

## مدل‌سازی و بهینه‌سازی اثر پیش‌تیمار اسمز- فراصوت و خشک‌کردن تکمیلی هوای داغ روی گیلان سیاه

قاسم یوسفی<sup>۱</sup>، زهرا امام‌جمعه<sup>۲\*</sup>، زهره کرمی<sup>۳</sup>، کیانا پورمحمدی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. استادی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۴/۱۵)

### چکیده

روش سطح پاسخ به منظور تعیین نقاط بهینه فرایند خشک‌کردن اسمز-فراصوت همراه خشک‌کردن تکمیلی با هوای داغ برای دستیابی به بیشینه آنتوسیانین، ترکیبات فنولی کل، و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه گیلان سیاه استفاده شد. درجه حرارت (۴۰، ۵۰، ۶۰ درجه سلسیوس)، غلظت محلول ساکارز (۴۰، ۵۰، ۶۰ درصد حجمی/وزنی)، و فرکانس (۰، ۶۵، ۱۳۰ کیلوهرتز) عواملی بودند که تأثیر آن‌ها بر میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنولی کل، و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول دوره خشک‌کردن گیلان سیاه با پیش‌تیمار اسمز-فراصوت همراه با خشک‌کردن تکمیلی هوای داغ ارزیابی شد. آزمایش‌ها براساس طرح مرکب مرکزی با در نظر گرفتن سه سطح برای هر یک از عوامل یادشده، انجام شد. در آزمایش‌های انجام‌شده نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱/۱۰ (حجمی/وزنی) در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این بود که تأثیرات خطی و درجه دو هر سه متغیر مستقل دما، غلظت شربت ساکارز، و شدت فرکانس بر میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنولی کل، و فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار ( $P=0/05$ ) بود. برای هر پاسخ با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی چندجمله‌ای درجه دوم به‌دست آمد. آنالیز واریانس (ANOVA) به‌منظور ارزیابی صحت و دقت مدل‌های به‌دست‌آمده اجرا گردید. با روش سطح پاسخ، بهینه‌سازی شرایط فرایندی برای حداکثرسازی ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی و حداقل‌سازی میزان  $EC_{50}$  انجام گرفت. نقطه بهینه به‌دست‌آمده برای فرایند آب‌گیری عبارت است از: دما ۴۰°C، غلظت شربت ساکارز ۴۰ درصد، و فرکانس ۱/۳۱ کیلوهرتز. میزان راندمان تولید پیش‌بینی‌شده مدل برای ترکیبات فنولی ۱/۱۸۹ میلی‌گرم معادل اسیدگالیک به ۱۰۰ گرم وزن خشک، میزان آنتوسیانین ۲۸۳۷/۸۲ میکروگرم به ۱۰۰ گرم وزن خشک، و میزان  $EC_{50}$  برابر با ۰/۰۲۴۵ در میلی‌گرم ماده خشک بود. مدل ارائه‌شده برای پیش‌بینی مقادیر متغیرهای وابسته، نتایج بسیار نزدیکی با یافته‌های آزمایشی به‌دست‌آمده دارد.

**کلیدواژگان:** پیش‌تیمار اسمز-فراصوت، روش سطح پاسخ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گیلان سیاه، مدل‌سازی.

### مقدمه

مثل کلوجه مناسب است. همچنین از این میوه در تولید نوشیدنی‌های طعم‌دار و بستنی‌های با طعم گیلان سیاه استفاده می‌شود. معمولاً برای ایجاد طعم و مزه تند در محصولات با طعم گیلان سیاه به جای گیلان شیرین<sup>۱</sup> از این واریته استفاده می‌شود. همچنین در کیک‌های حاوی شکلات تیره و مانند اینها می‌توان از این میوه استفاده کرد. بسیاری از میوه‌جات و سبزیجات فصل برداشت‌شان کوتاه بوده و زمان ماندگاریشان بعد از برداشت هم کوتاه است. بسیاری از میوه‌جات بعد از برداشت به‌دلیل فعالیت‌های میکروبی و واکنش‌های بیوشیمیایی به سرعت فاسد می‌شوند. اگرچه روش‌های گوناگونی شامل کنسروکردن، بطری‌کردن، انجماد، تخمیر، پاستوریزاسیون، پرتودهی، استفاده

میوه *Prunus Serotina* که به گیلان سیاه، گیلان سیاه وحشی، و گیلان سیاه کوهی نیز معروف است، گیاهی متعلق به جنس *Prunus* و زیردسته *Padus* است (McVaugh et al., 1951). این گیاه بومی نواحی شمال شرق آمریکا و کانادا است. میوه این درخت شبیه آلوی کوچک بوده و قطرش حدود یک سانتی‌متر است که رنگ آن در ابتدا سبز مایل به زرد است و بعد از رسیدن به رنگ سیاه در می‌آید. این میوه از نظر حسی طعم و مزه گس و تلخی در حالت تازه‌خوری دارد (Preston, 1961). میوه این گیاه برای تولید مربا و استفاده به‌عنوان مغز محصولات

1. *Prunus avium*

\* نویسنده مسئول: emamj@ut.ac.ir

افزایش دانسیته محصول به دلیل جذب مواد جامد حین آبیگری می‌توان تا حد زیادی حل کرد (Fernandes *et al.*, 2008, a-b). در تحقیقات اخیر از ترکیب فرایند فراصوت و آبیگری اسمزی در فراوری میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده شده است. در اغلب این تحقیقات از امواج فراصوت برای افزایش سرعت آبیگری و کاهش زمان فرایند اسمز استفاده شده است. بیشتر تحقیقات انجام شده تاکنون یا به تأثیر امواج فراصوت بر ضرایب انتشار آب و مواد جامد (Simal *et al.*, 1998; Rastogi *et al.*, 2002, Fernandez *et al.*, 2008 a, Shamaei *et al.*, 2012 b) یا به امواج فراصوت بر بافت مواد غذایی (Fernandez & Rodriguez, 2007; Fernandez *et al.*, 2008 a & b; Shamei *et al.*, 2012 a) پرداخته‌اند و تحقیقات کمتری در مورد تأثیر توأم فرایند اسمز-فراصوت بر خصوصیات تغذیه‌ای و فراسودمند مواد غذایی صورت گرفته است (Stojanovic, *et al.*, 2007; Shamaei *et al.*, 2012 a).

هدف از این مطالعه تعیین تأثیر متغیرهای دما، غلظت محلول اسمزی، شدت فرکانس فراصوت، و خشک کردن تکمیلی با هوای داغ روی میزان ازدست‌دادن آب<sup>۲</sup>، میزان جذب مواد جامد<sup>۳</sup>، تغییرات آنتوسیانین، و آنتی‌اکسیدانی محصول مورد نظر است. تأثیرات گفته شده توسط روش سطح پاسخ<sup>۴</sup> بهینه‌سازی خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### آماده‌سازی نمونه

گیلاس سیاه از بازار محلی کرج تهیه شد. گیلاس سیاه پس از خریداری تا زمان فرایند در یخچال با دمای چهار درجه سانتیگراد قرار گرفت. یک ساعت قبل از فرایند از یخچال خارج شد و در دمای محیط قرار گرفت. به منظور جداسازی مواد خارجی مثل گرد و خاک به خوبی شسته شد. میوه‌ها براساس درجه رسیدگی، اندازه، رنگ یکنواخت، دسته‌بندی شدند و نمونه‌های نارس و آسیب دیده جدا گردیدند.

### پیش تیمار با هیدروکسید سدیم

گیلاس‌های سیاه تازه با آب شسته شدند، با کاغذ خشک‌کن خشک شدند و سپس توزین گردیدند. پس از آن در محلول سود ۰/۵ مولار به منظور افزایش نفوذپذیری پوسته غوطه‌ور شدند. گیلاس‌های سیاه از محلول خارج، با آب شسته و سپس با کاغذ

از مواد نگهدارنده، و مانند اینها برای افزایش ماندگاری میوه‌های برداشت شده، از چند هفته تا یک سال به کار می‌روند، اما مهم‌ترین روش‌های نگهداری این محصولات در مقیاس صنعتی شامل انجماد، کنسرو کردن، و خشک کردن است (Kouassi & Roos, 2001). انتخاب روش نگهداری بستگی به نوع محصول دارد. تنوع زیاد محصولات تولیدی منجر به معرفی روش‌های گوناگون خشک کردن برای کاهش رطوبت ماده غذایی شده است. فرایند خشک کردن می‌تواند به شکل‌های گوناگونی و با خشک‌کن‌های متفاوتی انجام گیرد که هر یک برای فرایند محصول خاصی طراحی شده است. با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی، روش‌های خشک کردن نیز مثل سایر فرایندها دچار تحولات زیادی شده‌اند و امروزه روش‌های جدید خشک کردن ابداع شده‌اند که از میان آنها می‌توان به آبیگری اسمزی اشاره کرد. امروزه آبیگری اسمزی یکی از روش‌های طبیعی و قابل اطمینان برای نگهداری مواد غذایی است (Rastogi *et al.*, 2002). شکر، عسل، و نمک در گذشته برای کمک به خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شده است (Ponting, 1973). انتخاب بهترین روش‌های خشک کردن و انجام عملیات صحیح در ایجاد کیفیت مطلوب محصولات اهمیت زیادی دارند. روش‌های سنتی خشک کردن مواد غذایی بر کیفیت محصولات اثر منفی می‌گذارد و باعث افزایش چروکیدگی، بافت، سخت شدن سطح محصول، تغییرات نامطلوب در رنگ، عطر، طعم، و کاهش ارزش غذایی می‌شوند. تیمار آبیگری اسمزی به‌تنهایی یا همراه با فرایند فراصوت به عنوان پیش فرایندی طی یک فرایند ملایم مقداری از رطوبت محصول را کاهش می‌دهد و ماده غذایی با رطوبت کمتر وارد مرحله خشک کردن تکمیلی می‌گردد که در نتیجه با کاهش زمان حرارت‌دهی و کاهش درجه حرارت به کاررفته با حداقل صدمات وارد شده به ماده غذایی همراه خواهد شد. پیش فرایند اسمز-فراصوت به عنوان روش آبیگری نسبی<sup>۱</sup> می‌تواند روش مناسبی برای کاهش زمان خشک کردن باشد. از آنجاکه در این روش، خروج آب در درجه حرارت‌های پایین و بدون تغییر فاز صورت می‌گیرد، تأثیر مثبتی بر فاکتورهای کیفی محصول از قبیل عطر و طعم و رنگ خواهد داشت (Garcia-Noguera *et al.*, Shamaei *et al.*, 2012, 2010). از مهم‌ترین مشکلات محصولات خشک شده در صنایع غذاهای آماده، مسئله غوطه‌ور نشدن و دانسیته پایین آن‌هاست که با تحت تأثیر قرار دادن قابلیت بازجذب آب، درجه مرغوبیت محصول را کاهش می‌دهد. با انجام فرایند اسمز این معضل را با

2. Water loss

3. Solid gain

4. Response Surface Methodology

1. Partial dehydration

به ترتیب با تامپون های pH=۴/۵ و pH=۱ به حجم رسانده شد. برای به تعادل رسیدن فرم های آنتوسیانین و تغییر شکل آن ها در بافرهای متفاوت حدود ۱۵ دقیقه زمان لازم است. زمان نگهداری محلول ها در تامپون نباید از ۱ ساعت تجاوز کند. در غیر این صورت در جذب خوانده شده با اسپکتروفتومتر خطا ایجاد می شود. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه، نمونه را در کووت ۱۰ میلی متر ریخته و جذب آن در طول موج  $\lambda_{max} = 510 \text{ nm}$  خوانده می شود. جذب را در  $\lambda = 510 \text{ nm}$  که طول موج ماکزیمم است و  $\lambda = 700 \text{ nm}$  (برای حذف عوامل کدورت که ممکن است در نمونه باشند و خطا ایجاد کنند) اندازه می گیریم که در این حالت ها هر کدام از جذب ها باید قبلاً با نمونه شاهد صفر شده باشند. همه اندازه گیری ها حتماً بین ۱۵ دقیقه تا ۱ ساعت انجام شود، زیرا زمان ماندن طولانی تر باعث خطا در جذب خوانده شده می شود.

محاسبه جذب نمونه

(رابطه ۱)

$$A = (A_{\lambda 510 \text{ max}} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{\lambda 510 \text{ max}} - A_{700 \text{ nm}})_{pH 4.5}$$

محاسبه آنتوسیانین کل

(رابطه ۲)

$$Total \ anthocyani \ ns \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( A \times MV \times DF \times 1000 \right) / \varepsilon$$

A: جذب نمونه محاسبه شده در رابطه ۱

MV: وزن مولکولی

DF: فاکتور رقت

ε: جذب مولار

توجه: MV و ε به آنتوسیانین غالب در نمونه بستگی دارد که در اینجا برحسب سیانیدین -۳- گالاتوزید (MV=۵۰۲/۵) است (Stojanovic & Silva, 2006; Tibor, 1967).

اندازه گیری ترکیبات فنولی کل

مقدار کل ترکیبات فنولی موجود در گیلای سیاه خشک شده به وسیله رنگ سنجی و به روش فولین-سیوکالتیو<sup>۱</sup> بررسی شد. در این روش مقدار کل ترکیبات فنولی براساس ترکیب فنولی انتخاب شده، بیان می گردد. در اغلب مواقع این ترکیب اسیدگالیک است و نتایج آن به صورت معادل اسیدگالیک بیان می گردد. پس از تهیه عصاره ها، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره در لوله آزمایش ریخته شد، سپس ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر به عصاره اضافه گردید و با ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین-سیوکالتیو (که به

خشک کن رطوبت سطحی نمونه خشک گردیدند.

پیش تیمار اسمز-فراصوت نمونه ها

محلول اسمزی در سه غلظت ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درصد (وزنی-حجمی) ساکارز تهیه گردید. نمونه ها با رعایت نسبت ۱ به ۱۰ (میوه به محلول)، به بشر حاوی محلول اسمزی اضافه گردیدند (Shamaei et al., 2012).

پیش تیمار اسمز-فراصوت با دستگاه Multi-frequency

ultrasonic baths, Transsonic TI-H 40MF ساخت کشور آلمان و با توجه به توانایی دستگاه، بافت میوه، و مطالعات پیشین نگارندگان (Shamaei et al., 2012) در دو سطح فرکانس ۶۵ و ۱۳۰ کیلو هرتز با توان ۱۰۰ درصد و بدون اعمال فراصوت اعمال گردید. میوه ها داخل بشر حاوی محلول اسمزی غوطه ور شدند و بشر درون حمام فراصوت قرار گرفت به نحوی که جهت امواج از سمت جانب و عمود بر سطح میوه ها بود. این پیش فرایند نیز در سه دمای ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درجه سلسیوس انجام گرفت. همه آزمایشات در شرایط کامل همزنی مکانیکی با شدت ۱۵۰ دور بر دقیقه صورت گرفت.

خشک کردن تکمیلی

نمونه های خشک شده در محلول اسمزی تحت تیمار با فراصوت پس از جدا شدن هسته ها از میوه وارد خشک کن کابینتی (Armfield, UOPE MKII) ساخت کشور انگلستان شدند و ادامه فرایند خشک کردن را در دمای ۷۰ درجه سلسیوس طی کردند.

استخراج آنتوسیانین ها

استخراج آنتوسیانین توسط اتانول همراه با اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار با نسبت ۱۵:۸۵ انجام شد به این صورت که ابتدا ۱۵ گرم از نمونه ها وزن شدند و با ۲۰ میلی لیتر حلال مخلوط و به کمک مخلوط کن کاملاً همگن شدند. سپس مخلوط کن با ۲۰ میلی لیتر حلال شسته و به نمونه اضافه شد. پس از آن نمونه ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴°C نگه داشته شدند و بعد به مدت ۱۵ دقیقه به کمک سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ شدند مجدداً به نمونه ها ۵ میلی لیتر حلال اضافه شد و بار دیگر سانتریفوژ انجام شد (Stojanovic & Silva, 2006; Tibor, 1967).

سنجش آنتوسیانین کل با اسپکتروفتومتر

اندازه گیری آنتوسیانین با روش اختلاف pH در دو pH، ۱ و ۴/۵، در دو  $\lambda_{max}$ ، ۵۱۰ و ۷۰۰ به وسیله اسپکتروفتومتر انجام شد. مقدار ۱ mL از نمونه را به دو بال ۲۵ میلی لیتری منتقل و

### طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

مهم‌ترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد. در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل: غلظت ساکارز ( $X_1$ )، شدت فرکانس ( $X_2$ )، و دما ( $X_3$ ) در سه سطح ارزیابی شد؛ در جدول ۱ متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱. سطوح انتخاب شده برای فاکتورها

فاکتورها/سطوح	پایین (-۱)	میانی (۰)	بالا (+۱)
دما (درجه سانتی‌گراد)	۴۰	۵۰	۶۰
فرکانس (کیلوهرتز)	۰	۶۵	۱۳۰
غلظت شربت ساکارز (درصد)	۴۰	۵۰	۶۰

مدل استفاده شده در روش سطح پاسخ عموماً رابطه درجه دوم است. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را روی هر متغیر جداگانه بیان می‌کند، مدل چندمتغیره به صورت رابطه ۵ است. در معادله ۵،  $Y$  پاسخ پیش‌بینی شده،  $\beta_0$  ضریب ثابت،  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  ضرایب خطی،  $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$  تأثیرات درجه دوم و  $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$  تأثیر متقابل هستند.

(رابطه ۵)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل شامل: دما، غلظت ساکارز، و شدت فرکانس، در سه سطح و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح (برای محاسبه تکرارپذیری فرایند) به منظور بررسی تأثیر شرایط کاهش رطوبت و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهینه‌سازی فرایند مذکور استفاده شد (Kargozari et al., 2010). در این تحقیق از نرم‌افزار Design Expert نسخه ۸/۱ برای محاسبات آماری و مدل‌سازی، و برای بهینه‌سازی از نرم افزار Minitab نسخه ۱۵ استفاده شد.

### نتیجه و بحث

انتقال جرم در طول دوره فرایند آبیگری اسمزی گیلای سیاه در قالب آزمون طرح مرکب مرکزی و با شش نقطه مرکزی با سه متغیر مستقل (غلظت محلول اسمزی، شدت فرکانس فراسوت، و دما) هر کدام در سه سطح صورت گرفت. مقدار رطوبت اولیه نمونه گیلای سیاه  $1 \pm 80\%$  درصد (براساس وزن مرطوب) و مقدار ماده خشک آن  $1 \pm 20\%$  درصد (براساس وزن مرطوب) بود.

در فرایند اسمزی تا زمان مشخصی میزان ازدست‌دادن آب و جذب مواد جامد محلول افزایش می‌یابد و سپس با گذشت

نسبت ۱۰:۱ با آب مقطر رقیق شده بود) و ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۲ درصد به خوبی مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت نیم‌ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس مقدار جذب محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۵۰ نانومتر خوانده شد. مقدار کل ترکیبات فنولی با استفاده از معادله خط رسم‌شده برای اسیدگالیک<sup>۱</sup> بر مبنای اسیدگالیک و به صورت میلی‌گرم در گرم نمونه خشک بیان گردید (Lin & Tang, 2007). معادله خط رگرسیونی که رابطه غلظت اسیدگالیک را با میزان جذب محلول‌ها در ۷۵۰ نانومتر نشان می‌دهد به صورت رابطه ۳ به دست آمد. در این معادله  $Y$  مقدار جذب و  $X$  مقدار ترکیبات فنولی براساس اکی‌والانت اسیدگالیک را نشان می‌دهد.

(رابطه ۳)

$$Y = 0.0008X + 0.0649 \quad R^2 = 0.9976$$

### تعیین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ابتدا غلظت‌های گوناگونی از محلول متانولیک ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل (DPPH) ساخت شرکت مرک آلمان تهیه و جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ nm اندازه‌گیری شد و منحنی استاندارد آن به دست آمد. سپس ۳/۹ mL متانول با ۰/۱ mL عصاره مخلوط و جذب آن در طول موج ۵۱۵ nm پس از رسیدن به حالت پایدار خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد غلظت ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل در این جذب به دست آمد و تحت عنوان مقدار ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل در زمان صفر در نظر گرفته شد. پس از آن ۳/۹ mL از محلول متانولیک ۲۵ میلی‌گرم در لیتر از ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل با ۰/۱ mL عصاره مخلوط شد و پس از گذشت نیم‌ساعت مقدار جذب آن در طول موج ۵۱۵ nm در حالت پایدار خوانده و به عنوان مقدار ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل در زمان  $t$  در نظر گرفته شد. آنگاه مقدار ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل باقیمانده از رابطه ۴ به دست آمد:

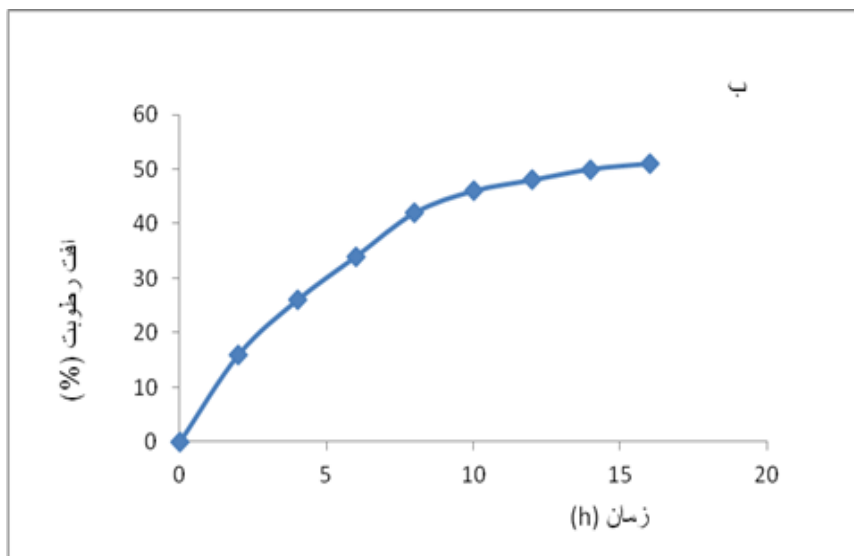
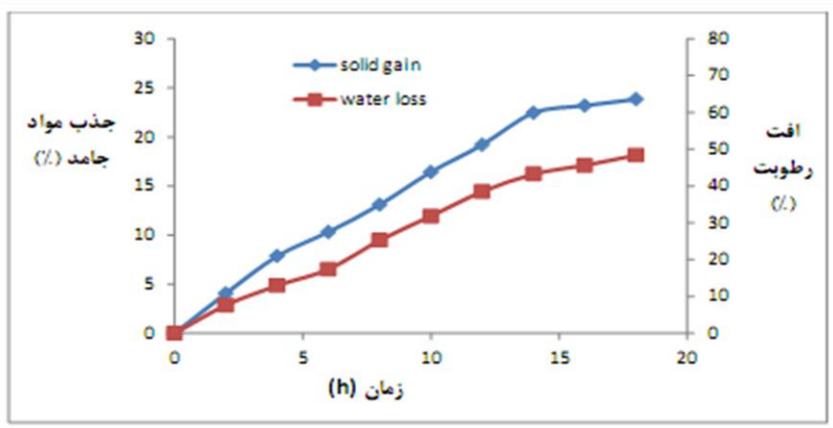
(رابطه ۴)

$$\% DPPH_{rem} = \frac{[DPPH]_t}{[DPPH]_{t=0}}$$

مقدار غلظت عصاره که باعث کاهش ۵۰ درصدی غلظت ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل شد، با عنوان غلظت مؤثر ( $EC_{50}$ ) بیان گردید که نمودی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره است. لازم به ذکر است که تنظیم صفر دستگاه اسپکتروفتومتر ابتدا با متانول خالص انجام گرفت (Cam et al., 2009). میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها برحسب  $EC_{50}$  محاسبه شده از رابطه ۴ بیان شد.

شکل ۱ مشاهده می گردد، میزان کاهش آب نمونه در طول دوره خشک کردن اسمزی با گذشت زمان افزایش می یابد. به این معنا که نمونه های گیلای سیاه با گذر زمان میزان رطوبت بیشتری از دست می دهند. در نمونه های تحت فرایند اسمز فراصوت در زمان حدود ۱۴ ساعت به نقطه تعادل می رسد، پس از این نقطه گذر زمان تأثیری بر میزان آبگیری از نمونه نخواهد داشت. با توجه به این امر زمان پایان آزمایش ها ۱۴ ساعت در نظر گرفته شد.

زمان از سرعت این فعل و انفعالات کاسته می شود و سرانجام به حالتی ثابت و ایستا می رسند. لایه حاصل از مواد جامد تغلیظ شده در زیر سطح ماده غذایی باعث تغییر در گرادیان غلظت بین محلول و ماده غذایی می شود و نیروی محرکه برای جریان آب کاهش می یابد. لایه های سطحی حاصل از مواد جامد اسمزی سبب ایجاد مقاومت در برابر انتقال جرم می شود و به همین دلیل بعد از گذشت مدتی به حالت ایستایی می رسد. این حالت ایستایی در منحنی های ازدست دادن آب و جذب مواد جامد قابل مشاهده است (Lenart, 1996). همان گونه که در



شکل ۱. افت آب و افزایش مواد جامد در فرایند اسمز بدون فراصوت (الف) و با فراصوت (ب)

آنالیز سطح پاسخ و بررسی اثر متقابل فاکتورهای مؤثر بر میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنولی، و فعالیت آنتی اکسیدانی با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) (جدول ۳) معنی دار بودن تأثیرات خطی، درجه دوم، و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ بررسی گردید. آنالیز سطح پاسخ داده ها

گزینش مدل مناسب و تجزیه و تحلیل مدل های برازش یافته به منظور حصول مدل های تجربی برای پیش بینی پاسخ، رابطه های خطی و چند جمله ای درجه دوم برای داده های به دست آمده از آزمایش ها برازش شدند. سپس این مدل ها آنالیز آماری شدند تا مدل مناسب گزینش گردند (جدول ۳).

در جدول ۳، روابط بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنتوسیانین‌ها، ترکیبات فنولی، و پارامترهای دما، فرکانس و غلظت ساکارز را به صورت خطی، درجه دوم، و متقابل نشان داد. معادلات ۶ و ۷ و ۸ روابط بین ترکیبات فنولی، آنتوسیانین‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (EC<sub>50</sub>)، و پارامترهای خشک کردن اسمز-فراصوت به همراه خشک کردن تکمیلی با هوای داغ در میوه گیلاس سیاه را نشان می‌دهد.

(رابطه ۶)

$$Y_1(\text{total phenol}) = 10.649 - 0.2614x_1 - 0.12479x_2 + 0.00223x_1^2 - 0.00023x_2^2 + 0.000880x_3^2 + 0.000628x_1x_3 + 0.000182x_2x_3$$

(رابطه ۷)

$$Y_2(\text{anthocyanin}) = 22529.89 - 1316.94x_1 - 26.37x_2 + 539.85x_3 + 12.7566x_1^2 - 5.779x_2^2 + 0.345x_1x_2 + 0.234x_2x_3$$

(رابطه ۸)

$$Y_3(\text{EC}_{50}) = -0.797 + 0.00115x_2 + 0.0347x_3 + 0.000037x_1^2 - 0.000002x_2^2 - 0.0003125x_3^2 - 0.000044x_1x_2 - 0.000018x_2x_3$$

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، در مورد آنتوسیانین کل تمام عوامل به جز اثر درجه دوم فرکانس و اثر متقابل غلظت و دما معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) هستند. در مورد ترکیبات پلی‌فنلی نیز همه عوامل به جز فرکانس، اثر درجه دوم دما، و اثر متقابل غلظت و فرکانس معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) هستند. در زمینه فعالیت آنتی‌اکسیدانی به جز دو مورد، اثر خطی غلظت و اثر متقابل غلظت و دما، تأثیر تمامی عوامل معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) است. عدم برآزش برای همه پاسخ‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. بنابراین بالابودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برآزش برای آن، صحت مدل را برای برآزش اطلاعات تأیید می‌کند.

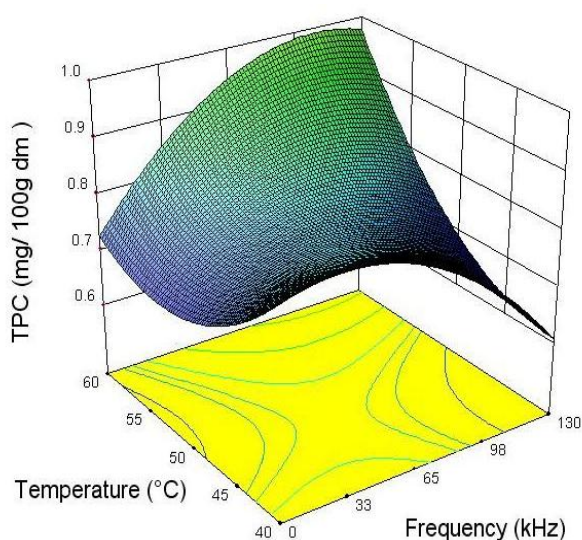
جدول ۲. نتایج آزمون‌ها در نقاط مشخص شده با طرح مرکب مرکزی

EC <sub>50</sub> (mg dw)	ترکیبات فنولی کل (mg/100g dw)	آنتوسیانین (μg/100g dw)	دما X <sub>3</sub> (°C)	فرکانس X <sub>2</sub> (KHz)	غلظت X <sub>1</sub> (%)	تیمار
0.776	0.8144	1788/18	50	65	50	۱
0.36	0.9556	224/58	40	.	60	۲
0.738	0.7159	1273/29	50	130	50	۳
0.615	0.7086	1946/54	40	130	60	۴
0.777	0.7896	1411/66	50	65	50	۵
0.381	1/1667	1659/81	60	130	40	۶
0.304	1/1965	2043/57	60	130	60	۷
0.249	1/1594	2796/59	40	.	40	۸
0.689	0.7549	1406/52	50	.	50	۹
0.502	1/0506	783/82	60	65	50	۱۰
0.515	0.9796	1794/49	40	130	40	۱۱
0.78	0.7712	1469/59	50	65	50	۱۲
0.826	0.9223	2556/33	50	65	60	۱۳
0.809	1/1933	2990/77	50	65	40	۱۴
0.516	0.9188	1539/62	60	.	60	۱۵
0.8	0.6744	1585/44	50	65	50	۱۶
0.772	0.8120	1353/74	50	65	50	۱۷
0.7875	0.7777	1310/29	50	65	50	۱۸
0.576	0.9210	2227/48	60	.	40	۱۹
0.432	0.7946	1056/08	40	65	50	۲۰

جدول ۳. جدول تجزیه واریانس برای میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنولی، و فعالیت آنتی اکسیدانی

درجه آزادی		آنتوسیانین		ترکیبات فنولی کل		EC <sub>50</sub>	
ضرایب رگرسیون	عدد P	ضرایب رگرسیون	عدد P	ضرایب رگرسیون	عدد P	ضرایب رگرسیون	عدد P
مدل	۹	۲۲۵۲۹/۸۹	۰/۰۰۰	۱۰/۶۵	۰/۰۰۰	-۰/۷۹۷	۰/۰۰۰
X <sub>1</sub>	۱	-۱۳۱۶/۹۴	۰/۰۳۱	-۰/۲۶۱	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۱۴۳	۰/۰۷۷
X <sub>2</sub>	۱	-۲۶/۳۷	۰/۰۱	-۰/۰۰۵۷	۰/۷۹۹	۰/۰۰۱۱۵	۰/۰۰۶
X <sub>3</sub>	۱	۵۳۹/۸۵	۰/۰۰۷	-۰/۱۲۵	۰/۰۱۴	۰/۰۳۴۷۱	۰/۰۴۱
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	۱	۱۲/۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲۲۳۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۲
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	۱	-۰/۰۳۷	۰/۱۰۴	-۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۳۹	-۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	۱	-۵/۷۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۶۲	-۰/۰۰۰۰۳۱۲	۰/۰۰۰
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	۱	۰/۳۴۵	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۸۶۲	-۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۵۰۳
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	۱	۰/۱۴۵	۰/۰۷۸۵	۰/۰۰۰۰۶۲۸	۰/۰۲۹	-۰/۰۰۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	۱	۰/۲۳۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۰۱۸۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰
Lack of fit	۵		۰/۸۴۶		۰/۱۵۴		۰/۱۰۹
R <sup>2</sup>		۰/۹۶۶		۰/۹۱۳		۰/۹۹۷	
Adj-R <sup>2</sup>		۰/۹۳۵		۰/۸۳۵		۰/۹۹۴	
CV		۸/۳۱		۷/۶۹		۲/۴۰	

به دنبال آن افت آب می انجامد که این پدیده افت ترکیبات فنولی را در پی دارد. ۲. با افزایش غلظت قند، میزان قند جذب شده نمونه افزایش می یابد و به دلیل اثر تخریبی قند بر ترکیبات فنولی میزان فنول ها کاهش می یابد. ۳. شرایط اسمزی، ترکیبات فنولی را به واسطه مهاجرت به داخل محلول اسمزی کاهش می دهد (Askari et al., 2006).

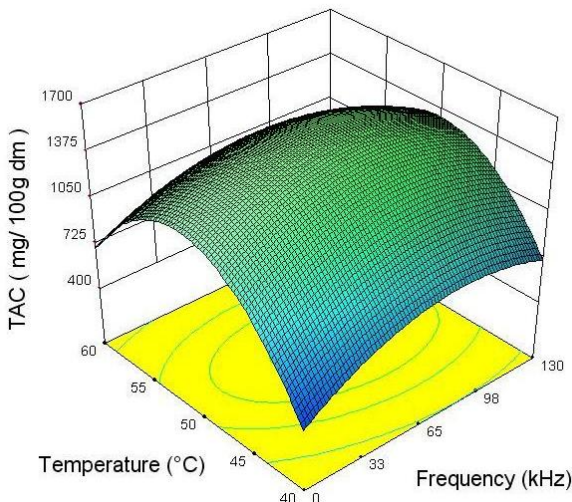


شکل ۲. نمودار سطحی و خطی ترکیبات فنولی (برحسب میلی گرم در صد گرم ماده خشک، TPC) در برابر فرکانس و دما (غلظت ماده اسمزی ۵۰ درصد ثابت گرفته شده است)

ضرایب رگرسیون بالا ( $R^2_{ph} = 0/913$ ,  $R^2_{anth} = 0/966$ ), نشان می دهد که مدل به خوبی توانسته است نتایج به دست آمده را پیش بینی کند. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار سه بعدی سطح پاسخ رسم شده به وسیله مدل استفاده شد. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالتی که متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار دارد، بررسی گردیده است.

میزان ترکیبات فنولی در گیلان سیاه خام  $1/964 \text{ mg}$  معادل اسیدگالیک در صد گرم ماده خشک است. طبق جدول ۳ تأثیرات خطی غلظت، دما، و تأثیرات درجه دوم غلظت و فرکانس و همچنین تأثیر متقابل فرکانس-دما و بریکس-دما بر میزان ترکیبات فنولی معنی دار است. همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود با افزایش دما میزان ترکیبات فنولی کاهش یافته است، ولی با افزایش فرکانس میزان ترکیبات فنولی افزایش یافته است که (Serrano et al., 2009) و Shamaei et al. (2012) به نتایج مشابه با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر دست یافته اند. با توجه به جدول ۳ ملاحظه می شود که اثر غلظت بر میزان ترکیبات فنولی معنی دار است. همان طور که قبلاً گفته شد به طور کلی با افزایش غلظت ساکارز میزان ترکیبات فنولی کاهش می یابد این موضوع ممکن است به چند دلیل اتفاق بیفتد: ۱. افزایش قند به افزایش گرادیان غلظت و

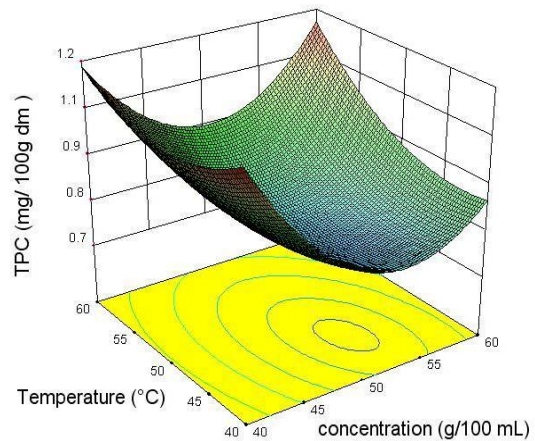
آنتوسیانین‌ها شود، بنابراین واضح است که افزایش فرکانس سبب کاهش آنتوسیانین‌ها می‌شود، این مطلب در تحقیقات. Shamaei *et al* (2012) نیز نشان داده شده است. در آن تحقیق مشخص شد که امواج فراصوت باعث پلیمری‌شدن ترکیبات کوچک آنتوسیانینی و تشکیل ترکیبات آنتوسیانینی پلیمری می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار سطحی و خطی آنتوسیانین‌ها (برحسب میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک، TAC) در برابر دما و فرکانس (غلظت ماده اسمزی ۵۰ درصد ثابت گرفته شده است)

در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که اثر فرکانس و غلظت بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار است. همان‌طور که قبلاً گفته شد و در اینجا نیز کاملاً مشهود است، افزایش فرکانس تأثیر منفی روی میزان آنتوسیانین گیلان سیاه گذاشت. به‌طور کلی با افزایش غلظت ساکارز میزان آنتوسیانین کاهش می‌یابد که این موضوع می‌تواند به دلایل ذکر شده در رابطه با ترکیبات فنولی اتفاق بیفتد. شرایط اسمزی، میزان آنتوسیانین‌ها را به دلیل مهاجرت به داخل محلول اسمزی کاهش می‌دهد. در تحقیقات Kucner *et al* (2013) نشان داده شد که در آبیگری اسمزی بلوبری مهاجرت ترکیبات پلی‌فنلی و آنتوسیانینی به داخل محلول اسمزی اتفاق می‌افتد که این مهاجرت با افزایش دما یا انجام پیش‌فرایند آنزیمی شدت می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود با افزایش غلظت ساکارز میزان آنتوسیانین‌ها کاهش می‌یابد. تیمار فراصوت تشکیل رادیکال‌های آزاد و پلیمریزاسیون آنتوسیانین‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه میزان آنتوسیانین‌ها را کاهش می‌دهد (Stojanovic & Silva, 2006).

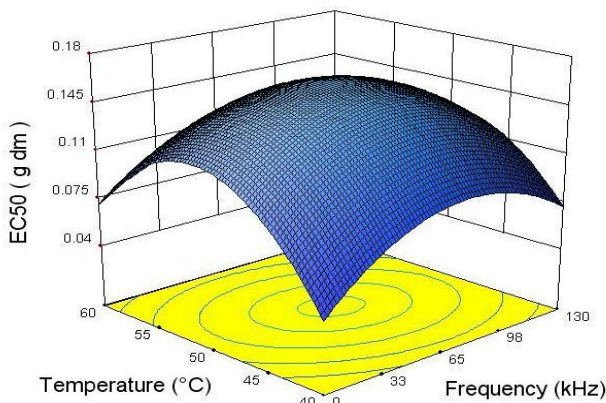
با کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان نمونه‌ای که لازم است تا غلظت اولیه DPPH را به ۵۰ درصد برساند یا به عبارت



شکل ۳. نمودار سطحی و خطی ترکیبات فنولی (برحسب میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک، TPC) در برابر فرکانس و غلظت (دمای فرایند ۵۰ درجه سلسیوس ثابت گرفته شده است)

میزان آنتوسیانین در گیلان سیاه خام  $3765 \mu\text{g}$  در صد گرم ماده خشک است. در شکل ۴ ملاحظه می‌شود اثر دما و فرکانس بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار است. افزایش دما ابتدا تا دمای ۵۰ درجه سلسیوس سبب افزایش میزان آنتوسیانین و سپس باعث کاهش آنتوسیانین گیلان سیاه شده است. دلیل افزایش میزان آنتوسیانین در دماهای پائین تأثیر مثبت افزایش دما بر افزایش خروج آب از میوه و تغلیظ میزان آنتوسیانین در بافت میوه از طرفی و از طرف دیگر عدم اثر تخریبی دمای زیر ۵۰ درجه سلسیوس بر ترکیبات آنتوسیانین است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج Kucner *et al.* (2013) که روی بلوبری انجام شده است، مطابقت دارد. نتایج آنها نشان داد که تا دمای ۴۰ درجه سلسیوس حرارت اثر تخریبی بر مواد پلی‌فنلی و آنتوسیانینی نداشته است و بعد از افزایش دما به ۶۰ درجه سلسیوس اثر تخریبی آن شروع می‌شود. در تحقیق حاضر نیز بعد از ۵۰ درجه سلسیوس میزان آنتوسیانین کل کاهش می‌یابد که علت اصلی آن تجزیه حرارتی و اکسیداسیون این ترکیبات است. نتایج حاصل از Goula *et al.* (2005) نشان داد، افزایش دمای هوای ورودی برای تولید پودر گوجه باعث کاهش محتوای لیکوپین آن می‌شود. Quek *et al.* (2007) به این نتیجه رسیدند که افزایش دمای خشک‌کن پاششی باعث کاهش محتوای لیکوپین و بتاکاروتن پودر هندوانه می‌شود. Kha *et al.*, (2009) نیز نشان دادند که افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش میزان کاروتنوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه Gac می‌شود. همچنین فرکانس‌های بالای فراصوت با پدیده کاپیتاسیون آن ممکن است سبب افزایش شکستگی سطحی و ازدست‌دادن



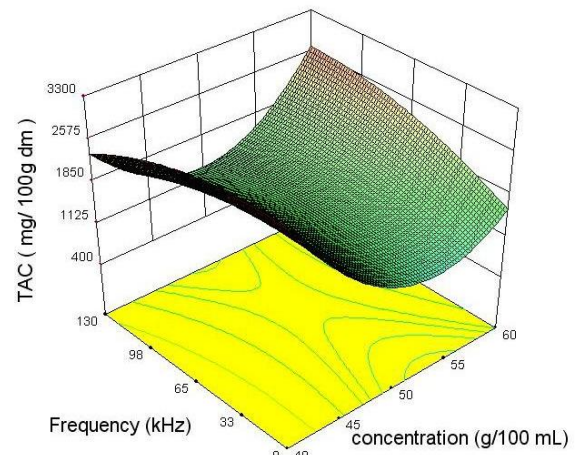


شکل ۷. نمودار سطحی و خطی  $EC_{50}$  (برحسب گرم ماده خشک) در برابر فرکانس و دما (غلظت ماده اسمزی ۵۰ درصد ثابت گرفته شده است)

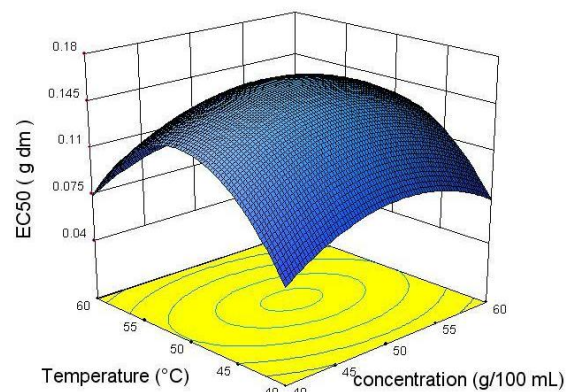
### بهینه‌سازی

بهینه‌سازی متغیرهای وابسته با شکل ۸ انجام شد و نقاط بهینه به دست آمدند. این مقادیر بهینه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، غلظت ۴۰ درصد و فرکانس ۱/۳۱ kHz حاصل شد که با بررسی آن‌ها به این نکته می‌رسیم که مقادیر به دست آمده در طول دوره آزمایش‌های تجربی با دانسته‌های پیشین به دست آمده در زمینه عوامل مؤثر بر دهیدراسیون با پیش‌تیمار اسمز-فراصوت همراه با خشک کردن تکمیلی هوای داغ هماهنگی دارد. عمل استخراج در شرایط بهینه ارائه شده توسط مدل در سه تکرار انجام گرفت و نتیجه با مقدار پیش‌بینی شده آن مقایسه شد. با روش سطح پاسخ، بهینه‌سازی شرایط فرایندی برای حداکثرسازی ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی و حداقل‌سازی میزان  $EC_{50}$  انجام گرفت (شکل ۸). میزان راندمان تولید پیش‌بینی شده مدل برای ترکیبات فنولی ۱/۱۸۹ میلی‌گرم معادل اسیدگالیک به ۱۰۰ گرم وزن خشک، میزان آنتوسیانین ۲۸۳۷/۸۲ میکروگرم به ۱۰۰ گرم وزن خشک، و میزان  $EC_{50}$  برابر با ۰/۰۲۴۵ در میلی‌گرم ماده خشک بود. برای بررسی صحت بهینه‌سازی در شرایط بهینه ارائه شده توسط مدل که عبارت بود از دمای ۴۰ درجه سلسیوس، بدون اعمال فراصوت و غلظت ساکارز ۴۰ درجه بریکس، آزمایش‌هایی در سه تکرار انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در این شرایط برای ترکیبات فنولی،  $1.181 \pm 0.15$  میلی‌گرم معادل اسیدگالیک به ۱۰۰ گرم وزن خشک، آنتوسیانین‌ها،  $2841.27 \pm 0.81$  میکروگرم به ۱۰۰ گرم وزن خشک، و برای  $EC_{50}$   $0.0242 \pm 0.001$  در میلی‌گرم ماده خشک بود. این نتایج نشان می‌دهد که مدل توانسته است تا حدود زیادی اثر ۳ متغیر فرکانس، غلظت، و دما را بر آگیری گیلاس سیاه با روش پیش‌تیمار اسمز-فراصوت همراه با خشک کردن تکمیلی هوای داغ را نشان دهد.

دیگر میزان  $EC_{50}$ ، افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نشان داد فعالیت آنتی‌اکسیدانی رابطه مستقیم و شدیدی با میزان آنتوسیانین و ترکیبات فنولی ماده مورد نظر دارد (Moyer *et al.*, 2002 ; Wang *et al.*, 1997). فرایند اسمزی در زمان‌های طولانی باعث از دست رفتن مواد مغذی همچون ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها به دلیل نفوذ به محلول اسمزی<sup>۱</sup> می‌شود (Kucner *et al.*, 2013). فرکانس‌های بالای فراصوت نیز میزان از دست دادن ترکیبات مغذی را افزایش می‌دهد. نمونه‌های تغلیظ شده اسمزی فعالیت آنتی‌اکسیدانی ضعیف‌تری نشان می‌دهند و فرایند فراصوت همراه با فرایند تکمیلی هوای داغ نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیلاس سیاه را کاهش می‌دهد (شکل‌های ۶ و ۷).



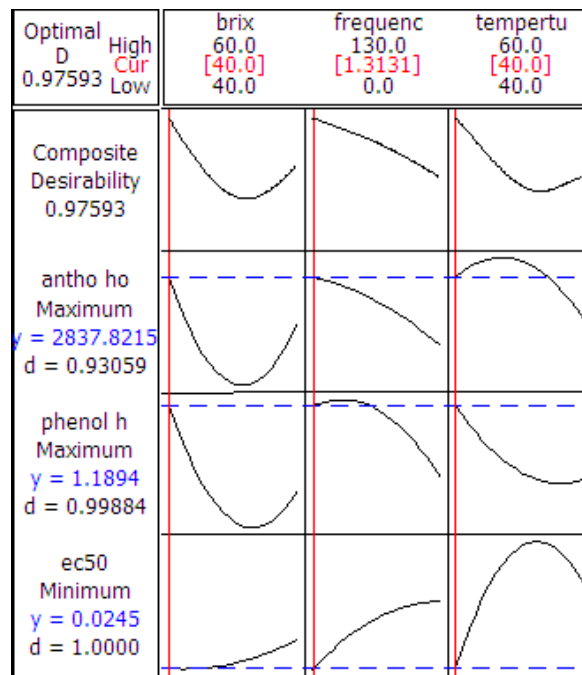
شکل ۵. نمودار سطحی و خطی آنتوسیانین‌ها (برحسب میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک، TAC) در برابر غلظت و فرکانس (دمای فرایند ۵۰ درجه سلسیوس ثابت گرفته شده است)



شکل ۶. نمودار سطحی و خطی  $EC_{50}$  (برحسب گرم ماده خشک) در برابر دما و غلظت (فرکانس ۶۵ کیلو هرتز ثابت گرفته شده است)

### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، روش سطح پاسخ به‌منظور تعیین شرایط بهینه فرایند خشک‌کردن اسمز-فراصوت به‌همراه دوره تکمیلی هوای داغ (درجه حرارت، شدت فرکانس، و غلظت شربت ساکارز) با هدف دستیابی به حداکثر میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنولی کل، و حداقل EC<sub>50</sub> درصد به‌کار گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این بود که تأثیرات خطی و درجه دو هر سه متغیر مستقل دما، شدت فرکانس، و غلظت شربت ساکارز معنی‌دار بود. برای هر پاسخ با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم به‌دست آمد. آنالیز واریانس (ANOVA) به‌منظور ارزیابی صحت و دقت مدل‌های به‌دست‌آمده، اجرا شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نقطه بهینه حاصل برای فرایند آگیری عبارت است از: دما 40°C، غلظت شربت ساکارز 40 درصد، و فرکانس 1/31 کیلوهرتز. مدل ارائه‌شده برای پیش‌بینی مقادیر متغیرهای وابسته، نتایج بسیار نزدیکی با یافته‌های آزمایشی به‌دست‌آمده دارد.



شکل 8. بهینه مقدار ترکیبات فنولی، آنتوسیانین، و EC<sub>50</sub>

### REFERENCES

- Askari G. R., Emam-Djomeh Z., & Mousavi S. M. A. (2006) Microstructural change, textural and rehydration properties of apple slices dried using different methods. *Journal of Agricultural Science*, 36 (4), 1001-1011. (In Farsi)
- Cam, M., Hisil, Y., & Durmaz, G. (2009) Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*, 112, 721-726.
- Fernandes, F. A.N., and Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana, *Journal of Food Engineering*, 82, 261-267.
- Fernandes, F. A.N., Linhares, F.E. & Rodrigues, S. (2008 a) Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049-1054.
- Fernandes, F. A.N., Gallao, M.I. & Rodrigues, S. (2008 b) Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration, *LWT - Food Science and Technology*, 41, 604-610.
- Garcia-Noguera, J.; Oliveira, F. I. P.; Isabel Gallão, M.; Weller, C. L.; Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2010) Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency, *Drying Technology*, 28, 294-303.
- Goula, A. M & K. G. Adamopoulos. (2005) Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 2.The effect on powder properties, *Journal of Food Engineering*. 65, 35-42.
- Kargozari, M., Moini, S., & Emam-Djomeh, Z. (2010) Prediction of some physical properties of osmodehydrated carrot cubes using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 1041-1063.
- Kha, T. C., M. H. Nguyen, & Roac, P. D. (2010) Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 99, 385-391.
- Kouassi, K & Roos, H.Y. (2001) Glass transition and water effects on sucrose inversion in noncrystalline carbohydrate food systems. *Food Research International*, 34, 895-901.
- Kucner, A., Klewicki, R., & Sójka, M., (2013) The influence of selected osmotic dehydration and pretreatment parameters on dry matter and polyphenol content in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*) Fruits, *Food Bioprocess Technology*, 6, 2031-2047.
- Lenart, A. (1996) Osmo-conyective drying of fruits and vegetables: Technology and Application. *Drying technology*, 14 (2), 391-413.
- Lin, J.Y., & Tang, C.Y. (2007) Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*. 101, 140-147.
- McVaugh R (1951) A revision of the North American black cherries (*Prunus serotina Ehrh.*, and relatives). *Brittonia*, 7, 279-315.
- Moyer, R. A., K.E. Hummer, C. E. Finn, B. Frei & Wrolstad R. E.. (2002) Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 519-525.
- Ponting, J. D. (1973) Osmotic dehydration of fruits-Recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, 8, 18-20.
- Preston RJ (1961) North American Trees (Exclusive of Mexico & tropical United States). Iowa: The Iowa.
- Quek, S.Y., N. K. Chok & Swedlund P. (2007) The physicochemical properties of spray dried watermelon powder. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386-391.
- Rastogi, N. K., K. S. M. S. Raghavarao, K. Niranjana & Knorr, D. (2002) Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*. 13, 48-59.
- Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martı́n-Belloso, O. (2009) Impact of high-intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice. *LWT - Food Science and Technology*, 42: 93-100.
- Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E. S., & Rossello, C. (1998) Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 36, 323-336.
- Shamaei, S., Emam-djomeh, Z. & Moini, S. (2012 a) Ultrasound- assisted cranberries effect of finish drying methods and ultrasonic frequency on texture properties. *Journal of Texture Studies* 43, 133-141.
- Shamaei, S., Emam-djomeh, Z. & Moini, S. (2012 b) Modeling and optimization of ultrasound assisted osmotic dehydration of cranberry using response surface methodology, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1523-1534.
- Stojanovic, J. & L. Silva, J. (2007) Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbit-eye blueberries. *Food chemistry*, 101, 898-906.
- Tibor, F. (1967) Development of quantitative methods for individual anthocyanins in cranberry and cranberry products. Thesis for degree of Doctor, university of Massachusetts.
- Wang, H., G. Cao & Prior, R. L. (1996) Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44, 691-695.

