



مدل‌سازی سطح پاسخ تغییرات افت وزن، ویتامین ث و ویژگی‌های رنگی دانه‌های انار

(رقم شهسوار یزدی) طی فرآیند خشک کردن فرو سرخ

نرجس آفاجانی<sup>۱\*</sup>، امیر دارائی گرمه خانی<sup>۲</sup>، امید هدایتی دزفولی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	<p>خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است که معمولاً موجب تغییرات نامطلوبی در خواص فیزیکوشیمیایی و ارزش تغذیه‌ای محصول نیز می‌شود. امروزه برای جلوگیری یا کاهش تغییرات نامطلوب ماده غذایی در حین خشک کردن تمایل به استفاده از روش‌های سریع خشک کردن نظیر استفاده از امواج مایکروویو و پرتوهای فرو سرخ افزایش یافته است. در این تحقیق تأثیر دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بر میزان افت وزن، ویتامین ث و خواص رنگی دانه‌های انار رقم شهسوار یزدی بررسی و با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن و فاکتور رنگی <math>L^*</math> نمونه‌های انار دان افزایش یافت در حالیکه مقدار ویتامین ث کاهش یافت. دمای خشک کردن تأثیر بیشتری بر تغییرات افت وزن و ویتامین ث در مقایسه با زمان خشک کردن داشت اما تغییرات فاکتور رنگی <math>L^*</math> تحت تأثیر زمان خشک کردن فرو سرخ شدیدتر از دمای خشک کردن می‌باشد. فاکتورهای رنگی <math>a^*</math> و <math>b^*</math> با افزایش دمای خشک کردن افزایش یافتند در حالی که با افزایش زمان خشک کردن فرو سرخ کاهش یافتند. بهترین شرایط برای خشک کردن فرو سرخ دانه‌های انار دان شامل استفاده از دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۶۰۰ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن، ویتامین ث و اختلاف رنگ کلی (<math>\Delta E</math>) دانه‌های انار دان تولیدی به ترتیب برابر ۶۹/۵، ۱۲/۸۹ و ۵/۷۹ می‌باشد. نتایج اعتبار سنجی شرایط بهینه نشان داد که با اعمال شرایط بدست آمده از بهینه سازی، ویژگی‌های کیفی انار دان نظیر افت وزن، میزان ویتامین ث، و اختلاف رنگ کلی (<math>\Delta E</math>) نمونه‌های تولیدی به ترتیب برابر ۷۰، ۱۲/۴۵ و ۷/۷۵ به دست آمد که بسیار مشابه با نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش بینی شده با روش سطح پاسخ می‌باشد.</p>
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۲	
کلمات کلیدی:	
افت وزن،	
انار دان،	
خشک کردن فرو سرخ،	
روش سطح پاسخ.	
DOI: 10.52547/fsct.18.05.20	
* مسئول مکاتبات:	
naghajani@basu.ac.ir	

## ۱- مقدمه

میوه‌ها و سبزیجات به علت رطوبت و فعالیت آنزیمی بالا محصولات بسیار فساد پذیر هستند و معمولا به صورت فصلی در بازار یافت می‌شوند. با افزایش جمعیت نیاز به مواد غذایی افزایش یافته و تولید منابع غذایی جدید و یا حفظ منابع موجود ضروری است [۱]. انار با نام علمی *Granatum Malus* از خانواده *Punicaceae* میوه‌ای سرشار از ویتامین ث و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است و به علت رطوبت بالا و ماهیت نیمه گرمسیری عمر نگهداری کمی دارد، بنابراین عمدتا به صورت تازه خوری و یا تولید محصولاتی مثل رب انار، آب و کسانتره آب انار و یا به صورت انار دان خشک شده مصرف می‌شود. برای نگهداری طولانی مدت مواد غذایی از روش‌های مختلفی نظیر کنسروسازی، استفاده از سرما، به کار گیری مواد نگهدارنده و کاهش رطوبت استفاده می‌شود. خشک کردن به عنوان یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی فرآیند بسیار پیچیده‌ای است که در آن انتقال جرم و انرژی به طور هم‌زمان رخ می‌دهد. در طول فرآیند خشک شدن، محصولات غذایی دچار یکسری تغییرات فیزیکوشیمیایی شده و ویژگی‌های کیفی محصول نظیر شکل، رنگ، بافت، طعم و ... تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۲]. مواد غذایی خشک شده علاوه بر طول عمر نگهداری بالاتر، دارای حجم و وزن کمتر بوده و هزینه حمل و نقل و بسته بندی و انبارداری کمتری را به همراه دارند [۳]. همچنین با اعمال یک روش مناسب خشک کردن می‌توان امکان دستیابی به میوه‌جات و مواد غذایی فصلی را در تمام طول سال و با کیفیت عالی فراهم نمود. به دلیل طولانی بودن، فرآیندهای خشک کردن ممکن است اثرات سوء شدیدی را بر ترکیبات مواد مغذی، ویژگی‌های کیفی و شیمیایی محصول بگذارد [۴]. عمده تغییرات نامطلوب مواد غذایی در حین فرآیند خشک کردن شامل تغییر رنگ و ارزش تغذیه‌ای در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن، بدبویی، تجزیه و کاهش ویتامین‌های محلول در چربی به علت اکسیداسیون چربی‌ها، افت رنگ ناشی از تجزیه رنگدانه‌های کاروتنوئیدی،

چروکیدگی و عدم باز جذب مناسب آب فرآورده و حلالیت آن، تغییرات نامطلوب بافت (سخت و لاستیکی شدن پوسته محصول) و نهایتا اتلاف ترکیب‌های آلی فرار مسئول ایجاد عطر و طعم در ماده غذایی می‌باشند [۵-۷].

به دلیل تمایل تولید کنندگان به افزایش راندمان تولید در کنار حفظ و ارتقاء کیفیت محصول با صرف هزینه کمتر و زمان فرآیند کوتاه‌تر اخیرا تمایل به خشک کردن سریع در مواد غذایی افزایش یافته است. فاکتورهای زیادی نظیر زمان و دمای خشک کردن، اندازه و ضخامت ماده غذایی، فاصله از منبع حرارتی، میزان رطوبت و سطح ماده غذای و ... بر سرعت خشک کردن ماده غذایی موثر هستند [۸]. در زمینه روش‌های سریع خشک کردن نظیر خشک کردن ماکروویو، خشک کردن فرو سرخ و خشک کن‌های ترکیبی مطالعات زیادی صورت گرفته است تا به نحوی بتوانند سرعت خشک کردن را افزایش و در عین حال اثرات سوء، طولانی شدن زمان خشک کردن بر ماده غذایی را کاهش دهند. پرتوهای فرو سرخ سبب ایجاد حرارت سریع و مستقیم بر روی محصول می‌شوند که نسبت به خشک کن‌های همرفتی که در آن بخشی از حرارت توسط خروج هوا به هدر می‌رود سریع‌تر بوده و راندمان بالاتری دارد. بیشتر پرتو فرو سرخ توسط مولکول‌های سطحی ماده غذایی جذب می‌شود که این پدیده سبب گرم شدن سریع محصول و کاهش تنش‌های حرارتی و در نتیجه حفظ کیفیت آن می‌شود [۹].

تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر خشک کردن فرو سرخ بر کیفیت و راندمان خشک کردن بادمجان [۱۰]، ورقه‌های گوجه فرنگی [۹]، برنج نیم جوش [۱۱]، قارچ خوراکی [۱۲] و زردآلو [۱۳] صورت گرفته است. نتایج این تحقیقات همگی موید تأثیر معنی‌دار خشک کردن فرو سرخ در افزایش سرعت خشک کردن و خروج رطوبت از بافت مواد غذایی و کاهش زمان خشک کردن بود. کاهش زمان فرآیند طی خشک کردن منجر به تولید محصولی با حداقل افت مواد مغذی و تغییرات نامطلوب رنگ می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش توان لامپ پرتودهی و کاهش فاصله نمونه از لامپ ضریب

در لیتر) تا رسیدن به رنگ آبی تیترا شد و ویتامین ث نمونه برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد.

### ۲-۳- بررسی تغییرات رنگ

تغییرات رنگ نمونه‌های انار دان تولیدی با استفاده از روش پردازش تصویر و عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتال (مدل ST69، شرکت سامسونگ، کره جنوبی، با بزرگ‌نمایی ۱۸۳۶×۳۲۶۴) بررسی و تجزیه و تحلیل پارامترهای رنگی با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ (نسخه Adobe Photoshop CS6) انجام شد. پارامترهای رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  توسط نرم‌افزار فتوشاپ تعیین و سپس اختلاف رنگ کلی نمونه (ED) با نمونه‌های شاهد از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد [۱۸]:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

که زیر نویس های ۱ و ۲ به ترتیب بیانگر نمونه‌های خشک شده با فرو سرخ و نمونه شاهد (خشک نشده) می‌باشد.

### ۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی

بهینه‌سازی شرایط خشک کردن فرو سرخ انار دان تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن با استفاده از روش سطح پاسخ (نرم افزار Design Expert 6.0.2) و طرح مرکب مرکزی (CCD<sup>4</sup>) با ۳ سطح و ۵ تکرار در نقطه مرکزی انجام شد (۱، ۰، +۱) (جدول ۱). محدوده‌ی متغیرهای مستقل دما ( $X_1$ ) و زمان خشک کردن ( $X_2$ ) از آزمون‌های اولیه استنتاج گردید. مدل‌های رگرسیونی چند جمله‌ای درجه دوم به منظور پیش‌بینی پاسخ، در نظر گرفته شد که به صورت معادله (۳) می‌باشد:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j$$

که  $Y$  متغیر وابسته،  $\beta_0$  ضریب ثابت مدل و  $\beta_i$  و  $\beta_{ii}$  و  $\beta_{ij}$  ضرایب ثابت برآورد شده توسط مدل برای متغیرهای مستقل  $X_i$  و  $X_j$  و اثرات متقابل آن‌ها هستند. طرح آزمایشی با سطوح واقعی متغیرهای مستقل زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ و

نفوذ موثر رطوبت افزایش می‌یابد و میزان افت وزن (خشک شدن) محصول تشدید می‌شود. در این تحقیق امکان تولید انار دان خشک شده مطلوب با استفاده از روش خشک کردن فرو سرخ بررسی و تأثیر پارامترهای دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بر افت وزن، مقدار ویتامین ث و تغییرات رنگ دانه‌های انار ارزیابی و با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه و خشک کردن فرو سرخ

در این مطالعه انار رقم شهسوار یزدی از بازار محلی تویسرکان خریداری و پس از شست شو، دانه‌های انار جداسازی و در دماهای (۷۵-۵۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های (۶۰۰-۲۴۰ دقیقه) در خشک کن فرو سرخ (Kern/Sartorius) مجهز به ترازو با دقت (۰/۰۰۰۰۱) خشک گردید. محدوده دما و زمان مورد استفاده برای خشک کردن از طریق آزمون و خطا و رسیدن به رطوبت تعادلی انتخاب شد. میزان کاهش وزن دانه‌های انار دان طی خشک کردن به عنوان اتلاف رطوبت بیان و از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

که در رابطه فوق  $WR$  درصد کاهش وزن دانه‌های انار دان،  $M_0$  جرم اولیه دانه‌های انار ( $gr$ )،  $M_t$  جرم دانه‌های انار پس از خشک کردن در زمان  $t$  ( $gr$ ) می‌باشد [۱۵-۱۴].

### ۲-۲- اندازه‌گیری مقدار ویتامین ث

مقدار ویتامین ث نمونه‌های انار دان با استفاده از روش یدومتری و تیتراسیون در حضور معرف ان- بروموسوکینامید<sup>۱</sup> (NBS) تعیین شد [۱۷-۱۶]. برای این منظور ۵ گرم نمونه پس از عصاره‌گیری، به همراه ۵ میلی‌لیتر محلول پایدارکننده (TCA)<sup>۲</sup> و ۶ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۴٪ و ۰/۳ میلی‌لیتر اسید استیک ۱۰٪ و ۰/۴ میلی‌لیتر معرف نشاسته ۱٪ به وسیله محلول (NBS) با غلظت ۴ میلی‌گرم

3. Design Expert, 6.0.2 Trial, Stat-Ease Inc.  
4. Central Composite Design

1. N-Bromosuccinimide  
2. Trichloroacetic acid

زمان خشک کردن می‌باشد. منحنی‌های سه بعدی و دو بعدی تغییرات افت وزن (اتلاف رطوبت) نشان می‌دهند که بالاترین میزان افت وزن (۷۸/۸۵٪) مربوط به محدوده دمای ۷۵-۷۱ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۵۳۰-۳۷۰ دقیقه می‌باشد در حالی که کم‌ترین مقدار افت وزن (۴۸/۴۲٪) در محدوده دمای خشک کردن کمتر از ۵۸ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های خشک کردن کمتر از ۲۹۰ دقیقه مشاهده شد. همچنین ملاحظه می‌شود زمان و دمای خشک کردن تأثیر تشدید کننده روی افت وزن دانه‌های انار دان دارند اما در اواخر زمان خشک کردن منحنی افت وزن روند نزولی پیدا می‌کند که می‌تواند به علت رسیدن به دوره نزول در طی خشک کردن باشد. در طی خشک کردن به علت بسته شدن خلل و فرج و لوله‌های موئین داخل بافت ماده غذایی، به علت پدیده سخت شدن سطحی<sup>۵</sup> میزان خروج رطوبت از ماده غذایی کاهش یافته و سرعت خشک شدن ثابت و کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق با نتایج مازندرانی و همکاران (۲۰۱۷)، صالحی و همکاران (۲۰۱۷) و صالحی (۲۰۱۹) مطابقت داشت. این محققین بیان داشتند که زمان و دمای خشک کردن تأثیر معنی‌داری روی میزان افت وزن دانه‌های انار و ورقه‌های بادمجان داشت و با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن این محصولات افزایش می‌یابد [۴، ۱۰ و ۱۳].

### ۲-۳- تغییرات ویتامین ث انار دان طی خشک

#### کردن فرو سرخ

همان‌طور که از جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود دما و زمان خشک کردن فرو سرخ تأثیر معنی‌داری بر میزان ویتامین ث دانه‌های انار دان طی خشک کردن فرو سرخ دارند و علاوه بر اثرات خطی این پارامترها، اثرات درجه دوم دمای خشک کردن نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان ویتامین ث دانه‌های انار دان طی خشک کردن فرو سرخ دارند ( $p < 0.05$ ). در حالی که اثرات درجه دوم زمان خشک کردن و اثرات متقابل زمان و دمای خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات ویتامین ث

نتایج مربوط به تغییرات ویژگی‌های کیفی انار دان تحت تأثیر متغیرهای مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ در جدول (۲) ارائه شده است.

**Table 1** Independent variables and their applied levels for optimizing infrea red drying of pomegranate arils

Independent variables	Variables level		
	-1	0	+1
Drying temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	55	65	75
Drying time (minute)	240	420	600

### ۲-۴-۱- اعتبار سنجی شرایط بهینه خشک کردن فرو

#### سرخ انار

به منظور ارزیابی کارایی و صحت مدل‌ها و روابط حاصل از بهینه‌سازی و نیز اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ، نمونه‌های انار دان در شرایط بهینه دما و زمان حاصل، خشک و ویژگی‌های کیفی انار دان نظیر افت وزن، میزان ویتامین ث، و اختلاف رنگ کلی نمونه‌های تولیدی بررسی و ارزیابی شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تغییرات رطوبت (افت وزن) انار دان طی

#### خشک کردن فرو سرخ

همان‌طور که از جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود مدل پیشنهادی با اثرات خطی، اثرات درجه دوم و متقابل دما و زمان خشک کردن فرو سرخ تأثیر معنی‌داری بر میزان اتلاف آب دانه‌های انار دان طی خشک کردن فرو سرخ دارند ( $0.05 < p$ ). همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) دانه‌های انار دان روند صعودی دارد که با افزایش میزان درجه حرارت خشک کردن میزان افت وزن دانه‌های انار دان شیب تندتری نسبت به افزایش زمان خشک کردن دارد که نشان دهنده تأثیر بیشتر دمای خشک کردن بر افت وزن انار دان در مقایسه با

### ۳-۳- تغییرات رنگ انار دان طی خشک کردن

#### فرو سرخ

در شکل (۲) روند تغییرات فاکتورهای رنگی دانه‌های انار دان خشک شده طی خشک کردن فرو سرخ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود فاکتور رنگی  $L^*$  نمونه‌های انار دان با افزایش زمان و دمای خشک کردن روند افزایشی از خود نشان می‌دهد که شیب تغییرات فاکتور رنگی  $L^*$  تحت تأثیر زمان خشک کردن فرو سرخ شدیدتر از دمای خشک کردن می‌باشد که این امر به خصوص در دماهای بالای خشک کردن شدیدتر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بالاترین مقدار شاخص رنگی  $L^*$  در نمونه‌های خشک شده در شرایط دمایی ۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۶۰۰ دقیقه می‌باشد (۴/۱۷۴) که این امر می‌تواند به علت افزایش افت وزن (تبخیر آب) نمونه‌های انار دان و ظاهر شدن هسته سفید آن باشد که سهم بیشتری در سفید نشان دادن انار دان‌های تولیدی دارد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود فاکتورهای رنگی  $a^*$  و  $b^*$  با افزایش دمای خشک کردن روند افزایشی دارد در حالی که با افزایش زمان خشک کردن فرو سرخ روند نزولی دارند (به خصوص در دماهای بالای خشک کردن). نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که زمان و دمای خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر تغییرات پارامترهای رنگی دانه‌های انار دان تولیدی ندارند. با افزایش زمان و دمای فرآیند خشک کردن فرو سرخ میزان اختلاف رنگ کلی نمونه‌های انار دان تا محدوده دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تا ۷۲ درجه سانتی‌گراد روند صعودی دارد و بعد از دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تا ۷۲ درجه سانتی‌گراد روند ثابت و سپس روند نزولی پیدا می‌کند. اما تأثیر پارامترهای زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

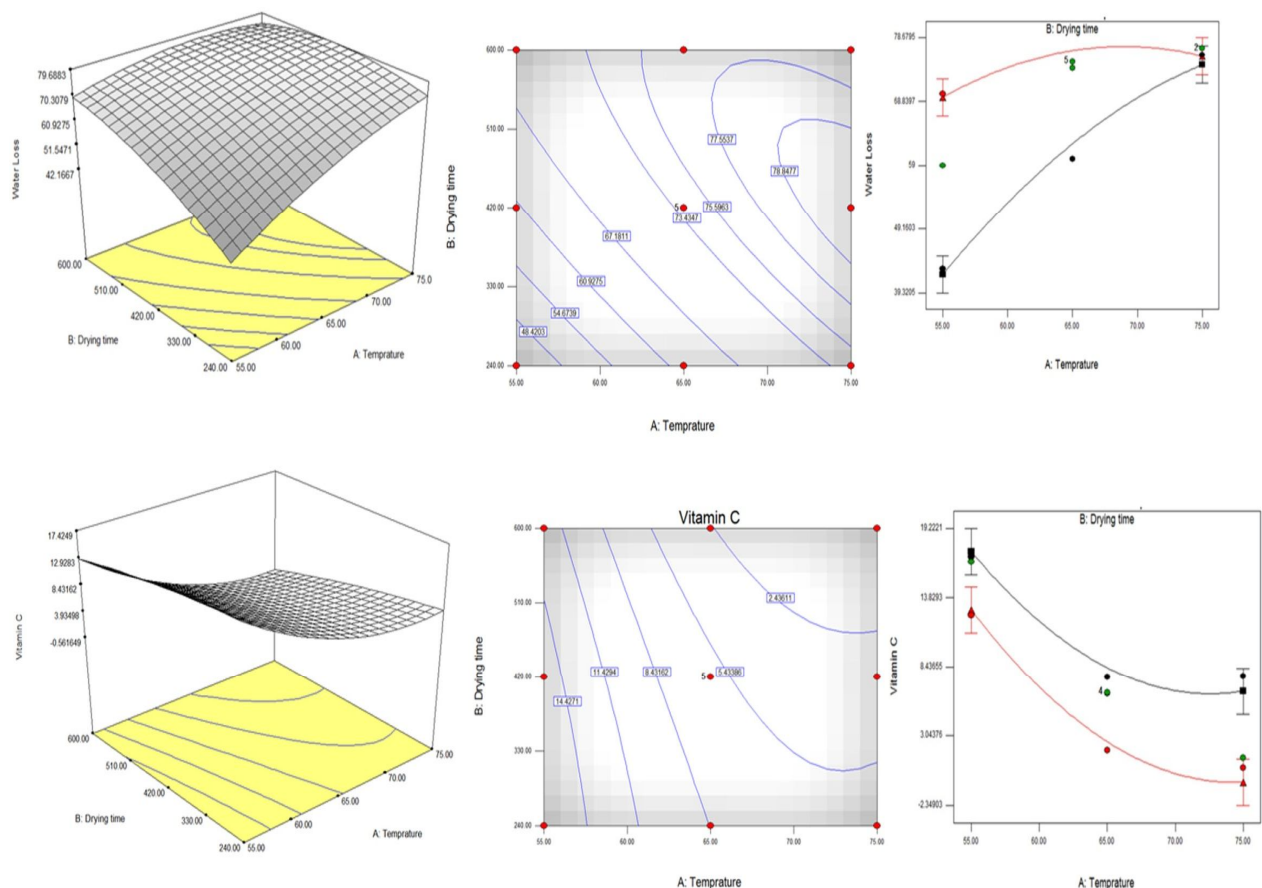
به هنگام خشک کردن، تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی در ماده غذایی اتفاق می‌افتد که موجب تغییر خصوصیات کیفی محصول نهایی خشک شده نسبت به محصول تازه اولیه می‌گردد [۲۰]. رنگ یک ویژگی کیفی مهم در محصولات خشک شده می‌باشد و در طی خشک کردن و نگهداری طولانی

ندارند. روند تغییرات میزان ویتامین ث دانه‌های انار دان تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دمای خشک کردن اثر تخریبی شدیدتری نسبت به زمان خشک کردن بر ویتامین ث دارد. به طوری که با افزایش زمان خشک کردن، میزان ویتامین ث، روند نزولی آهسته و اندکی دارد که این امر در دماهای پایین خشک کردن به خصوص دماهای کمتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر دیده می‌شود؛ اما با افزایش دمای خشک کردن، میزان ویتامین ث روند نزولی شدیدی را نشان می‌دهد به طوری که ویتامین ث به حدود ۱۴٪ مقدار اولیه خود می‌رسد که بیانگر تخریب حدود ۸۶٪ مقدار ویتامین ث نسبت به نمونه‌های خشک شده در دماهای کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اخلاقان و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای نشان دادند که میزان ویتامین ث تفاله هویج و پودر حاصل طی فرآیند خشک کردن تحت تأثیر شدید دما و زمان خشک کردن بوده و به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که مطابق نتایج حاصل از این مطالعه می‌باشد [۱۹]. همان‌طور که در منحنی اثر متقابل زمان و دمای خشک کردن مشاهده می‌شود (شکل ۱) با افزایش هم‌زمان دما و زمان خشک کردن فرو سرخ میزان اتلاف ویتامین ث روند شدیدتری به خود می‌گیرد به طوری که با خشک کردن در محدوده دمایی بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک شدن بالاتر از ۵۱۰ دقیقه، بیش از ۸۵٪ مقدار ویتامین ث تخریب می‌شود. ویتامین ث از ترکیبات حساس به حرارت است که سریعاً اکسیده می‌شود به طوری که با افزایش زمان و دمای خشک کردن به سرعت شروع به تجزیه و کاهش می‌کند. به منظور حفظ ارزش تغذیه‌ای و جلوگیری از اتلاف ویتامین ث و نیز دستیابی به بالاترین میزان راندمان خشک کردن، استفاده از فرآیندهای دما بالا- زمان کوتاه (HTST) توصیه می‌شود لذا با استفاده از دماهای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های خشک کردن کمتر از ۳۳۰ دقیقه میزان اتلاف ویتامین ث کمتر بوده و حدود ۵/۵٪ میزان ویتامین ث حفظ می‌شود و در عین حال میزان رطوبت نیز تا حد مطلوبی کاهش می‌یابد.

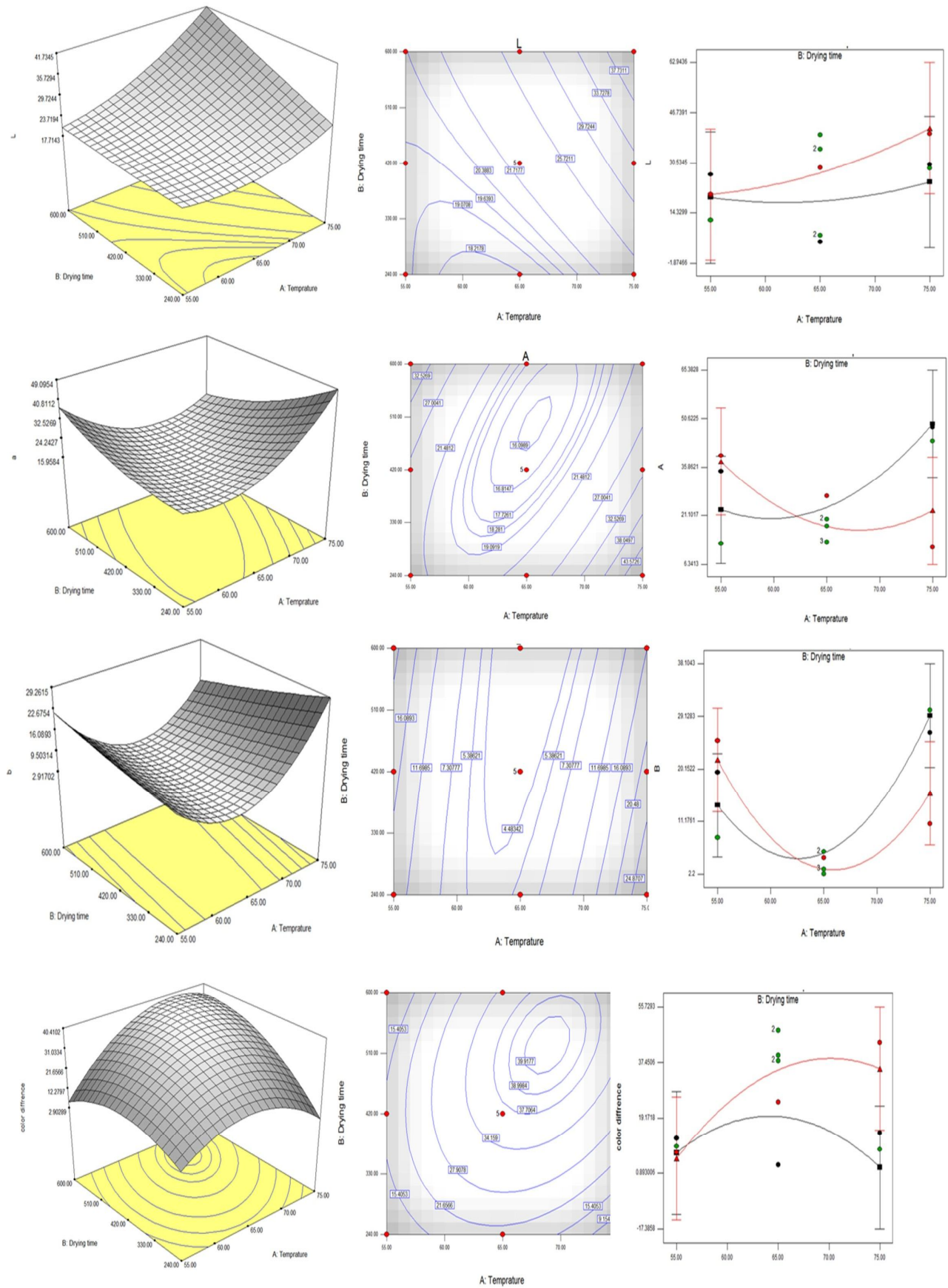
(میلارد) و پلیمریزاسیون فنول‌ها اشاره نمود. سایر عوامل مانند اسیدیته، وارپته یا نوع محصول، دما و زمان فرآیند حرارتی نیز بر روی رنگ محصول خشک شده مؤثر می‌باشند [۲۲]. در طول فرآیند خشک شدن معمولاً پارامتر رنگی  $L^*$  کاهش یافته و محصول تیره تر می‌شود که این تغییر رنگ به علت تخریب و تجزیه رنگدانه و واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی باشد [۲۳]. در روش‌های سریع خشک کردن نظیر خشک کردن فرو سرخ به علت کوتاه بودن زمان فرآیند خشک کردن، تأثیر تخریبی حرارت بر رنگ دانه‌های ماده غذایی کمتر بوده و رنگ محصول حفظ می‌شود که نتایج تحقیق حاضر موید تأثیر مثبت فرآیند خشک کردن فرو سرخ بر ویژگی‌های رنگی انار دان تولیدی بود.

مدت به علت برخی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی تغییر می‌کند. بر این اساس، رنگ به همراه طعم و بافت نقش مهمی در مقبولیت محصول توسط مصرف کننده ایفا می‌کند؛ به طوری که رنگ نامطلوب از دید مصرف کننده ناخوشایند بوده و نشانه پایان زمان ماندگاری است. علاوه بر رنگ، شکل ظاهری و خصوصیات حسی محصول خشک شده نظیر طعم، بو و مزه تأثیر بسزایی در بازار پسنندی آن دارد. در حقیقت، رنگ و ظاهر ماده غذایی تحت تأثیر نوع فرآیند قرار می‌گیرد و در تعیین قیمت نهایی محصول نقش به سزایی دارد [۲۱].

به علاوه، بسیاری از واکنش‌ها که به هنگام خشک کردن اتفاق می‌افتند، منجر به تغییر رنگ محصول می‌شوند. از جمله این واکنش‌ها می‌توان به تخریب رنگدانه‌ها، اکسیداسیون اسید آسکوربیک، قهوه‌ای شدن آنزیمی، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی



**Fig 1** 3D surface, contour plot and interaction effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on water loss and vitamin C content of infrared dried pomegranate arils



**Fig 2** 3D surface, contour plot and interaction effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  and EA) of infrared dried pomegranate arils

## ۳-۴- بهینه‌سازی شرایط خشک کردن فرو

## سرخ دانه‌های انار (انار دان)

در جدول (۲) طرح آزمایشی با سطوح واقعی متغیرهای مستقل زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ و نتایج مربوط به تغییرات ویژگی‌های کیفی انار دان تحت تأثیر متغیرهای مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ نشان داده شده است. نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) تغییرات ویژگی‌های کیفی انار دان تحت تأثیر متغیرهای مستقل زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ در جدول (۳) ارائه شده‌اند. ضرایب رگرسیون چندگانه به منظور پیش‌بینی مدل مناسب برای متغیر پاسخ محاسبه شد و با توجه به معنی‌داری ضرایب (جدول ۳)، معادلات  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$  و  $Y_6$  به ترتیب برای ویژگی‌های کیفی انار دان نظیر اتلاف رطوبت (افت وزن)، ویتامین ث، فاکتورهای رنگی  $L^*, a^*, b^*$  و اختلاف رنگ کلی ( $\Delta E$ ) تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ ارائه گردید:

$$Y_1 = 74 + (9.67) \times X_1 + (7.17) \times X_2 - (4) X_1^2 - (4.5) \times X_2^2 - (6.5) \times X_1 X_2 \quad (4)$$

$$Y_2 = 6.1 - (6.09) \times X_1 - (2.9) \times X_2 + (3.59) X_1^2 - (0.62) \times X_2^2 - (0.63) \times X_1 X_2 \quad (5)$$

$$Y_3 = 22.43 + (6.6) \times X_1 + (4.6) \times X_2 + (3.7) X_1^2 + (0.3) \times X_2^2 + (4.1) \times X_1 X_2 \quad (6)$$

$$Y_4 = 16.49 + (2.8) \times X_1 - (2.93) \times X_2 + (12.39) X_1^2 + (4.19) \times X_2^2 - (10.30) \times X_1 X_2 \quad (7)$$

$$Y_5 = 37.05 + (6.21) \times X_1 + (7.66) \times X_2 - (14.43) X_1^2 - (9.67) \times X_2^2 + (8.61) \times X_1 X_2 \quad (8)$$

$$Y_6 = 3.88 + (2.40) \times X_1 - (1.37) \times X_2 + (15.83) X_1^2 + (0.53) \times X_2^2 - (5.25) \times X_1 X_2 \quad (9)$$

که در معادلات فوق  $X_1$  و  $X_2$  به ترتیب دما و زمان فرآیند خشک کردن فرو سرخ می‌باشند.

معادله (۴) تغییرات افت وزن دانه‌های انار طی خشک کردن فرو سرخ را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این معادله به صورت چند جمله‌ای و درجه دوم می‌باشد. در بررسی تأثیر دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بر تغییرات

افت وزن دانه‌های انار طی خشک کردن، آزمون ANOVA مشخص نمود که مدل درجه دوم به اندازه کافی بیانگر تغییرات افت وزن (پاسخ)، با ضرایب مشخص می‌باشد. ضریب تعیین بالا ( $R^2 = 0.9791$ ) مویید این است که مدل رگرسیون، تغییرات افت وزن را به خوبی توضیح داده و مدل برازش شده توانسته ۹۷/۹۱ درصد از کل تغییرات در دامنه‌ی مقادیر مورد مطالعه را توضیح دهد. مقادیر  $R^2$  واقعی و  $R^2$  تعدیل شده<sup>۶</sup> به ترتیب ۰/۹۷۹۱ و ۰/۹۶۴۱ به دست آمدند، نیز بیانگر توصیف مناسبی از پراکندگی داده‌ها هستند (معادله ۴). همچنین آزمون ANOVA مشخص نمود که مدل چند جمله‌ای درجه‌ی دوم قادر به پیش‌بینی تأثیر دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بر تغییرات مقدار ویتامین ث دانه‌های انار می‌باشد. در معادله (۵)، مقادیر  $R^2$  واقعی و  $R^2$  تعدیل شده به ترتیب ۰/۹۶۸۲ و ۰/۹۴۵۵ به دست آمدند که بیانگر توصیف مناسبی از پراکندگی داده‌ها می‌باشند. همچنین مقادیر  $R^2$  برای ویژگی‌های رنگی در معادله‌های (۶-۹)، به ترتیب ۰/۲۶۰۸، ۰/۵۸۸۷، ۰/۷۹۹۵ و ۰/۶۲۷۵ می‌باشد در حالی که مقادیر  $R^2$  تعدیل شده برای معادله‌های (۶-۹)، به ترتیب ۰/۲۶۰۸، ۰/۲۹۴۹، ۰/۶۵۶۳ و ۰/۳۶۱۵ می‌باشد که بیانگر عدم توصیف مناسب پراکندگی داده‌ها توسط این معادله‌ها می‌باشند. در جدول (۳) ضرایب تعیین ( $R^2$ ) بین مقادیر واقعی حاصل از آزمایش و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله‌های  $Y_1$ - $Y_6$  برای افت وزن، ویتامین ث و فاکتورهای رنگی  $L^*, a^*, b^*$  و  $\Delta E$  انار دان نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) بالایی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل برای افت وزن و ویتامین ث تحت تأثیر دما و زمان فرآیند فرو سرخ وجود دارد که نشان دهنده دقت بالای روابط  $Y_1$  و  $Y_2$  و مدل‌های سطح پاسخ ایجاد شده در این تحقیق می‌باشد. اما با توجه به پیچیدگی ویژگی‌های رنگی معادلات  $Y_3$ - $Y_6$  به خوبی و با دقت بالا قادر به پیشگویی این پارامترها و ارتباط دادن تغییرات آن‌ها به دما و زمان خشک کردن فرو سرخ نیستند و احتمالاً عوامل دیگری غیر از متغیرهای مستقل مورد آزمون در این تحقیق موجب تغییرات رنگ دانه‌های انار طی خشک کردن فرو سرخ شده‌اند.



**Table 2** Central composite design, Actual levels of independent variables and different quality attributes (response) of infrared dried pomegranate arils

Independent variables			Actual dependent variable (Response)					
Treatment number	Drying Temperature (X <sub>1</sub> ) (°C)	Drying Time (X <sub>2</sub> ) (minute)	Vitamin C	Water loss	L	a	b	EΔ
1	55	240	17.01	43.00	26.80	34.60	19.60	12.42
2	75	240	7.67	76.00	30.00	48.00	26.40	14.32
3	55	600	12.45	70.00	20.40	39.40	25.00	7.74
4	75	600	0.57	77.00	40.00	11.60	10.80	44.10
5	55	420	16.63	59.00	12.00	12.60	8.40	9.75
6	75	420	1.33	77.00	28.80	43.80	30.20	8.77
7	65	240	7.65	60.00	5.00	13.00	3.00	3.61
8	65	600	1.90	75.00	29.00	27.00	5.00	24.43
9	65	420	6.39	75.00	39.60	17.80	2.20	39.79
10	65	420	6.34	74.00	35.00	20.00	3.00	38.01
11	65	420	6.39	75.00	7.00	13.00	6.00	48.09
12	65	420	6.39	75.00	7.00	13.00	6.00	48.09
13	65	420	6.39	75.00	35.00	20.00	3.00	38.01

**Table 3** Analysis variance of regression coefficients of predicted quadratic polynomial models for predicting different quality attributes of infrared dried pomegranate arils

Coefficient of determination (R <sup>2</sup> )	Coefficient	p-Value	F-Value	Mean of squares	Sum of squares	DF	Source	Quality attributes
0.9682	74.00**	< 0.0001	65.41	239.85	1199.26	5	Model	water loss
	9.67**	< 0.0001	152.91	560.67	560.67	1	X1	
	7.17**	< 0.0001	84.05	308.17	308.17	1	X2	
	-4.00**	0.0104	12.05	44.19	44.19	1	X1 × X1	
	-4.50**	0.0059	15.25	55.93	55.93	1	X2 × X2	
	-6.50**	0.0003	46.09	169.00	169.00	1	X1 × X2	
	-	-	-	3.67	25.67	7	Residual	
	-	0.0018	41.44	8.29	24.87	3	Lack of fit	
	-	-	-	0.20	0.80	4	Pure error	
-	-	-	-	1224.92	12	Total		
0.9790	6.10**	< 0.0001	42.66	62.37	311.83	5	Model	Vitamin C
	-6.09**	< 0.0001	152.04	222.29	222.29	1	X1	
	-2.90**	0.0006	34.55	50.52	50.52	1	X2	
	3.59**	0.0017	24.34	35.59	35.59	1	X1 × X1	
	-0.62 <sup>ns</sup>	0.4257	0.72	1.05	1.05	1	X2 × X2	
	-0.63 <sup>ns</sup>	0.3285	1.10	1.61	1.61	1	X1 × X2	
	-	-	-	1.46	10.23	7	Residual	
	-	< 0.0001	6821.63	3.41	10.23	3	Lack of fit	
	-	-	-	5 × 10 <sup>-4</sup>	2 × 10 <sup>-3</sup>	4	Pure error	
-	-	-	-	322.07	12	Total		
0.2608	22.43 <sup>ns</sup>	0.7725	0.49	100.59	502.94	5	Model	L value
	6.60 <sup>ns</sup>	0.2945	1.28	261.36	261.36	1	X1	
	4.60 <sup>ns</sup>	0.4556	0.62	126.96	126.96	1	X2	
	3.70 <sup>ns</sup>	0.6792	0.19	37.88	37.88	1	X1 × X1	
	0.30 <sup>ns</sup>	0.9728	0.00	0.25	0.25	1	X2 × X2	
	4.10 <sup>ns</sup>	0.5835	0.33	67.24	67.24	1	X1 × X2	
	-	-	-	203.61	1425.27	7	Residual	
	-	0.7263	0.46	121.50	364.50	3	Lack of fit	
	-	-	-	265.19	1060.77	4	Pure error	
-	-	-	-	1928.20	12	Total		

\*\* significant at 1%, \* significant at 5%, <sup>ns</sup> non significant

Table 3 continue

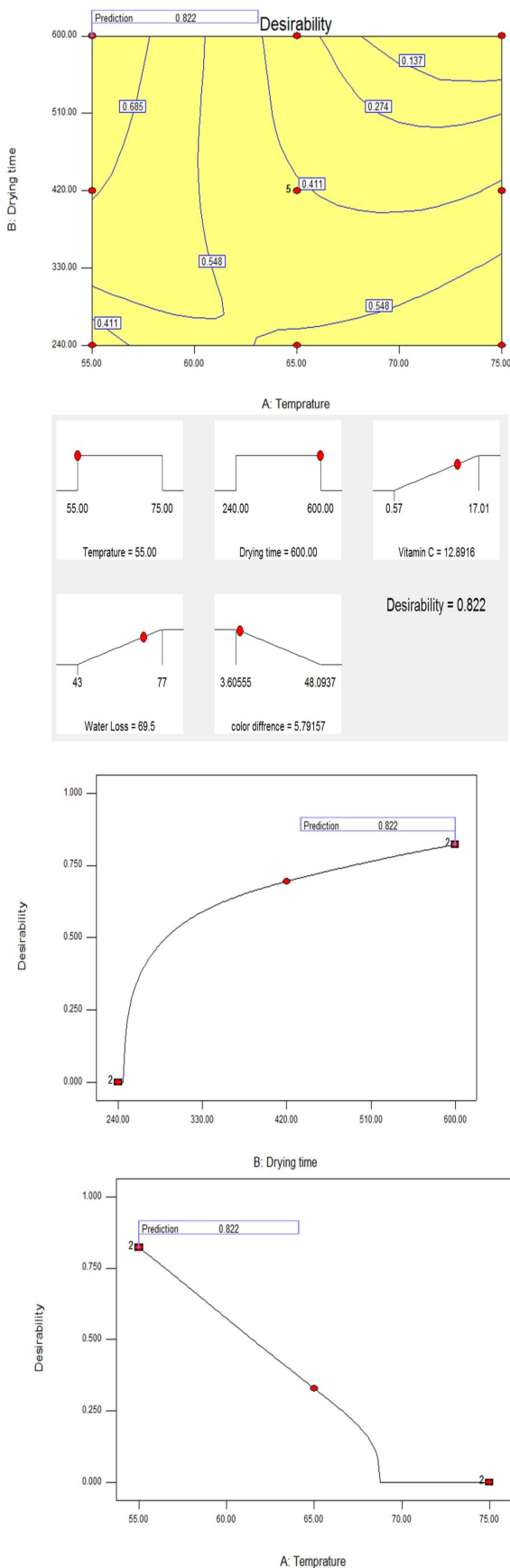
Coefficient of determination ( $R^2$ )	Coefficient	p-Value	F-Value	Mean of squares	Sum of squares	DF	Source	Quality attributes
0.5887	16.49 <sup>ns</sup>	0.1951	2.00	240.59	1202.94	5	Model	a value
	2.80 <sup>ns</sup>	0.5512	0.39	47.04	47.04	1	X1	
	-2.93 <sup>ns</sup>	0.5330	0.43	51.63	51.63	1	X2	
	12.39 <sup>ns</sup>	0.1024	3.53	423.73	423.73	1	X1 × X1	
	4.19 <sup>ns</sup>	0.5457	0.40	48.40	48.40	1	X2 × X2	
	-10.30 <sup>ns</sup>	0.1022	3.53	424.36	424.36	1	X1 × X2	
	-	-	-	120.08	840.53	7	Residual	
	-	0.0066	20.92	263.39	790.18	3	Lack of fit	
	-	-	-	12.59	50.35	4	Pure error	
	-	-	-	-	2043.47	12	Total	
0.7995	3.88*	0.0217	5.58	197.57	987.83	5	Model	b value
	2.40 <sup>ns</sup>	0.3560	0.98	34.56	34.56	1	X1	
	-1.37 <sup>ns</sup>	0.5912	0.32	11.21	11.21	1	X2	
	15.83**	0.0031	19.57	692.49	692.49	1	X1 × X1	
	0.53 <sup>ns</sup>	0.8855	0.02	0.79	0.79	1	X2 × X2	
	-5.25 <sup>ns</sup>	0.1209	3.11	110.25	110.25	1	X1 × X2	
	-	-	-	35.39	247.76	7	Residual	
	-	0.0053	23.63	78.18	234.53	3	Lack of fit	
	-	-	-	3.31	13.23	4	Pure error	
	-	-	-	-	1235.59	12	Total	
0.6275	37.05 <sup>ns</sup>	0.1470	2.36	439.49	2197.44	5	Model	EΔ
	6.21 <sup>ns</sup>	0.3018	1.24	231.49	231.49	1	X1	
	7.66 <sup>ns</sup>	0.2119	1.89	351.66	351.66	1	X2	
	-14.43 <sup>ns</sup>	0.1224	3.09	574.83	574.83	1	X1 × X1	
	-9.67 <sup>ns</sup>	0.2777	1.39	258.06	258.06	1	X2 × X2	
	8.61 <sup>ns</sup>	0.2474	1.59	296.74	296.74	1	X1 × X2	
	-	-	-	186.32	1304.24	7	Residual	
	-	0.0130	14.45	398.03	1194.08	3	Lack of fit	
	-	-	-	27.54	110.15	4	Pure error	
	-	-	-	-	3501.68	12	Total	

\*\* significant at 1%, \* significant at 5%, <sup>ns</sup> non significant

شرایط بهینه در نظر گرفته شد و با اعمال شرایط فرآیند بدست آمده در بهینه‌سازی، محصولی با حداقل رطوبت و رنگ طبیعی و حداکثر مقدار ویتامین ث بدست خواهد آمد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود بهترین شرایط برای خشک کردن فرو سرخ دانه‌های انار شامل استفاده از دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۶۰۰ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ویتامین ث، و اختلاف رنگ کلی دانه‌های انار دان تولیدی به ترتیب برابر ۶۹/۵، ۱۲/۸۹ و ۵/۷۹ می‌باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۸۲۲ می‌باشد.

به منظور ارزیابی کارایی و صحت مدل‌ها و روابط حاصل از بهینه‌سازی و نیز اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ، نمونه‌های انار دان در شرایط دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بهینه‌یابی شده، خشک شدند و ویژگی‌های

شکل (۳) شرایط تعیین شده برای متغیرهای مستقل (جهت بهینه‌سازی تأثیر دما و زمان فرآیند خشک کردن فرو سرخ بر ویژگی‌های کیفی و افت وزن دانه‌های انار) و شرایط بهینه شده را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها متغیرهای مستقل (دما و زمان خشک کردن فرو سرخ) در محدوده آزمایشات انجام شده در نظر گرفته شده است در حالی که میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) و مقدار ویتامین ث به عنوان هدف فرآیند حداکثر و اختلاف رنگ کلی انار دان های تولیدی حداقل در نظر گرفته شد. در فرآیند بهینه‌سازی به تمامی پارامترهای مستقل وزن و اهمیت یکسان داده شد. با توجه به شرایط مورد نظر راه حل- های پیش‌بینی شده بر اساس بالاترین مطلوبیت در شکل (۳) ارائه شده است و هرچه مطلوبیت به ۱ نزدیک‌تر باشد مناسب‌ترین و بهترین شرایط خواهد بود که راه حل اول با بالاترین مطلوبیت به عنوان بهترین شرایط جهت دست‌یابی به



**Fig 3** The optimum conditions for infrared drying process of pomegranate arils

کیفی انار دان نظیر افت وزن، میزان ویتامین ث، و اختلاف رنگ کلی نمونه‌های تولیدی به ترتیب برابر ۷۰، ۱۲/۴۵ و ۷/۷۵ به دست آمد که بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش‌بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می‌باشد (شکل ۴). همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود نمونه‌های انار دان تولیدی در شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ به لحاظ شکل ظاهری و ویژگی‌های رنگی شباهت بسیار زیادی به نمونه‌های شاهد داشته و از لحاظ کیفی در وضع بسیار مطلوبی قرار دارند.

### ۳-۵- نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) و ویتامین ث دانه‌های انار دان به ترتیب افزایش و کاهش یافت و دمای خشک کردن تأثیر بیشتری بر تغییرات این دو پارامتر در مقایسه با زمان خشک کردن داشت. با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان فاکتور رنگی  $L^*$  نمونه‌های انار دان افزایش یافت که شیب تغییرات فاکتور رنگی  $L^*$  تحت تأثیر زمان خشک کردن فرو سرخ شدیدتر از دمای خشک کردن می‌باشد که این امر به خصوص در دماهای بالای خشک کردن شدیدتر است. فاکتورهای رنگی  $a^*$  و  $b^*$  با افزایش دمای خشک کردن افزایش یافت در حالی که با افزایش زمان خشک کردن فرو سرخ کاهش یافت. بهترین شرایط برای خشک کردن فرو سرخ دانه‌های انار شامل استفاده از دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۶۰۰ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ویتامین ث، و اختلاف رنگ کلی دانه‌های انار دان تولیدی به ترتیب برابر ۶۹/۵، ۱۲/۸۹ و ۵/۷۹ می‌باشد. نتایج اعتبار سنجی شرایط بهینه نشان داد که با اعمال شرایط بدست آمده از بهینه‌سازی، ویژگی‌های کیفی انار دان نظیر افت وزن، میزان ویتامین ث، و اختلاف رنگ کلی نمونه‌های تولیدی به ترتیب برابر ۷۰، ۱۲/۴۵ و ۷/۷۵ به دست آمد که بسیار مشابه با نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش‌بینی شده با روش سطح پاسخ می‌باشد.

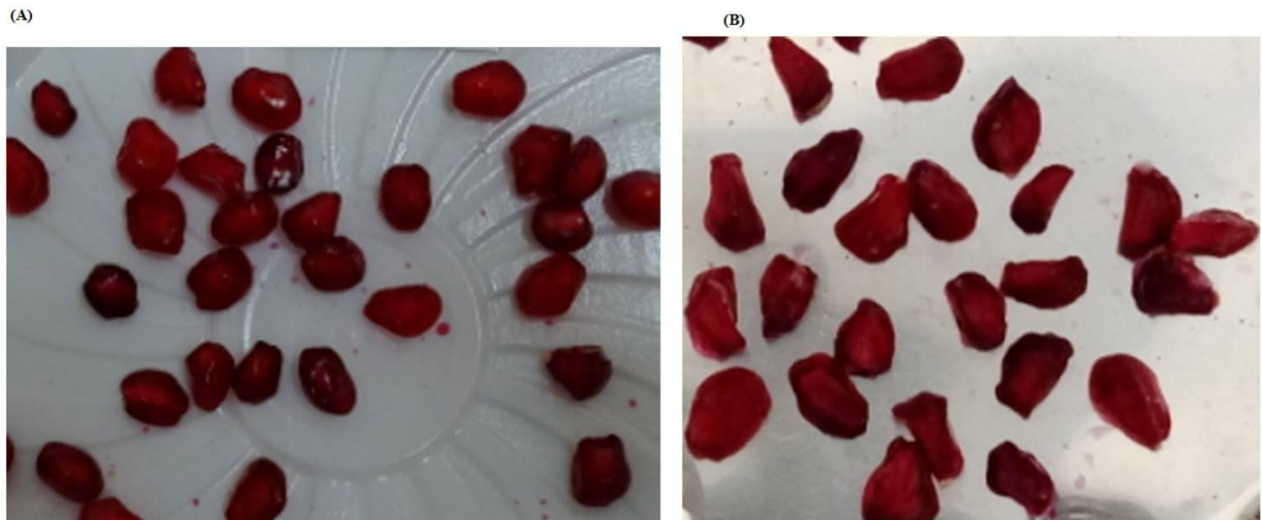


Fig 4 The pomegranate arils A- before and B- after drying in RSM optimized condition

multi-criteria (multi-objective function) optimization of thermal processing. *Journal of Food Process Engineering*, 26(4): 357–375.

- [7] Álvarez, J. M., Canessa, P., Mancilla, R. A., Polanco, R., Santibáñez, P. A., and Vicuña, R. 2009. Expression of genes encoding laccase and manganese-dependent peroxidase in the fungus *Ceriporiopsis subvermispora* is mediated by an ACE1-like copper-fist transcription factor. *Fungal Genetics and Biology*, 46(1): 104–111.
- [8] Mujumdar, A. S. 2007. Book Review: Handbook of Industrial Drying, Third Edition. *Drying Technology*, 25(6): 1133–1134.
- [9] Salehi, F., and Kashaninejad, M. 2018. Thin layer drying of tomato slices using a combined infrared-vacuum dryer. *Food Science and Technology*, 15 (82): 119-127
- [10] Salehi, F., Asadi Amirabadi, A., and Kashaninejad, M. 2017. Modeling of Eggplant Drying Process by Infrared System using Genetic Algorithm–Artificial Neural Network Method. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*, 9 (1): 85-96.
- [11] Ebrahim Taghinezhad, E., and Rasooli Sharabiani, V. 2017. The effect of combination dryer of hot air – infrared and microwave on some quality properties of parboiled rice. *Food Innovation Technology*, 5(1): 25-38.
- [12] Amir Nejat, H., Khoshtaghaza, M.H., and Pahlavanzadeh, H. 2011. A Determination of Thin Layer Drying Kinetics of Button Mushroom when Dried through an Infrared

#### ۴- منابع

- [1] Pirhayati, A., Daraei garmakhany, A., Gholami, M., Mirzakhani, A., and Khalilzadeh Ranjbar, G. 2019. Application of Aloe vera Gel Coating Enriched with Golpar Essential Oil on the Shelf Life of Peach Fruit (*Prunus persica* var, Zafarani). *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 13 (4) :75-88.
- [2] Aghajani, N., Kashaninejad, M., Deghhani, A. A., and Daraei Garmakhany, A. 2012. Comparison between artificial neural networks and mathematical models for moisture ratio estimation in two varieties of green malt. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 4(2): 93–101.
- [3] Mwithiga, G., and Olwal, J. O. 2005. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*, 71(4): 373–378.
- [4] Mazandarani, Z., Aghajani, N., Garmakhany, A. D., Ardalan, M. J. B., and Nouri, M. 2017. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils: Various Drying Methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19(7): 1527-1537.
- [5] Lee, J., Durst, R. W., and Wrolstad, R. E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5): 1269–1278.
- [6] Erdogdu, F., and Balaban, M. O. 2003. Complex method for nonlinear constrained

- sweet bread. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 6(1): 33–40.
- [19] Akhlaghan, Z., Oladghaffari, A., and Azadmard Damirchi, S. 2018. Effect of different drying pretreatments of carrot discards on quality characteristics of obtained powder upon storage. *Food Innovation Technology*, 5(4): 557-566.
- [20] Białobrzewski, I. 2006. Determination of the heat transfer coefficient by inverse problem formulation during celery root drying. *Journal of Food Engineering*, 74(3): 383–391.
- [21] Nisha, P., Shinghal, R. S., and Panditt, A. B. 2004. A study on degradation kinetic of ascorbic acid in amla (*Phyllanthus emblica* L.) during cooking. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(5): 415–422.
- [22] Devahastin, S., and Niamnuy, C. 2010. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(9): 1755–1767.
- [23] Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., and Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88(1): 55-64.
- Applied Drying Method. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 42(1): 53-61.
- [13] Salehi, F. 2019. Modeling of apricot weight loss during drying with infrared dryer using genetic algorithm-artificial neural network optimization methods. *Journal of Food Research*, 29(1): 55-69.
- [14] Aghajani, N., Kashiri, M., Daraei Garmakhany, A., Moharami, M., and Dalvi, M. 2012. Treatments influencing quality attributes and separation time of pomegranate arils. *Minerva Biotecnologica*, 24(1):1-4.
- [15] Shamloo, M. M., Sharifani, M., Daraei Garmakhany, A., and Seifi, E. 2015. Alternation of secondary metabolites and quality attributes in Valencia Orange fruit (*Citrus sinensis*) as influenced by storage period and edible covers. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4): 1936–1947.
- [16] Egan, H., R. S. Kirk., and R. Sawyer. 1985. *Pearson's Chemical Analysis of Foods*. 8<sup>th</sup> ed., Churchill Livingstone Ltd., UK.
- [17] Modares, B., Ramin, A. A., Ghobadi, S., and Khoshbakht, D. 2013. Comparison of the Effect of 1-MCP and Low-Pressure Air on Shelflife of Strawberry Fruit (*Fragaria ananassa* cv. Camarossa). *Journal of Crop Production and Processing*, 3 (9):189-204.
- [18] Hashemi Shahraki, M., Mashkour, M., and Garmakhany, A. D. 2014. Development and application of a computer vision system for the measurement of the colour of Iranian



## Response surface modeling of the pomegranate arils (Shahsavari Yazdi cultivar) weight loss, vitamin C and color characteristics variation during the infrared drying process

Aghajani, N. <sup>1\*</sup>, Daraei Garmakhany, A. <sup>2</sup>, Hedayati Dezfouli, O. <sup>3</sup>

1. Assistant Prof. Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
2. Assistant Prof. Department of Food Science and Technology, Toyserkan Faculty of Engineering and natural resources, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
3. Graduated student, Department of Food Science and Technology, Toyserkan Faculty of Engineering and natural resources, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Article History:</b></p> <p>Received 2020/ 11/ 20 Accepted 2021/ 01/ 11</p>	<p>Drying is one of the oldest methods of food preservation, which usually have adverse effect on the physicochemical properties and nutritional value of the final product too. Today, the demand for application of rapid drying methods such as using microwave and infrared beams has increased to prevent or reduce undesirable changes in foods. In this study, the effect of infrared drying process condition (drying temperature and time) on weight loss, vitamin C and color properties of Shahsavari Yazdi pomegranate arils were investigated and optimized by response surface method. The results showed that the amount of weight loss and L* value of pomegranate samples, increased with increasing drying time and temperature, while the amount of vitamin C decreased. Drying temperature had a greater effect on weight loss and vitamin C changes compared to drying time; however, variation of L* value under the influence of infrared drying time are more severe than the drying temperature. The amount of a* and b* value increased with increasing drying temperature while decreased with increasing infrared drying time. The best conditions for infrared drying of pomegranate arils are using drying temperature of 55 °C for 600 minutes and by applying the optimal conditions, the amount of weight loss, vitamin C and the total color difference (<math>\Delta E</math>) of the produced pomegranate arils are equal to 69.5, 12.89 and 5.79 respectively. The results of the optimal conditions validation test showed that by applying the obtained conditions from the optimization process, the quality attributes of pomegranate such as weight loss, amount of vitamin C and the total color difference (<math>\Delta E</math>) of the produced samples were 70, 12.45 and 7.75 respectively, which are very similar to the obtained results from the optimal conditions predicted by the response surface method.</p>
<p><b>Keywords:</b></p> <p>Weight loss, Pomegranate arils, Infrared drying, Response surface method.</p>	
<p><b>DOI:</b> 10.52547/fsct.18.05.20</p> <p>*Corresponding Author E-Mail: naghajani@basu.ac.ir.</p>	