

بهینه‌یابی فرآیند خشک کردن لایه نازک گلبرگ زعفران به منظور حفظ ترکیبات زیست‌فعال با استفاده از روش سطح پاسخ

پروین شرایعی^{1*} - حسین چاجی¹

تاریخ دریافت: 1396/07/01

تاریخ پذیرش: 1397/02/18

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر خشک کردن لایه نازک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گلبرگ زعفران و همچنین تعیین شرایط بهینه خشک کردن صورت پذیرفت. طراحی آزمایش تجربی خشک کردن گلبرگ زعفران با استفاده از نرم‌افزار سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی محوری انجام گردید. گلبرگ‌ها در دماها (40، 50 و 60 درجه سلسیوس) و سرعت‌های هوای متفاوت (0/7، 1/4 و 2/1 متر بر ثانیه) در خشک‌کن لایه نازک خشک شدند و ویژگی‌های کمی و کیفی (میزان ترکیبات فنلی کل، میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل، قدرت گیرندگی رادیکال آزاد DPPH، غلظت لازم برای غیرفعال کردن 50 درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH، قدرت احیاء‌کنندگی آهن سه ظرفیتی و مولفه‌های رنگی L (میزان روشنایی)، a (میزان قرمزی - سبزی) و b (میزان آبی - زردی)) آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تجزیه و تحلیل آماری، دما و سرعت هوای بهینه خشک کردن گلبرگ زعفران با حفظ ویژگی‌های کمی به ترتیب 50 درجه سلسیوس و 1/4 متر بر ثانیه تعیین شد. در شرایط بهینه خشک کردن، میزان ترکیبات فنلی کل، میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل، قدرت گیرندگی رادیکال آزاد، قدرت احیاء‌کنندگی آهن سه ظرفیتی و میزان مولفه رنگی a (قرمزی - سبزی) به ترتیب 46/39 میلی‌گرم بر گرم، 1205/58 میلی‌گرم بر لیتر عصاره، 52/97 درصد و 1276/52 میکرومول آهن II بر لیتر و 11/13 به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد داشت. خشک کردن گلبرگ در نقطه بهینه نتایج به دست آمده را تایید نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، ترکیبات فنلی، خشک کردن، خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، گلبرگ زعفران.

مقدمه

مشخص شده‌است گلبرگ زعفران، دارای ترکیبات کاروتنوئیدی، کروسین، منوترپنی و فلاونوئیدی می‌باشد. ترکیبات کروسینی موجود در گلبرگ شامل: کروستین و مشتقات آن، پیکروکروسین، سیناپیک² اسید و مشتقات آن و ترکیبات فلاونوئیدی موجود شامل: کمپفرول و مشتقات آن، کوئرستین و مشتقات آن، تاماریکستین³ و مشتقات آن می‌باشند (Termentzi & Kokkalou, 2008; Montoro *et al.*, 2012). گلبرگ زعفران حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای رنگریزه از نوع آنتوسیانین است، به طوری که هر گرم آن حاوی 6/87 میلی‌گرم آنتوسیانین خالص می‌باشد، که در مقایسه با مقدار آنتوسیانین موجود در منابع گیاهی دیگر قابل ملاحظه است (Hemmati Khakhki *et al.*, 2010)

همچنین، شواهد گوناگونی مبنی بر وجود ترکیباتی با اثرات دارویی نیز در گلبرگ زعفران وجود دارد. در تحقیقات متعدد ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی (Hosseinzadeh &

گلبرگ زعفران از محصولات جانبی به دست آمده در فرآیند تولید زعفران می‌باشد که پس از برداشت گل زعفران و جدا کردن کلاله و خامه به دست می‌آید. کاسبرگ‌ها و گلبرگ‌ها (گلپوش)، به رنگ بنفش هستند و حدوداً 86/4 درصد وزن مرطوب و حدود 96/36 درصد وزن خشک گل زعفران را تشکیل می‌دهند (Kazuma *et al.*, 2003). طبق آمار سال 1394 از 95118/89 هکتار سطح زیرکشت این محصول، حدود 351692 کیلوگرم زعفران خشک و بالغ بر 12 هزار تن گلبرگ زعفران تازه به عنوان محصول جانبی تولید شده است (Anonymous, 2016). در حال حاضر، این محصول جانبی و با ارزش به دلیل غیرقابل استفاده بودن، دور ریخته می‌شود.

1- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

* - نویسنده مسئول: (Email: Parvin_sharayei@yahoo.com)

DOI: 10.22067/iftstrj.v14i5.67570

² sinapic acid

³ tamarixetin

مدل، تکنیک‌ها مختلفی وجود دارند. تعدادی از این تکنیک‌ها شامل آنالیز خطا²، مقیاس‌بندی خطاها³، مجموع مربعات خطای پیش‌بینی⁴ و آزمون ضعف برآزش⁵ می‌باشد (Rouissi et al., 2007). روش سطح پاسخ در تحقیقات متعددی برای بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن محصولات غذایی مختلف استفاده شده است (Madamba, 2002; Uddin et al., 2004; Hammami et al., 1999; Giri & Prasad, 2007; Corzo et al., 2008; Koocheki & Azarpazhooh, 2009; Erbay & Icier, 2009). به‌عنوان مثال، روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی شرایط فرآیند خشک کردن برگ‌های زیتون به‌کار رفته است (Erbay & Icier, 2009). در این پژوهش، از تابع مطلوبیت به‌عنوان روش بهینه‌سازی استفاده شد. فاکتورهای بهینه‌سازی شامل دمای هوا (40 تا 60 درجه سلسیوس)، سرعت هوا (0/5 تا 1/5 متر بر ثانیه) و زمان فرآیند (240 تا 480 دقیقه) و پاسخ‌های مورد بررسی شامل میزان ترکیبات فنلی کل، میزان کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان رطوبت نهایی و بازده انرژی دسترس‌پذیر بود. شرایط بهینه برای خشک کردن برگ‌های زیتون، حداکثر میزان ترکیبات فنلی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بازده انرژی دسترس‌پذیر برای رسیدن به میزان رطوبت نهایی زیر 10 درصد در نظر گرفته شد. شرایط بهینه برای رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده فوق، دمای هوای 51/66 درجه سلسیوس، سرعت هوای 1/01 متر بر ثانیه و زمان فرآیند 298/68 دقیقه به‌دست آمد. میزان محتوای فنلی کل و درصد کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حداکثر بازده انرژی دسترس‌پذیر در شرایط بهینه به‌ترتیب 10/25 درصد، 41/88 درصد و 60 درصد حاصل شد.

اما طبق بررسی‌های انجام شده، در مورد خشک کردن لایه نازک گلبرگ زعفران و شرایط آن تاکنون تحقیقی در داخل و خارج از کشور انجام نشده است و یا در دسترس نیست. بنابراین با توجه به میزان تولید بالای گلبرگ زعفران به‌صورت ضایعات کشاورزی و حساسیت بالای ترکیبات موثر موجود در آن (مقادیر بالای ترکیبات آنتوسیانینی و پلی‌فنلی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا) در برابر شرایط خشک‌شدن و همچنین عدم انجام تحقیق مدون در این خصوص، پژوهش حاضر با هدف بررسی و بهینه‌یابی شرایط خشک کردن (دما و سرعت هوا) بر خصوصیات کمی و کیفی گلبرگ زعفران انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تهیه گلبرگ زعفران، ابتدا گل زعفران به‌صورت غنچه و

ضداسفردگی (Younesi, 2002)، ضداسفردگی (Basti et al., 2007) و اثر بر فشار خون (Fatehi et al., 2003) عصاره گلبرگ زعفران مورد بررسی قرار گرفته است. گلبرگ زعفران حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قوی مانند فلاونوئیدها می‌باشد که به‌صورت متصل به آلبومین، در سرم خون حمل گردیده و با این پروتئین اثرات متقابل دارد (Catoni et al., 2008).

بنابراین، گلبرگ زعفران می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع با ارزش برای تولید افزودنی‌های طبیعی (ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و رنگی) مطرح باشد. اما گلبرگ زعفران بعد از برداشت به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالای رطوبت (حدود 87 درصد) و فعالیت متابولیکی بالا، سریع فاسد می‌شود (Mahdavee Khazaeia et al., 2014). بنابراین، یکی از راه‌های بهبود ماندگاری، کاهش ضایعات میکروبی و واکنش‌های شیمیایی در گلبرگ زعفران، کاهش رطوبت آن می‌باشد تا بتوان آن را تا هنگام استفاده با حفظ کیفیت نگهداری نمود (Maskan & Gogus, 1998). اما باید توجه داشت که شرایط و روش خشک کردن تاثیر به‌سزایی بر میزان ترکیبات حساس می‌گذارند. همچنین، نحوه و مدت زمان خشک کردن بر شرایط و بازده اقتصادی و میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای خشک کردن نیز موثر است. بنابراین، مدل‌سازی سینتیک خشک کردن یکی از راه‌های مناسب برای کنترل زمان و شرایط خشک کردن می‌باشد (Sharifi et al., 2010). اغلب به‌منظور مدل‌سازی خشک کردن، از خشک کردن لایه نازک استفاده می‌شود. خشک کن لایه نازک به خشک‌کنی گفته می‌شود که ضخامت محصول و طول سینی آن، به‌حدی باشد که دما و رطوبت هوای خشک‌کن قبل و بعد از عبور از محصول یکسان باشد. سرعت، دما و رطوبت نسبی هوای مورد استفاده از عوامل مهم موثر بر فرآیند خشک کردن لایه نازک می‌باشند (Pabis et al., 1998).

از طرف دیگر، بالا بردن قابلیت اجرایی و بازده سیستم‌ها در فرآیند خشک کردن بدون افزایش هزینه‌ها بسیار حائز اهمیت است. روش اجرایی که بدین منظور استفاده می‌گردد، بهینه‌سازی نامیده می‌شود و این عمل، یکی از مهمترین مراحل در طراحی و تحلیل سیستم‌ها است. روش سطح پاسخ¹، مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توسعه و بهینه کردن فرآیندهایی به‌کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می‌گیرد و هدف، توصیف رابطه‌ای بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی این پاسخ‌ها می‌باشد (Bas & Boyaci, 2007). ضرایب مدل با استفاده از روش رگرسیون چندگانه و حداقل مربع‌ها محاسبه می‌گردند (Rouissi et al., 2007). پس از به‌دست آوردن ضرایب رگرسیونی، پاسخ تخمین زده شده را می‌توان به‌سادگی با استفاده از رابطه مدل محاسبه کرد. برای ارزیابی کفایت

² Residual analysis

³ Scaling residuals

⁴ Prediction error sum of squares (PRESS)

⁵ Lack of fit

¹ RSM: Response Surface Method

رابطه 1 محاسبه شد (Aghbashlo *et al.*, 2009).

$$MR = \frac{M_d - M_e}{M_o - M_e} \quad (1)$$

در این رابطه، MR نسبت رطوبت، M_d رطوبت نمونه در لحظه جاری بر پایه وزن خشک، M_e رطوبت تعادلی نمونه بر پایه وزن خشک و M_o رطوبت اولیه نمونه بر پایه وزن خشک می‌باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده، از آنجایی که در محصولات با رطوبت بالا، مقادیر رطوبت تعادلی در مقابل رطوبت نمونه در لحظه جاری و رطوبت اولیه بسیار ناچیز است؛ می‌توان رابطه فوق را به شکل رابطه 2، ساده‌سازی کرد (Doymaz & Pala, 2002; Aghbashlo *et al.*, 2008):

$$M_R = \frac{M_d}{M_o} \quad (2)$$

استخراج عصاره از گلبرگ خشک شده

بدین منظور ابتدا گلبرگ‌های خشک شده با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی (IKA, All basic Analytical mill, آلمان) پودر شدند و اندازه ذرات آن با استفاده از الک با مش 50 میکرومتر تنظیم شد. سپس، استخراج عصاره از گلبرگ زعفران به‌منظور ارزیابی میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش غرقابی و به کمک حلال متانول (Farhoosh, 2006) و به‌منظور ارزیابی میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل با استفاده از روش غرقابی و حلال اتانول اسیدی (مخلوط اتانول 96 درصد و اسیدکلریدریک 1/5 نرمال با نسبت 85 به 15 سی‌سی)، (Mahdavee Khazaeia *et al.*, 2014) انجام پذیرفت. عصاره‌های حاصل تا زمان انجام آزمون‌ها در ظروف شیشه‌ای تیره رنگ در یخچال نگهداری شدند.

تعیین ترکیبات فنلی کل

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل به‌روش فولین سیوکالچو انجام گرفت. بدین منظور ابتدا به 100 میکرولیتر از عصاره، 2/5 میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچو (برای تهیه معرف، محلول فولین سیوکالچو به نسبت 1 به 10 با آب مقطر رقیق می‌شود) اضافه کرده و پس از اختلاط به مدت 3 دقیقه در حالت سکون قرار داده شد تا واکنش صورت گیرد. در ادامه 5 میلی‌لیتر کربنات سدیم 7/5 درصد به آن اضافه و بعد از یک دقیقه با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه به مدت 24 ساعت در مکانی تاریک نگهداری و سپس جذب آن در طول موج 765 نانومتر در برابر شاهد قرائت شد. میزان ترکیبات فنولی کل موجود در نمونه از روی منحنی استاندارد تعیین شد. منحنی استاندارد با ترسیم داده‌های جذب اسید گالیک در طول موج 765 نانومتر در غلظت‌های 100 تا 950 پی‌پی‌ام به‌دست آمد. نتایج بر اساس میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم گلبرگ خشک با استفاده از معادله برازش داده شده بر منحنی استاندارد گزارش گردید (2011, Ling & Huang).

در اوایل صبح از مزارع کشت زعفران در مرکز تحقیقات و آموزش جهاد کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و همچنین مزارع موجود در نزدیکی مشهد برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. گلبرگ‌ها، بعد از جداسازی کلاله از گل و همچنین حذف بخش‌های اضافی (پرچم و دمگل از گلپوش) تهیه و رطوبت آنها تعیین شد و سپس به دستگاه خشک‌کن منتقل گردیدند. معرف فولین سیوکالچو، 2 و 4 و 6 - تری (2-پیریدیل) - اس - تریازین (TPTZ)، 1 و 1 دی فنیل - 2 - پیکریل هیدرازین (DPPH)، متانول، سولفات آهن II، کلرید آهن III شش‌آبه، استات سدیم سه آبه، پتاسیم کلراید، اسیدکلریدریک غلیظ و دیگر مواد شیمیایی مورد نیاز از شرکت‌های مرک، سیگما - آلدريج، شارلو و کالدون با درجه تجزیه‌ای³ خریداری شدند.

فرآیند خشک کردن

آزمایش تجربی خشک کردن در 3 سطح دمای هوای خشک‌کننده 40، 50 و 60 درجه سلسیوس و سه سرعت هوای 0/7، 1/4 و 2/1 متر بر ثانیه (با توجه به آزمون‌های اولیه و بررسی منابع)، با استفاده از خشک‌کن لایه نازک آزمایشگاهی انجام شد (شکل 1).

حدود نیم ساعت قبل از شروع فرآیند خشک کردن، دستگاه خشک‌کن روشن و دمای آن متناسب با دمای مورد نیاز تنظیم شد تا دمای هوای داخل خشک‌کن به حالت پایدار برسد. سپس 15 گرم گلبرگ زعفران بر روی 3 سینی خشک‌کن به‌طور یکنواخت و یک لایه قرار داده شد و کاهش وزن آن‌ها در فواصل زمانی تعیین شده (هر 2 دقیقه یکبار)، اندازه‌گیری و ثبت شد. خشک کردن نمونه‌ها تا رسیدن به محتوی رطوبت ثابت انجام شد. برای خشک کردن نمونه شاهد نیز 15 گرم گلبرگ زعفران بر روی سینی توری دار، به‌طور یکنواخت و تک لایه قرار داده شد و کاهش وزن آن‌ها در فواصل زمانی تعیین شده (هر 2 دقیقه یکبار)، اندازه‌گیری و ثبت شد. خشک کردن نمونه‌ها تا رسیدن به محتوی رطوبت تقریباً ثابت انجام شد.

تعیین مقدار رطوبت

مقدار رطوبت نمونه‌های خشک شده با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج مادون قرمز (MX-50, Japan) در دمای 105 ± 1 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد (Kaushik & Roos, 2007). نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده محصول در هر لحظه طی خشک‌شدن به‌وسیله

¹ TPTZ :2,4,6-Tri (2-pyridyl)-S-triazine

² DPPH :2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl

³ Analytical grade



شکل 1- خشک‌کن لایه نازک آزمایشگاهی

لوله آزمایش مخلوط شدند. لوله آزمایش بعد از ورتکس در بن‌ماری قرار گرفت و پس از رسیدن دمای آن به 37 درجه سلسیوس، مقدار جذب در مقابل شاهد و در طول موج 595 نانومتر خوانده شد. از محلول سولفات آهن هفت آبه ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) جهت ترسیم منحنی استاندارد استفاده شد.

تعیین قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH

فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH طبق روش Singer و همکاران (2007) انجام شد. بدین منظور ابتدا، محلول 0/006 درصد رادیکال آزاد DPPH در متانول تهیه شد. سپس به لوله‌های آزمایش حامل یک میلی‌لیتر محلول متانولی نمونه با غلظت‌های مختلف (بسته به قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد)، یک میلی‌لیتر از محلول فوق اضافه شد. لوله‌های آزمایش بعد از ورتکس شدن به مدت یک ساعت در جای تاریک نگهداری شدند و سپس جذب آنها در طول موج 512 نانومتر در برابر شاهد قرائت گردید. درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد طبق رابطه 5 محاسبه شد.

$$A\% = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (5)$$

که در آن: A درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH، A_c جذب شاهد و A_s جذب نمونه است. پس از ترسیم نمودار درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد در برابر غلظت ترکیب آنتی‌اکسیدانی، منحنی مناسب روی داده‌ها برازش داده شد و سپس غلظتی را که در آن، ترکیب آنتی‌اکسیدانی قادر به مهار کردن 50 درصد رادیکال‌های آزاد است تحت عنوان IC_{50} محاسبه گردید.

اندازه‌گیری مولفه‌های رنگی

تعیین مقدار ترکیبات آنتوسیانینی کل

مقدار آنتوسیانین‌های کل بر اساس روش pH افتراقی و بر حسب سیانیدین 3-گلیکوزید محاسبه گردید (Giusti & Wrolstad, 2001). بدین منظور رقیق‌سازی عصاره‌ها در بافرهای با pH مساوی 4/5 و 1 انجام و میزان جذب آن‌ها در طول موج‌های 517 و 700 نانومتر به کمک اسپکتروفوتومتر (Pharmacia, Novaspec ii, England) خوانده شد. طبق رابطه 3، میزان جذب عصاره و طبق رابطه 4، میزان آنتوسیانین کل محاسبه گردید.

$$A = (A_{\lambda \text{ vis max}} - A_{\lambda 700})^{\text{pH}=1} - (A_{\lambda \text{ vis max}} - A_{\lambda 700})^{\text{pH}=4.5} \quad (3)$$

$$\text{مقدار آنتوسیانین کل} = A \times M_w \times DF \times 1000 / (\epsilon \times L) \quad (4)$$

در رابطه‌های 3 و 4؛ A: اختلاف جذب بین دو pH مساوی 4/5 و 1، M_w : جرم مولکولی سیانیدین 3-گلیکوزید (484/8 گرم بر مول)، ϵ : جذب مولی سیانیدین 3-گلیکوزید (34300)، DF: فاکتور رقت و L: قطر سل اسپکتروفوتومتر بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

تعیین قدرت احیا کنندگی آهن III ($FRAP^1$)

آزمون قدرت آنتی‌اکسیدانی / احیاء کنندگی آهن طبق روش Benzie و Strain (1996) انجام شد. واکنشگر FRAP از مخلوط بافر استات، معرف TPTZ و محلول 20 میلی‌مولار کلرید آهن III شش آبه را به نسبت 1:1:10 حجمی با هم تهیه شد و 2700 میکرولیتر از آن با 90 میکرولیتر عصاره و 270 میکرولیتر آب مقطر در

¹ FRAP: Ferric reducing activity of plasma

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (6)$$

که در این رابطه، Y : پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 : یک ثابت؛ β_i : ضرایب خطی؛ β_{jj} : ضرایب درجه دو؛ β_{ij} : ضرایب متقابل؛ X_i و X_j : متغیرهای مستقل؛ و ε : خطا می‌باشد (Azarpazhooh & Ramaswamy, 2012). برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار سه‌بعدی سطح پاسخ رسم شده توسط مدل استفاده شد.

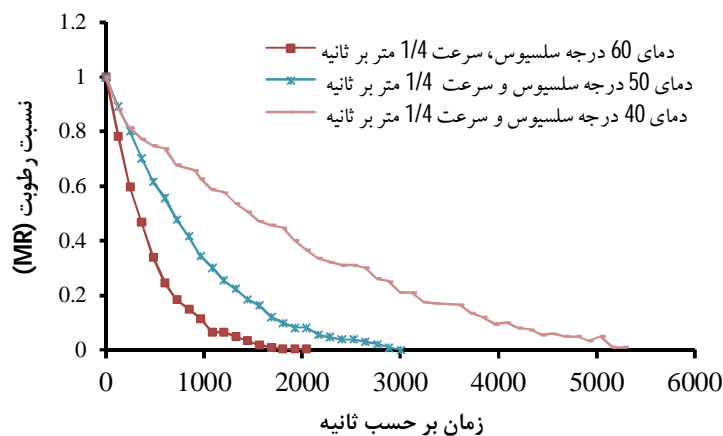
جدول 1- نمادها، مقادیر کد شده و مقادیر واقعی متغیرهای مستقل

نماد	متغیرهای مستقل	سطح کد شده
A	دمای هوای خشک‌کن	1- (40، 50 و 60 درجه سلسیوس)
B	سرعت هوای خشک‌کن	1، 0 و -1 (به 0/7، 1/4 و 2/1 متر بر ثانیه)

نتایج و بحث

تاثیر دما و سرعت هوای خشک‌کن بر مدت زمان و آهنگ خشک شدن

میزان نسبت رطوبت (MR) گلبرگ زعفران طی فرآیند خشک کردن در دماهای مختلف و سرعت هوای 1/4 متر بر ثانیه در شکل 2 نشان داده شده است. میزان رطوبت نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن به صورت نمایی تا رسیدن به رطوبت ثابت کاهش یافت (ضریب تبیین بیش از 0/93). در ساعات اولیه خشک شدن، کاهش رطوبت سریع‌تر است (Yaldiz et al., 2001)؛ اما در ساعات بعدی به سبب این که رطوبت باید از قسمت‌های داخلی ماده به سطح بیرونی رسیده و سپس تبخیر گردد، کاهش رطوبت کندتر انجام می‌شود. روند کاهشی مشابهی در مورد میزان نسبت رطوبت تعادلی گلبرگ زعفران خشک شده در دماهای مختلف و سرعت‌های هوای 1/4 و 2/1 متر بر ثانیه نیز مشاهده شد.



شکل 2- تغییرات نسبت رطوبت گلبرگ زعفران طی مدت زمان خشک شدن در دماهای متفاوت و سرعت هوای 1/4 متر بر ثانیه

آنالیز رنگ گلبرگ زعفران خشک شده در فاصله زمانی 2 ساعت پس از خشک شدن از طریق تعیین سه مولفه میزان روشنایی (L)، میزان قرمزی - سبزی (a) و میزان زردی - آبی (b) انجام پذیرفت. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا تصاویر به وسیله اسکنر (HP Scanjet G3010) گرفته شد. به منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با پارچه کاملاً سیاه و ضخیم پوشانیده شد. تصاویر با وضوح 300 dpi و فرمت JPEG ذخیره گردیدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه، مختصات رنگی آن‌ها در فضای رنگی Lab با نرم‌افزار Image (version 1.40g) استخراج شد (Sun, 2008).

بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن با هوای داغ بر ویژگی‌های کمی و کیفی گلبرگ خشک شده زعفران

به منظور بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن با هوای داغ بر اساس ویژگی‌های کمی و کیفی گلبرگ خشک شده زعفران از نرم‌افزار Design Expert نسخه 8/01 استفاده شد. بدین منظور از طرح مرکب مرکزی با نقاط مرکزی در هر وجه و 5 نقطه مرکزی برای بررسی تاثیر دو متغیر مستقل دمای خشک‌کن (40، 50 و 60 درجه سلسیوس) و سرعت هوا (0/7، 1/4 و 2/1 متر بر ثانیه) بر متغیرهای وابسته کمی و کیفی (میزان ترکیبات فنلی کل، میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل، قدرت گیرندگی رادیکال آزاد DPPH، IC₅₀، قدرت احیاءکنندگی آهن سه ظرفیتی، مولفه‌های رنگی L، a و b مورد استفاده قرار گرفت. کلیه آزمایشات در 3 تکرار انجام گرفت. سطوح کد شده و واقعی هر کدام از متغیرها در جدول 1 آورده شده است. آثار مستقل و متقابل متغیرها بر روی پاسخ‌ها با استفاده از معادله ریاضی درجه دوم کامل زیر و آنالیز رگرسیون گام به گام پس رونده بیان شد:

تغییر می‌کند (Sun & Woods, 1994; Yadollahinia *et al.*, 2006).

بررسی تاثیر متغیرها (مستقل و متقابل) بر مولفه‌های رنگی گلبرگ زعفران خشک شده

به منظور به دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی مولفه‌های رنگی L، a و b ابتدا رابطه‌های چند جمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوری (تعاملی)، درجه 2 و درجه 3 بر داده‌های به دست آمده از این پاسخ‌ها برازش داده شدند و سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. لازم به ذکر است از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعف برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. همچنین از این مدل برای ارزیابی میزان تاثیرات خطی، تعاملی، درجه 2 و درجه 3 متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته استفاده شد. نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات مولفه‌های رنگی L و a در اثر متغیرهای مورد بررسی (دما و سرعت هوای خشک‌کن) مدل درجه دو و برای مولفه رنگی b مدل خطی می‌باشد. ضرایب معادلات مدل‌های به دست آمده و تجزیه واریانس آن‌ها در جدول 2 نشان داده شده است.

همانطور که از شکل 2 مشاهده می‌شود، دمای هوای خشک‌کن تاثیر معنی‌داری بر مدت زمان خشک‌شدن داشت ($P < 0/05$). به طوری که زمان لازم جهت خشک‌شدن گلبرگ زعفران با افزایش دمای هوای خشک‌کردن از 40 به 60 درجه سلسیوس، کاهش یافت. در دمای 60 درجه سلسیوس در زمان‌های بین 1000 تا 2000 ثانیه (15 تا 28 دقیقه)، برای دمای 50 درجه سلسیوس در زمان بین 2000 تا 3000 ثانیه (34 تا 44 دقیقه)، و برای دمای 40 درجه سلسیوس در زمان بین 4000 تا 5000 ثانیه (77 تا 92 دقیقه)، فرآیند به پایان رسید. این پدیده احتمالاً به دلیل افزایش انرژی آب موجود در گلبرگ زعفران و یا افزایش پتانسیل انتقال حرارت بین هوا و گلبرگ می‌باشد که گرمای نهان تبخیر لازم برای تبخیر آب از گلبرگ را تامین می‌کند و در نتیجه باعث خروج بیشتر آب و در نتیجه کاهش میزان رطوبت می‌شود. نتایج مشابهی توسط سایر محققان بر روی سبزیجات مختلف گزارش شده است (Mwithiga *et al.*, 2005; Katsube *et al.*, 2009). همچنین، از شکل 1 مشاهده می‌شود با افزایش سرعت هوا از 0/7 تا 2/1 متر بر ثانیه، مدت زمان خشک‌شدن کاهش یافت. میزان افت رطوبت و مدت زمان خشک‌شدن در مواد غذایی مختلف به عوامل متعددی مانند دما، رطوبت اولیه محصول، سرعت هوا و غیره وابسته است و با تغییر شرایط فرآیند میزان و سنتیک افت رطوبت نیز

جدول 2- تجزیه واریانس و ضرایب معادلات مدل‌های به دست آمده بر متغیرهای پاسخ (مولفه‌های رنگی a، L و b)

منبع	درجه آزادی	مولفه رنگی L (میزان روشنایی)		مولفه رنگی a (میزان قرمزی - سبزی)		مولفه رنگی b (میزان زردی - آبی)	
		ضریب معادله	میانگین مربعات	ضریب معادله	میانگین مربعات	ضریب معادله	میانگین مربعات
مدل	5	36/99	44/21**	11/13	5/28**	8/09	26/28*
A	1	-0/27	ns	0/87	ns	ns	ns
B	1	1/14	ns	0/26	ns	2/09	26/28*
AB	1	-0/04	ns	-1/35	7/31*	ns	ns
A ²	1	6/88	131/02**	-1/74	9/82*	ns	ns
B ²	1	2/40	ns	ns	ns	ns	ns
مانده ها	7		11/00		1/00		4/14
ضعف برازش	3		ns		1/50		5/24
خطای خالص	4		6/59		0/51		2/21
کل	12						
آنالیز آماری مدل پیشنهادی							
			3/31	1/00		2/03	
انحراف معیار			41/28	10/32		-8/08	
میانگین			8/03	9/70		25/16	
CV%			0/74	0/73		0/36	
ضریب تبیین			0/56	0/60		0/31	
ضریب تبیین برازش شده			-0/28	-0/35		0/12	
ضریب تبیین پیش بینی شده							

** اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

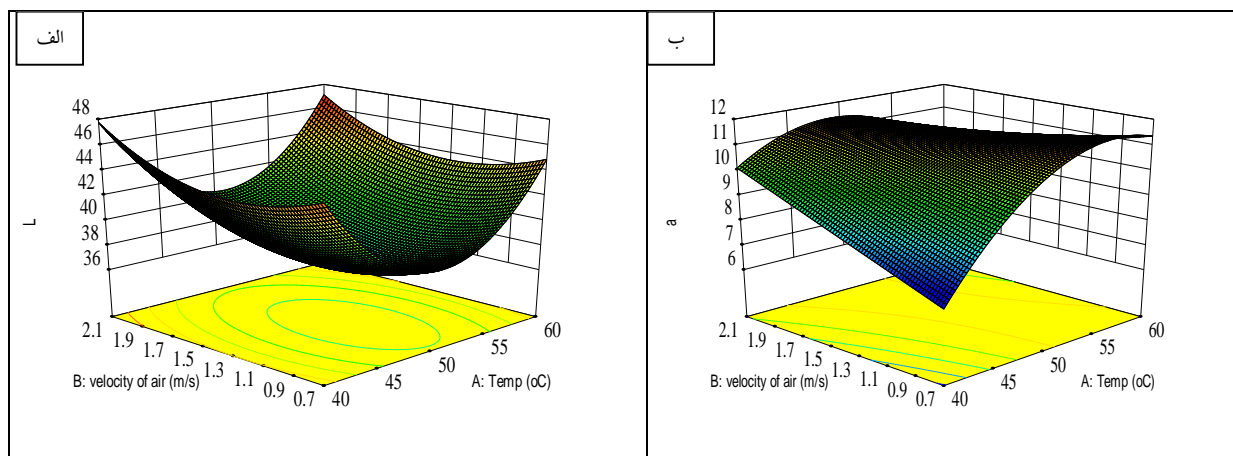
میزان روشنایی گلبرگ زعفران خشک‌شده با افزایش دما از 50 به 60 درجه سلسیوس، احتمالاً به دلیل تخریب رنگدانه‌ها و سایر ترکیبات موثر بر رنگ (مانند ویتامین‌ها، کربوهیدرات‌ها، آمینواسیدها و...) می‌باشد (Miranda et al., 2009).

تاثیر دمای هوای خشک‌کن بر میزان سبزی - قرمزی (مولفه رنگی a) گلبرگ خشک‌شده، بر خلاف تغییرات میزان روشنایی بود؛ به‌طوری‌که با افزایش دما از 40 به 50 درجه سلسیوس، این شاخص تا حدودی افزایش و پس از آن نسبتاً ثابت باقی ماند، (شکل 3، ب). سرعت هوای خشک‌کن هرچند تاثیر معنی‌داری بر این مولفه رنگی نداشت، اما با افزایش سرعت هوا، مقدار این مولفه رنگی بیشتر شد. رنگ قرمز همراه با آبی و بنفش موجود در گلبرگ زعفران، به دلیل وجود آنتوسیانین‌ها می‌باشد (همتی کاخکی، 2010). افزایش مقدار این ترکیبات با افزایش دما و سرعت هوا، احتمالاً به دلیل تبخیر بیشتر رطوبت و افزایش غلظت ترکیبات موجود می‌باشد.

مولفه رنگی b، نشان‌دهنده محدوده رنگی زرد تا آبی می‌باشد. میزان آبی - زرد بودن گلبرگ زعفران با افزایش سرعت هوا از 0/7 به 1/4 متر بر ثانیه، افزایش یافت؛ در حالی‌که، دمای هوای خشک‌کن، تاثیر معنی‌داری بر این مولفه رنگی نداشت.

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر مجذور دمای هوای خشک‌کن بر مولفه رنگی L (میزان روشنایی)؛ اثر مستقل دمای خشک‌کن و اثر متقابل دما و سرعت هوای خشک‌کن بر مولفه رنگی a (میزان قرمزی - سبزی) و اثر مستقل سرعت هوای خشک‌کن بر مولفه رنگی b معنی‌دار بود ($P < 0/05$).

در محصولات خشک شده توجه به رنگ از اهمیت زیادی برخوردار است و جلوگیری از تغییر رنگ زیاد و یا سوختگی محصول بسیار قابل توجه می‌باشد. همانطور که از شکل 3- الف مشاهده می‌شود، مولفه رنگی L که نشان‌دهنده میزان روشنایی گلبرگ زعفران خشک شده است، با افزایش دما و سرعت هوای خشک‌کن تا حدی کاهش و پس از آن افزایش یافت. کاهش میزان روشنایی گلبرگ خشک‌شده با افزایش دما، احتمالاً به دلیل افزایش سرعت انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی (میلارد) می‌باشد. به‌طور کلی، واکنش میلارد در تمام مواد غذایی حرارت دیده که دارای مقدار کافی از ترکیبات اولیه انجام این واکنش باشند (قندهای احیاءکننده و اسیدآمینها)، می‌تواند انجام شود (فاطمی، 1378). سرعت انجام این واکنش با افزایش دما، افزایش می‌یابد (Acevedo et al., 2008; Manzocco et al., 2001). اما افزایش



شکل 3- نمودار سطح پاسخ تاثیر دما و سرعت هوای خشک‌کن بر الف) مولفه رنگی L (میزان روشنایی) و ب) مولفه رنگی a (میزان قرمزی - سبزی) گلبرگ خشک‌شده

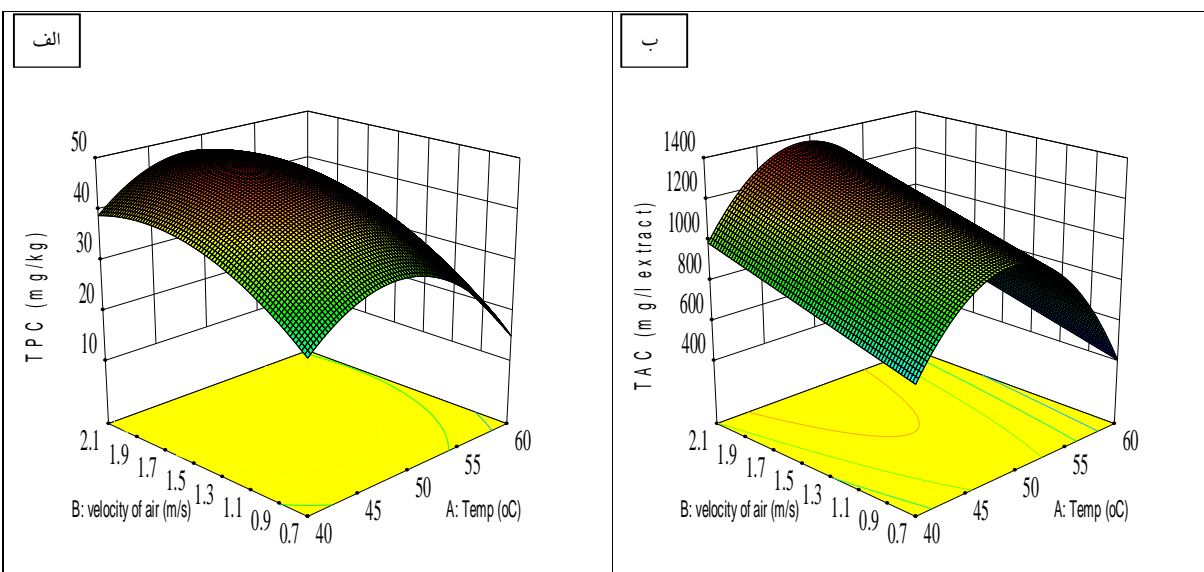
برازش داده شدند. نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیشگویی این پاسخ‌ها در اثر متغیرهای مورد بررسی (دما و سرعت هوای خشک‌کن) مدل درجه دو می‌باشد. ضرایب معادلات مدل‌های به‌دست آمده و آنالیز واریانس آنها در جدول 4 نشان داده شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر مستقل دما و سرعت هوای خشک‌کن و اثر مجذور آنها بر میزان ترکیبات فنلی کل، اثر مستقل دما و سرعت هوای خشک‌کن و اثر مجذور دمای هوای خشک‌کن بر میزان ترکیبات

بررسی تاثیر متغیرها (مستقل و متقابل) بروی‌گی‌های کیفی و آنتی‌اکسیدانی گلبرگ زعفران خشک شده

به‌منظور به‌دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی پاسخ‌های میزان ترکیبات فنلی کل، میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل، قدرت احیاءکنندگی آهن سه ظرفیتی و قدرت گیرندگی رادیکال آزاد DPPH و IC₅₀ نیز رابطه‌های چندجمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوریلی (تعاملی)، درجه 2 و درجه 3 بر داده‌های به‌دست آمده از این پاسخ‌ها

از 40 به 50 درجه سلسیوس، افزایش و پس از آن به شدت کاهش یافتند (شکل 4 الف و ب)، اما با افزایش سرعت هوای خشک‌کن، میزان این پاسخ‌ها افزایش یافتند. عواملی مانند روش خشک‌کردن (نوع خشک‌کن، دما و سرعت هوا و ...)، نوع حلال مورد استفاده برای استخراج بر میزان ترکیبات پلی‌فنلی کل و خواص آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در محصولات خشک‌شده، تاثیر می‌گذارد (Manzocco *et al.*, 2001; Que *et al.*, 2008).

آنتوسیانینی کل، اثر مستقل دما و سرعت هوای خشک‌کن و اثر مجذور آن‌ها بر میزان گیرندگی رادیکال آزاد DPPH، اثر متقابل و مجذور دما و سرعت هوای خشک‌کن بر IC_{50} ، و اثر مستقل دما و سرعت هوای خشک‌کن و اثر مجذور دمای هوای خشک‌کن بر قدرت احیاء‌کنندگی آهن معنی‌دار بودند ($P < 0/01$ یا $P < 0/05$). حفظ کیفیت محصولات پس از فرآیند خشک‌شدن، بسیار با اهمیت می‌باشد. میزان ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی کل با افزایش دما



شکل 4- نمودار سطح پاسخ تاثیر دما و سرعت هوای خشک‌کن بر میزان ترکیبات پلی‌فنلی کل (TPC) و بر میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل (TAC) گلبرگ خشک‌شده

پلی‌فنل‌ها هستند (Fransis, 1989). بنابراین دور از انتظار نیست که رفتارهای مشابه با تغییرات ترکیبات پلی‌فنلی کل در اثر دما و سرعت هوای خشک‌کن داشته باشند. افزایش دما، سبب پلیمری شدن و تبدیل آنتوسیانین‌های مونومری به رنگدانه‌های پلیمری قهوه‌ای یا بی‌رنگ می‌شود؛ بنابراین، در اندازه‌گیری به روش pH افتراقی، در مقابل تغییرات pH، تغییر رنگ نشان نمی‌دهند (Giusti & Wrolstad, 2003).

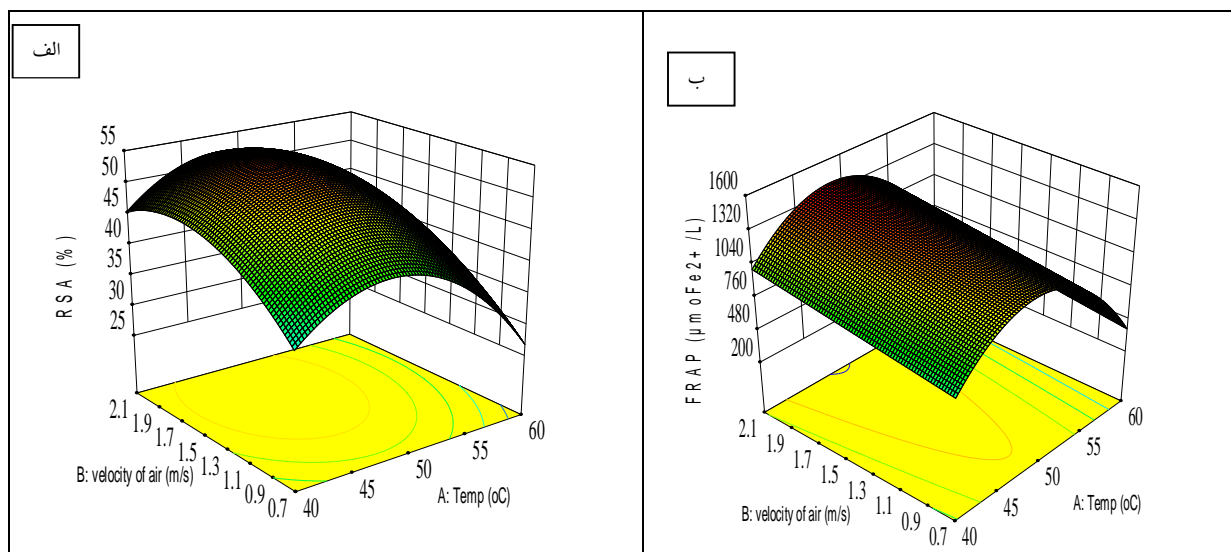
خواص آنتی‌اکسیدانی گلبرگ خشک‌شده به استثنای IC_{50} ، با افزایش دما از 40 به 50 درجه سلسیوس، افزایش و پس از آن به شدت کاهش یافتند (شکل 5، الف و ب).

در مواد غذایی خشک‌شده، بین ترکیبات پلی‌فنلی و آنتوسیانینی خواص آنتی‌اکسیدانی آن‌ها رابطه مستقیمی مشاهده شده است (Piga *et al.*, 2003; Deepa *et al.*, 2007; Wojdylo *et al.*, 2014). قدرت آنتی‌اکسیدان‌ها به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود. بررسی فعالیت به دام‌اندازی رادیکال آزاد DPPH یکی از روش‌های تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد.

Katsube و همکاران (2009) تاثیر دمای هوای خشک‌کن را بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و میزان ترکیبات فنلی توت سفید بررسی و گزارش نمودند که خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و میزان ترکیبات پلی‌فنلی کل برگ‌های خشک شده در دمای 60 بیشتر از 40 درجه سلسیوس بود و علت را به کاهش مدت زمان خشک‌شدن از 45 ساعت به 7 ساعت در اثر افزایش دما، نسبت دادند. اما افزایش دما به بالاتر از 70 درجه سلسیوس باعث کاهش میزان ترکیبات پلی‌فنلی کل و کاهش قدرت گیرندگی رادیکال آزاد DPPH شد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (Larrauri *et al.*, 1997; Garau *et al.*, 2007; Vega-Galvez, 2009; Zaiton *et al.*, 2009). گزارش شده است. بنابراین، علت افزایش ترکیبات پلی‌فنلی از دمای 40 به 50 درجه سلسیوس در پژوهش حاضر، نیز احتمالاً به دلیل کاهش مدت زمان خشک‌شدن است.

آنتوسیانین‌ها گروهی از رنگدانه‌های متعلق به گروه فلاونوئیدها از

¹ Mulberry (*Marus alba* L.)



شکل 5- نمودار سطح پاسخ تاثیر دما و سرعت هوای خشک‌کن برالف) قدرت گیرندگی رادیکال آزاد (RSA) و بر قدرت احیاء‌کنندگی آهن سه ظرفیتی (FRAP) گلبرگ خشک‌شده

می‌شوند (Wojdylo *et al.*, 2014; Piga *et al.*, 2003; EliZalde *et al.*, 1992; Severini *et al.*, 1995; Yen & Hsieh, 1995). استفاده از دماهای بالاتر باعث تخریب آنتوسیانین‌ها و ترکیبات پلی فنلی خواهد شد (Piga *et al.*, 2003; Katsube *et al.*, 2009). در پژوهش حاضر نیز با افزایش بیشتر دما، میزان این ترکیبات و به تبع آن‌ها خواص آنتی‌اکسیدانی کاهش یافت. با توجه به نتایج به‌دست آمده و پژوهش‌های سایر محققین بین محتوی ترکیبات فنلی و آنتوسیانین کل با میزان شاخص IC_{50} همبستگی منفی مشاهده می‌شود به‌طوری که با کاهش میزان این ترکیبات میزان شاخص IC_{50} افزایش می‌یابد (Sanchez *et al.*, 2006; Vega Galvez *et al.*, 2009).

بهینه‌یابی فرایند خشک کردن لایه نازک گلبرگ زعفران

شرایط بهینه خشک کردن گلبرگ زعفران با استفاده از خشک‌کن لایه نازک بر پاسخ‌ها از طریق بهینه‌یابی عددی و نموداری نرم‌افزار تعیین شد. بیشینه نمودن راندمان استخراج ترکیبات پلی‌فنلی، میزان ترکیبات فنلی کل، میزان ترکیبات آنتوسیانینی کل، قدرت احیاء‌کنندگی آهن سه ظرفیتی و قدرت گیرندگی رادیکال آزاد DPPH، کمینه نمودن IC_{50} و در محدوده بودن مولفه‌های رنگی به‌عنوان اهداف مورد نظر آزمایشات در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر قرار گرفت. دما و سرعت هوای خشک‌کن در شرایط فرآیند بهینه با استفاده از تابع مطلوبیت، به‌ترتیب 50 درجه سلسیوس و سرعت هوای 1/4 متر بر ثانیه حاصل شد برای اطمینان از صحت

در این روش رنگ ارغوانی رادیکال‌های آزاد DPPH در اثر آنتی‌اکسیدان‌های موجود در عصاره خنثی شده و بی‌رنگ می‌گردد. لذا درجه بی‌رنگ شدن این ترکیب بیانگر قدرت به دام اندازی رادیکال آزاد توسط آنتی‌اکسیدان‌های موجود می‌باشد (Nogala-Kalucka *et al.*, 2005). IC_{50} غلظت لازم برای غیرفعال کردن 50 درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH موجود در محیط می‌باشد. لازم به ذکر است که میزان IC_{50} با افزایش قدرت مهارکنندگی، کاهش می‌یابد. تعیین قدرت احیاء‌کنندگی آهن، روشی سریع و مناسب برای اندازه‌گیری قدرت احیاء‌کنندگی ترکیبات شیمیایی است و می‌توان آن را به‌عنوان شاخصی از قدرت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها مورد استفاده قرار داد. در این روش توانایی عصاره‌ها برای احیاء آهن 3 ظرفیتی و تبدیل آن به آهن دو ظرفیتی سنجیده می‌شود. حضور عوامل احیاءکننده (آنتی‌اکسیدان‌ها) منجر به احیاء کمپلکس‌های فری‌سیانید و تبدیل آن‌ها به فرم آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی می‌گردد که بسته به ظرفیت احیاء‌کنندگی عصاره‌های مورد بررسی با تغییر رنگ از زرد به درجات مختلفی از رنگ سبز و آبی همراه است.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد خواص آنتی‌اکسیدانی گلبرگ زعفران خشک شده از دمای 40 به 50 درجه سلسیوس، افزایش یافت. این پدیده احتمالاً می‌تواند به دلیل افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی ترکیبات پلی‌فنلی در مراحل میانی اکسایش نسبت به مراحل اولیه اکسایش (Cheigh *et al.*, 1995) و یا تولید و تجمع ملانویئیدین‌های حاصل از واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی میلارد در درجه حرارت‌های بالاتر باشد که باعث افزایش قدرت آنتی‌اکسیدانی

شرایط، آزمایش در شرایط بهینه تکرار گردید و پاسخ‌های به‌دست آمده در جدول 5 نشان داده شد. نتایج نشان داد خصوصیات کمی و کیفی گلبرگ خشک شده در شرایط بهینه، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری

با نمونه شاهد داشت. استخراج و آنالیز عصاره در نقطه بهینه نتایج به‌دست آمده را نیز تایید نمود.

جدول 5- مقایسه نتایج حاصل از آزمون بهینه و نتایج آماری

شاهد	نتایج آزمایش	نتایج روش سطح پاسخ	پاسخ
43/67	37/03±1/8	36/99	مولفه رنگی L (روشنایی)
6/79	11/46±0/85	11/12	مولفه رنگی a (قرمزی- سبزی)
-5/49	-8/00±0/2	-8/09	مولفه رنگی b (آبی - زردی)
33/90	45/40±1/23	46/39	ترکیبات فنلی کل (میلی گرم بر گرم)
920/39	1200/12±10/45	1205/58	ترکیبات آنتوسیانینی کل (میل گرم بر لیتر عصاره)
43/41	53/00±1/04	52/97	قدرت گیرندگی رادیکال آزاد (درصد)
1/08	0/45±0/01	0/45	IC ₅₀ (میلی گرم بر میلی لیتر)
1056/14	1277/38±11/81	1276/51	قدرت احیاء کنندگی آهن سه‌ظرفیتی (میکرومول آهن II بر لیتر)

نتیجه‌گیری

لزوم در طراحی خشک‌کن مناسب استفاده شود. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بودند که مدل‌های ارائه شده با روش سطح پاسخ، کارایی مناسبی برای پیش‌بینی، بهینه‌بازی و اصلاح پارامترهای مورد ارزیابی در شرایط خشک کردن را داشتند. دما و سرعت هوای خشک‌کن لایه نازک، به ترتیب 50 درجه سلسیوس و سرعت هوای 1/4 متر بر ثانیه با میزان مطلوبیت 0/89 به‌عنوان بیشترین مطلوبیت ممکن انتخاب شد. حفظ خصوصیات فیزیکیوشیمیایی گلبرگ زعفران در نقطه بهینه فرآیند خشک کردن به میزان قابل توجهی بیشتر از نمونه شاهد بود.

خشک کردن گلبرگ زعفران به‌منظور استفاده مطلوب از آن به‌عنوان یک منبع تهیه افزودنی‌های طبیعی (ترکیبات رنگی و آنتی‌اکسیدانی) در صنایع غذایی و دارویی، ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در پژوهش حاضر، عوامل موثر بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی گلبرگ زعفران طی فرآیند خشک کردن لایه نازک با استفاده از نرم‌افزار سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی محوری با دو متغیر مستقل (دما و سرعت هوای خشک‌کن) مورد بررسی قرار گرفت، تا در صورت

منابع

- Acevedo, N., Schebor, C., & Buera, P. 2008. Non-enzymatic browning kinetics analyzed through water-solids interactions and water mobility in dehydrated potato. *Food Chemistry*, 108: 900-906.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Samimi-Akhijahani, H. 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thinlayer drying of berberis fruit (*Berberidaceae*). *Energy Conversion and Management* 49: 2865-2871.
- Anonymous. 2016. Agricultural Statistics, crop year 2015-2016. Ministry of Agriculture publication, Planning and Support Deputy, *General Directorate of Statistics and Information*.
- Azarapazhooh, E., & Ramaswamy, H. S. 2012. Modeling and optimization of microwave osmotic dehydration of apple cylinders under continuous-flow spray mode processing conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5):1486-1501.
- Bas, D., & Boyac, I. 2007. Modeling and optimization II: Comparison of estimation capabilities of response surface methodology with artificial neural networks in a biochemical reaction. *Journal of Food Engineering*, 78: 846-854 .
- Basti, A.A., Moshiri, E., Noorbala, A.A., Jamshidi, A.H., Abbasi, S.H., & Akhondzadeh, S. 2007. Comparison of petal of *Crocus sativus* L. and fluoxetine in the treatment of depressed outpatients: a pilot double-blind randomized trial. *Prog. Neuro-Psychopharmacol. Biol. Psychiatry*, 31(2): 439-442.
- Benzie, I.F.F., & Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power. The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70-76.
- Catoni, C., Schaefer, H.M., & Peters, A. 2008. Fruit for health: the effect of flavonoids on humoral immune response & food selection in a frugivorous bird. *Funct. Ecol.*, 22(4): 649-654.
- Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A., & Pereira, A. 2008. Optimization of a thin layer drying process for coroba slices. *Journal of Food Engineering*, 85: 372-380.
- Elizalde, B. E., Bressa, F., & Dalla Rosa, M. 1992. Antioxidative action of Maillard reaction volatiles: influence of

- Maillard solution browning level. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 69: 331-334.
- Erbay, Z., & Icier, F. 2009. Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 91: 533-541.
- Farhoosh, R., & Moosavi, S.M.R. 2006. Determination of carbonyl value in rancid oils: a critical reconsideration. *Journal of Food Lipids.*, 13: 298-305.
- Fatehi, M., Rashidabady, T., & Fatehi-Hassanabad, Z. 2003. Effects of Crocus sativus petals' extract on rat blood pressure & on responses induced by electrical field stimulation in the rat isolated vas deferens and guinea-pig ileum. *J. Ethnopharmacol.*, 84(2):199- 203.
- Francis, F. J. 1989. Food colorants: anthocyanins. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. 28: 273-314.
- Garau, M.C., Simal, S., Rosello, C., & Femenia, A. 2007. Effect of air drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chem*, 104: 1014-1024.
- Giri, S.K., & Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78(2): 512-521.
- Giusti, M.M., & Wrolstad, R.E. 2003. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochem. Eng. J.*, 14(3): 217-225.
- Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. & Oliveira, J. 2006. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave-hot air combination drying. *Food Science and Technology*, 17: 177-183.
- Hammami, C., Rene, F., & Marin, M. 1999. Process-quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *International Journal of Food Science & Technology*, 34(2): 145-160.
- Hemmati Kakhki, A. 2010. Optimization of Factors Affecting the Production of Food Color from Saffron Petals. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15 (2): 11-19.
- Hosseinzadeh, H., & Younesi, H.M. 2002. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of Crocus sativus L. stigma and petal extracts in mice. *BMC Pharmacol.* 2(1): 1-8.
- Huang, J., & Ling, Y. 2011. Microencapsulation of anthocyanins from Fruits of berberis kaschgarica Rupr. *Food Science*, 32(16): 16-21.
- Katsube, t., Tsurunaga, Y., Sugiyama, M., Furuno, T., & Yamasaki, Y. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus Alba* L.) leaves. *Food Chemistry*, 113: 964-969.
- Kaushik, V., And Roos, Y.H. 2007. Limonene encapsulation in freeze- drying of gum Arabicsucrose - gelatin systems. *LWT, Food science and. Technology* 40: 1381-1391.
- Kazuma, K., Noda, N. & Suzuki, M. 2003. Flavonoid composition related to petal color in different lines of *Clitoria ternatea*. *Phytochemistry*, 64(6): 1133-1139.
- Koocheki, A., & Azarpazhooh, E. 2009. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of plum using response surface methodology. *International Journal of Food Properties*, 13: 155-166.
- Larrauri, J. A., Ruperez, P., & Saura-Calixto, F. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 45: 1390-1393.
- Madamba, P.S. 2002. The Response Surface Methodology: An Application to Optimize Dehydration Operations of Selected Agricultural Crops. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 35: 584-592.
- Mahdavee Khazaeia, S.M., Jafaria, M., Ghorbania, A., & Hemmati Kakhk, A. 2014. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105: 57-62.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M., & Lericci, C. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 11: 340-346.
- Maskan, M., & Gogus, F. 1998. Sorption isotherms and drying characteristics of mulberry (*Morus Alba*). *Journal of Food Engineering*, 37: 437-449.
- Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K., & Vega-Galvez, A. 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadosensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2): 297-304
- Montoro, P., Tuberoso, C.I.G., Maldini, M., Cabras, P., & Pizza, C. 2008. Qualitative profile and quantitative determination of flavonoids from Crocus sativus L. petals by LC-MS/MS. *Nat Prod Comm*, 3(12):2013-6.
- Mwithiga, G., & Olwal J. O. 2005. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*, 71: 373-378.
- Nogala-Kalucka, M., Korczak, J., Dratwia, M., Lampart-Szczapa, E., Siger, A., & Buchowski, M. 2005. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. *Food Chemistry*, 93: 227-235.
- Pabis, S., Jayas, D., & Cenkowski, S. 1998. Grain drying, theory and practice, *John Wiley & Sons*.
- Piga, A., Del Caro, A., & Corda, G. 2003. From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and

antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 3675– 3681.

Que, F., Mao, L., Fang, X., & Wu, T. 2008. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(7): 1195–1201.

Rouissi, T., Mahmoudi, A., Tyagi, R.D., Brar, S.K., PrVost, D., & Surampalli, R.Y. 2007. Optimisation of spray drying by response surface methodology for the production of *Sinorhizobium meliloti* powder formulation by using starch industry wastewater. *Biosystems Engineering*, 114 (3): 334-343.

Sanchez, F.D., Santos Lopez, E.M., Kerstupp, S.F., Ibarra, R.V., & Scheinvar, I. 2006. Colorant extraction from red prickly pear (*Opuntia lasiacantha*) for food application. *Electronic Journal of Environment Agriculture and Food Chemistry*, 5:1330-1337.

Severini, C., & Lerici, C. R. 1995. Interaction between the Maillard reaction and lipid oxidation in model systems during high temperature treatment. *Ital. J. Food Sci.*, 2: 189-196.

Sharifi, M., Rafiei, S.H., Kayhani, A., Omid, M. 2010. Drying orange thin sheets in a thin layer dryer and select an appropriate mathematical model. *Journal of Bio Systems Engineering*, 41(1): 61-67.

Singer, A., Nogala-kalucka, M., & Lampart-Szczapa, E. 2007. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. *Journal of Food Lipids*, 15: 137-149.

Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.

Sun, D.W. & Woods, J.I. 1994. Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers. *Transactions of the ASAE*, 37 (6): 1919-1928.

Termentzi, A., & Kokkalou, E. 2008. LC-DAD-MS (ESI+) analysis and antioxidant capacity of crocus sativus petal extracts. *Planta Med.*, 74(5): 573-581.

Uddin, M.B., Ainsworth, P., & Ibanoglu, S. 2004. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 65:473-477.

Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Fito, P., & Andrés, A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. *Lamuyo*). *Journal of Food Engineering*, 85(1): 42-5.

Wojdyło, A., Figie, A., & Lech, K. 2014. Effect of Convective and Vacuum-Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour

Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H. I. 2001. Mathematical modeling of thin layer drying of sultana grapes. *Energy*, 26: 457-465.

Yen, G. C.; & Hsieh, P. 1995. Antioxidative activity and scavenging effects on active oxygen of xylose-lysine Maillard reaction products. *J. Sci. Food Agric.*, 67: 415-420.

Zaiton, H., I. Suzila, M.M.B. Ahmed-Mahir, Y. Salmah & H. Chkzaini. 2009. Quality of roselle tea as affected by drying temperature and storage time. *Prosiding Seminar Kimia Bersama*.



Optimization of thin layer drying conditions of saffron petal using Response Surface methodology

P. Sharayei^{1*}, H. Chaji¹

Received: 2017.09.23

Accepted: 2018.05.08

Introduction: Saffron (*Crocus sativus*) is the most expensive kind of spice in the world while around 400 tons of saffron are estimated to be produced in the current Iranian year (March 2016-17) from 90,000 hectares of land under saffron cultivation across the country. But, high share of producing saffron is exclusively dedicated to produce and dry saffron stigma as whereas their violet color petals are mostly ignored and disposed. Saffron petal is one of the most economical sources of anthocyanin pigments. Attractive colour, functional properties and antioxidant properties of anthocyanins can make them a good substitute for synthetic pigments in the food industry. But, due to high moisture content of petals, 96.36% db, they must be dehydrated immediately to prevent the decay. In the meanwhile, the drying conditions are also too critical to petal sensitive compounds while the method of drying along with drying period and the amount of energy consumed, obviously play a significant role on price and quality of the final product.

Materials and methods: In this study, the optimization of the thin layer drying conditions of saffron petal was investigated using response surface methodology (RSM) and Face Centered Experimental Design (FCED) in order to designate the empirical experiments. Saffron petals were dried at different temperatures (40, 50 and 60°C) and air velocities (0.7, 1.4 and 2.1 m.s⁻¹) in a thin layer dryer and quantitative and qualitative characteristics of saffron petals (color (L: brightness; a: red – green; and b: blue-yellow, total phenolic compounds (TPC), total anthocyanin components (TAC), scavenging activity of DPPH (RSA), ferric reducing-antioxidant power (FRAP) and minimized 50% of radical-scavenging activity (IC₅₀) contents) were investigated.

Results & discussions: Maintaining the quality of final dried product as high as possible is a major concern while it is an important aspect to consider for use of phenolic compounds and anthocyanins as antioxidants and colorants in food industry. The results showed that the total phenolic compounds (TPC) and total anthocyanin content (TAC) had a remarkable increase with temperature rise from 40 to 50°C while more temperature increase brought about sharp drops. But, an increasing trend of variations is observed in parallel with increases in velocity of drying air for each temperature. The rise in anthocyanin and phenolic content is more attributed to much significant reduction in drying duration from 40 to 50°C in comparison with 50 to 60°C. It was also observed that total antioxidant activity of dried saffron petals showed the same response as TPC and TAC to temperature rise from 40 to 50°C. Such behaviour could be explained by the findings of other researchers in which the antioxidant activity has high correlation with anthocyanin content and total phenolic composition of food materials. As a complementary, it can be mentioned that polyphenols in an intermediate stage of oxidation have greater antioxidant power than initially even though this is temporary; furthermore high temperature stabilization procedures may lead to the formation of new compounds with higher antioxidant activity. This is essentially the case of the Maillard reaction, which creates various Maillard reaction products, with markedly higher antioxidant power.

Conclusion: Generally, according to Derringer's desired function approach, the optimal conditions were 50°C and 1.4 m.s⁻¹. The experimental values agreed with those predicted values. At this optimum condition, the TPC, TAC, DPPH, FRAP, and a value of the dried saffron petal were found to be 46.39 mg/g, 1205.58 mg/l, 52.97%, 1276.52 μmol Fe²⁺/l, and 11.13, respectively. The experimental values were in a good agreement with the predicted values.

Key words: Antioxidant properties, anthocyanin, drying, phenolic compound, saffron petal.

1. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

(* Corresponding author E-mail: parvin_sharayei@yahoo.com)