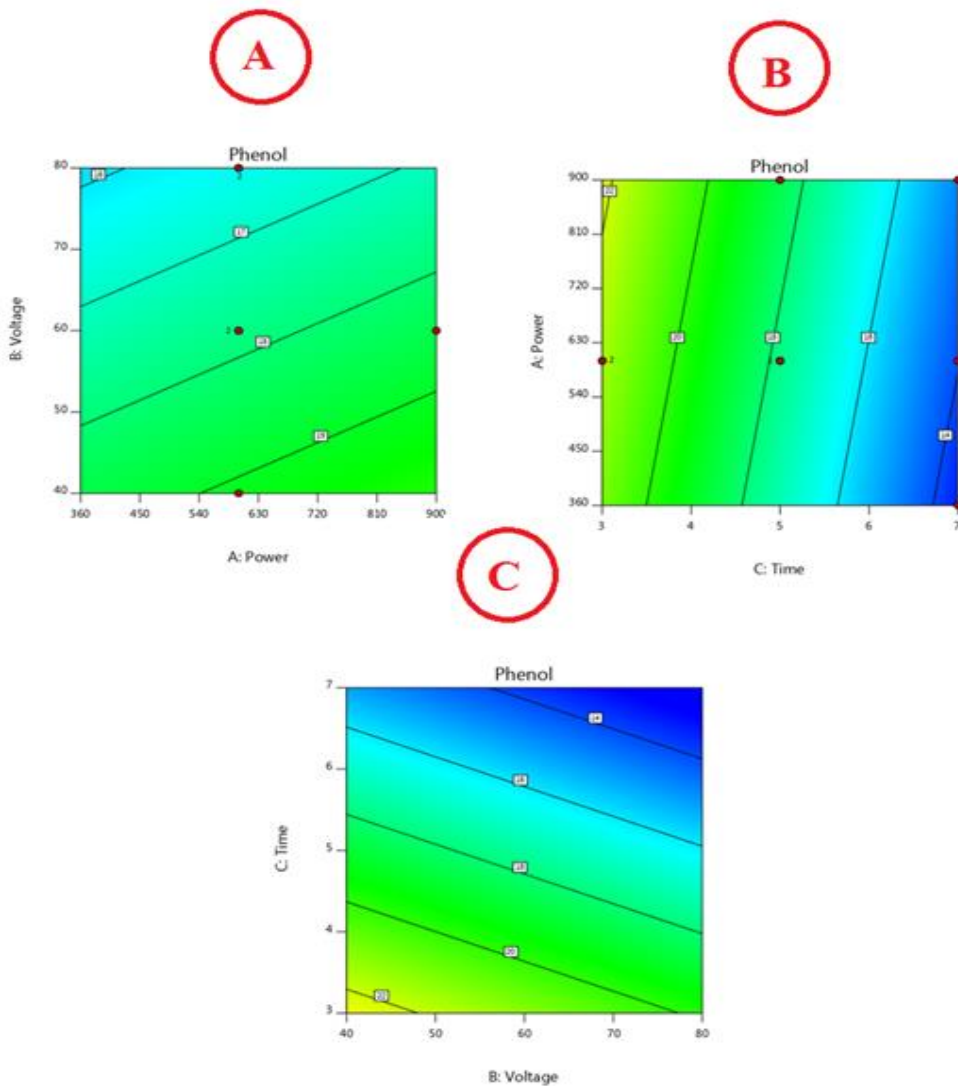
در شکل ۴ C نیز می توان مشاهده کرد که با افزایش زمان فرایند و همچنین ولتاژ اهمیک مقدار فنل کاهش پیدا کرده است و بیشترین مقدار فنل از

نتایج حاصل از تأثیر توان مایکروویو، ولتاژ اهمیک و زمان فرایند بر میزان فنل در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ A می توان مشاهده کرد که با افزایش میزان ولتاژ مقدار فنل کاهش یافته و با افزایش توان مایکروویو مقدار فنل افزایش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۴ B با افزایش زمان فرایند اهمیک مقدار فنل کل کاهش و با افزایش توان

اثر تیمارهای فیزیکی در کاهش میزان آلودگی میکروبی و کنترل آفات...

فنل شده است و کمترین مقدار نیز در زمان فرایند ۶ دقیقه به بالا و ولتاژ ۶۰ تا ۸۰ ولت است.

ولتاژ ۴۰ تا ۵۰ ولت و در زمان اهمیک تقریباً ۳ دقیقه بوده است و افزایش زمان فرایند سبب کاهش میزان



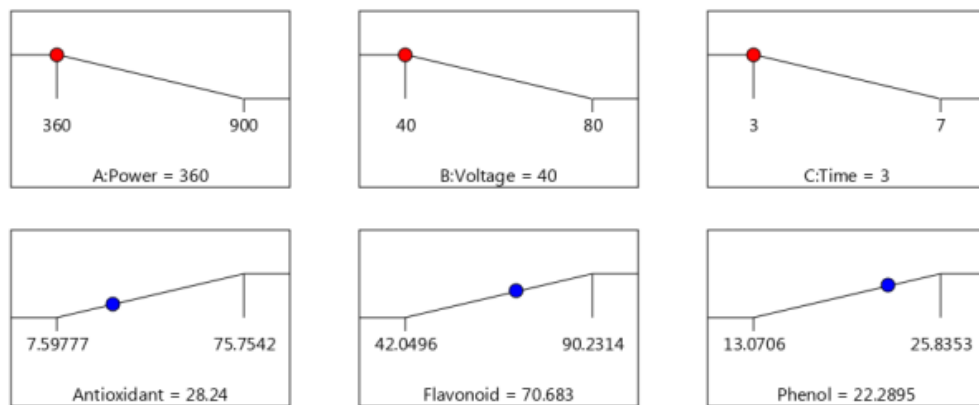
شکل ۴- نمودارهای سطح پاسخ مقدار فنل کل هویج بین A: توان ماکروویو و ولتاژ اهمیک B: توان ماکروویو و زمان فرایند اهمیک C: زمان فرایند اهمیک و ولتاژ اهمیک

Fig. 4. Response surface charts of the total phenol content of carrots between A: microwave power and ohmic voltage B: microwave power and time of ohmic process C: time of ohmic process and ohmic voltage.

تأثیر مستقیم بر کیفیت محصول و شرایط آن اهمیت ویژه‌ای دارد. با استفاده از بهینه‌سازی عددی شرایط بهینه برای متغیر پاسخ در جدول ۳ ارائه شده است. در

در شکل ۵ بهینه‌سازی فرایند برای به دست آمدن بیشترین مقدار آنتی‌اکسیدان، فنل کل و فلاونوئید نشان داده شده است. بهینه‌سازی فرایندها به دلیل

این روش، عامل‌هایی مانند ولتاژ اهمیک، زمان فرایند و توان مایکروویو در کمترین میزان خود قرار می‌گیرد و توان ماکسیموم قرار دارد. مقدار آنتی‌اکسیدان، مقدار فنل کل و فلاونوئید در



Desirability = 0.736

شکل ۵- نمودار بهینه‌سازی در پیش تیمار اهمیک طی فرایند خشک کردن
 Fig. 5. Optimizing diagram: Ohmic pretreatment during drying process

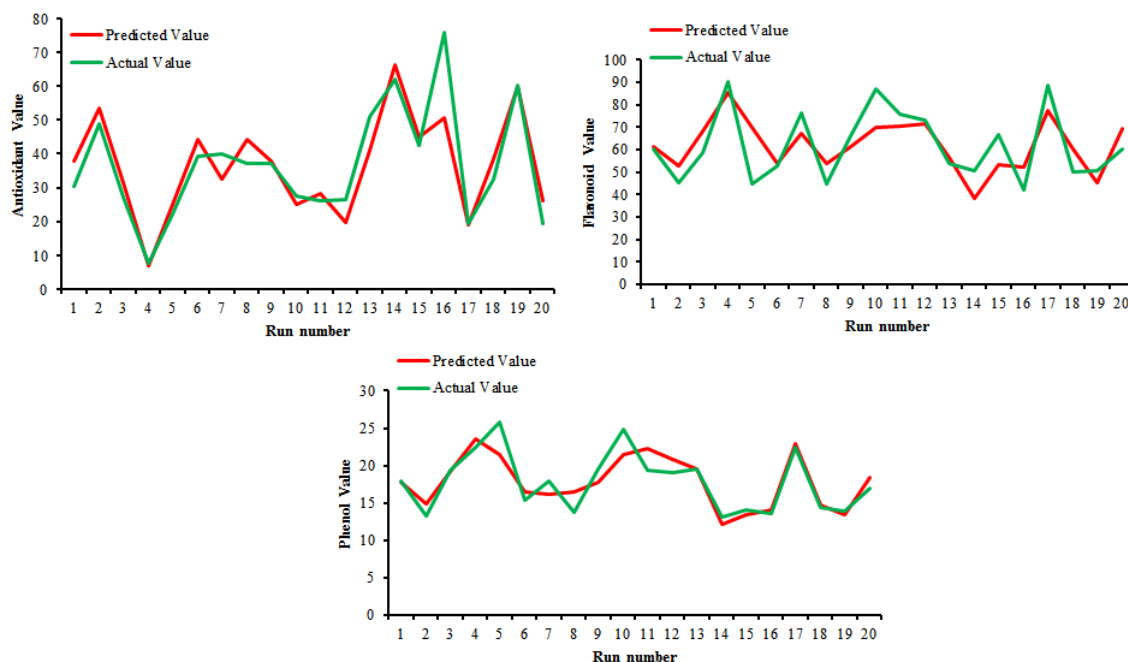
جدول ۳- مقادیر انحراف معیار مقادیر فنل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان در پیش تیمار اهمیک طی فرایند خشک کردن

Table 3- Standard deviation values of antioxidants, flavonoids and total phenol: Ohmic pretreatment during drying process

آنتی‌اکسیدان Antioxidant	فلاونوئید Flavonoid	فنل Phenol	اجرا Run
3.705	0.365	0.085	1
2.31	3.685	0.75	2
2.11	4.62	0.085	3
0.285	2.425	0.58	4
1.395	12.75	2.17	5
2.4	0.575	0.55	6
3.88	4.545	0.925	7
3.46	4.625	1.3	8
0.41	2.61	0.895	9
1.115	8.41	1.71	10
0.99	2.625	1.435	11
3.395	0.81	0.89	12
5.025	1.345	0.01	13
2.16	6.105	0.48	14
1.33	6.77	0.32	15
12.64	5.01	0.195	16
0.315	5.85	0.205	17
3.085	5.17	0.23	18
0.11	2.47	0.22	19
3.4	4.45	0.74	20

معیار بال است که در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر پیش‌بینی شده برای فلاونوئید نزدیک به مقادیر واقعی است و این امر را می‌توان از انحراف به دست آمده برای داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده مشاهده کرد.

در شکل ۶، مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی برای آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید و فنل کل نشان داده شده است که با توجه به شکل‌ها می‌توان گفت مقادیر پیش‌بینی شده برای مقدار آنتی‌اکسیدان و فلاونوئید در برخی نقاط اصلاً مناسب نبوده است و مقدار انحراف



شکل ۶- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید و فنل کل در فرایند همیک طی فرایند خشک کردن

Fig. 6. Real and predicted values of antioxidants, flavonoids and total phenol: Ohmic pretreatment during drying process

در سطح ۰/۰۲۴۲، ۰/۰۷۱۶ و ۰/۰۲۴۴ مدلی پیشنهادی، توان مایکروویو و زمان بلانچینگ معنی‌دار شده است. برای مقدار فنل کل نیز مقادیر مدل پیشنهادی، توان مایکروویو و زمان بلانچینگ به ترتیب در سطح ۰/۰۰۰۲، ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۰۹۲ معنی‌دار شده است و تمامی عدم تناسب‌ها معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده مناسب بودن مدل پس از کاهش دادن

آنالیز روش سطح پاسخ برای پیش تیمار بلانچینگ (آنزیم‌بری)

نتایج آنالیز واریانس روش سطح پاسخ در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به جدول می‌توان گفت که برای آنتی‌اکسیدان مدل، توان مایکروویو در سطح ۰/۰۲۵۵ و ۰/۰۱۲۸ معنی‌دار شده است و زمان بلانچینگ معنی‌دار نشده است و برای مقدار فلاونوئید

تعداد جملات غیر معنی دار است. با توجه به مقادیر میانگین مربعات این نتیجه حاصل شد که فاکتور مستقل توان خشک کن مایکروویو دارای اثر بیشتری نسبت به دیگر فاکتورهای مستقل است. برای تمامی مدل‌ها نیز خطی در برابر میانگین برای مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها انتخاب شده بود و مدل‌های درجه سه و بالاتر نیز توسط تحلیل‌ها رد شد.

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس روش سطح پاسخ برای مقادیر آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید و ترکیبات فنلی

Table 4- Results of analysis of variance of the response surface method for antioxidants, flavonoids and total phenol

آنتی‌اکسیدان Antioxidants							
منبع Source	ضریب برآورد Coefficient Estimate	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	مقدار F F-value	مقدار p p-value	significant
مدل Model	35.30	1369.49	2	684.74	5.42	0.0255	significant
A-توان A-Power	-12.99	1156.96	1	1156.96	9.15	0.0128	
B-ولتاژ B-Voltage	5.57	215.00	1	215.00	1.70	0.2214	
C-زمان C-Time		1264.00	10	126.40			
باقیمانده Residual		438.45	6	73.07	0.3541	0.8765	not significant
عدم تناسب Lack of Fit		825.55	4	206.39			
خطای خالص Pure Error		2633.49	12				
Cor Total	0.5200						
R ²	0.4240						
Adjusted R ²	0.2644						
Predicted R ²	6.8726						
فلاونوئید Flavonoid							
مدل Model	74.58	1450.06	2	725.03	5.52	0.0242	significant
A-توان A-Power	8.81	532.80	1	532.80	4.06	0.0716	
B-ولتاژ B-Voltage	-11.53	920.72	1	920.72	7.02	0.0244	
C-زمان C-Time		1312.41	10	131.24			
باقیمانده Residual		671.98	6	112.00	0.6995	0.6693	not significant
عدم تناسب Lack of Fit		640.43	4	160.11			
خطای خالص Pure Error		2762.46	12				
Cor Total	0.5249						
R ²	0.4299						
Adjusted R ²	0.2634						
Predicted R ²	7.3937						
ترکیبات فنلی							

Phenol content							مدل
significant	0.0002	22.64	145.25	2	290.50	17.55	Model
	0.0001	35.00	224.58	1	224.58	5.72	A- توان
	0.0092	10.37	66.53	1	66.53	-3.10	A-Power
							B- ولتاژ
			6.42	10	64.16		B-Voltage
							C- زمان
not significant	0.9393	0.2425	2.85	6	17.11		C-Time
							باقیمانده
			11.76	4	47.05		Residual
							عدم تناسب
				12	354.66		Lack of Fit
							خطای خالص
					0.8191		Pure Error
					0.7829		Cor Total
					0.7547		R ²
					14.4996		Adjusted R ²
							Predicted R ²

افزایش مدت زمان نیز سبب کاهش مقادیر شده است و مقدار فنل در این بخش به شدت بیشتر از مابقی مقادیر در توان‌ها و زمان‌های بلانچینگ بوده است.

فرمول‌های کد شده برای مقدار آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید و فنل کل در رابطه‌های ۷، ۸ و ۹ مشاهده می‌شود. کاهش مقادیر فنل و فلاونوئید با افزایش زمان پیش تیمار بلانچینگ می‌تواند به دلیل افزایش دمای پیش تیمار در خشک کردن ابتدایی و به دنبال آن تأثیر بر تمامیت ساختار سلول و در نتیجه مهاجرت و تلفات اجزا فیزیولوژیک بر اثر واکنش‌های مختلف شیمیایی باشد (Youssef & Mokhtar, 2014).

$$\text{Antioxidant} = 35.30 - 12.99A + 5.57B \quad (7)$$

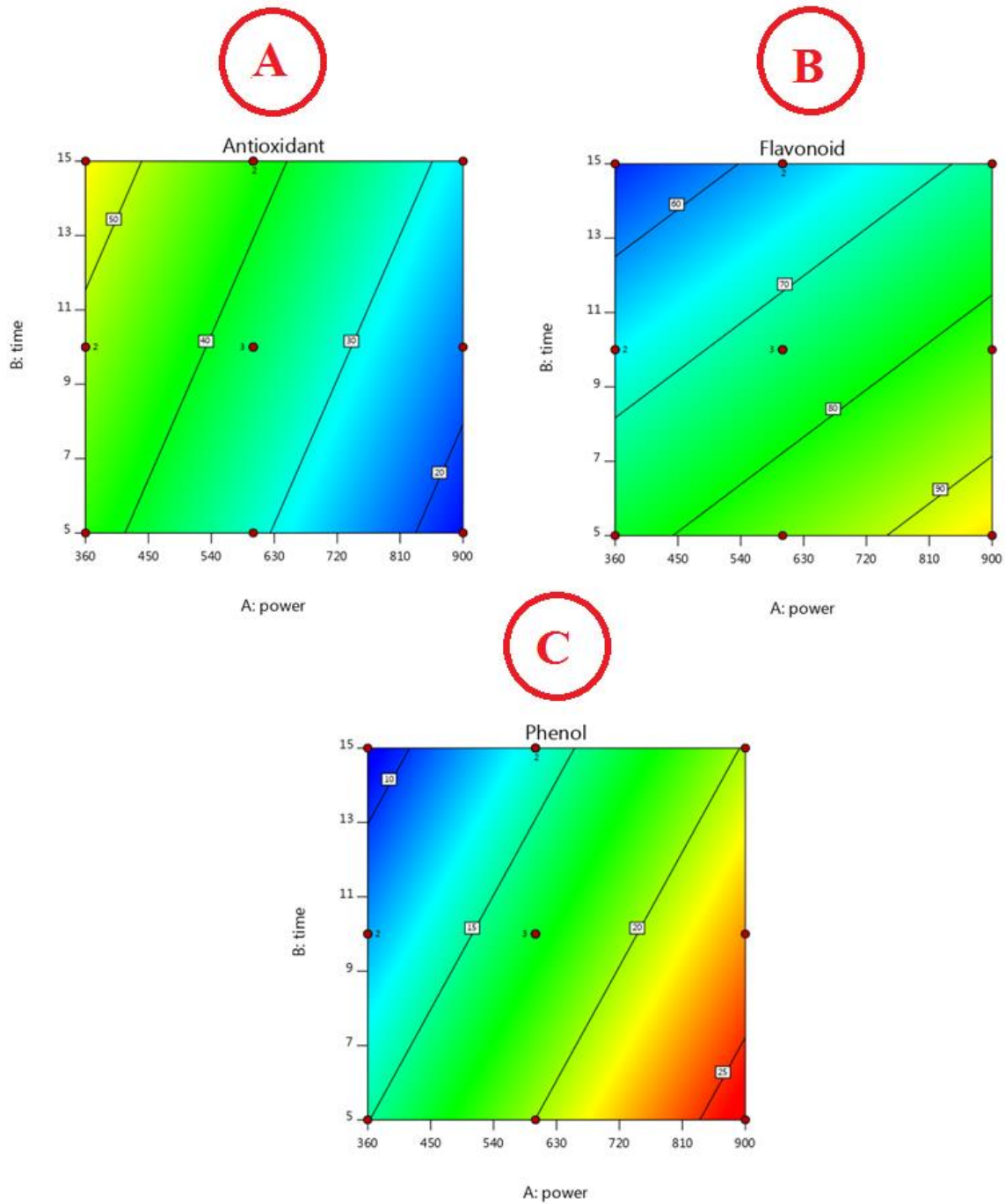
$$\text{Flavonoid} = 74.58 + 8.81A - 11.53B \quad (8)$$

$$\text{Phenol} = 17.55 + 5.72A - 3.10B \quad (9)$$

در شکل ۷ نتایج نمودارهای روش سطح پاسخ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷. A می‌توان گفت که افزایش توان مایکروویو سبب کاهش میزان آنتی‌اکسیدان شده است و افزایش مدت زمان بلانچینگ نیز سبب شده است تا مقادیر خشک شده آنتی‌اکسیدان بیشتری را درون خود حفظ کند.

افزایش مدت زمان ۱۱ دقیقه به بالا سبب حفظ میزان آنتی‌اکسیدان بیشتری شده است و از توان مایکروویو ۷۲۰ وات به سمت ۹۰۰ وات مقادیر آنتی‌اکسیدان نمونه‌ها کمتر شده است. برای مقادیر فلاونوئید و فنل کل افزایش مدت زمان بلانچینگ سبب کاهش مقدار آنها و افزایش توان مایکروویو سبب افزایش میزان فلاونوئید و فنل کل شده است که در شکل ۷. B و C نشان داده شد.

برای فلاونوئید و فنل کل تقریباً با افزایش مدت زمان بلانچینگ از ۹ بیشتر رو به کاهش شدیدی رفته است. بیشترین مقدار فنل نیز در توان ۷۲۰ وات و مدت زمان کمتر از ۱۰ دقیقه بلانچینگ بوده است و



شکل ۷ نمودارهای سطح پاسخ مقدار آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید و فنل کل در پیش تیمار بلانچینگ طی خشک کردن

Fig.7. Chart of response surface of carrot antioxidant, Flavonoids and total phenol content: Blanching pretreatment during drying process

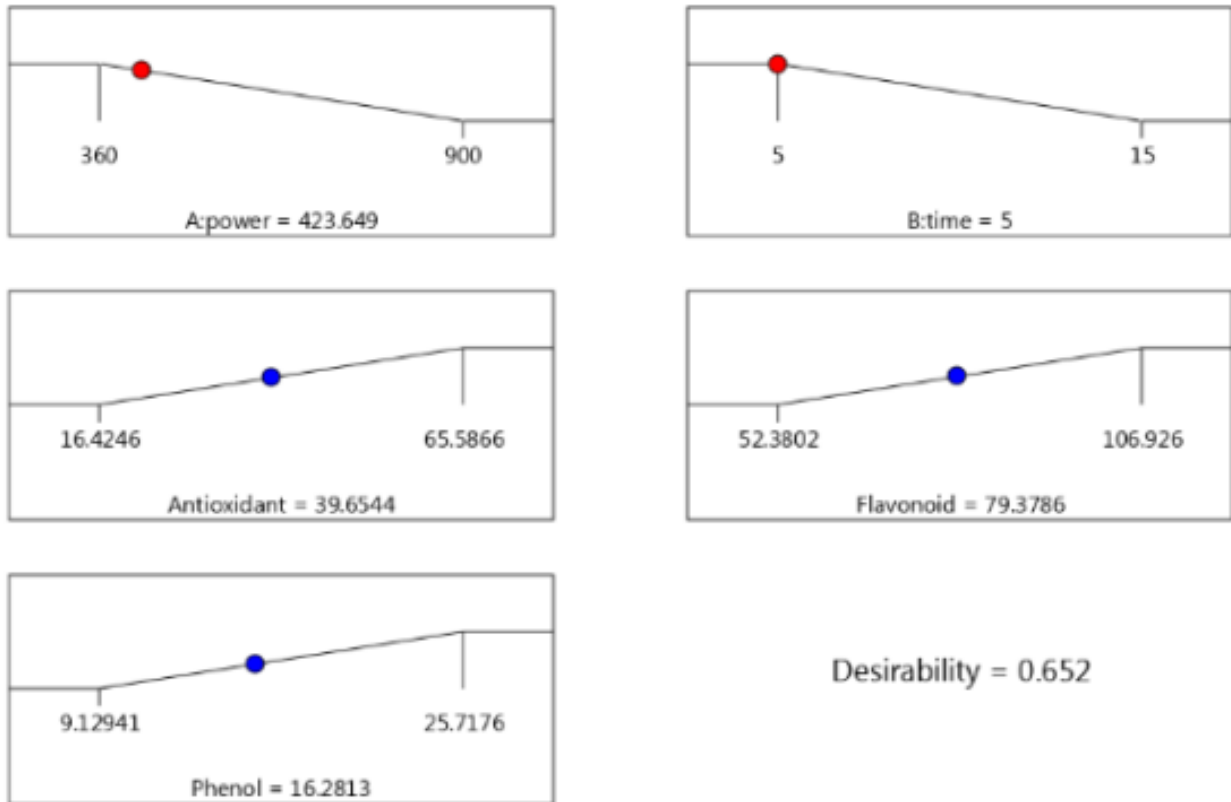
فلاونوئید و فنل کل زمانی بوده که مدت زمان بلانچینگ ۵ دقیقه و توان ۴۲۳/۶۴۹ وات بوده است. بهترین مقادیر

مقادیر بهینه‌سازی نیز در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به این شکل بهترین مقدار آنتی‌اکسیدان، مقدار

اثر تیمارهای فیزیکی در کاهش میزان آلودگی میکروبی و کنترل آفات...

داده شده است که برای مقدار فنل کل بهترین مقادیر مشاهده شد و برای آنتی اکسیدان و فلاونوئید مقادیر پیش بینی مناسب نبوده است و این امر را می توان از انحراف معیار به دست آمده نیز مشاهده کرد که در جدول ۵ آمده است.

پیش بینی شده برای آنتی اکسیدان ۳۹/۶۵ مقدار فلاونوئید ۷۹/۳۸ و برای فنل ۱۶/۵۲۸ بوده است که برای توان مایکروویو زمان بلانچینگ در محدوده و برای مقدار آنتی اکسیدان، فلاونوئید و فنل کل بیشترین مقدار جهت بهینه سازی انتخاب شد. مقادیر پیش بینی شده توسط مدل ها نیز در شکل ۹ نشان



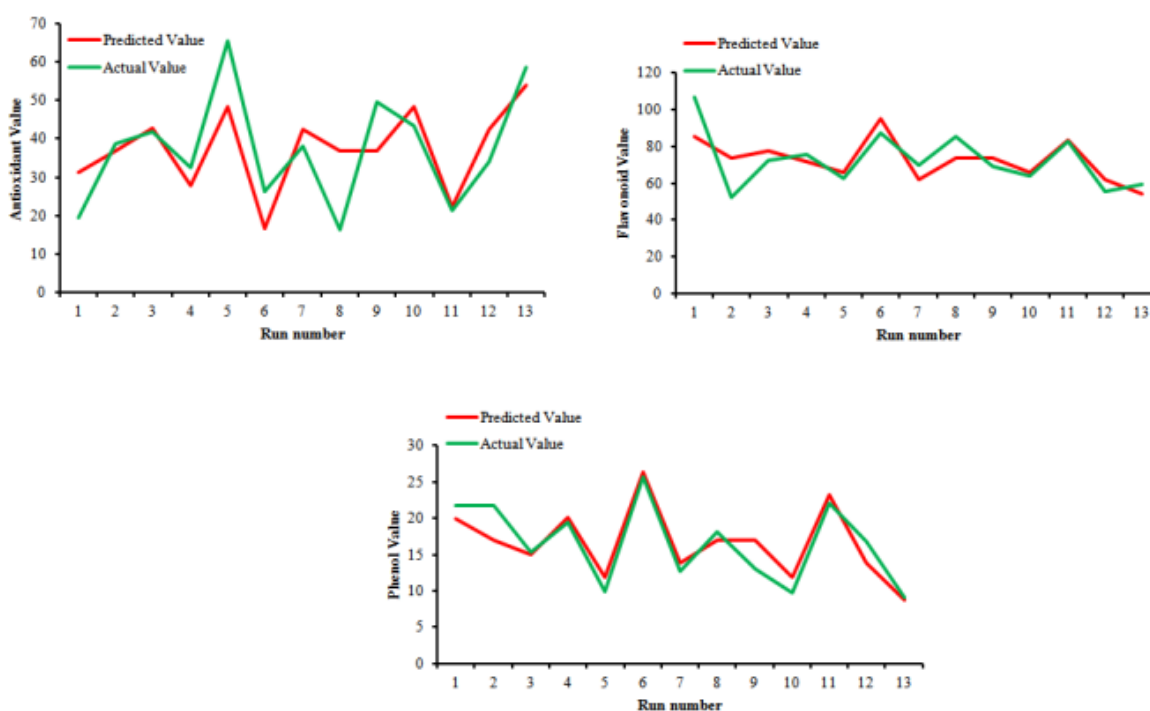
شکل ۸ مقادیر بهینه سازی برای مقادیر آنتی اکسیدان، فنل و فلاونوئید

Fig. 8. Optimization values for the amounts of antioxidants, phenol and flavonoids

جدول ۵- مقادیر انحراف معیار فنل کل، فلاونوئید و آنتی اکسیدان طی پیش تیمار بلانچینگ طی خشک کردن

Table 5- Standard deviation values of the antioxidants, total phenol and flavonoids contents: Blanching pretreatment during drying process

آنتی اکسیدان Antioxidant	فلاونوئید Flavonoid	فنل Phenol	اجرا Run
5.81	10.9	0.85	1
0.955	10.61	2.4	2
0.41	2.335	0.23	3
2.37	1.995	0.38	4
8.65	1.57	0.995	5
4.76	3.63	0.33	6
2.055	3.71	0.595	7
10.165	5.835	0.635	8
6.43	2.345	1.94	9
2.415	0.95	1.025	10
0.545	0.215	0.575	11
4.175	3.315	1.52	12
2.4	2.54	0.2	13



شکل ۹ مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها در پیش تیمار بلانچینگ طی فرایند خشک کردن
Fig. 9. Values predicted by the models: Blanching pretreatment during drying process

نتیجه‌گیری

آنتی‌اکسیدان طی خشک شدن کمتر می‌شود و کمترین مقدار آنتی‌اکسیدان زمانی است که ولتاژ و زمان کمترین مقدار در نظر گرفته می‌شود. افزایش

در گرمایش اهمیت برای مقدار آنتی‌اکسیدان، هرچه ولتاژ و زمان پیش تیمار بیشتر باشد مقدار

اثر تیمارهای فیزیکی در کاهش میزان آلودگی میکروبی و کنترل آفات...

مقدار فلاونوئید دقیقاً رابطه‌ای معکوس با آنتی‌اکسیدان برای فاکتورهای ولتاژ و زمان فرایند اهمیت مشاهده می‌شود و برای مقدار فنل نمونه‌ها نیز نمونه‌هایی که مدت زمان بیشتری در فرایند اهمیت بوده‌اند فنل بیشتری پس از خشک شدن داشته‌اند و با افزایش ولتاژ میزان فنل کاهش پیدا کرده است. برای پیش تیمار بلانچینگ نیز که زمان فرایند فاکتور اصلی بوده است مانند تأثیر زمان در پیش تیمار اهمیت بوده است و برای آنتی‌اکسیدان سبب شده تا بیشترین مقدار را داشته باشیم و هرچه زمان پیش تیمار بلانچینگ بیشتر می‌شود مقدار فنل کل و فلاونوئید کمتر خواهد شد. افزایش توان سبب کاهش مقدار آنتی‌اکسیدان و افزایش مقدار فنل کل و فلاونوئید شده است که مقدار فنل بسیار بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته است و مقادیر بهینه برای بلانچینگ در توان ۴۲۳/۶۹ وات و زمان ۵ دقیقه به دست آمد. برای پیش تیمار بلانچینگ می‌توان گفت که با افزایش مدت زمان فرایند، مقدار آنتی‌اکسیدان نمونه‌ها افزایش می‌یابد و برای مقدار فلاونوئید و فنل کل رابطه معکوس است.

توان مایکروویو سبب کاهش مقدار آنتی‌اکسیدان می‌شود و هرچه توان خشک کردن کمتر باشد مقدار آنتی‌اکسیدان بیشتری به دست می‌آید. در بررسی مقدار فلاونوئید در پیش تیمار اهمیت، افزایش زمان و ولتاژ پیش تیمار سبب کاهش مقدار فلاونوئید می‌شود و افزایش توان سبب افزایش مقدار فلاونوئید در نمونه‌های باقی می‌گردد. برای مقدار فنل کل نیز افزایش ولتاژ و زمان پیش تیمار اهمیت سبب کاهش مقدار آن می‌شود اما تأثیر زمان در کاهش مقدار فنل کل بیشتر از تأثیر ولتاژ اهمیت است. بر اساس بهینه‌سازی‌ها، بهترین توان مایکروویو ۳۶۰ وات، ولتاژ اهمیت ۴۰ ولت و زمان ۳ دقیقه است که توانسته بهترین مقدار را برای آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید و فنل به دست آورده است. در مجموع، برای پیش تیمار اهمیت می‌توان گفت که استفاده از فاکتورهای ولتاژ و زمان فرایند اهمیت سبب افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان پس از خشک شدن شده است که رابطه‌ای مستقیم با این دو فاکتورها دارد و افزایش هر یک سبب زیاده‌تر شدن مقدار آنتی‌اکسیدان پس از خشک شدن می‌شود. برای

قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دلیل حمایت از این پژوهش قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Ziaratban, A., and Ghajarjazi, E. 2016. Application of Artificial Neural Network (ANN) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 18(2): 413-425.

- Carranza-Concha, J., Benlloch, M., Camacho, M. M., and Martínez-Navarrete, N. 2012. Effects of drying and pretreatment on the nutritional and functional quality of raisins. *Food and Bio products Processing*. 90(2): 243-248.
- Castro, I., Teixeira, J. A., Salengke, S., Sastry, S. K., and Vicente, A. A. 2004. Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 5(1): 27-36.
- Chen, M. L., Yang, D. J., and Liu, S. C. 2011. Effects of drying temperature on the flavonoid, phenolic acid and antioxidative capacities of the methanol extract of citrus fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) peels. *International Journal of Food Science and Technology*. 46(6): 1179-1185.
- Dadali, G., Kılıç Apar, D., and Özbek, B. 2007. Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology*. 25(5): 917-924.
- Erenturk, S., and Erenturk, K. 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering*. 78(3): 905-912.
- Icier, F., and Ilicali, C. 2005. The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *European Food Research and Technology*. 220(3-4): 406-414.
- Izli, G. 2017. Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different methods. *Food Science and Technology*. 37(1): 139-147.
- Izli, N., IZLI, G., and Taskin, O. 2017. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*. 37(4): 604-612.
- Jaramillo-Flores, M. E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazon, M., Dorantes-Alvarez, L., Gutierrez-Lopez, G. F., and Hernandez-Sanchez, H. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Science and Technology International*. 9(4): 271-278.
- Marsilio, V., Lanza, B., Campestre, C., and De Angelis, M. 2000. Oven-dried table olives: textural properties as related to pectic composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80(8): 1271-1276.
- Li, W. L., Li, X. H., Fan, X., Tang, Y., and Yun, J. 2012. Response of antioxidant activity and sensory quality in fresh-cut pear as affected by high O₂ active packaging in comparison with low O₂ packaging. *Food Science and Technology International*. 18(3): 197-205.
- Liu, R. H. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *The Journal of Nutrition*. 134(12): 3479S-3485S.
- Mahmoodi, M., and Azadbakht, M. 2019. Investigating the effects of blanching and ohmic heating at microwave drying on some quality characteristics of carrot slices. *Innovative Food Technologies*. 6(2): 247-256.
- Mashayekhi, K.A. 2016. Guide plant physiology experiments (studies before and after harvest).
- Naghipour zadeh mahani, M., and Aghkhani, M. H. 2014. The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot. *Journal of Agricultural Machinery*. 6(1): 224-235.
- Sarang, S., Sastry, S. K., and Knipe, L. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*. 87(3): 351-356.

اثر تیمارهای فیزیکی در کاهش میزان آلودگی میکروبی و کنترل آفات...

- Schiffmann, R. F. 1992. Microwave processing in the US food industry: Dielectric and ohmic sterilization. *Food Technology (Chicago)*. 46(12): 50-52.
- Sultana, B., Anwar, F., Ashraf, M., and Saari, N. 2012. Effect of drying techniques on the total phenolic contents and antioxidant activity of selected fruits. *Journal of Medicinal Plants Research*. 6(1): 161-167.
- Vikram, V. B., Ramesh, M. N., and Prapulla, S. G. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. 69(1): 31-40.
- Youssef, K. M., and Mokhtar, S. M. 2014. Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of *Portulaca oleracea L.* leaves. *Journal of Nutrition and Food Sciences*. 4(6), 1000322.

Original Research

Mathematical Modeling of The Biochemical Properties of Carrots by Microwave Drying with Different Pretreatments Using Response Surface Methodology

Mohsen Azadbakht^{*}, Mohammad Vahedi Torshizi, Mohammad Javad Mahmoodi, Reza Ghazagh Jahed

Associate Professor, Department of Bio-system mechanical engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

*-Corresponding author: azadbakht@gau.ac.ir

Received: 20 June 2020, Accepted: 08 August 2020

[http://doi: 10.22092/FOODER.2020.343389.1273](http://doi:10.22092/FOODER.2020.343389.1273)

Abstract

Evaluation of the effect of ohmic pretreatments and blanching (enzyme removal) on changes in the biochemical properties of carrots was the purpose of this research in the drying process using the response surface method. Sliced carrot samples were added and left at 3, 5, and 7 minutes and 40, 60, and 80 volts. In the blanching pre-treatment, carrot samples were subjected to hot air from boiling distilled water for 5, 10, and 15 minutes to complete the pre-treatment process. This study dried slices of carrot samples at 360, 600, and 900 W using a microwave dryer. After drying, the amounts of antioxidant, total phenol, and flavonoid contents were determined. Then the results were analyzed using response surface methodology. The findings revealed that the high voltage and time in the ohmic pretreatment, as well as the time in the blanching pretreatment, had the lowest decreasing antioxidant content during the drying process. The lowest concentration of antioxidants was at the lowest voltage and time. Increasing the microwave power reduced the content of antioxidants, and lower drying powers had a higher antioxidant content in the dried samples. For the total phenol and flavonoid content in the ohmic pretreatment, the time and voltage of the pretreatment decreased their content, and increased power caused more total phenol and flavonoid content to be retained in the samples. Also, based on the optimization performed, the best microwave power was 360, 40 V ohmic voltage, and 3 minutes.

Keywords: Microwave Dryer, Biochemical Properties, Pre-treatment, Carrot, Response Surface Method.