

## مدل سازی و بهینه سازی عوامل موثر در خشک کردن بر خصوصیات کیفی تمشک سیاه (*Rabus fruticocus L.*) با روش سطح پاسخ

قاسم یوسفی<sup>۱</sup>، زهرا امام جمعه<sup>۲\*</sup>، زهره کرمی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران

۲-استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۸)

### چکیده

در این پژوهش، خشک کردن تمشک در یک خشک کن ترکیبی بستر سیال تحت مایکروویو مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی و پیش بینی خصوصیات کیفی این میوه از روش سطح پاسخ استفاده گردید. در این تحقیق تاثیر پنج متغیر توان مایکروویو (۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ وات)، دمای هوا (۵۵، ۷۰ و ۸۵ درجه سلسیوس)، سرعت جریان هوا (۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر بر ثانیه)، زمان شروع مایکروویو دهی (از لحظه ای که محتوای رطوبتی به میزان ۳۳۴، ۴۰۰ و ۴۶۶ درصد گرم آب بر گرم ماده خشک کاهش یافت) و مقدار ماده در محفظه بستر خشک کن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ گرم) بر روی ظرفیت جذب مجدد آب و میزان افت محتوای آنتوسیانین مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش ها بر اساس طرح کامپوزیت مرکزی با در نظر گرفتن سه سطح شامل نقاط مرکزی و محوری برای هر یک از فاکتورهای یاد شده، انجام شد. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که تاثیرات خطی و درجه دو هر پنج متغیر مستقل بر روی ظرفیت جذب مجدد آب و میزان افت ترکیبات آنتوسیانینی معنی دار بود. برای هر پاسخ با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی چندگانه، مدل های چند جمله ای درجه دوم به دست آمد. آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور ارزیابی صحت و دقت مدل های به دست آمده اجرا گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، نقطه بهینه به دست آمده برای هر دو ویژگی مورد مطالعه عبارت است از: توان مایکروویو ۶۰۰ وات، دما ۷۴°C، سرعت جریان هوا ۲۲/۳ متر بر ثانیه و مقدار ماده در ۵۳ گرم، زمان شروع مایکروویو از لحظه ای که ۴۶۶ درصد محتوای رطوبتی کاهش یافت. مدل ارائه شده برای پیش بینی مقادیر متغیرهای وابسته نتایج بسیار نزدیکی با یافته های تجربی بدست آمده داشت.

**کلید واژگان:** ظرفیت جذب مجدد آب، آنتوسیانین، روش سطح پاسخ، مایکروویو، تمشک.

## ۱- مقدمه

با افزایش جمعیت جهانی، نیاز به مواد غذایی روز به روز افزایش می‌یابد. سازمان خواروبار جهانی (FAO) اعلام کرده است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۸ میلیارد نفر خواهد رسید که تامین مواد غذایی این جمعیت نیاز به کوشش و پیگیری در زمینه کشاورزی و علوم وابسته دارد. بر اساس برآوردهای موجود تا سال ۲۰۳۰ باید مقدار تولید محصولات غذایی در کشورهای در حال توسعه ۷۰ درصد بیشتر از تولید فعلی آن باشد تا بتواند همگام با جمعیت رو به رشد حرکت کند و به درستی جوابگوی نیازهای آن‌ها باشد. میوه‌ها و سبزیجات و خشکبار نقش بسیار مهمی را در تغذیه انسان بازی کرده و نقش بسزایی در کاهش انواع سرطان، بیماری‌های قلبی و بسیاری از بیماری‌های مزمن دارند. ترکیبات فیتوشیمیایی به‌عنوان جزئی از ترکیبات میوه‌ها و سبزیجات، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان قوی عمل نموده و قادر به تغییر فعالیت‌های متابولیکی و سم‌زدایی از مواد سرطان‌زا و یا حتی تغییر سلول‌های سرطانی می‌باشند. در این میان تمشک با طعم و مزه بسیار مطلوب و بی‌نظیر یکی از میوه‌هایی محسوب می‌شود که حاوی مقادیر بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مثل آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی می‌باشد که می‌تواند در برابر رادیکال‌های آزاد مقاومت ایجاد کند [۱].

تمشک (*Rubus idaeus*) درختچه‌ای از خانواده *Rosaceae* و تیره *Idaeobatus* که به دو صورت وحشی یا اصلاح شده در جنگل‌های شمال کشور، دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز و نواحی غرب کشور فراوان است. این میوه بومی آمریکا می‌باشد ولی امروزه در اکثر نقاط معتدله تولید می‌شود. بیش از ۲۰۰ گونه از آن شناسایی شده است، اما تنها تعداد اندکی از آنها از نظر تجاری اهمیت دارند که در بین آنها می‌توان به تمشک سرخ اروپا (*R. idaeus subsp. vulgatus Arrhen*)، تمشک قرمز آمریکای شمالی (*R. idaeus subsp. strigosus Michx*) و تمشک سیاه شرق ایالات متحده آمریکا (*R. occidentalis L*) اشاره کرد [۲].

تمشک به‌عنوان یک میوه حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، از

آسیب‌های ناخواسته به غشاهای سلول و دیگر ساختارها در بدن با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد، جلوگیری می‌کند که وجود این ترکیبات یکی از دلایل اصلی افزایش توجه مردم به استفاده از آنها در رژیم غذایی‌شان می‌باشد [۴ و ۳].

آنتوسیانین‌ها، گروه بزرگی از مواد آنتی‌اکسیدانی موجود در تمشک هستند که رنگ آنها به علت وجود این ترکیبات می‌باشد. از مهمترین آنتوسیانین‌های موجود در تمشک می‌توان به *cyanidin 3-glucoside*، *cyanidin 3-rutinoside*، *sambubioside*، *3-xylosyl rutinoside* اشاره کرد (۲). تمشک سیاه (*occidentalis Rubus*) بالاترین محتوای آنتوسیانین را در میان انواع خانواده توت‌ها دارد و در کل محتوای آنتوسیانین آن تا ۱۷۷۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش شده است [۵]. آنتوسیانین‌های تمشک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی منحصر به فرد و همچنین خاصیت ضد میکروبی از قبیل قابلیت جلوگیری از رشد بیش از حد یک باکتری و قارچ در بدن دارد. تمشک محصولی است که به دلیل عطر و طعم منحصر به فرد خود، نیاز آبه‌وهوایی خاص و هزینه‌های بالای تولید، با ارزش است. زمان ماندگاری این میوه به علت بالا بودن سرعت تنفسی بعد از رسیدن بسیار کوتاه می‌باشد. دما، رطوبت، حساسیت به عفونت‌های قارچی مانند *Botrytis Cinerea* و *Rhizopus* از مهمترین عوامل موثر بر کاهش زمان ماندگاری این محصول می‌باشد. تحقیقات زیادی برای افزایش ماندگاری تمشک در زمینه‌های اصلاح ژنتیک و بسته‌بندی صورت گرفته، اما نتایج حاصل رضایت‌بخش نبوده است [۶، ۷ و ۸]. با وجود ارزش و خواص درمانی بالای این محصول، در صنایع تبدیلی نیز اقدامات چندانی صورت نگرفته است. این محصول بیشتر به صورت تازه خوری مصرف می‌شود و مقدار خیلی کمی از آن صرف تولید لیکور و مارمالاد می‌شود و بیش از ۴۰٪ این محصول قبل از رسیدن به دست مصرف کننده از بین می‌رود. خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها برای حفظ و نگهداری مواد غذایی و افزایش عمر مفید آنها می‌باشد. در مقایسه با روش‌های دیگر حفظ و نگهداری مواد غذایی، روش خشک کردن بسیار ساده بوده و طعم، ظاهر و ارزش‌های

انتهای فرایند بازجذب آب کیفیت محصولات کاملاً از هم متفاوت است [۱۸]. در واقع فرایند بازجذب آب بیانگر میزان آسیب و جراحت وارده بر محصولات طی خشک کردن و تیمارهای صورت گرفته بر روی آنها می‌باشد [۱۹].

فرایند آب‌گیری بافت‌های گیاهی خشک شده به طور همزمان از سه فرایند تشکیل شده است: جذب آب توسط مواد خشک شده، تورم و خروج مواد جامد محلول [۲۰]. در طی فرایند جذب مجدد آب ترکیبات با ارزشی مانند املاح، ویتامین‌ها، قندها، اسیدها، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و... از محصول خارج شده و وارد آب می‌شود. یکی از این ترکیبات مهم موجود در تمشک ترکیبات آنتوسیانینی هستند که علاوه بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی در بیان کیفیت ظاهری (رنگ) و مشتری پسندی نقش به‌سزایی دارد. میزان خروج این ترکیبات نه تنها به شرایط و نوع نحوه آبگیری مجدد بستگی دارد بلکه به نوع روش و شرایط خشک کردن وابسته است. هر چه میزان صدمات مکانیکی وارده به محصول خشک شده طی فرایند خشک کردن کمتر بوده و ویژگی و ساختار بافت کمتر تغییر کرده باشد طوری که بازسازی به سرعت صورت گیرد، میزان افت این محصولات نیز کمتر می‌باشد [۲۱].

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر شرایط خشک کردن تمشک در یک خشک‌کن بستر سیال تحت مایکروویو بر روی میزان ظرفیت بازجذب آب و میزان افت محتوای ترکیبات آنتوسیانینی آن طی این فرایند با روش سطح پاسخ می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### آماده‌سازی نمونه

تمشک از بازار محلی (در استان گیلان، ایران) خریداری شد و در اسرع وقت در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  ذخیره گردید. برای انجام آزمایش، آنها را با آب شسته و سطح آنها را با کاغذ صافی خشک کرده، و سپس آنها را بر اساس اندازه، رنگ، استحکام و آسیب‌های فیزیکی از هم جدا گردیدند.

تغذیه‌ای مواد غذایی را بهتر حفظ می‌کند. خشک‌کن بستر سیال یکی از مناسب‌ترین خشک‌کن‌های موجود در صنایع غذایی برای خشک کردن مواد غذایی ریز و گرانولی با قابلیت شناور شدن می‌باشد. در میان روش‌های جدید خشک کردن، روش بستر سیال از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. عمل شناورسازی دارای مزایایی از قبیل: توزیع یکنواخت رطوبت، انتقال جرم و حرارت سریع و یکنواخت بین هوای گرم و مواد جامد، جلوگیری از تشکیل نقاط داغ، اختلاط مناسب و انتقال آسان مواد و کنترل آسان عملیات می‌باشد [۹ و ۱۰]. خشک کردن با روش‌های معمولی به علت طولانی بودن زمان فرایند خشک کردن و بالا بودن دما آسیب زیادی به عطر و طعم و مواد مغذی وارد می‌کند [۱۱]. یکی از راه‌هایی که اخیراً جهت بهبود کیفیت محصولات و کاهش زمان فرایند خشک کردن توسط محققان زیادی پیشنهاد شده است، استفاده از امواج مایکروویو می‌باشد [۱۲، ۱۴-۱۳] اولین مطالعات در مورد امکان خشک کردن میوه و سبزی با یک خشک‌کن ترکیبی بسترسیال- مایکروویو توسط اسمیت (۱۹۷۰) صورت پذیرفت. بعد از آن محصولات مختلفی مانند: سویا، قارچ، پیاز، سیب، موز، کیوی و... با این روش خشک گردیدند [۱۵، ۱۶]. محصولات تولید شده با این روش از کیفیت ظاهری و ارزش تغذیه‌ای بالاتری نسبت به روش‌های معمولی و صرفاً با هوای گرم برخوردار می‌باشند. یکی از شاخص‌های مهم محصولات خشک شده سرعت و ظرفیت آبگیری مجدد آنها می‌باشد. طی فرایند آبگیری مجدد، محصولات متخلخل خشک شده دچار تغییرات زیادی از جمله تغییر محتوای آب و مواد جامد محلول، تخلخل، حجم، ویژگی‌های بافت، افت و خروج مواد مغذی و... می‌شوند [۱۷]. شرایط خشک کردن، تغییرات فیزیکوشیمیایی طی خشک کردن و نحوه بازجذب آب بر کیفیت محصولات بازسازی شده تاثیر می‌گذارد. روش و شرایط فرایند خشک کردن بطور چشمگیری بر ویژگی‌های کیفی محصولات مانند: رنگ، بافت، چگالی، تخلخل، خصوصیات بازجذب و... تاثیر می‌گذارد. بنابراین هرچند برای بازسازی نمونه‌های خشک شده شرایط یکسان باشد ولی به علت متفاوت بودن روش و شرایط فرایند خشک کردن، در

## روش خشک کردن

از یک سیستم خشک‌کن ترکیبی بستر سیال - مایکروویو جهت خشک کردن تمشک‌ها استفاده گردید. از جمله ویژگی‌های این سیستم خشک‌کن قابلیت کنترل تمام قسمت‌های آن (دمنده، گرم کننده و مایکروویو)، و ثبت آنالین دما، فشار، رطوبت نسبی، وزن و سرعت جریان هوا توسط کامپیوتر می‌باشد. محفظه خشک‌کن به شکل یک استوانه با ابعاد  $4 \times 12$  اینچ بود. نمونه‌ها طبق طرح آماری روش سطح پاسخ تا کاهش محتوای رطوبت از  $56.0 \pm 3.0\%$  به  $5.0 \pm 3.0\%$  بر مبنای خشک در آن خشک گردیدند.

## ظرفیت باز جذب مجدد آب

آبگیری نمونه‌های خشک در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. ۱۵ گرم از نمونه‌ها را به ۲۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه کرده و بطور کامل مخلوط گردید و به مدت ۱۲ ساعت عمل آبگیری صورت گرفت. بعد از این مدت نمونه‌ها را از آب جدا کرده و سطح آنها را با کاغذ صافی به آرامی خشک کرده و در نهایت توزین شدند. تفاوت وزن نمونه‌ها قبل و بعد از عمل باز جذب بیانگر ظرفیت باز جذب نمونه‌هاست که با رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$RC = \frac{W_0 - W_r}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

RC: ظرفیت باز جذب آب؛  $W_0$  و  $W_r$ : به ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از آبگیری (گرم)؛  $W_d$ : وزن ماده خشک نمونه (گرم)

## تعیین درصد افت آنتوسیانین

جهت تعیین درصد افت آنتوسیانین میزان آنتوسیانین‌های موجود در نمونه‌های باز جذب شده و آب حاوی آنها تعیین گردید. و از طریق رابطه (۲) درصد افت آنتوسیانین محاسبه گردید.

$$\text{anthocyanin Loss \%} = \frac{TAC_w}{TAC_w + TAC_r} \times 100 \quad (2)$$

$TAC_w$  کل آنتوسیانین وارد شده به آب؛  $TAC_r$  کل آنتوسیانین نمونه باز جذب شده.

## استخراج آنتوسیانین

استخراج آنتوسیانین توسط اتانول همراه با اسید کلریدریک ۰/۱ مولار با نسبت ۱۵:۸۵ انجام شد. به این صورت که ابتدا ۱۵ گرم از نمونه‌ها وزن شدند و با ۲۰ میلی‌لیتر حلال مخلوط شده و به کمک مخلوط‌کن کاملاً همگن شدند. سپس مخلوط‌کن با ۲۰ میلی‌لیتر حلال شسته شده و به نمونه بالا (۱۵g) نمونه گیلاس سیاه خشک شده و  $20 \text{ mL}$  حلال) اضافه شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای  $4^\circ \text{C}$  نگه داشته شده و سپس با دور  $4000 \text{ g}$  سانتریفوژ شدند ( $10 \text{ min}$ ،  $4000 \text{ rpm}$ ) مجدداً به نمونه‌ها ۵ میلی‌لیتر حلال اضافه شده و بار دیگر سانتر یفوژ شدند (۲۲) اندازه‌گیری آنتوسیانین توسط روش اختلاف pH در دو pH ۱ و ۵/۰ و در دو طول موج  $510 \text{ nm}$  و  $700 \text{ nm}$  توسط اسپکتروفتومتر (سسیل، CE 2502، انگلستان) سنجیده شد. مقدار ۱cc از نمونه به دو بالن ۲۵ میلی‌لیتری منتقل کرده و به ترتیب با تامپون‌های  $\text{pH}=1$  و  $5/0$   $\text{pH}=$  به حجم رسانده شدند. برای به تعادل رسیدن فرم‌های آنتوسیانین و تغییر شکل آنها در بافرهای مختلف حدود ۱۵ دقیقه زمان لازم است. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها در کووت ۱۰ میلی‌متر با طول موج  $510 \text{ nm}$  خوانده شدند. جذب در طول موج  $500 \text{ nm}$  که طول موج ماکزیمم است و طول موج  $700 \text{ nm}$  (برای حذف عوامل کدورت که ممکن است در نمونه باشند و خطا ایجاد کنند) اندازه‌گیری شد که در این حالت‌ها هر کدام از جذبها باید قبلاً با نمونه شاهد صفر شده باشند.

جذب نمونه مطابق فرمول زیر محاسبه شد:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH} 1} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH} 4.5} \quad (3)$$

آنتوسیانین کل مطابق فرمول زیر محاسبه شد:

(۴)

A: جذب نمونه محاسبه شده در بالا

MW: وزن مولکولی (برحسب سیانیونین - ۳ - گالاکتوزید

$502/5 =$

DF: فاکتور رقت

E: جذب مولار

توجه: MW و E به آنتوسیانین غالب در نمونه بستگی دارد. اگر ترکیبات نمونه ناشناخته باشد محاسبات رنگ براساس سیانیدین-۳- گلاکتوزید (E=34700 و MW=502/5) انجام می شود [۲۲ و ۲۳].

### طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرآیندهایی بکار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می‌گیرد. شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه‌ی روش سطح پاسخ شده است.

با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از اینرو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل: توان مایکروویو (X<sub>1</sub>), دمای هوای ورودی (X<sub>2</sub>)، سرعت جریان هوا (X<sub>3</sub>), زمان شروع اعمال مایکروویو وقتی که محتوای رطوبتی به مقدار مشخصی کاهش می‌یابد (X<sub>4</sub>) و مقدار نمونه در بستر (X<sub>5</sub>) در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت؛ در جدول ۱ متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها نشان داده شده است.

جدول ۱ متغیرهای فرایند خشک کردن و سطوح آنها در طرح کامپوزیت مرکزی

متغیر	نماد	سطوح متغیر
		+۱      ۰      -۱
توان مایکروویو (وات)	X <sub>1</sub>	۶۰۰      ۳۰۰      ۰
دمای هوا (سلسیوس)	X <sub>2</sub>	۸۵      ۷۰      ۵۵
سرعت جریان هوا (متر در ثانیه)	X <sub>3</sub>	۲۵      ۲۰      ۱۵
زمان شروع مایکروویو دهی بر اساس مقدار کاهش محتوای رطوبتی (% بر مبنای خشک)	X <sub>4</sub>	۴۶۶      ۴۰۰      ۳۳۴
مقدار نمونه (گرم)	X <sub>5</sub>	۱۵۰      ۱۰۰      ۵۰

$\beta_4^2$  و  $\beta_5^2$  اثرات مربعی و  $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{15}, \beta_{23}, \beta_{24}, \beta_{25}, \beta_{34}, \beta_{35}$  اثرات متقابل می‌باشند.

در این تحقیق از طرح کامپوزیت مرکزی با پنج متغیر مستقل شامل توان مایکروویو، دمای هوا، سرعت جریان هوا، زمان شروع مایکروویو دهی و مقدار نمونه، در سه سطح، یک بلوک و ۱۰ تکرار در نقطه مرکزی طرح (برای محاسبه تکرار پذیری فرآیند) جهت بررسی تاثیر شرایط بر پاسخ‌ها (ظرفیت بازجذب مجدد آب و درصد افت آنتوسیانین) و بهینه سازی فرآیندهای مذکور استفاده شد (جدول ۲) [۲۴].

مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ عموماً رابطه‌ی درجه دوم می‌باشد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، مدل چند متغیره به صورت معادله زیر می‌باشد.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_1 X_1^2 + \beta_2 X_2^2 + \beta_3 X_3^2 + \beta_4 X_4^2 + \beta_5 X_5^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{15} X_1 X_5 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{25} X_2 X_5 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{35} X_3 X_5 + \beta_{45} X_4 X_5$$

در معادله مذکور، Y پاسخ پیش بینی شده،  $\beta_0$  ضریب ثابت،  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  ضرایب خطی،  $\beta_1^2, \beta_2^2, \beta_3^2$

جدول ۲ نتایج آزمون ویژگی‌های کیفی در نقاط مشخص شده با طرح کامپوزیت مرکزی

تیمار	توان مایکروویو (وات)	دمای هوا (سلسیوس)	سرعت هوا (متر بر ثانیه)	محتوای رطوبتی کاهش یافته هنگام اعمال مایکروویو (گرم / گرم ماده خشک)	مقدار ماده (گرم)	افست آنتوسیانین (%)	ظرفیت بازجذب آب (%)
۱	۶۰۰	۵۵	۲۵	۴۶۶	۵۰	۱۶/۳۲	۱۹۷/۸
۲	۶۰۰	۵۵	۲۵	۳۳۴	۱۵۰	۱۸/۸۴	۱۷۴/۸
۳	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۸/۴۷	۱۸۴
۴	۶۰۰	۸۵	۲۵	۴۶۶	۱۵۰	۲۵/۱۷	۲۰۵/۵
۵	۶۰۰	۸۵	۲۵	۳۳۴	۵۰	۳۲/۴۰	۱۶۴/۱
۶	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۹/۶۳	۱۸۲/۵
۷	۳۰۰	۸۵	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۲۴/۸۹	۱۷۳/۳
۸	.	۸۵	۲۵	۳۳۴	۱۵۰	۶۳/۹۴	۱۴۲/۶
۹	۶۰۰	۵۵	۱۵	۳۳۴	۵۰	۳۷/۱۴	۱۸۲/۵
۱۰	۶۰۰	۸۵	۲۵	۴۶۶	۵۰	۱۵/۴۸	۲۱۴/۷
۱۱	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۵۰	۲۷/۵۸	۱۹۳/۲
۱۲	.	۸۵	۲۵	۳۳۴	۵۰	۵۰/۷۷	۱۷۴/۸
۱۳	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۹/۶۵	۱۸۷/۱
۱۴	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۶/۸۴	۱۷۷/۹
۱۵	۶۰۰	۵۵	۱۵	۳۳۴	۱۵۰	۲۰/۸۹	۲۰۰/۹
۱۶	۳۰۰	۷۰	۲۰	۳۳۴	۱۰۰	۱۷/۹۵	۲۰۰/۹
۱۷	۳۰۰	۵۵	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۲۵/۵۵	۱۶۲/۵
۱۸	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۹/۴۷	۱۸۵/۵
۱۹	.	۵۵	۱۵	۴۶۶	۱۵۰	۳۳/۲۹	۱۴۲/۶
۲۰	۶۰۰	۵۵	۱۵	۴۶۶	۱۵۰	۲۷/۵۰	۱۹۶/۳
۲۱	.	۵۵	۲۵	۴۶۶	۵۰	۲۵/۱۵	۱۵۰/۳
۲۲	۶۰۰	۸۵	۱۵	۴۶۶	۱۵۰	۲۱/۷۶	۲۰۵/۵
۲۳	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۹/۹۹	۱۸۵/۵
۲۴	۶۰۰	۸۵	۱۵	۴۶۶	۵۰	۱۱/۹۸	۱۹۹/۳
۲۵	.	۸۵	۲۵	۴۶۶	۱۵۰	۶۹/۴۶	۱۷۴/۸
۲۶	۳۰۰	۷۰	۱۵	۴۰۰	۱۰۰	۱۵/۴۴	۱۷۶/۳
۲۷	۶۰۰	۵۵	۱۵	۴۶۶	۵۰	۱۷/۹۳	۱۶۲/۵
۲۸	.	۵۵	۲۵	۳۳۴	۵۰	۲۸/۳۷	۱۶۵/۶
۲۹	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۹/۰۵	۱۹۳/۲
۳۰	۶۰۰	۵۵	۲۵	۴۶۶	۱۵۰	۲۳/۶۷	۱۹۳/۲
۳۱	۶۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۳/۹۴	۱۹۶/۳
۳۲	.	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۲۲/۴۸	۱۷۴/۸
۳۳	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۸/۶۱	۱۹۹/۳
۳۴	.	۸۵	۱۵	۳۳۴	۵۰	۳۷/۹۹	۲۰۰/۹
۳۵	۶۰۰	۸۵	۲۵	۳۳۴	۱۵۰	۱۹/۳۰	۱۵۶/۴
۳۶	.	۵۵	۱۵	۳۳۴	۵۰	۲۹/۴۹	۱۸۷/۱
۳۷	۶۰۰	۸۵	۱۵	۳۳۴	۱۵۰	۱۶/۱۱	۱۸۸/۶
۳۸	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۵۰	۱۹/۹۶	۱۸۵/۵
۳۹	.	۵۵	۱۵	۴۶۶	۵۰	۲۴/۰۶	۱۵۱/۸
۴۰	۶۰۰	۸۵	۱۵	۳۳۴	۵۰	۲۸/۵۶	۱۷۷/۹
۴۱	.	۸۵	۱۵	۴۶۶	۱۵۰	۴۹/۲۵	۱۹۴/۷
۴۲	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۲۷/۴۷	۱۷۰/۲
۴۳	.	۵۵	۲۵	۴۶۶	۱۵۰	۳۳/۷۶	۱۲۵/۷
۴۴	.	۸۵	۱۵	۴۶۶	۵۰	۳۳/۰۳	۱۹۹/۳
۴۵	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۶۶	۱۰۰	۱۸/۳۵	۱۹۰/۱
۴۶	.	۵۵	۱۵	۳۳۴	۱۵۰	۲۹/۳۹	۱۸۸/۶
۴۷	.	۸۵	۲۵	۴۶۶	۵۰	۴۴/۸۶	۱۹۷/۸
۴۸	۳۰۰	۷۰	۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۷/۸۷	۱۸۰/۹
۴۹	.	۸۵	۱۵	۳۳۴	۱۵۰	۴۲/۱۵	۱۹۱/۷
۵۰	.	۵۵	۲۵	۳۳۴	۱۵۰	۳۲/۷۸	۱۴۸/۷
۵۱	۳۰۰	۷۰	۲۵	۴۰۰	۱۰۰	۱۸/۰۴	۱۶۴/۱
۵۲	۶۰۰	۵۵	۲۵	۳۳۴	۵۰	۲۹/۵۰	۱۶۵/۶

مقدار ماده:  $X_5$  و زمان شروع مایکروویو بر اساس کاهش محتوای رطوبت:  $X_4$ ، سرعت هوا:  $X_3$ ، دمای هوا:  $X_2$ ، توان مایکروویو:  $X_1$

## ۳- نتایج

مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم برای داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب‌گزینه‌ش گردد. نتایج حاصل از مدل درجه دوم سطح پاسخ در فرم ANOVA در جدول ۳ آورده شده است.

نمونه‌ها طبق طرح آماری تا محتوای رطوبتی  $50 \pm 3$  درصد خشک گردیدند و اندازه‌گیری ظرفیت بازجذب آب و کاهش میزان محتوای ترکیبات آنتوسانین آنها صورت گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول ۲ آمده است. به منظور حصول

جدول ۳ جدول تجزیه آنالیز واریانس

درصد ظرفیت بازجذب آب			درصد افت ترکیبات آنتوسانی			درجه	
عدد	ضریب	میانگین	عدد	ضریب	میانگین	آرادی	
p	رگرسیون	مربعات	p	رگرسیون	مربعات		
<۰/۰۰۰۱	۱۸۳/۷۶	۸۴۶/۴۹۹	<۰/۰۰۰۱	۱۸/۹۶	۳۴۷/۵۹۳	۲۰	مدل
<۰/۰۰۰۱	۷/۹۴	۲۱۴۲/۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	-۸/۰۵	۲۲۰۳/۱۳۶	۱	X <sub>1</sub>
<۰/۰۰۰۱	۷/۸۰	۲۰۶۹/۶۰	<۰/۰۰۰۱	۳/۹۳	۵۲۳/۹۲۳	۱	X <sub>2</sub>
<۰/۰۰۰۱	-۶/۷۶	۱۵۵۵/۸۸۲	۰/۰۰۱۲	۲/۱۱	۱۵۱/۹۳۷	۱	X <sub>3</sub>
۰/۰۲۰۷	۲/۶۶	۲۴۰/۷۱۲	۰/۰۳۴۰	-۱/۳۱	۵۸/۳۲۷	۱	X <sub>4</sub>
۰/۱۵۸۱	-۱/۵۸	۸۴/۷۰۹	۰/۰۰۱۲	-۲/۱۱	۱۵۱/۹۵۸	۱	X <sub>5</sub>
<۰/۰۰۰۱	-۵/۵۶	۹۸۸/۶۴۲	<۰/۰۰۰۱	-۵/۵۱	۹۷۰/۰۶۸	۱	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>
۰/۰۰۰۷	۴/۲۲	۵۶۸/۹۶۹	۰/۰۰۰۹	-۲/۲۴	۱۶۰/۳۷۹	۱	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>
<۰/۰۰۰۱	۷/۰۹	۱۶۰۹/۳۳۶	۰/۰۴۳۸	-۱/۲۸	۵۲/۳۷۷	۱	X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>
<۰/۰۰۰۱	۵/۴۶	۹۵۴/۸۴۵	<۰/۰۰۰۱	-۳/۰۱	۲۹۰/۲۲۳	۱	X <sub>1</sub> X <sub>5</sub>
۰/۳۱۴۵	-۱/۱۵	۴۲/۳۲۰	<۰/۰۰۰۱	۲/۸۷	۲۶۳/۵۶۷	۱	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
<۰/۰۰۰۱	۹/۰۱	۲۵۹۶/۸۰	۰/۸۲۰۳	۰/۱۴	۰/۶۲۳	۱	X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>
۰/۰۴۱۲	-۲/۴۰	۱۸۳/۶۸۱	۰/۰۴۹۱	۱/۲۵	۴۹/۷۴۳	۱	X <sub>2</sub> X <sub>5</sub>
<۰/۰۰۰۱	۷/۲۸	۱۶۹۷/۵۰۲	۰/۹۶۳۸	۰/۰۳	۰/۰۲۵	۱	X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>
۰/۰۰۰۱	-۴/۸۹	۷۶۴/۴۰۵	۰/۲۲۹۴	۰/۷۵	۱۷/۸۲۴	۱	X <sub>3</sub> X <sub>5</sub>
۰/۸۰۰	-۰/۲۹	۲/۶۴۵	<۰/۰۰۰۱	۳/۹۳	۴۹۵/۱۶۵	۱	X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>
۰/۴۸۸۹	۲/۸۳	۱۹/۸۶۱	۰/۹۳۶۷	۰/۱۸	۰/۰۷۶	۱	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>
۰/۰۰۰۹	-۱۴/۸۰	۵۴۲/۳۳۸	۰/۰۰۲۶	۷/۱۸	۱۲۷/۷۴۶	۱	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>
۰/۰۰۴۲	-۱۲/۵۰	۳۸۶/۸۸۰	۰/۵۶۰۴	-۱/۲۹	۴/۱۰۸	۱	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>
۰/۰۰۳۵	۱۲/۸۰	۴۰۵/۵۵۱	۰/۹۵۷۲	۰/۱۲	۰/۰۳۵	۱	X <sub>4</sub> <sup>2</sup>
۰/۱۰۹۴	۶/۶۷	۱۰۹/۹۹۸	۰/۰۱۳۴	۵/۷۴	۸۱/۴۹۶	۱	X <sub>5</sub> <sup>2</sup>
		۴۰/۴۸۷			۱۱/۸۵۷	۳۱	مانده‌ها
۰/۹۱۵۷		۳۱/۱۴۵	۰/۲۳۹۶		۱۳/۲۸۸	۲۲	عدم برازش
		۶۳/۳۲۳			۸/۳۵۷	۹	خطای خالص
						۵۱	کل
	۱۸۰/۵			۲۶/۷۵			میانگین
	۶/۳۶			۳/۴۴			انحراف معیار
	۳/۵۲			۱۲/۸۷			C.V. %
	۰/۹۳۰۹			۰/۹۴۹۸			R <sup>2</sup>
	۰/۸۸۶			۰/۹۱۷			Adj- R <sup>2</sup>
	۰/۸۲۴			۰/۸۴۰			Pred R <sup>2</sup>

مقدار ماده: X<sub>5</sub> و زمان شروع مایکروویو بر اساس کاهش محتوای رطوبت: X<sub>4</sub>، سرعت هوا: X<sub>3</sub>، دمای هوا: X<sub>2</sub>، توان مایکروویو: X<sub>1</sub>

## ۴- بحث

### بررسی تاثیر فاکتورها بر روی افت محتوای

### آنتوسیانین طی آبیگری

شکل ۱ اثرات متقابل دمای هوای ورودی و توان مایکروویو را بر روی افت محتوای آنتوسیانین نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش توان مایکروویو و کاهش دمای هوای ورودی از میزان افت آنتوسیانین کاسته می‌شود. تاثیر مایکروویو بر روی کاهش مقدار افت آنتوسیانین به اندازه‌ای محسوس است که در صورت عدم استفاده میزان افت آنتوسیانین ۲ تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. علت اصلی نفوذ ترکیبات آنتوسیانینی طی فرایند آبیگری از نمونه‌های خشک شده به داخل آب وجود جراحات و زخم‌های موجود در سطح می‌باشد که در اثر تنش‌های مکانیکی و حرارتی طی فرایند خشک‌کردن بوجود آمده است. استفاده از سیستم حرارتی مایکروویو و با افزایش توان آن مدت زمان انجام فرایند خشک‌کردن کاسته شده و در نتیجه از میزان حجم آسیب‌های وارد بر محصول می‌کاهد. از طرفی به علت حرارت‌دهی حجمی و ایجاد یک شیب انتشار ثابت خروج آب از داخل بافت به بیرون از ایجاد لایه ترد و شکننده در سطح جلوگیری به عمل می‌آورد. اعمال مایکروویو برای محصولاتی که حاوی رطوبت زیادی هستند مناسب نیست. اعمال مایکروویو باعث افزایش فشار بخار در داخل بافت می‌شود و هر چه محتوای رطوبتی زیاد باشد تورم ایجاد شده به علت فشار بخار بیشتر شده و احتمال تخریب و ترک‌شدن بافت را افزایش می‌دهد [۲۵، ۲۶]. بنابراین توجه به زمان اعمال مایکروویو و طول مدت و توان آن با توجه به نوع محصول از اهمیت خاصی برخوردار است. در مورد میوجات با بافت ظریف و سست مانند تمشک هر چه زمان اعمال مایکروویو در مراحل پایانی صورت گیرد مناسب‌تر است. نتایج حاصل نیز نشان می‌دهد که اعمال مایکروویو در مراحل پایانی و با محتوای رطوبتی کمتر تا حد زیادی می‌تواند میزان نشت ترکیبات آنتوسیانینی را به بیرون کاهش دهد (شکل ۲). شکل ۳ اثرات متقابل سرعت جریان هوا و مقدار ماده در بستر را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت جریان هوا و مقدار ماده در محفظه بستر تلاطم زیاد شده و میزان برخوردها بین مواد با یکدیگر و با محفظه بیشتر می‌شود. با کاهش میزان سرعت جریان هوا تا مینیمم سرعت

نتایج حاصل نشان داد که مدل درجه دوم برازش شده با ضریب اطمینان بیش از ۹۳ درصد ( $R^2 > 93$ ) با داده‌های آزمایش مطابقت دارد، در حالیکه در سطح معنی‌دار ۵٪ معنی‌دار بودند. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، عدم برازش برای پاسخ مورد نظر در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالابودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای آن، صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند. ضرایب رگرسیون بالا ( $R^2_{Loss} = 0.95$  و  $R^2_{RC} = 0.93$  و  $anth =$  نشان می‌دهد که مدل به خوبی توانسته نتایج به دست آمده را پیش بینی کند. معادلات زیر روابط بین ظرفیت بازجذب مجدد آب و درصد کاهش آنتوسیانین‌ها طی آبیگری مجدد با پارامترهای خشک کردن در خشک کن بسترسیال-مایکروویو را نشان می‌دهد.

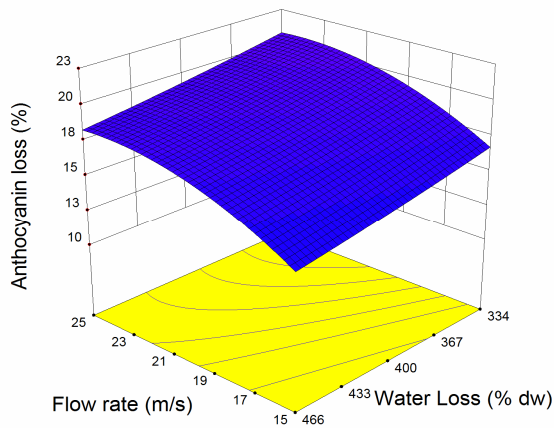
$$\begin{aligned}
 &= 18/96 - 1/0.05X_1 + 3/93X_2 + 2/11X_3 - 1/31X_4 - 2/11X_5 + 7/18X_6^2 + 5/74X_7^2 - \\
 &5/51X_1X_2 - 2/24X_1X_3 - 1/28X_1X_4 - 3/0.1X_1X_5 + \\
 &2/87X_2X_3 + 1/25X_2X_4 + 3/93X_3X_4 \\
 &= 183/76 - 7/94X_1 + 7/80X_2 - 6/76X_3 - 2/66X_4 - 14/80X_5^2 - 12/50X_6^2 + \\
 &12/80X_7^2 - 5/56X_1X_2 + 4/22X_1X_3 + 7/0.9X_1X_4 + \\
 &5/46X_1X_5 + 9/0.1X_2X_4 - 2/40X_2X_5 + 7/28X_3X_4 - \\
 &4/89X_3X_5
 \end{aligned}$$

برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار سه بعدی سطح پاسخ رسم شده توسط مدل استفاده شد. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالتی که متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار دارد، بررسی گردیده است.

طبق جدول ۳ اثرات خطی تمام فاکتورها، اثرات درجه دوم دما و مقدار ماده و اثرات متقابل تمام فاکتورها با توان مایکروویو، دما و سرعت جریان هوا با زمان شروع مایکروویو و مقدار ماده بر درصد کاهش محتوای آنتوسیانین و همچنین اثرات خطی تمام فاکتورها بجز مقدار ماده در بستر، اثرات درجه دوم زمان شروع مایکروویو، دما و سرعت جریان هوا و همچنین اثرات متقابل تمام فاکتورها بجز دما با سرعت جریان هوا و زمان شروع مایکروویو با مقدار ماده بر میزان ظرفیت بازجذب آب معنادار بود.



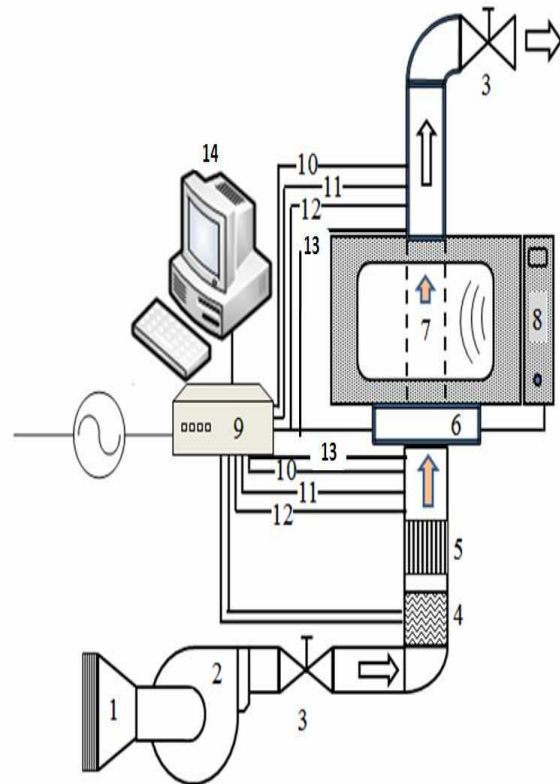
شناورسازی (۱۴ متر بر ثانیه) و کاهش میزان تراکم مواد در بستر امکان بهبود این ویژگی محصول وجود دارد.



شکل ۳ اثرات متقابل زمان شروع مایکروویو دهی و سرعت جریان هوا بر میزان درصد کاهش آنتوسیانین

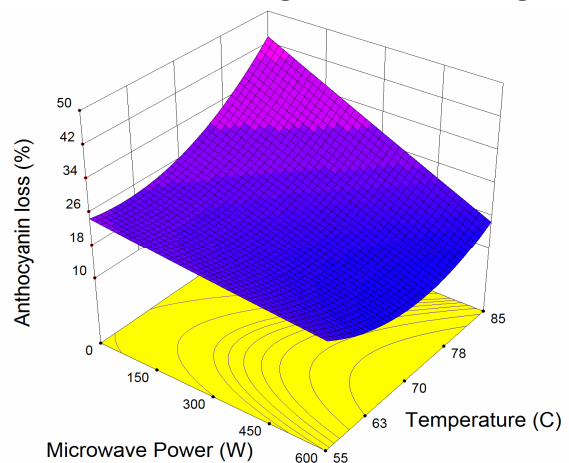
### بررسی تاثیر فاکتورها بر روی ظرفیت بازجذب مجدد آب

در شکل های ۴ تا ۶ اثرات متقابل متغیرها را بر روی ظرفیت بازجذب مجدد آب تمشک خشک شده نشان می دهد. همان طور که از مطالعه شکل ۴ بر می آید اثر دما و توان مایکروویو بر میزان ظرفیت بازجذب مجدد آب معنی دار است و با افزایش دما این ظرفیت افزایش می یابد. همچنین افزایش توان مایکروویو باعث افزایش ظرفیت بازجذب مجدد آب می شود و تاثیر آن در دماهای پایین تر بیشتر از دماهای بالاتر است که Pappas و همکاران (۱۹۹۹) نیز به نتایج مشابه با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر دست یافته اند [۲۷]. بر اساس تحقیق های انجام شده، مایکروویو باعث ایجاد بافت متخلخل و با حفرات زیاد می شود که این تخلخل و منافذ قدرت و توانایی جذب آب را در آنها افزایش می دهد. هر چه محتوای رطوبت ماده بیشتر باشد مایکروویو دهی باعث انبساط بیشتر و ایجاد منافذ بزرگتر و بیشتر می شود. نکته قابل توجه در مورد استفاده از مایکروویو، تاثیر منفی آن بر ظرفیت جذب مجدد آب بر روی محصولات با محتوای آب بالا می باشد. علت این پدیده انبساط بیش از حد و تخریب بافت های درونی و افزایش میزان فشردگی است که باعث کاهش ظرفیت جذب مجدد آب می شود. همان گونه در شکل ۵ مشاهده می شود با شروع مایکروویو دهی در رطوبت های بیشتر، از میزان ظرفیت بازجذب مجدد آب کاسته می شود و هر چه مایکروویو دهی در مراحل پایانی فرایند خشک کردن اعمال گردد میزان ظرفیت

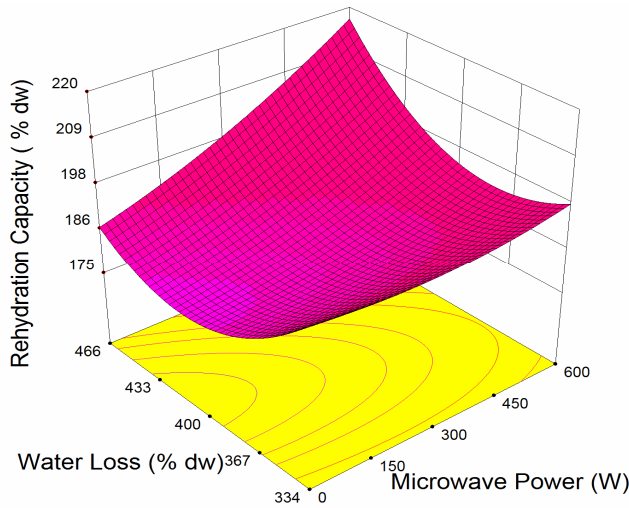


شکل ۱ خشک کن ترکیبی بستر سیال- مایکروویو

۱- فیلتر هوا، ۲- دمنده (550W)، ۳- شیر ورودی هوا، ۴- هیتر (2kW)، ۵- یکنواخت کننده جریان هوا، ۶- ترازوی الکترونیک ( $\pm 0.1g$ )، ۷- محفظه داخلی خشک کن، ۸- ماگنوترون (900W) ۹- سامانه جمع آوری و تبدیل داده های آنالوگ به دیجیتال، ۱۰- رطوبت سنج ( $\pm 0.1\%$ )، ۱۱- فشار سنج ( $\pm 0.01kPa$ )، ۱۲- دماسنج ( $\pm 0.1^\circ C$ )، ۱۳- سرعت سنج ( $\pm 0.01m/s$ ) و ۱۴- کامپیوتر



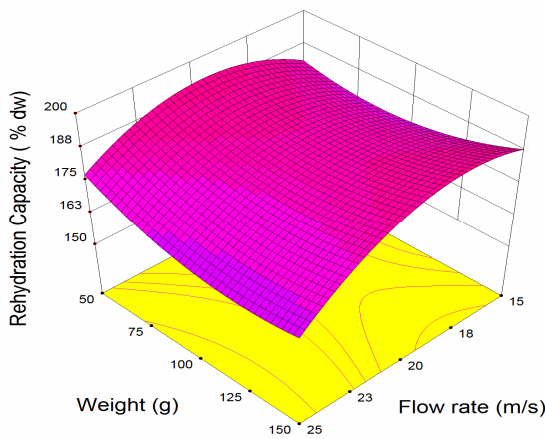
شکل ۲ اثرات متقابل توان مایکروویو و دمای هوا بر میزان درصد کاهش آنتوسیانین



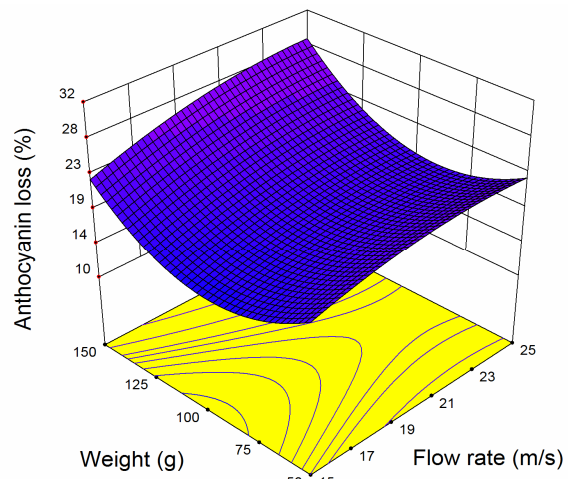
شکل ۶ اثرات متقابل توان مایکروویو و زمان شروع مایکروویو دهی بر میزان درصد ظرفیت بازجذب آب

بازجذب مجدد آب افزایش می‌یابد. از آنجایی که زمان لازم برای کاهش رطوبت ماده غذایی در قسمت‌های پایانی فرایند خشک کردن طولانی می‌باشد و همچنین بافت ماده غذایی در این قسمت‌های پایانی نسبت به ضربات آسیب‌پذیرتر است، با اعمال مایکروویو می‌توان این زمان را کاهش داد.

با افزایش سرعت جریان هوا ظرفیت بازجذب مجدد آب کاهش می‌یابد. افزایش بیش از حد سرعت جریان هوا باعث افزایش تعداد و شدت برخوردها بین ذرات با هم و با بدنه محفظه خشک‌کن می‌شود که این موجب تخریب بافت می‌گردد. افزایش مقدار تمشک در بستر نیز به علت افزایش تعداد برخوردها و فشار وارده ناشی از وزن لایه‌های بالاتر بر لایه‌های پایین بر تخریب بافت و کاهش ظرفیت بازجذب مجدد آب موثر می‌باشد (شکل ۶).



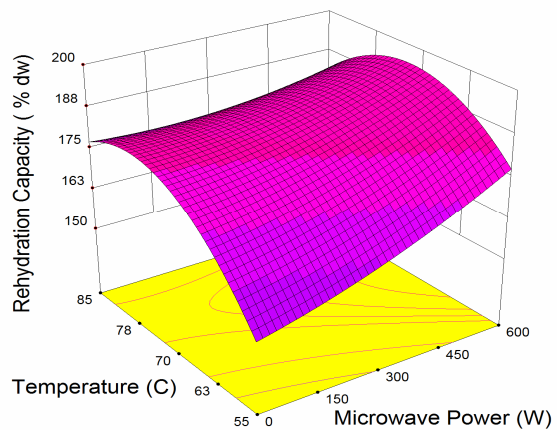
شکل ۷ اثرات متقابل مقدار ماده در بستر و سرعت جریان هوا بر میزان درصد ظرفیت بازجذب آب



شکل ۴ اثرات متقابل مقدار ماده در بستر و سرعت جریان هوا بر میزان درصد کاهش آنتوسیانین

### بهینه‌سازی

بیشینه نمودن ظرفیت بازجذب مجدد آب و کمینه نمودن درصد افت آنتوسیانین به عنوان اهداف مورد نظر آزمایشات در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر قرار گرفت. بهینه‌سازی متغیرهای وابسته با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد و نقاط اُپتیمم به دست آمدند. این مقادیر بهینه در توان مایکروویو ۶۰۰ وات، دمای هوا ۷۴ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۲۲/۳ متر بر ثانیه، زمان شروع مایکروویو از لحظه‌ای که ۴۶۶ درصد محتوای رطوبتی کاهش یافت و مقدار ماده ۵۳ گرم حاصل شد. با بررسی آنها به این نکته می‌رسیم که مقادیر به دست آمده طی آزمایشات تجربی با دانسته‌های



شکل ۵ اثرات متقابل توان مایکروویو و دمای هوا بر میزان درصد ظرفیت بازجذب آب

- raspberry. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2008; 56: 1880–1888.
- [2] Crandall PC, Daubeny HA, Raspberry management 1990; 157–213. In: G.J. Galletta and D.G. Himelrick (eds.), *Small fruit crop management*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [3] Seeram NP, Adams LS, Zhang Y, Lee RSD, Scheuller HS, Heber D. Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2006; 54: 9329–9339.
- [4] Pantelidis GE, Vasilakakis M, Manganaris GA, Diamantidis Gr. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin, and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chemistry* 2007; 102: 777–783.
- [5] Suthanthangjai W, Kajda P, Zabetakis I. The effect of high hydrostatic pressure on the anthocyanins of raspberry (*Rubus idaeus*). *Food Chemistry* 2005; 90: 193–197.
- [6] Bower C. Postharvest handling, storage, and treatment of fresh market berries. In Y. Zhao (Ed.), *Berry fruit: Value-added products for health promotion* (pp. 261–289). New York: CRC Press LLC 2007.
- [7] Woodford JAT, Williamson B, Gordon SC. Raspberry beetle damage decreases shelf-life of raspberries also infected with *Botrytis cinerea*. *Acta Hort* 2002; 585: 423–426.
- [8] Perkins-Veazie P, Collins JK, Clark JR. Shelf-life and quality of 'Navaho' and 'Shawnee' blackberry fruit stored under retail storage conditions. *Journal of Food Quality* 1999; 22: 535–544.
- [9] Van der Hoef MA, van Sint Annaland M, Deen NG, Kuipers J AM. Numerical simulation of dense gas-solid fluidized beds: A multiscale modeling strategy. *Annual Review of Fluid Mechanics* 2008; 40: 47–70.
- [10] Kunii D, Levenspiel O. *Fluidization engineer*. Stoneham: Butterworth-Heinemann, U. S.A. 1991.
- [11] Alibas I, Akbudak B, Akbudak N. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering* 2005; 78: 577–583.
- [12] Piotrowski D, Lenart A, Wardzynski A. Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen

پیشین بدست آمده در مورد عوامل موثر بر خشک کردن هوای داغ بستر سیال- مایکروویو هماهنگی دارد. عمل خشک کردن در شرایط بهینه ارائه شده توسط مدل در سه تکرار انجام گردید و نتیجه با مقدار پیش‌بینی شده توسط آن مقایسه گردید. میزان درصد ظرفیت بازجذب آب و افت ترکیبات آنتوسیانین پیش‌بینی شده مدل با مطلوبیت ۹۷/۷ درصد به ترتیب ۲۲۳ و ۱۰ بود که نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در این شرایط  $221 \pm 2$  و  $9.8 \pm 0.12$  بود. این نتایج نشان می‌دهد که مدل توانسته تا حدود زیادی اثر پنج متغیر توان مایکروویو، دمای هوای ورودی، سرعت جریان هوا، زمان شروع مایکروویو و مقدار ماده را بر خصوصیات ذکر شده تمشک خشک شده پیش‌بینی کند.

## ۵- نتیجه گیری کلی

در این تحقیق، روش سطح پاسخ به منظور تعیین شرایط بهینه فرایند خشک کردن بسترسیال- مایکروویو (توان مایکروویو، دمای هوای ورودی، سرعت جریان هوا، زمان شروع مایکروویو و مقدار ماده) با هدف دستیابی به حداکثر میزان ظرفیت بازجذب آب و حداقل افت محتوای آنتوسیانینی طی فرایند آبگیری مجدد به کار گرفته شد. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که تاثیرات خطی و درجه دو هر پنج متغیر مستقل معنی‌دار بود. برای هر پاسخ با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم به دست آمد. آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور ارزیابی صحت و دقت مدل‌های به دست آمده اجرا گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، نقطه بهینه به دست آمده برای هر دو ویژگی مورد مطالعه عبارت است از: توان مایکروویو ۶۰۰ وات، دما  $74^{\circ}\text{C}$ ، سرعت جریان هوا  $22/3$  متر بر ثانیه، زمان شروع مایکروویو از لحظه‌ای که ۴۶۶ درصد محتوای رطوبتی کاهش یافت و مقدار ماده در  $53$  گرم. مدل ارائه شده برای پیش‌بینی مقادیر متغیرهای وابسته نتایج بسیار نزدیکی با یافته‌های تجربی بدست آمده داشت.

## ۶- منابع

- [1] Tulio Jr, Reese RN, Wyzgoski FJ, Rinaldi PL, Scheerens JC, Miller AR. Cyanidin 3-rutinoside and cyanidin 3-xylosylrutinoside as primary phenolic antioxidants in black

- Kinetics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and the Effect of Process Conditions on Fractal Dimension and Rehydration Capacity. *Drying Technology* 2012; 30: 13–19.
- [22] Stojanovic J, Silva J. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food chemistry* 2007; 101: 898–906.
- [23] Tibor F. Development of quantitative methods for individual anthocyanins in cranberry and cranberry products. Thesis for degree of Doctor, university of Massachusetts. 1967.
- [24] Kargozari M, Moini S, Emam Djomeh Z. Prediction of some physical properties of osmodehydrated carrot cubes using response surface methodology. *Journal of food processing and preservation* 2010; 34: 1041–1063.
- [25] Khraisheh MAM, Cooper TJR, Magee TRA. Shrinkage Characteristics of Potatoes Dehydrated under Combined Microwave and Convective Air Conditions. *Drying Technology* 1997; 15: 1003–1022.
- [26] Lyons DW, Hatcher JD, Sundelrland JE. Drying of a Porous Medium with Internal Heat Generation, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 1972; 15 p. 897.
- [27] Pappas C, Tsami E, Marinos-Kouris D. The effect of process conditions on the drying kinetics and rehydration characteristics of some microwave vacuum dehydrated fruits. *Drying Technology* 1999; 17: 157–174.
- strawberries. *Journal of Food Engineering* 2004; 65: 519–525.
- [13] Schiffmann R. Microwave processes for the food industry. In: Datta, A., Anantheswaran, R. (Eds.), *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*. Marcel Dekker, New York 2001; 299–352.
- [14] Ruiz-Diaz G, Martinez-Monzo J, Fito P, Chiralt A. Modelling of dehydration–rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2003; 4: 203–209.
- [15] Funebo T, Ohlsson T. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering* 1998; 38: 353–367.
- [16] Laguerre HC, Tauzin V, Grenier E. Hot air and microwave drying onions. A comparative study. *Drying Technology*, 1999; 17: 1471–1480.
- [17] Krokida MK, Philippopoulos C. Rehydration of Dehydrated Foods. *Drying Technology* 2005; 23: 799–830.
- [18] Krokida MK, Maroulis ZB. The effect of drying method on viscoelastic behaviour of dehydrated fruits and vegetables. *International Journal of Food Science and Technology* 2000; 35: 391–400.
- [19] McMinn WAM, Magee TRA. Physical characteristics of dehydrated potatoes Part II. *Journal of Food Engineering* 1997; 33: 49–55.
- [20] Lewicki PP. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties* 1998; 1: 1–22.
- [21] Reis FR, Lenzi MK, Muniz GIB, Nisgoski S, Masson ML. Vacuum Drying

## Modeling and optimization of Effective factors in drying on quality properties of black raspberry (*Rabus fruticosus L.*) with response surface methodology

Yousefi G. <sup>1</sup>, Emam-Djomeh, Z. <sup>2\*</sup>, Karami, Z. <sup>3</sup>

1. M. Sc. Student of Food Science & Technology, University of Tehran, Karaj 31587-11167, Iran

2. Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj 31587-11167, Iran

3. M. Sc Graduate, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 92/10/23 Accepted: 93/4/8)

The main target of this research is drying raspberries in a Microwave assisted fluidized bed dryer. In order to evaluate and predict the quality properties of this fruit, Response Surface Methodology (RSM) was used. In this research, the effects of five variables: power of microwave (0, 300 and 600 W), temperature (55, 70 and 85 °C), air flow rate (15, 20 and 25 m/s), starting time of microwave input (from the moment when the moisture content decreased until 334, 400 and 466 g water per 100 g dry matter) and amount of material (50, 100 and 150 g) on the rehydration capacity and loss of anthocyanins content were studied. Experiments were designed according to Central Composite Rotatable Design with these five factors each at three different levels, including central and axial points. With respect to the dependent variables, both linear and quadratic effects of all of the five independent variables on Rehydration Capacity and loss of anthocyanins content were found to be significant. For each response, second order polynomial models were developed using multiple linear regression analysis. Analysis of variance (ANOVA) was performed to check the adequacy and accuracy of the fitted models. According to our results, the optimal point for both characteristics were as follows: microwave power 600 W, temperature 74°C, the air flow rate 3/22 meters per second and 53 grams of the substance, starting from the moment the microwave 466 percent moisture content was reduced. Model to predict the dependent variables with empirical results obtained were very close.

**Keyword:** Rehydration Capacity, anthocyanins, Response surface Methodology, Microwave, raspberry

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: emamj@ut.ac.ir