



## بررسی تأثیر فرآیند خشک کردن بر ویژگی‌های رنگی گلبرگ زعفران با استفاده از ماشین بینایی

صدیقه کسعلی<sup>۱</sup>، سعید مینایی<sup>۲\*</sup> و مهدی عیاری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۷ تیر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۷ دی ۱۳۹۶

کسعلی، ص.، مینایی، س.، عیاری، م. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر فرآیند خشک کردن بر ویژگی‌های رنگی گلبرگ زعفران با استفاده از ماشین بینایی. زراعت و فناوری زعفران، ۷(۱): ۸۱-۹۱.

### چکیده

خشک کردن یکی از روش‌های رایج برای افزایش ماندگاری گیاهان دارویی و محصولات کشاورزی است. در این پژوهش، فرآیند خشک کردن گلبرگ‌های زعفران با خشک کن هوای داغ لایه نازک در پنج سطح دمای ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس و سه سرعت هوای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه و تأثیرات آن‌ها بر پارامترهای رنگی (مقادیر R، G و B) مورد بررسی قرار گرفت. به کمک سامانه ماشین بینایی، تصاویر رنگی از نمونه‌های خشک شده گلبرگ زعفران، دریافت و با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، مورد پردازش قرار گرفت. ویژگی‌های رنگی (RGB) آن‌ها نیز استخراج گردید. از سوی دیگر میزان آنتوسیانین به روش pH افتراقی و ویژگی‌های  $L^*a^*b^*$  نمونه‌ها به منظور تعیین شرایط مناسب خشک کردن اندازه‌گیری شدند. داده‌های حاصل با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. نتایج بررسی نشان داد بیشترین مقادیر RGB مربوط به محدوده دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس است که نشان دهنده‌ی بیشترین نسبت و شدت رنگ‌های قرمز، سبز و آبی می‌باشد. همچنین در این بازه دمایی بیشترین میزان آنتوسیانین (۴۸۲/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین مقدار تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) بدست آمد که مطلوبیت نسبی این بازه برای خشک کردن گلبرگ‌های زعفران را نشان می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** آنتوسیانین، بینایی ماشین، تغییرات رنگ، زعفران،  $L^*a^*b^*$ .

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
(\*- نویسنده مسئول: minae@modares.ac.ir)

## مقدمه

ایران بزرگ‌ترین تولید کننده زعفران به‌شمار می‌آید و بالغ بر ۹۰ درصد زعفران دنیا در ایران تولید می‌شود (Kafi, 2006). گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) که از کلاله‌های روی مادگی گل آن، گران‌بهارترین ادویه جهان استحصال می‌شود، دارای گل‌های بنفش رنگی است که گلبرگ‌های آن پس از جدا کردن پرچم و مادگی، به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. گلبرگ زعفران به طور متوسط ۸۶/۴ درصد وزن تر یا ۹۶/۳۶ درصد وزن خشک گل را تشکیل می‌دهد (Hemmati et al., 1994).

گلبرگ‌های زعفران حاوی ترکیبات مفیدی چون آنتوسیانین‌ها، ترکیبات فلاونوئیدی و گلیکوزیدی می‌باشند. این گلبرگ‌ها علاوه بر این که می‌توانند به عنوان منبع رنگ دهنده‌ی طبیعی استفاده شوند، در صنایع دارویی، شیرینی‌پزی و نوشابه‌سازی نیز کاربرد دارد. افزون بر این، شواهد گوناگونی مبنی بر وجود ترکیباتی با اثرات دارویی در گلبرگ زعفران وجود دارد. در تحقیقات متعدد ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی (Hosseinzadeh & Younesi, 2002) ضد افسردگی (Basti et al., 2007) و اثر مثبت عصاره گلبرگ زعفران بر فشار خون (Fatehi et al., 2003) مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهشگران خواص درمانی گوناگون گلبرگ زعفران را مربوط به حضور ترکیب‌های فلاونوئیدی از جمله آنتوسیانین‌ها و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی آن‌ها دانسته‌اند.

اغلب آنتوسیانین‌ها که عامل ایجاد رنگ‌های قرمز، بنفش و آبی در گل‌ها، میوه و سبزی‌ها هستند در دماهای بالا ناپایدارند و پس از جدا شدن از ساختار ماده غذایی بسیار حساس و آسیب‌پذیرند (Giusti & Wrolstad, 2001) و عوامل مختلفی چون ساختار شیمیایی، pH، دمای نگهداری، رطوبت، غلظت، نور،

اکسیژن، حلال‌ها و حضور آنزیم‌ها فلاونوئیدها، پروتئین‌ها و یون‌های فلزی بر پایداری آن مؤثرند (Stintzing & Carle, 2004). خشک‌کردن یکی از روش‌های قدیمی و رایج برای افزایش ماندگاری به منظور کاهش محتوای رطوبت گیاهان دارویی و مواد غذایی با هدف کاهش سرعت فساد میکروبی و تغییرات شیمیایی و به تبع آن، افزایش ماندگاری به همراه کاهش وزن و فضای مورد نیاز است (Hassini et al., 2007). یکی از راه‌های خشک کردن سبزی‌ها و گیاهان دارویی، خشک کردن آفتابی است. این روش افزون بر ایجاد آلودگی حین فرایند، یک روش زمان‌بر بوده و تحت تأثیر شرایط آب و هوایی منطقه می‌باشد (Gabel et al., 2006). متداول‌ترین روش خشک‌کردن، استفاده از جریان هوای داغ است (Hassini et al., 2007). این روش، به دلیل استفاده از حرارت‌های بالا ممکن است اثرات مخربی بر روی کیفیت رنگ مواد غذایی خشک‌شده داشته باشد. به طور معمول، نخستین ویژگی کیفی مواد غذایی که توسط مصرف‌کننده مورد توجه قرار می‌گیرد، شکل ظاهری و رنگ آن است. رنگ یکی از جنبه‌های مهم و ظاهری مواد غذایی است که بر قابلیت پذیرش فرآورده توسط مصرف‌کننده تأثیرگذار می‌باشد، بنابراین رنگ‌های غیرطبیعی، به ویژه آن‌هایی که در اثر رشد میکروب‌ها و یا در اثر از بین رفتن کیفیت ماده غذایی در آن ایجاد می‌شوند، قابلیت پذیرش محصول توسط مصرف‌کنندگان را کاهش می‌دهد. از این‌رو تولیدکنندگان مواد غذایی از اثرات روان‌شناسی رنگ، برای بالا بردن میزان فروش خود بهره می‌جویند (Maskan, 2001).

برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های رنگی ماده غذایی طی فرایند خشک شدن، از پارامترها یا شاخص‌های رنگی بهره‌گیری می‌شود. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا L\* از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، میزان قرمزی یا a\* از سبز

کیفیت رنگی ماهی (Yagiz et al., 2009)، گوشت (Larraín et al., 2008)، موز (Mendoza & Aguilera, 2004) و محصولات دیگر (Sliwinska et al., 2014; Chen et al., 2015). کاربرد ماشین‌بینایی به عنوان روشی غیرمخرب، سریع و دقیق در ارزیابی کیفیت میوه‌ها، سبزی‌ها و مواد غذایی یکی از زمینه‌های پژوهش در سال‌های اخیر بوده است. این روش بعنوان یک ابزار رنگ سنج دیجیتال، کم‌هزینه و چند منظوره در میان روش‌های مرسوم مانند رنگ سنجی به روش Hunter Lab قابل استفاده می‌باشد.

گلبرگ‌های زعفران، حاوی انواع آنتوسیانین‌ها می‌باشند. در پژوهشی، خشک کردن گلبرگ‌های زعفران با استفاده از روش پرتوتابی و هوای داغ و همچنین در دمای محیط (25°C) بررسی و تأثیر این روش‌ها بر میزان آنتوسیانین گلبرگ‌ها مطالعه شد. بر اساس نتایج آماری، بیشترین آنتوسیانین در روش پرتوتابی به دست آمد از نظر دمایی نیز بیشترین آنتوسیانین، مربوط به دمای 25°C بود (Aghaee et al., 2014). همچنین در مطالعه‌ای دیگر به بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر تغییرات در پارامترهای رنگ چای سبز در طی خشک کردن با خشک‌کن هوای داغ و بدست آوردن بهترین مدل برای خشک کن برای استفاده در سامانه ماشین‌بینایی، و بررسی تغییرات رنگ پرداخته شده است (Shahabi et al., 2014). میزان آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ویژگی‌هایی هستند که برای سلامت انسان بسیار مفید می‌باشند و سنجش آن‌ها مورد توجه است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای به تعیین این ویژگی‌ها در طول رسیدن گیلاس با ترکیب پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شد (Taghadomi-saberi et al., 2014).

هدف این پژوهش بررسی پارامترهای فرآیند خشک کردن (دما و سرعت هوای عبوری خشک‌کن) بر پارامترهای رنگی گلبرگ زعفران به منظور حفظ بیشترین مقدار ماده مؤثر رنگی آنتوسیانین و کمترین تغییرات رنگی با استفاده مقادیر

(مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و میزان زردی یا b از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند (Guiné, 2006). تغییر مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  هنگام خشک شدن که در اثر تجزیه رنگدانه‌های موجود در نمونه‌های غذایی اتفاق می‌افتد، می‌تواند باعث افزایش میزان  $\Delta E$  (تغییر رنگ کلی) و در نهایت افت کیفی محصول خشک‌شده شود. همچنین در بسیاری از کاربردهای رنگ‌سنجی از فضای رنگی RGB و تبدیلات خطی آن یعنی HSV، YIQ و YCbCr استفاده می‌شود. توضیحات بیشتر این فضاها و مقالات متعدد از جمله (Du & Sun, 2005; Shafiee et al., 2014) یافت می‌شود.

RGB یک مدل رنگی است که به منظور نمایش رنگ به کار می‌رود. این مدل از سه عدد در دامنه ۰ تا ۲۵۵ تشکیل شده، نسبت و شدت سه رنگ سبز، آبی و قرمز را نشان می‌دهد، همچنین جهت ایجاد رنگ‌های آبی، قرمز، زرد، سفید و سایر رنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل در تلویزیون و صفحه نمایش کامپیوتر بکار می‌رود و نسبتاً شبیه به سیستم دریافت رنگ در شبکیه چشم انسان است (Nobbs & Connolly, 2000; Mendoza et al., 2006).

ویژگی‌های  $L^*a^*b^*$  را می‌توان با استفاده از روش غیرتداخلی، غیرمخرب، پیوسته (بررسی تغییر رنگ در طول پردازش) و با استفاده از تجهیزات کم هزینه انجام داد (Arabhosseini et al., 2007) روشی که امروزه در صنعت مواد غذایی کاربرد دارد سیستم ماشین‌بینایی است. با پیشرفت این روش می‌توان سرعت نظارت را افزایش و هزینه را کاهش داد و همچنین شاهد تصویربرداری برخط و غیرمخرب بودن آن در مقایسه با روش‌های دیگر بود (Khazaei et al., 2013; Mahdavi).

سامانه‌های ماشین‌بینایی بطور گسترده‌ای برای تعیین کیفیت رنگ تعداد مختلفی از مواد غذایی و بصورت برخط بکار گرفته شده است. مثال‌هایی از این سامانه عبارتند از: ارزیابی

درجه سلسیوس، همچنین مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه برای سرعت هوای گرم بر اساس پژوهش‌های انجام شده در گیاهان دارویی انتخاب گردید (Shahabi et al., 2014). وزن نمونه استفاده شده برای هر بار خشک کردن به منظور پخش مناسب نمونه روی توری و دریافت عکس مناسب، ۰/۶ گرم بر سانتی-متر مربع در نظر گرفته شد. آزمایش‌های خشک کردن، در ۳ تکرار و ۱۵ تیمار انجام گرفت.

#### سامانه ماشین بینایی

اجزای اصلی این سامانه شامل دوربین عکاسی، منبع نور، سخت افزار و نرم افزار پردازش تصویر بود. پس از دریافت تصویر، الگوریتم‌های پردازش بر روی آن اعمال می‌شد تا اطلاعات لازم استخراج شوند. تصاویر توسط دوربین دیجیتال HI-Tech-PK مدل PK-331F با ریزبینی ۱۶ مگا پیکسل گرفته شد. نورپردازی به کمک ۴۵ عدد لامپ LED در قسمت بالای یک قاب که در زیر دوربین درون محفظه قرار گرفته‌اند انجام شد. دوربین در ارتفاع و فاصله مناسب (برای جلوگیری از انعکاس نور) روی سطح بالایی خشک کن نصب گردید و پس از حصول اطمینان از عدم لرزش مجموعه نگاه‌دارنده دوربین و نورپردازی مناسب محیط، تصویربرداری حین فرآیند خشک شدن نمونه‌ها و به فاصله زمانی یک دقیقه صورت گرفت. در تصویربرداری از نمونه‌ها، دوربین در راستای عمودی نمونه‌ها قرار داشته، فاصله بین دوربین و همچنین منبع نور با سطح نمونه ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کلیه تصاویر به وضوح ۱۶۰۰×۱۲۰۰ پیکسل توسط دوربین ضبط گردید پس از انتقال تصاویر به رایانه، الگوریتم پیاده‌سازی شده در نرم افزار متلب<sup>۱</sup> بر روی آن اجرا شد.

رنگی (RGB) نمونه‌های خشک شده‌ی گلبرگ زعفران بوسیله سامانه ماشین بینایی است که تاکنون گزارش نشده است.

#### مواد و روش‌ها

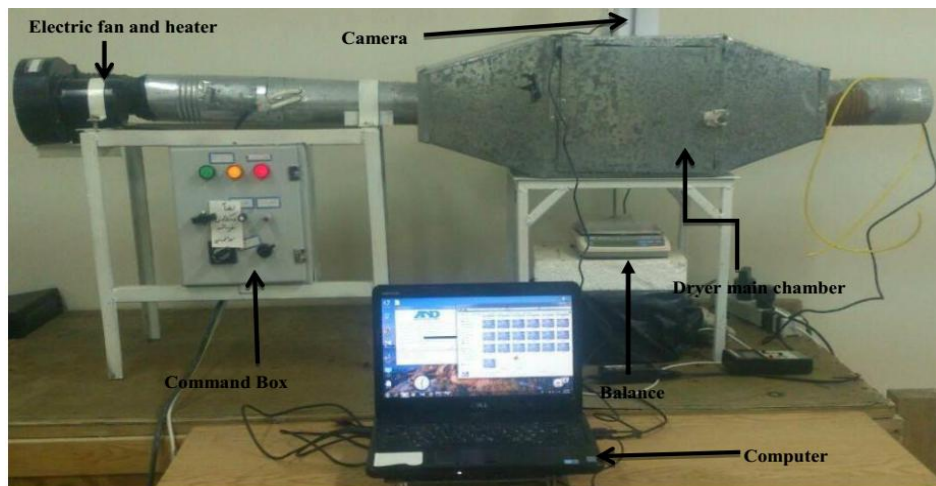
##### آماده سازی نمونه‌ها

گل زعفران، در اوایل آذر ماه از مزرعه‌ای در شهرستان پاکدشت جمع‌آوری شده و گل‌ها پس از جدا کردن پرچم و مادگی، درون محفظه‌ای قرار گرفته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. گلبرگ‌ها تا زمان خشک کردن، در یخچال (دمای ۴ درجه سلسیوس) تا حداکثر ۵ روز نگهداری شدند.

##### خشک کردن

در این پژوهش برای خشک کردن گلبرگ‌های زعفران، خشک کن هوای داغ لایه نازک (شکل ۱)، با تغییرات و بهسازی شامل اضافه کردن سیستم روشنایی، اتصال ترازو، اتصال دوربین و واسنجی سامانه (تنظیم دما و سرعت هوای ورودی خشک کن و تنظیمات مربوط به دوربین) مورد استفاده قرار گرفت. این خشک کن شامل دمنده، گرم کن الکتریکی، قفسه‌ی اصلی خشک کن و تابلو فرمان (محفظه کنترل کننده دما و سرعت) است. ابعاد محفظه اصلی خشک کن  $50 \times 50 \times 60 \text{ cm}^3$  بوده و نمونه‌ها بر روی توری  $10 \times 10 \text{ cm}$  قرار گرفت. توری از طریق پایه‌هایی بر روی ترازو دیجیتال مدل (GF-6000 با دقت ۰/۰۱ گرم) شرکت AND متصل شده بود، کاهش وزن نمونه‌ها در فواصل زمانی یک دقیقه به صورت آنلاین با اتصال کابل RS232 به کامپیوتر و با استفاده از برنامه RScom ver.2.43 ثبت شد. خشک کردن نمونه‌ها تا رسیدن به رطوبت ثابت (رطوبت نهایی حدود ۱۴ درصد، بر مبنای وزن تر) ادامه یافت. نمونه‌ها به صورت لایه نازک (ضخامت ۵ سانتی‌متر) روی توری قرار گرفته و جریان هوا موازی با محصول می‌باشد. سطوح انتخابی دما عبارتند از: ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰

1- The Math Works Inc., Natick, MA, USA, R2012a



شکل ۱- خشک کن هوای داغ مجهز به سامانه ماشین بینایی  
Figure 1- Hot air dryer equipped with the machine vision systems.

### پردازش تصاویر

پیش‌پردازش تصاویر شامل واسنجی سامانه ماشین بینایی، تهیه تصویر و بکارگیری روش‌های مناسب بهبود تصویر انجام گرفت. به منظور حذف بخش‌های اضافه تصویر و نیز کاهش حجم کار پردازش، در ابتدا برشی از تصاویر با استفاده از دستور برش نرم‌افزار متلب (imcrop) به دست آمد. بخش پیش‌پردازش تصاویر دریافت شده و مقادیر RGB تصاویر با استفاده از میانگین مقادیر RGB کل پیکسل‌های موجود در تصویر محاسبه شد. ماتریس مقادیر RGB و کلیه مراحل دریافت، پیش‌پردازش، پردازش و ذخیره‌سازی مقادیر رنگی با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخه R2016a انجام گرفت. مقادیر رنگی (RGB) آخرین تصویر بدست آمده از نمونه‌های خشک شده به منظور تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت.

### بررسی تغییرات رنگ

برای تعیین ویژگی‌های رنگی شامل شاخص‌های  $L^*$  (میزان روشنی)،  $a^*$  (میزان سرخی) و  $b^*$  (میزان زردی) از دستگاه رنگ-سنج (Hunter Lab, colorFlex 45/0) استفاده شد. نمونه خشک‌شده در دمای اتاق به عنوان شاهد و دیگر نمونه‌ها نسبت

به آن بررسی شد. در نهایت تغییر رنگ کلی ( $\Delta E$ ): میزان تغییر رنگ نمونه‌ها یا میزان تیره شدن ماده غذایی بعد از خشک شدن بر اساس معادله ۱ محاسبه گردید (Tahmasbpour et al., 2014).

$$\Delta E \sqrt{(L_o - L^*)^2 + (a_o - a^*)^2 + (b_o - b^*)^2} \quad (1)$$

در رابطه ۱، علامت (o) نشان‌گر پارامترهای رنگی نمونه شاهد می‌باشد.

### استخراج عصاره و اندازه‌گیری کمی آنتوسیانین-روش pH اترقی

استخراج عصاره‌ی گلبرگ زعفران پس از انجام آزمون‌های اولیه با کمک روش خیساندن صورت گرفت. گلبرگ‌های خشک شده با آسیاب، خرد و با الک (مش ۴۰) غربال شده و در ظروف تیره کاملاً بسته، نگهداری شدند. به منظور استخراج آنتوسیانین کل از حلال اتانول ۵۰ درصد اسیدی استفاده شد (Khazaei et al., 2015). به این ترتیب که پودر گلبرگ زعفران و حلال به نسبت ۱:۲۰ (وزنی: حجمی) باهم مخلوط شد و اختلاط به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط روی شیکر انجام شد. سپس فیلتراسیون با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره یک

در گل‌ها، میوه و سبزی‌ها هستند و در دماهای بالا ناپایدارند، در این پژوهش تأثیر فرآیند خشک کردن بر مقادیر رنگی RGB به‌منظور حفظ بیشترین میزان ماده مؤثر رنگی آنتوسیانین موجود در گلبرگ زعفران با استفاده از سامانه ماشین بینایی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اثر دما و اثر متقابل دما و سرعت هوای خشک کن بر مقادیر رنگی RGB در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱)، درحالی که اثر تغییر سرعت هوا بر این مقادیر معنی‌دار نیست. به علت معنی‌دار نشدن اثر سرعت هوای خشک کن بر مقادیر RGB تصاویر نمونه‌های خشک شده، اثر سرعت هوا در آزمایش‌های بعدی (میزان آنتوسیانین و مقادیر  $L^*a^*b^*$ ) در نظر گرفته نشده و فقط اثر دما مورد بررسی قرار گرفت.

مقادیر RGB در بازه دمایی ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس دارای بیشترین مقدار بوده (شکل ۲) و کمترین تغییرات رنگی ( $\Delta E$ ) نیز مربوط به این بازه می‌باشد (شکل ۳). همان‌گونه که انتظار می‌رفت، مقادیر RGB مربوط به خشک کردن در دماهای پایین (۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) کمتر بوده و با افزایش دما (۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس) این مقادیر افزایش یافته ولی با افزایش دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس مقادیر RGB تمایل به کاهش داشته و به کمترین مقدار خود رسیده است، که احتمالاً ناشی از تخریب حرارتی رنگ‌دانه‌های موجود در گلبرگ زعفران است.

عرب حسینی و همکاران در پژوهشی تأثیر شرایط خشک کردن را بر روی برگ گیاه ترخون بررسی کرده‌اند. در این پژوهش پارامترهای رنگ در برگ‌های تازه و خشک به‌وسیله دستگاه رنگ‌سنج اندازه‌گیری شدند، کمترین تغییرات رنگ در دمای ۹۰ درجه سلسیوس که کمترین زمان خشک شدن را داشت اتفاق افتاد (Arabhosseini et al., 2011). به طور کلی

و کیف بوختر به کمک پمپ خلأ انجام گردید.

روش pH افتراقی برای اندازه‌گیری کمی میزان آنتوسیانین موجود در نمونه‌های گلبرگ زعفران به کمک رقیق‌سازی نمونه در بافرهای ۱ و ۴/۵ و قرائت میزان جذب آن در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر به کمک جذب سنجی با دستگاه الیزا ریدر مدل Epoch به کار گرفته شد (Lee et al., 2008).

مقدار جذب نمونه (A) به کمک معادله ۲ و میزان آنتوسیانین منومری بر حسب میلی‌گرم در لیتر عصاره با معادله ۳ محاسبه شد (Lee et al., 2005):

$$A = (A_{520} - A_{700})PH1.0 - (A_{700} - A_{700})PH4.5 \quad (2)$$

$$A = (A * MW * DF * 1000) / (\epsilon * L) \quad (3)$$

A: مقدار جذب نمونه، MW: وزن مولکولی سیانیدین تری گلیکوزید (بر اساس گرم بر مول)، DF: فاکتور رقت،  $\epsilon$ : تری گلیکوزید که برابر جذب مولی سیانیدین تری گلیکوزید، L: قطر سل (بر حسب سانتی‌متر) و ۱۰۰۰ جهت تبدیل گرم به میلی‌گرم می‌باشد.

## طرح آماری آزمایش‌ها

به منظور بررسی اثر خشک کردن بر پارامترهای رنگی تصویر نمونه‌های خشک شده، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار توسط نرم افزار SAS 9.0 برای آنالیز داده‌ها بهره‌گیری شد.

## نتایج و بحث

### تأثیر فرآیند خشک کردن بر پارامترهای رنگی (RGB)

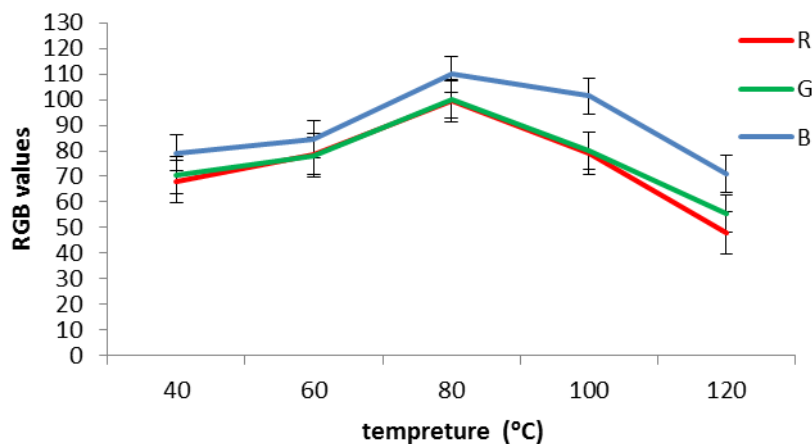
امروزه در کنترل کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی از ویژگی‌های مختلف رنگی از جمله مقادیر RGB، تبدیلات خطی آن‌ها و همچنین ویژگی‌های  $L^*a^*b^*$  استفاده می‌شود. با توجه به اینکه آنتوسیانین‌ها یکی از عوامل اصلی ایجاد رنگ

خشک کردن در دمای بالا به دلیل کاهش سریع رطوبت، بیش از حد دما موجب تخریب رنگدانه‌های گیاهی می‌شود. کمترین میزان تغییر رنگ را در بردارد و از سوی دیگر، افزایش

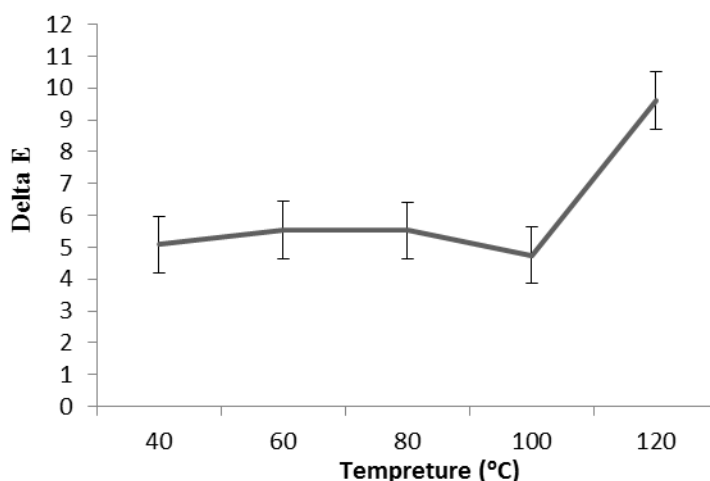
جدول ۱- تجزیه واریانس داده‌های RGB نمونه‌های خشک شده گلبرگ زعفران در سطوح مختلف دما و سرعت هوای خشک کن  
Table 1- Analysis of variance (mean squares) of RGB data for dried saffron petals at different levels of air temperature and velocity

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares		
		R	G	B
دما Temperature (° C)	4	1941.30**	1656.97**	1785.15**
سرعت هوا air velocity(m.s <sup>-1</sup> )	2	23.02 <sup>ns</sup>	43.56 <sup>ns</sup>	9.74 <sup>ns</sup>
دما× سرعت هوا Temperature * air velocity)	8	234.85**	264.47**	167.58*

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد.  
ns, \* and \*\*: Non significant, significant at 5% and 1% respectively.



شکل ۲- تأثیر فرآیند خشک کردن بر مقادیر RGB گلبرگ زعفران  
Figure 2- Effect of drying process on RGB values of saffron petals.



شکل ۳- تأثیر فرآیند خشک کردن بر تغییرات رنگ (ΔE) گلبرگ زعفران  
Figure 3- Effect of drying process on the color changes (ΔE) of saffron petals.

رنگدانه در گلبرگ زعفران بالاتر از بسیاری از رنگ دهنده‌های طبیعی می‌باشد (Hemmati et al., 1994). فرآیند خشک کردن یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر ثبات آنتوسیانین تأثیر می‌گذارد.

داده‌های مربوط به اثر خشک‌کن بر میزان آنتوسیانین و زمان خشک شدن گلبرگ زعفران در جدول ۲ ارائه شده است.

تأثیر خشک کردن گلبرگ زعفران بر میزان ماده موثر رنگی (آنتوسیانین)

آنتوسیانین‌ها زیر گروهی از فلاونوئیدها هستند که یکی از عوامل اصلی ایجاد رنگ‌های قرمز، بنفش و آبی در گل‌ها، میوه و سبزی‌ها می‌باشند. در تحقیقی مشابه که بر روی آنتوسیانین گلبرگ زعفران به منظور مقایسه‌ی میزان آنتوسیانین موجود در گلبرگ زعفران با دیگر منابع آنتوسیانینی انجام شد، میزان این

جدول ۲- اثر دمای خشک کردن بر میزان آنتوسیانین گلبرگ زعفران

Table 2- Effect of drying temperature on anthocyanin content of saffron petals

میزان آنتوسیانین Anthocyanin content (mg.L <sup>-1</sup> )	زمان خشک شدن Drying time (min)	دمای خشک کن لایه نازک Thin layer drying temperature (° C)
369.45	136	40
405.53	92	60
463.75	63	80
482.21	34	100
416.64	22	120

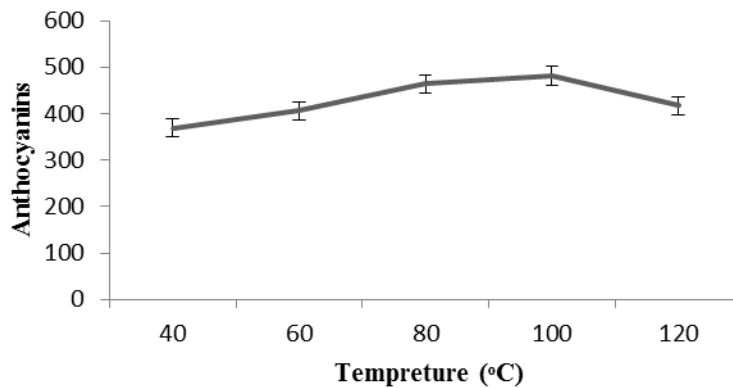
خشک کردن نیاز به زمان کمتری داشته و تخریب حرارتی کمتر شده است و میزان آنتوسیانین در دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس به بیشترین مقدار خود رسیده است. در دماهای بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس میزان آنتوسیانین رو به کاهش می‌نهد (شکل ۴) که احتمالاً ناشی از تخریب حرارتی در دماهای بالاست (Wlazly & Targonski, 2000)، این نتیجه توسط حیدری و

همان‌گونه که مشاهده می‌شود خشک کردن در دماهای پایین نیاز به زمان بیشتری برای خشک شدن داشته، و میزان آنتوسیانین موجود در گلبرگ زعفران در این دماها (۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) کمترین مقدار را دارد که احتمالاً به دلیل فعالیت‌های آنزیمی است که باعث تجزیه بیولوژیکی آنتوسیانین‌ها می‌شود (Williams et al., 1986). طبق جدول ۲ با افزایش دما،



خشک کردن در مدت زمان کوتاه‌تری صورت می‌گیرد و ترکیبات آنتوسیانین پایدارترند.

همکاران نیز بدست آمده است (Heydari et al., 2014). طبق نتایج مطالعه حاضر، گلبرگ زعفران در دمای بهینه ۱۰۰ درجه سلسیوس دارای بالاترین میزان آنتوسیانین بوده زیرا در این دما



شکل ۴- تأثیر فرآیند خشک کردن بر میزان آنتوسیانین گلبرگ زعفران  
Figure 4- Effect of drying process on anthocyanin content of saffron petals.

تغییرات مربوط به مقادیر RGB نمونه‌های خشک شده در دماهای بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس نیز به همین صورت می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مقادیر رنگی استخراج شده از تصاویر دریافتی نمونه‌های خشک شده به خوبی قادر به تعیین دمای بهینه خشک کردن گلبرگ زعفران (۱۰۰ درجه سلسیوس) به منظور حفظ بیش‌ترین ماده مؤثر آنتوسیانین و کمترین تغییرات رنگ در فرآیند خشک کردن بوده است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، بیش‌ترین مقادیر RGB و بالاترین میزان آنتوسیانین استخراج شده از گلبرگ زعفران مربوط به دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس بوده و همچنین کمترین تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) نیز مربوط به این بازه دمایی می‌باشد که بهترین شرایط خشک کردن برای این منظور را نشان می‌دهد. بنابر نتایج بدست آمده، میزان آنتوسیانین تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس افزایش یافته و پس از آن رو به کاهش می‌نهد،

### منابع

Aghaee, Z., Jafari, S. M., Ghorbani, M., and Hemmati, K.H. 2014. Effect of different drying methods on anthocyanin extracted from saffron petals. 22 National Congress of Food Science and Technology. Gorgan University of Agricultural Sciences, 30-31 August 2014. (In Persian).

Arabhosseini, A., Huisman, W., Van Boxtel, A., and Müller, J. 2007. Long-term effects of

drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage. Journal of Food Engineering 79: 561-566.

Arabhosseini, A., Padhye, S., Huisman, W., van Boxtel, A., and Müller, J. 2011. Effect of drying on the color of tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.) leaves. Food and Bioprocess Technology 4: 1281-1287.

Basti, A.A., Moshiri, E., Noorbala, A.A., Jamshidi,

- A.H., Abbasi, S.H., and Akhondzadeh, S. 2007. Comparison of petal of *Crocus sativus* L. and fluoxetine in the treatment of depressed outpatients: a pilot double-blind randomized trial. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry* 31: 439-442.
- Chen, Q., Zhang, D., Pan, W., Ouyang, Q., Li, H., Urmila, K., and Zhao, J. 2015. Recent developments of green analytical techniques in analysis of tea's quality and nutrition. *Trends in Food Science and Technology* 43: 63-82.
- Du, C.-J., and Sun, D. W. 2005. Comparison of three methods for classification of pizza topping using different colour space transformations. *Journal of Food Engineering* 68: 277-287.
- Fatehi, M., Rashidabady, T., and Fatehi Hassanabad, Z. 2003. Effects of *Crocus sativus* petals' extract on rat blood pressure and on responses induced by electrical field stimulation in the rat isolated vas deferens and guinea-pig ileum. *Journal of Ethnopharmacology* 84: 199-203.
- Gabel, M.M., Pan, Z., Amaratunga, K., Harris, L.J., and Thompson, J.F. 2006. Catalytic infrared dehydration of onions. *Journal of Food Science* 71: E351-E357.
- Giusti, M.M., and Wrolstad, R.E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley and Sons, Inc
- Hassini, L., Azzouz, S., Peczalski, R., and Belghith, A. 2007. Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering* 79: 47-56.
- Heydari, S., Rezaeiii, R., and Haghayeghi, G.H. 2014. Effect of drying processes on stability of anthocyanin extracts from saffron petal. *Evolving Trends in Engineering and Technology* 2: 13-18.
- Hemmati, A., Hosseini, K.D., and Rahimy, S.K. 1994. Search and anthocyanin extract of saffron petals Khorasan and stability in a beverage model, a research project, the Institute of Food Science and Technology, Mashhad. (In Persian).
- Hosseinzadeh, H., and Younesi, H.M. 2002. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Crocus sativus* L. stigma and petal extracts in mice. *BMC pharmacology* 2 (7): 1472-2210.
- Kafi, M. 2006. *Saffron (Crocus sativus): Production and Processing*. Science Publishers.
- Larraín, R., Schaefer, D., and Reed, J. 2008. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International* 41: 380-385.
- 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: 1269-1278.
- Lee, J., Rennaker, C., and Wrolstad, R.E. 2008. Correlation of two anthocyanin quantification methods: HPLC and spectrophotometric methods. *Food Chemistry* 110 (3): 786-782.
- Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169-175.
- Mahdavi Khazaei, K., Jafari, S., Ghorbani, M., and Kakhki, A.H. 2016. Optimization of anthocyanins extraction from saffron petals with response surface methodology, *Food Anal. Methods* 9: 1993-2001.
- Mahdavi Khazaei, N.B., Tavakoli, T., Ghassemian, H., Khoshtaghaza, M.H., and Banakar, A. 2013. Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process. *Computers and Electronics in Agriculture* 98: 205-21. (In Persian).
- Mendoza, F., and Aguilera, J. 2004. Application of

- image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science* 69: E471–E477.
- Mendoza, F., Dejmek, P., and Aguilera, J.M. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41: 285-295.
- Nobbs, J., and Connolly, C. 2000. Camera-based colour inspection. *Sensor Review* 20: 14-20.
- Shafiee, S., Minaei, S., Moghaddam-Charkari, N., and Barzegar, M. 2014. Honey characterization using computer vision system and artificial neural networks. *Food Chemistry* 159: 143-150.
- Shahabi, M., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., and Hosseinpour, S. 2014. Image analysis and green tea color change kinetics during thin-layer drying. *Food Science and Technology International* 20: 465-476.
- Sliwinska, M., Wisniewska, P., Dymerski, T., Namiesnik, J., and Wardencki, W. 2014. Food analysis using artificial senses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62: 1423-1448.
- Stintzing, F.C., and Carle, R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology* 15: 19-38.
- Taghadomi-Saberi, S., Omid, M., Emam-Djomeh, Z., and Ahmadi, H. 2013. Development of an intelligent system to determine sour cherry's antioxidant activity and anthocyanin content during ripening. *International Journal of Food Properties* 48-735-741.
- Tahmasbpour, M., Dehghannia, G., Sayedlo haris, S.S., and Ghanbarzadeh, B. 2014. Modeling color changes during drying grapes are pre-treated with ultrasound and carboxymethyl cellulose and its organoleptic characteristics. *Journal of Food Technologies* 1: 61-79. (In Persian).
- Williams, C.A., Harborne, J.B., and Goldblatt, P. 1986. Correlations between phenolic patterns and tribal classification in the family Iridaceae. *Phytochemistry* 25: 2135-2154.
- Wlazly, A., and Targonski, Z. 2000. Polyphenol oxidase and beta-glucosidase in selected berry fruit. *Journal of Zywnosc* 7: 122-132.
- Yagiz, Y., Balaban, M.O., Kristinsson, H.G., Welt, B.A., and Marshall, M.R. 2009. Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 728-730.

## Effect of the drying process on saffron petals color features using machine vision

*Sedigheh Kasali<sup>1</sup>, Saeid Minaei<sup>2\*</sup> and Mahdi ayyari<sup>3</sup>*

**Submitted:** 8 July 2017

**Accepted:** 17 January 2018

Kasali, S., Minaei, S., ayyari, M. 2019. Effect of the drying process on saffron petals color features using machine vision. *Saffron Agronomy & Technology* 7(1): 81-91.

### Abstract

Drying is one of the methods commonly used to increase the shelf life of medicinal plants and agricultural products. In this study, the drying process of saffron petals with a thin layer hot air dryer at five levels at 40, 60, 80, 100 and 120 °C and three air flows of 0.5, 1 and 1.5 m/s and their impacts on color parameter (amounts R, G and B) have been studied. By using machine vision system, color images of saffron dried petals were taken, and analyzed using image processing algorithms. Feature colors (RGB) were also obtained. In addition, the anthocyanin content, (using differential pH method) and L\*a\*b\* characteristics were measured in order to determine the proper drying conditions of the samples. The data were analyzed using factorial experiment based on randomized complete design. The results showed that maximum RGB values were at the temperature range of 80 to 100°C, representing the greatest ratio and intensity of red, green and blue colors. Also, in this temperature range, the highest anthocyanin content (482.21mg/l) and lowest color changes ( $\Delta E$ ) were obtained which indicate the relative desirability of this range for drying saffron petals.

**Keywords:** saffron, color changes, L \* a \* b \*, vision machine, anthocyanins

---

1 - MSc. student, Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran  
2 - Professor of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran  
3 - Assistant Professor of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran  
(\*-Corresponding author Email: minae@modares.ac.ir)  
DOI: 10.22048/jsat.2018.91656.1241