

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی تغییرات رنگ آب‌نارنج طی فرایند حرارت‌دهی اهمیک با کمک روش‌شناسی سطح پاسخ

محمد واحدی ترشیزی^۱، محسن آزادبخت^{۲*} و مهدی کاشانی‌نژاد^۳

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب: کارشناس ارشد گروه مکانیک بیوسیستم؛ دانشیار؛ و استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۱۱

چکیده

با توجه به اینکه رنگ یکی از خصوصیات ظاهری محصولات غذایی برای انتخاب مشتریان و بازاریبندی است در این تحقیق، یک سیستم حرارت‌دهی اهمیک در سه گرادیان ولتاژ ورودی (۸/۳۳، ۱۰/۸۳، ۱۳/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر) و سه درصد کاهش وزن (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) نسبت به کل وزن در فرایند حرارت‌دهی ساخته شده است. پس از فرآیند حرارت‌دهی، تغییر رنگ با استفاده از نرم‌افزار Image J سنجیده شد؛ فاکتورهای L^* ، a^* ، b^* ، شاخص قهوه‌ای شدن، شاخص کروما و تغییرات رنگ کل بالاترین ضریب تخمین برای درصد کاهش وزن و برای مقدار a^* ولتاژ فرایند بیشترین ضریب تخمین را داشته است. همچنین، به جز فاکتور a^* که مدل درجه دوم در برابر دو فاکتور مدل مناسب است برای بقیه فاکتورها مدل خطی در برابر میانگین مدل مناسب توسط سطح پاسخ به دست آمده است. در تحلیل نمودارهای سطح پاسخ نیز فاکتور L^* و a^* محدوده ولتاژ ۵۰ تا ۶۵ ولت و درصد کاهش وزن ۲۰ درصد بیشترین مقدار را داشته است.

واژه‌های کلیدی

درصد کاهش وزن، فاکتور $L^*a^*b^*$ ، گرادیان ولتاژ، نرم‌افزار Image J

مقدمه

فناوری‌های جایگزین استفاده شود. انرژی الکتریکی در دهه‌های اخیر برای این مشکل مورد توجه قرار گرفته است و حرارت اهمیک یک روش برای عملیات پردازش غذایی است که در آن حرارت درون غذا با جریان عبوری برق تولید می‌شود (Akanbi, et al., 2006; Ozkan et al., 2007; Contreras et al., 2008; Duan et al., 2011). فناوری‌های پردازش حرارتی و غیرحرارتی بر اساس تکنیک‌های فیزیکی برای حفظ مواد غذایی توان بالقوه برای پاسخگویی

پردازش محصولات غذایی ضروری است و یکی از روش‌های استفاده از پردازش محصولات کشاورزی فرایندهای حرارتی است و در فرایندهای حرارتی مرسوم با استفاده از مکانیزم جابه‌جایی حرارت به وسیله رسانایی، همرفت و تابش صورت می‌گیرد. مقاومت محصولات در برابر رسانش حرارت منجر به از بین رفتن کیفیت آن‌ها به مقادیر قابل توجهی می‌شود. از این‌رو باید برای حل این مشکلات

موجود در ماده غذایی و ترکیب شیمیایی آن وجود داشته باشد به جای آنالیز شیمیایی می‌توان از اندازه‌گیری رنگ استفاده کرد زیرا اندازه‌گیری رنگ نسبت به آنالیز شیمیایی آسان‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر است. رنگ معمولاً با سه مشخصه L^* ، a^* و b^* تعیین می‌شود. تعیین رنگ با استفاده از این سه مشخصه اصلی در صنعت غذا و به خصوص در محصولاتی مناسب‌ترین روش است که دارای رنگ بالا هستند (Pathare *et al.*, 2013; Aghalanzadeh Suraki *et al.*, 2016).

فاکتور L^* نمایانگر میزان روشنایی محصول است از ۱۰۰ برای سفید کامل تا صفر برای سیاه مطلق درجه‌بندی می‌شود. a^* نشانگر قرمزی و مقادیر منفی آن میزان سبز بودن را نشان می‌دهد، b^* نیز برای زرد و آبی بودن نمونه است. مقادیر مثبت برای زرد و مقادیر منفی برای آبی کاربرد دارد (Barreiro *et al.*, 1997).

لیما و همکاران (Lima *et al.*, 2001) نشان دادند که پخش‌شدگی رنگ چغندر قند با استفاده از میدان الکتریکی افزایش می‌یابد و این افزایش تابعی از طول میدان الکتریکی، دما، مساحت سطح و هدایت الکتریکی است.

کابرا و همکاران (Cabrera *et al.*, 2009) تحقیقی را در خصوص اثر فاکتورهای دما و زمان فرایند حرارتی بر کیفیت آب انگور انجام دادند. در بررسی این فاکتورها مشاهده کردند که با افزایش این فاکتورها میزان pH و مواد جامد انحلال‌پذیر افزایش پیدا کرده و تفاوت معنی‌داری نیز داشته است.

بخت و همکاران (Bhat *et al.*, 2017) با مقایسه فرایندهای حرارتی مرسوم و اهمیک روی آب کدو نشان دادند که شاخص قهوه‌ای شدن طی فرایند

به خواسته‌های مصرف‌کننده و ارائه محصولات باکیفیت بالا را با طول عمر طولانی دارند که بدون افزودنی آزاد هستند و تحت تیمار با حرارت زیاد قرار نگرفته‌اند. تحقیقات و تحولات در تکنیک‌های غیرحرارتی به طور عمده با این هدف اجرا می‌شود که میکروارگانیسم‌های غیرآلرژیک، آلرژن‌ها و آنزیم‌ها بدون آسیب رساندن به خواص تغذیه‌ای و حساسیتی ناشی از تیمار حرارتی غیرفعال شود (Varghese *et al.*, 2014). اولین قضاوت کیفی توسط هر مصرف‌کننده در مورد مواد غذایی در وضعیت خرید، ظاهر آن است. رنگ یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهر مواد غذایی است، زیرا بر پذیرش مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد. رنگ غیرطبیعی مواد غذایی باعث می‌شود که مصرف‌کننده آن را رد کند. از این‌رو، بسیاری از تولیدکنندگان مواد غذایی از اثر روانی رنگ برای افزایش فروش محصولات خود استفاده می‌کنند. از سوی دیگر، عملیات حرارت‌دهی باید برای به دست آوردن محصولات باکیفیت بالا بهینه‌سازی شود. با توجه به کیفیت، رنگ یک ویژگی کلیدی است که پذیرش اولیه مواد غذایی را در برمی‌گیرد (Vadivambal & Jayas, 2007).

در حال حاضر فضاهای رنگی و مقادیر عددی برای ایجاد، بیان و مشخص کردن رنگ در فضاهای دوبعدی و سه‌بعدی استفاده می‌شود. با توجه به نوع کاربرد از فضاهای رنگی مختلف مانند RGB، CMYK و Lab استفاده می‌شود. در میان فضاهای مذکور فضای Lab وسعت بیشتری دارد و کاربرد آن در صنعت غذا بیشتر است (Leon *et al.*, 2006).

افزایش جذب (420 نانومتر)، شروع واکنش‌های قهوه‌ای شدن را به دلیل قرارگیری در معرض دماهای بالای تیمار حرارتی نشان می‌دهد (Cullen *et al.*, 2012). اگر ارتباطی میان ترکیبات رنگی

و شاخص کروما و شاخص قهوه‌ای شدن و تغییرات رنگ کل در آن‌ها بررسی شود.

روش آزمایش

برای اجرای این فرایند، یک مخزن (از جنس پلاستیک‌های ترموست) در تهیه شد. نمونه‌ها درون این مخزن و بین دو الکتروود ریخته شدند و دمایی اولیه آن‌ها ثبت گردید و بعد از ثبت دمایی ولتاژ به مجموعه وارد شده و نمونه‌ها گرم شدند. برای فرایند حرارت‌دهی سه گرادیان ولتاژ ۸/۳۳، ۱۰/۸۳ و ۱۳/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر انتخاب و سعی شد با استفاده از این گرادیان ولتاژها، ۱۰ درصد (از ۹۰ گرم به ۸۱ گرم)، ۲۰ درصد (از ۹۰ گرم به ۷۲ گرم) و ۳۰ درصد (از ۹۰ گرم به ۶۳ گرم) از وزن کل نمونه‌های آب‌نارنج ریخته شده درون سلول طی فرایند گرم شدن بخار گردد. تمامی نمونه‌ها با وزن وردی ۹۰ گرم انتخاب شدند در شکل ۱ شماتیک فرایند حرارت‌دهی و اجزای سیستم نشان داده شده است.

آزمایش‌ها در یک سیستم حرارت‌دهی اهمیک ساکن اجرا شدند. سیستم استفاده شده شامل یک سلول از جنس پلاستیک فشرده و شفاف به طول ۶ سانتی‌متر، عرض ۶ سانتی‌متر، ارتفاع ۳ سانتی‌متر ضخامت دیواره سلول ۰/۳ سانتی‌متر، الکتروود از جنس استیل ضدزنگ (ضخامت ۰/۱ سانتی‌متر و فاصله بین دو الکتروود ۶ سانتی‌متر، و از یک مبدل متغیر r استفاده شد که وظیفه آن ایجاد ولتاژهای مختلف است (3، 3 - MST، 50 Hz، 0-300 V، kW) نیز Toyo, Japan، پاور انالیزار (Lutron DW-6090) نیز که وظیفه بررسی و کنترل نحوه رفتار انرژی سیستم را برعهده داشت و از یک ترموکوپل و یک کامپیوتر برای ذخیره داده‌ها با مشخصات استفاده شده است. یک ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم برای اندازه‌گیری میزان

اهمیک کمتر از حالت مرسوم است و همچنین تغییرات کلی رنگی کمتری را نسبت به فرایند حرارت‌دهی مرسوم فرایند حرارت‌دهی اهمیک داشته است.

آبهلیشا و همکاران (Abhilasha & Pal, 2018) تأثیر فرایند حرارت‌دهی اهمیک را روی آب نیشکر آزمایش کردند و نشان دادند که آب نیشکر طی حرارت‌دهی نسبت به حالت شاهد تیره‌تر می‌شود و تغییراتی زیادی می‌یابد.

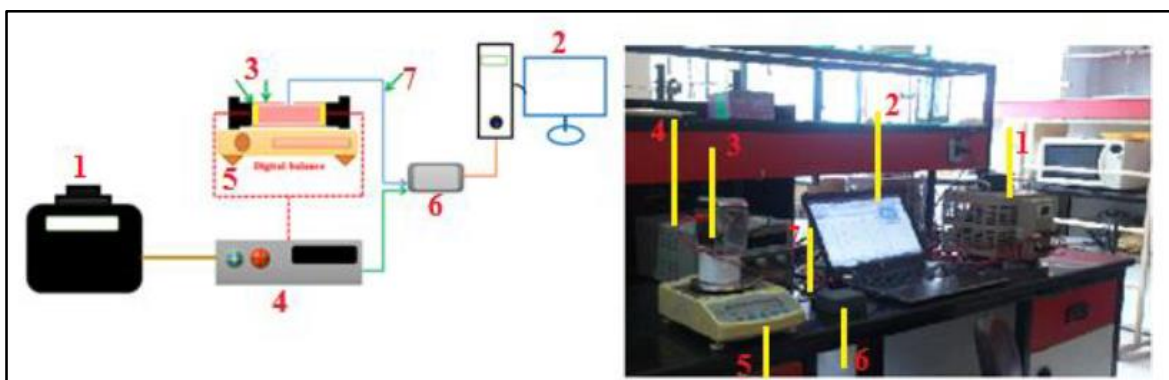
در فرایندهای حرارتی، بررسی تغییرات رنگ فاکتوری است بسیار مهم و در ظاهر محصول، نگاه مشتری و بازارپسندی آن تأثیر بسزایی دارد. با توجه به اینکه آب‌نارنج محصولی حساس به فرایند حرارتی است نیاز است که فرایندهای حرارتی بررسی شود تا بتوان طی این بررسی‌ها تغییرات رنگی آب‌نارنج را به دست آورد. با توجه به روش‌های متعدد حرارت‌دهی، در این تحقیق به بررسی تغییرات رنگ آب‌میوه طی فرایند حرارتی پرداخته شده تا بتوان مقادیر تغییرات را بررسی کرد. از روش سطح پاسخ استفاده شد تا با استفاده از این روش، بهینه‌سازی را برای داشتن بهترین مقادیر رنگی و تغییرات به دست آورده شود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

نارنج از یک باغ واقع در شهرستان گرگان، استان گلستان، خریداری شد. نارنج‌های تهیه شده شستشو و از وسط به دو نیم تقسیم شدند و بلافاصله پس از خرید در شرایطی یکسان برای تمام نمونه‌ها (دمای محیط و فشار اعمال شده) آگیری به صورت دستی دنبال شد. نمونه‌ها برای آزمایش طی فرایند اهمیک با گرادیان‌های ولتاژ و درصد کاهش وزن مختلف آماده شدند تا طی فرایند میزان تغییرات L^* ، a^* ، b^*

وزن سلول و محتویات درون آن طی فرایند زیر مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع سلول قرار داده شد. تمامی آزمایش‌ها در گروه طبیعی گرگان اجرا شد.



شکل ۱- شماتیک تجهیزات استفاده شده برای فرایند حرارت‌دهی اهمیک (Vahedi Torshizi *et al.*, 2020)

۱- مبدل متغیر، ۲- لپ‌تاپ، ۳- سلول اهمیک، ۴- پاور آنالیزر، ۵- ترازو، ۶- کنترل پنل و ۷- ترموکوپل

Fig. 1. Schematic of the equipment used for the ohmic heating process

1- Variable transformer, 2- Laptop, 3- Ohmic cell, 4- Power analyzer, 5- Scale, 6- Control panel and 7-Thermocouple

می‌توان از فضای رنگی RGB به فضای رنگی XYZ تبدیل کرد.

همچنین با استفاده از روابط ۱ تا ۴ نیز می‌توان در مرحله بعدی تصاویر XYZ را به L^* ، a^* و b^* تبدیل و سپس محاسبه کرد (Cheng *et al.*, 2001)

$$\begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \\ \hat{Z} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0.412456 & 0.257580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119194 & 0.950227 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \hat{R} \\ \hat{G} \\ \hat{B} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\hat{L} = \begin{cases} 116 \times \left(\frac{\hat{Y}}{\hat{Y}'} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ 903.3 \times \left(\frac{\hat{Y}}{\hat{Y}'} \right) \text{ ELSE} \end{cases} \quad (2)$$

$$\hat{a} = 500 \times \left[\left(\frac{\hat{X}}{\hat{X}'} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{\hat{Y}}{\hat{Y}'} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3)$$

آنالیز مقادیر رنگی

در آنالیز مقادیر رنگی، از ارزش L^* ، a^* و b^* استفاده شده و علت این امر نیز مستقل بودن این تحلیل از دستگاه است و محدوده‌ای وسیع‌تر نسبت به RGB و CMYK پوشش می‌دهد. برای تحلیل تصویرها و به دست آوردن مقادیر رنگی نیز از نرم‌افزار Image J (نرم‌افزاری برای پردازش تصویر) استفاده شد. این نرم‌افزار به کمک افزونه‌هایی که برایش ساخته شده در بسیاری از مسائل پردازش و تحلیل تصویرها به کار می‌رود (Azadbakht *et al.*, 2016). ابتدا برای بهبود تصویرها و حذف مؤلفه‌های غیرضروری در تصویر برای تمامی تصویرها پیش پردازش اجرا شد. در پردازش تصویر هدف کلی در این مرحله شناسایی ویژگی‌هایی از تصویر است که بتوان از آن‌ها برای کاربرد موردنظر استفاده کرد. تصویرها از فضای رنگی RGB به XYZ و سپس به L^* ، a^* و b^* با استفاده از دو مرحله تبدیل گردید. با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد و تصویرها را

نشان داده شده است (Abdelmotaleb *et al.*, 2009; Montazer & Niakousari, 2012).

$$\hat{b} = 200 \times \left[\left(\frac{\hat{Z}}{\hat{Z}'} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{\hat{Y}}{\hat{Y}'} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4)$$

که در آن مقادیر X'، Y' و Z' مقادیر XYZ برای استاندارد D65 هستند.

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (8)$$

= شاخص کروما

$$TCD = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \\ \hat{Z} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 95.047 \\ 100 \\ 108.883 \end{pmatrix} \quad (5)$$

اندیس‌های صفر مربوط به مقادیر خوانده شده از نمونه شاهد آب نارنج تازه فراوری نشده است.

همچنین شاخص قهوه‌ای شدن بر اساس مؤلفه‌های رنگی به دست آمده و با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه شد (Moreno *et al.*, 2016):

روش سطح پاسخ

به منظور بررسی ویژگی‌ها و بهینه‌سازی تغییرات رنگ در آب نارنج طی فرایند حرارت‌دهی اهمیت از روش سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی (CCD) با ۵ نقطه مرکزی و با نرم‌افزار Design Expert 11 استفاده شد. در این پژوهش متغیرهای مستقل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن (جدول ۱) و متغیرهای وابسته مقادیر L*، a*، b*، شاخص قهوه‌ای شدن، شاخص کروما و تغییرات رنگ کل به عنوان پاسخ در نظر گرفته شد.

$$x = \frac{a * + 1.75 \times L *}{5.645L * + a * - 3.012b *} \quad (6)$$

$$BI = \frac{(100(x - 0.33))}{0.17} \quad (7)$$

اندازه‌گیری شاخص‌های کروما و اختلاف رنگ کل برای توصیف تغییرات رنگی طی حرارت‌دهی آب نارنج تحت شرایط مختلف فرایند در روابط ۸ و ۹

جدول ۱- متغیرهای مستقل سطوح آزمون

Table 1- Independent variables of test levels

Levels/ سطح		Variables/ متغیرها	
+1	-1		
80	50	Voltage gradient	گرادیان ولتاژ
30	10	Weight loss percentage	درصد کاهش وزن

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۲ می‌توان برای L* این گونه گفت که مدل استفاده شده، گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن همگی در سطح P < ۰/۰۰۰۱ معنی‌دار شده است و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور هم در سطح P < ۰/۰۱۰۴ معنی‌دار شدند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و ضریب‌های پیش‌گویی L*، a*، b*، شاخص کروما، شاخص قهوه‌ای شدن و تغییرات رنگ کل در جدول ۲ نشان داده شده است.

بهتری را داشته است و این میزان را می‌توان قابل قبول دانست. برای شاخص کروما نیز مدل استفاده شده و درصد کاهش وزن همگی در سطح $P < 0/0029$ و $P < 0/001$ معنی‌دار شده و گرادیان ولتاژ معنی‌دار نشده است. مقدار آزمون فقدان برازش معنی‌دار شده بود و با توجه به مقادیر R^2 و $R^2_{adjusted}$ این مدل انتخاب شد که نسبت به بقیه مدل‌ها مقدار $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{Predicted}$ بهتری را داشته و این میزان را می‌توان قابل قبول دانست. برای تغییرات رنگ کل می‌توان بیان کرد که مدل استفاده شده و درصد کاهش وزن همگی در سطح $P < 0/0001$ معنی‌دار شده و همچنین گرادیان ولتاژ هم در سطح $P < 0/0085$ معنی‌دار شد. میزان آزمون فقدان برازش برای تمامی فاکتورهای مورد بررسی معنی‌دار نشده است؛ با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد این امر نشان‌دهنده مناسب بودن مدل پس از کاهش دادن تعداد جملات غیر معنی‌دار بوده است. همچنین با توجه به جدول و مقادیر R^2 و $R^2_{adjusted}$ می‌توان گفت که چون مقادیر بسیار نزدیک به یک هستند مدل پیش‌بینی فرایند بسیار قوی و مناسب است، همچنین مقدار $R^2_{adjusted}$ پیش‌بینی‌شده نیز برای a^* ، L^* و تغییرات رنگ کل بسیار خوب و مطلوب است.

برای a^* نیز درصد کاهش وزن در سطح $P < 0/0001$ و برای گرادیان ولتاژ و مدل استفاده شده به ترتیب در سطح $P < 0/0064$ و $P < 0/0004$ معنی‌دار شده است. مقدار اثر متقابل دو فاکتور و حالت درجه دوم فاکتورها معنی‌دار بیشتر از $P < 0/05$ داشته است. مقدار آزمون فقدان برازش معنی‌دار شده بود و با توجه به مقادیر R^2 و $R^2_{adjusted}$ این مدل انتخاب شد که نسبت به بقیه مدل‌ها مقدار $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{Predicted}$ بهتری را داشته است.

برای b^* نیز مدل استفاده شده و درصد کاهش وزن همگی در سطح $P < 0/0023$ و $P < 0/0009$ معنی‌دار شده است و گرادیان ولتاژ معنی‌دار نشده است. مقدار آزمون فقدان برازش معنی‌دار شده بود و با توجه به مقادیر R^2 و $R^2_{adjusted}$ این مدل انتخاب شد که نسبت به بقیه مدل‌ها مقدار $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{Predicted}$ بهتری را داشته است و این میزان را می‌توان قابل قبول دانست. برای شاخص قهوه‌ای شدن نیز مدل استفاده شده و درصد کاهش وزن همگی در سطح $P < 0/0015$ و $P < 0/0013$ معنی‌دار شده و گرادیان ولتاژ معنی‌دار نشده است. مقدار آزمون فقدان برازش معنی‌دار شده بود و با توجه به مقادیر R^2 و $R^2_{adjusted}$ این مدل انتخاب شد که نسبت به بقیه مدل‌ها مقدار $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{Predicted}$

جدول ۲- تجزیه واریانس و ضریب‌های پیشگویی مقدار L^* ، a^* ، b^* ، کروما، شاخص قهوه‌ای شدن و تغییرات رنگ کل آبنارنج

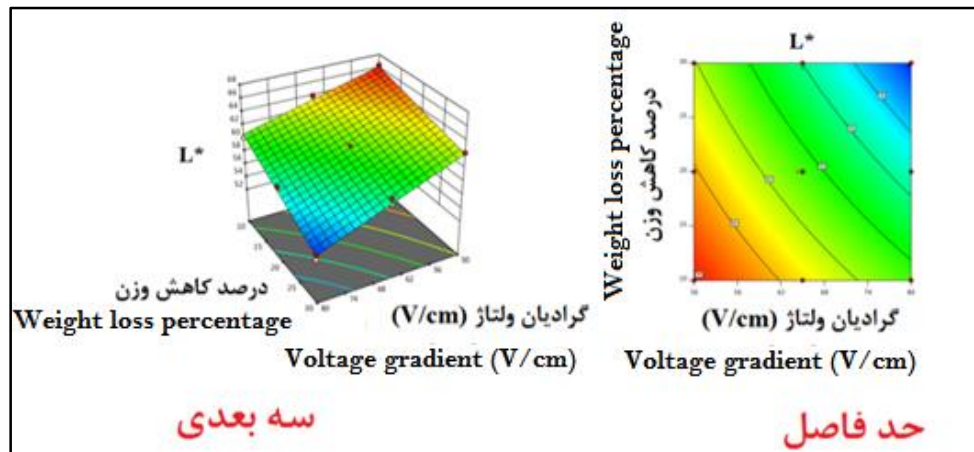
Table 2- Analysis of variance and prediction coefficients of L^* ، a^* ، b^* ، chroma، browning index and total hydrangea color changes

L^*						
	p-value	F-value	میانگین مربعات Mean squares	ضریب تخمین Estimation coefficient	df	
معنی‌داری	0.0001	150.01	55.01	60.69	3	Model مدل
	0.0001	217.37	79.70	-3.45	1	Voltage gradient-A A-گرادیان ولتاژ
	0.0001	150.65	55.24	-2.72	1	Weight loss percentage-B B-درصد کاهش وزن
	0.0226	6.02	2.21	-0.683	1	AB
عدم معنی‌داری	0.4110	1.30	0.4087		5	Lack of test آزمون فقدان برازش
				0.9804		R^2
				0.9739		$R^2_{adjusted}$
				0.9558		$R^2_{adjusted}$
a^*						
معنی‌داری	0.0004	21.04	13.65	5.33	3	Model مدل
	0.0064	14.71	9.55	-1.20	1	Voltage gradient-A A-گرادیان ولتاژ
	0.0001	64.90	42.11	-2.40	1	Weight loss percentage-B B-درصد کاهش وزن
	0.0533	5.39	3.5	0.8658	1	AB
	0.0519	5.47	3.55	-1.12	5	Lack of test آزمون فقدان برازش
				0.9376		R^2
				0.8930		$R^2_{adjusted}$
				0.7428		$R^2_{adjusted}$
b^*						
معنی‌دار	0.0023	11.91	254.64	37.04	2	Model مدل
	0.3627	0.9096	19.45	1.69	1	Voltage gradient-A A-گرادیان ولتاژ
	0.0009	21.56	461.03	7.79	1	Weight loss percentage-B B-درصد کاهش وزن
			21.38		10	AB
			23.58		4	Lack of test آزمون فقدان برازش
				0.6452		R^2
				0.5660		$R^2_{adjusted}$
				0.6129		$R^2_{adjusted}$
Browning index / شاخص قهوه‌ای شدن						
معنی‌دار	0.0015	13.41	6150.97	99.64	2	Model مدل
	0.0536	4.78	2194.60	17.93	1	Voltage gradient-A A-گرادیان ولتاژ
	0.0013	19.44	8916.13	34.28	1	Weight loss percentage-B B-درصد کاهش وزن
			458.72		10	AB
			302.28		4	Lack of test آزمون فقدان برازش
				0.6741		R^2
				0.5619		$R^2_{adjusted}$
				0.6234		$R^2_{adjusted}$

Choroma index/شاخص کروما						
	p-value	F-value	میانگین مربعات/ Mean squares	ضریب تخمین/ Estimation coefficient	df	
معنی‌دار	0.0029	11.10	231.31	37.43	2	Model مدل
	0.4126	0.7311	15.23	1.49	1	Voltage gradient-A-گرادیان ولتاژ
	0.0011	20.28	422.57	7.46	1	Weight loss percentage-B-درصد کاهش وزن
			20.83		10	AB
			23.49		4	Lack of test آزمون فقدان برازش
				0.6274		R ²
				0.5466		R ² _{adjusted}
				0.5627		R ² _{adjusted}
Total color diffrent/تغییرات رنگ کل						
معنی‌دار	0.0001	31.62	225.86	14.70	2	Model مدل
	0.0085	10.66	76.18	3.34	1	Voltage gradient-A-گرادیان ولتاژ
	0.0001	46.55	322.55	6.62	1	Weight loss percentage-B-درصد کاهش وزن
			7.14		10	AB
			3.54		4	Lack of test آزمون فقدان برازش
				0.8361		R ²
				0.7871		R ² _{adjusted}
				0.795		R ² _{adjusted}

بیشترین میزان تیرگی یعنی کمترین میزان L^* مشاهده شده است. در شکل ۲، حد فاصل تغییرات را در هر ولتاژ و درصد کاهش وزن با گروه‌های مختلف می‌توان مشاهده کرد. نتایج تغییرات رنگ شاید به دلیل فعالیت‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی و تغییر در مقدار ویسکوزیته نمونه‌های آب‌نارنج است و کاهش روشنایی عمدتاً به این دلیل است که آنزیم‌هایی که برای شکل‌گیری رنگ تیره هستند در فرایند حرارت‌دهی فعال شدند و همین امر سبب کاهش میزان روشنایی شده است. نتایج به دست آمده مشابه نتایج تحقیقات آبهیلاشا و همکاران (Abhilasha & Pal, 2018) روی آب میوه نیشکر و چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty & Athmaselvi, 2014) روی میوه گووا با استفاده از روش اهمیک است.

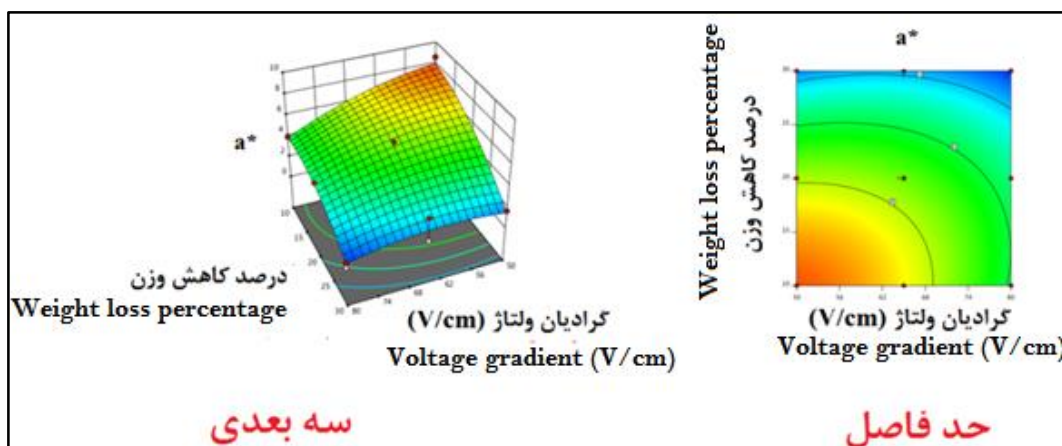
مقادیر ضریب‌های مدل تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن در جدول ۲ نشان داده شده است. گرادیان ولتاژ تأثیر $(-۳/۴۵)$ به مراتب تأثیر کمتری نسبت به درصد کاهش وزن $(-۲/۷۲)$ داشته زیرا ضریب‌های آن پایین‌تر است. همچنین کاملاً در شکل ۲ نشان داده شده که با افزایش ولتاژ میزان L^* کاهش پیدا کرده است، بیشترین میزان منطقه قرمز که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر فاکتور مورد نظر است در ولتاژ ۵۰ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ و ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۲۰/۵ درصد است که بیشترین مقدار رنگی L^* در آن مشاهده شده است و هرچه ولتاژ و درصد کاهش وزن افزایش پیدا کرده، میزان L^* کمتر شده که بدین معنی است که نمونه تیره‌تر شده است و در ولتاژ ۸۰ (گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ و ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۳۰ درصد



شکل ۲- نمودار سه بعدی و حدفاصل برای بررسی میزان L^* آب نارنج در گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن فرایند اهمیک
 Fig. 2- Three-dimensional diagram and distance to investigate the amount of L^* of sour orange juice in the voltage gradient and the weight loss percentage of the ohmic process

مشاهده شده است و هرچه ولتاژ و درصد کاهش وزن افزایش پیدا کرده میزان a^* کمتر شده است و در ولتاژ ۸۰ (گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ ولتاژ بر سانتی متر) و کاهش وزن ۳۰ درصد کمترین میزان a^* مشاهده شده است. در شکل ۳، حد فاصل تغییرات را در هر ولتاژ و درصد کاهش وزن با گروه‌های مختلف را می‌توان مشاهده کرد. نتایج به دست آمده مشابه نتایج تحقیقات آقاجان زاده و همکاران (Aghajanzadeh *et al.*, 2016) است که روی آب نارنج در یک تیمار حرارتی به دست آوردند.

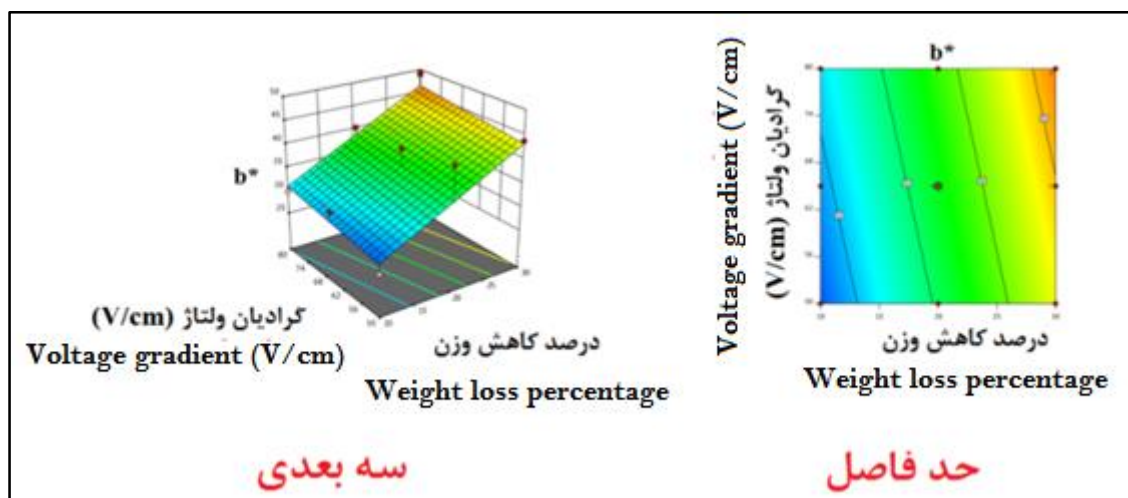
مقادیر ضریب‌های مدل تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای a^* در جدول ۲ نشان داده شده است که گرادیان ولتاژ تأثیر $(-1/20)$ به مراتب تأثیر بیشتری نسبت به درصد کاهش وزن $(-2/40)$ داشته زیرا ضریب‌های آن بالاتر است. همچنین کاملاً در شکل ۳ نشان داده شده که با افزایش ولتاژ، میزان a^* کاهش پیدا کرده است و بیشترین میزان قرمز که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر است در ولتاژ ۵۰ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ ولتاژ بر سانتی متر) و کاهش وزن ۱۸ درصد است که بیشترین مقدار a^* در آن



شکل ۳- نمودار سه بعدی و حدفاصل برای بررسی میزان a^* آب نارنج در گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن فرایند اهمیک
 Fig. 3- Three-dimensional and distance diagram to investigate the amount of a^* of sour orange juice in the voltage gradient and the weight loss percentage of the ohmic process

شده است و در ولتاژ ۵۰ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۱۰ درصد بیشترین میزان زرد شدن یعنی کمترین میزان b^* مشاهده شده است. در شکل ۴، حد فاصل تغییرات را در هر ولتاژ و درصد کاهش وزن با گروه‌های مختلف را می‌توان مشاهده کرد. ایشیتا و آتماسلوی (Ishita & Athmaselvi, 2017) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تغییرات رنگ آب‌میوه لیمو طی فرایند حرارت‌دهی اهمیتک افزایش می‌یابد. همچنین آگویلو آگویبو و همکاران (Aguiló-Aguayo *et al.*, 2010) روی رب گوجه‌فرنگی به این نتیجه دست یافتند که حرارت‌دهی اهمیتک میزان b^* را نسبت به حالت b^* شاهد افزایش می‌دهد.

مقادیر ضریب‌های مدل تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای b^* در جدول ۲ نشان داده شده است که گرادیان ولتاژ تأثیر (۱/۶۹) به مراتب تأثیر کمتری نسبت به درصد کاهش وزن (۷/۷۹) داشته زیرا ضریب‌های آن پایین‌تر است. همچنین کاملاً در شکل ۴ نشان داده شده که با افزایش ولتاژ میزان b^* افزایش پیدا کرده است و بیشترین میزان رنگ قرمز که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر است در ولتاژ ۸۰ (گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۲۷ تا ۳۰ درصد است که بیشترین مقدار b^* در آن مشاهده شده است و هرچه ولتاژ و درصد کاهش وزن افزایش پیدا کرده میزان b^* بیشتر شده و بدان معنی است که نمونه آبی‌تر



شکل ۴- نمودار سه‌بعدی و حد فاصل برای بررسی میزان b^* آب‌نارنج در گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن فرایند اهمیتک

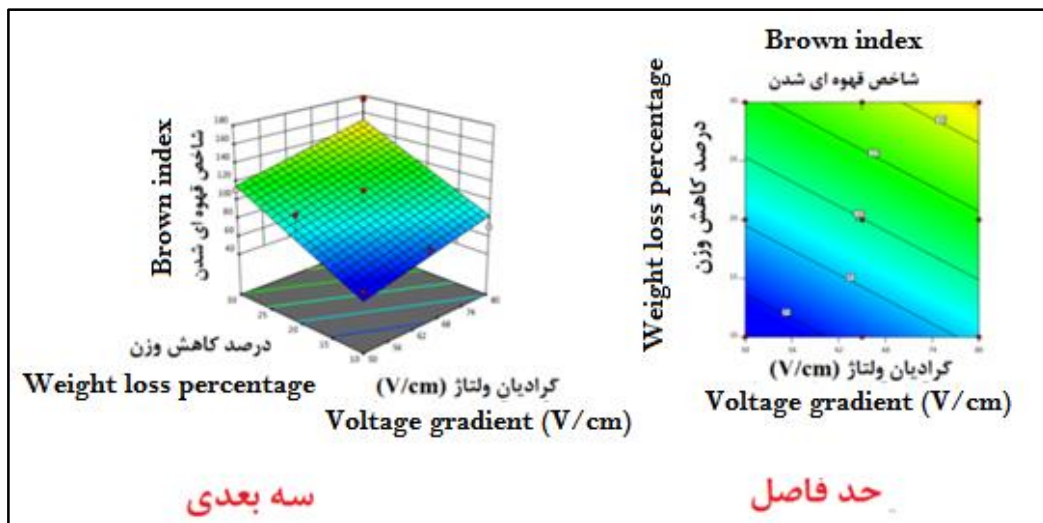
Fig. 4- Three-dimensional diagram and distance to investigate the amount of b^* of sour orange juice in the voltage gradient and weight loss percentage of the ohmic process

نشان داده شده است که با افزایش ولتاژ میزان شاخص قهوه‌ای شدن افزایش پیدا کرده است. بیشترین میزان شاخص قهوه‌ای شدن در ولتاژ ۸۰ (گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۲۷ تا ۳۰ درصد است که بیشترین مقدار شاخص قهوه‌ای شدن در آن

مقادیر ضریب‌های مدل تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای شاخص قهوه‌ای شدن در جدول ۲ نشان داده شده است. گرادیان ولتاژ تأثیر (۱۷/۹۳) به مراتب تأثیر کمتری نسبت به درصد کاهش وزن (۳۴/۲۸) داشته زیرا ضریب‌های آن پایین‌تر است. همچنین، در شکل ۵ کاملاً

تغییرات را در هر ولتاژ و درصد کاهش وزن با گروه‌های مختلف را می‌توان مشاهده کرد که مشابه با گزارش‌های گریمی و همکاران (Grimi *et al.*, 2011) است که به این نتیجه رسیدند، قهوه‌ای شدن با استفاده فرایند حرارت‌دهی افزایش یافته است.

مشاهده شده و این اتفاق شاید به دلیل تخریب اسید اسکوربیک آب‌نارنج است که شاخص قهوه‌ای شدن را افزایش داده است. در ولتاژ ۵۰ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ و ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۱۰ تا ۱۳ درصد کمترین میزان شاخص قهوه‌ای شدن مشاهده شده است. در شکل ۵، حد فاصل

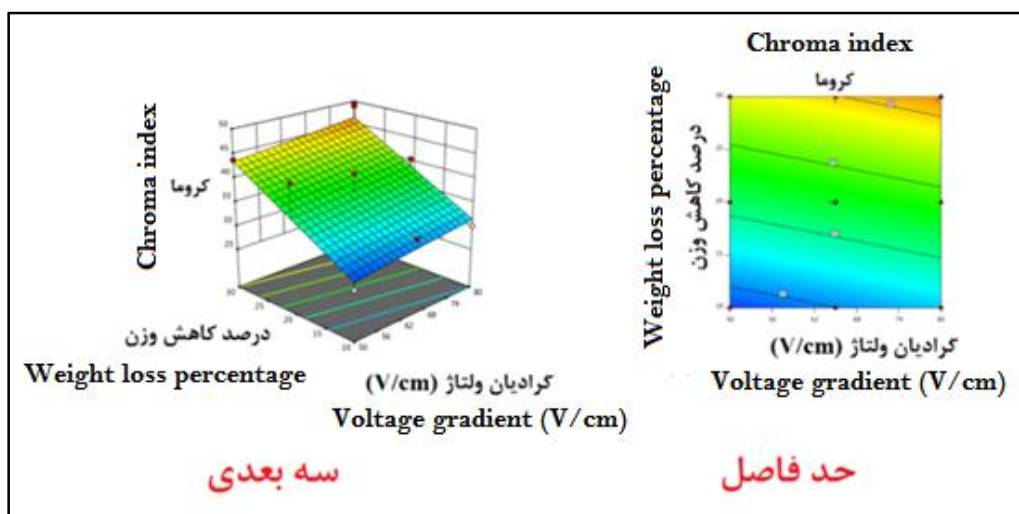


شکل ۵- نمودار سه‌بعدی و حدفاصل برای بررسی میزان شاخص قهوه‌ای شدن آب‌نارنج در گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن فرایند اهمیک

Fig. 5- Three-dimensional diagram and distance to evaluate the browning index of sour orange juice in the voltage gradient and weight loss percentage of ohmic process

(گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ و ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۲۸ تا ۳۰ درصد است که بیشترین مقدار شاخص کروما در آن مشاهده شده و در ولتاژ ۵۰ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ و ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۱۰ تا ۱۲ درصد کمترین میزان کروما مشاهده شده است. در شکل ۶، حد فاصل تغییرات را در هر ولتاژ و درصد کاهش وزن با گروه‌های مختلف می‌توان مشاهده کرد.

مقادیر ضریب‌های مدل تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای شاخص کروما در جدول ۲ نشان می‌دهد که گرادیان ولتاژ تأثیر (۱/۴۹) به مراتب تأثیر کمتری نسبت به درصد کاهش وزن (۷/۴۶) داشته زیرا ضریب‌های آن پایین‌تر است. همچنین در شکل ۶ کاملاً نشان داده شده که با افزایش ولتاژ میزان شاخص کروما افزایش پیدا کرده است بیشترین میزان شاخص کروما در ولتاژ ۸۰

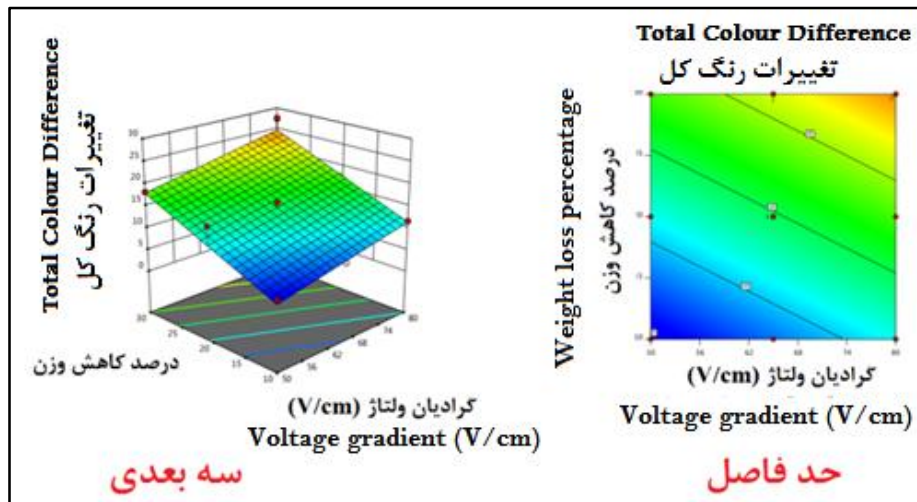


شکل ۶- نمودار سه‌بعدی و حد فاصل برای بررسی میزان شاخص کروما آب‌نارنج در گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن فرایند اهمیک

Fig. 6- Three-dimensional diagram and distance to evaluate the amount of sour orange juice chroma index in the voltage gradient and weight loss percentage of ohmic process

۱۰ تا ۱۵ درصد کمترین میزان کروما مشاهده شده است. در شکل ۷، حد فاصل تغییرات را در هر ولتاژ و درصد کاهش وزن با گروه‌های مختلف می‌توان مشاهده کرد. نتایج به دست آمده مشابه با نتایج تحقیقات بهات و همکاران (Bhat *et al.*, 2017) روی تغییر رنگ آب میوه کدو قلیانی در روش گرمادهی اهمیک است که با افزایش دما میزان تغییرات رنگ افزایش یافته است. آقاجانزاده و همکاران (Aghajanzadeh *et al.*, 2016) نیز روی تاثیر فرایند حرارت‌دهی بر تغییرات آب نارنج نتایج مشابهی را گزارش کردند که افزایش دما سبب افزایش میزان تغییرات رنگ کل می‌شود.

مقادیر ضریب‌های مدل تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای تغییرات رنگ کل در جدول ۲ نشان داده شده است. گرادیان ولتاژ تأثیر (۳/۳۴) به مراتب تأثیر کمتری نسبت به درصد کاهش وزن (۶/۶۲) داشته زیرا ضریب‌های آن پایین‌تر است. همچنین در شکل ۷ کاملاً نشان داده شده که با افزایش ولتاژ میزان تغییرات رنگ کل افزایش پیدا کرده است. بیشترین میزان شاخص کروما در ولتاژ ۸۰ (گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن ۲۸ تا ۳۰ درصد است که بیشترین مقدار تغییرات رنگ کل در آن مشاهده شد و در ولتاژ ۵۰ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ ولتاژ بر سانتی‌متر) و درصد کاهش وزن



شکل ۷- نمودار سه بعدی و حدفاصل برای بررسی میزان تغییرات رنگ کل آب نارنج در گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن فرایند اهمیک
 Fig. 7- Three-dimensional diagram and distance to investigate the amount of sour orange juice TCD in the voltage gradient and weight loss percentage of the ohmic process

نتیجه گیری

بر سانتی متر) و تا میزان کاهش وزن ۲۸ تا ۳۰ درصد بیشترین مقادیر b^* است که نشان دهنده زردی بیشتر در این بخش است و در ولتاژ ۵۰ تا ۶۵ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ تا ۱۰/۸۳ و ولتاژ بر سانتی متر) کمترین مقدار b^* که نشان دهنده میزان آبی بیشتر است. در شاخص قهوه‌ای شدن بیشترین مقدار در گرادیان ولتاژ ۷۰ تا ۸۰ ولت (گرادیان ولتاژ ۱۱/۶۶ تا ۱۳/۸۳ و ولتاژ بر سانتی متر) و در میزان کاهش وزن ۲۷ تا ۳۰ درصد و کمترین مقدار در محدوده ولتاژ ۵۰ تا ۶۱ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ تا ۱۰/۱۶ و ولتاژ بر سانتی متر) و تا میزان کاهش وزن ۱۳ درصد به دست آمده است. شاخص کروما نیز در محدوده ولتاژ ۶۶ تا ۸۰ ولت (گرادیان ولتاژ ۱۱ تا ۱۳/۳۳ و ولتاژ بر سانتی متر) بیشترین مقدار و در بازه ۵۰ تا ۶۶ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ تا ۱۱ و ولتاژ بر سانتی متر) کمترین مقدار را دارا است که بیشترین مقدار در کاهش وزن ۲۷ درصد به بالا و کمترین مقدار در کاهش ۱۳ درصد به پایین به دست آمده است. برای تغییرات رنگ کل نیز در ولتاژ ۷۴ تا ۸۰ (گرادیان ولتاژ ۱۲/۳۳ تا ۱۳/۳۳ و ولتاژ بر سانتی متر) و میزان

نتایج حاصل از آنالیز واریانس روش سطح پاسخ نشان داد که تمامی مدل‌های پیش‌بینی شده برای L^* ، a^* ، b^* شاخص قهوه‌ای شدن و تغییرات رنگ کل معنی دار شده است. با توجه به نتایج به دست آمده آماری برای L^* بیشترین مقدار در محدوده ولتاژ ۵۰ تا ۶۲ ولت (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ تا ۱۰/۳۳ و ولتاژ بر سانتی متر) تا میزان کاهش وزن ۲۰ درصد است و از مقادیر L^* کاهش پیدا کرده و به سمت تیره شدن رفته است و کمترین مقادیر نیز در ولتاژ ۷۴ تا ۸۰ ولت (گرادیان ولتاژ ۱۲/۳۳ الی ۱۳/۳۳ و ولتاژ بر سانتی متر) و در میزان کاهش وزن ۲۳ تا ۳۰ درصد است که در این محدوده روشنایی بیشتری نسبت به بقیه گرادیان و درصدهای کاهش وزن مشاهده شده است. برای پاسخ a^* نیز بیشترین مقدار در ولتاژ ۵۰ تا ۶۳ ولت (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ تا ۱۰/۵۰ و ولتاژ بر سانتی متر) و تا درصد کاهش وزن ۱۸ درصد بوده با افزایش ولتاژ میزان a^* افزایش پیدا کرده است. برای b^* در محدوده ولتاژی ۶۸ تا ۸۰ ولت (گرادیان ولتاژ ۱۱/۳۳ تا ۱۳/۳۳ و ولتاژ

کاهش وزن ۲۶ درصد به بالا و کمترین مقدار از بر سانتی‌متر) و میزان کاهش وزن کمتر از ۱۷ درصد ولتاژ ۵۰ تا ۶۵ (گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ تا ۱۰/۸۳ ولتاژ مشاهده شده است.

مراجع

- Abdelmotaleb, A., El-Kholy, M. M., Abou-El-Hana, N. H., & Younis, M. A. (2009). Thin layer drying of garlic slices using convection and combined (convection - infrared) heating modes. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 26, 251-281.
- Abhilasha, P., & Pal, U. S. (2018). Effect of Ohmic Heating on Quality and Storability of Sugarcane Juice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 2856-2868. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.340>.
- Aghajanzadeh Suraki, S., Ziiaifar, A. M., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., & Esmailzadeh, E. (2016). Investigation of Color Changes of Sour Orange Juice During Thermal Processing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8(2), 1-24.
- Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka, N., Vorobiev, E., & Vaxelaire, J. (2011). Impact of apple processing modes on extracted juice quality: Pressing assisted by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 103(1), 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.019>
- Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2010). Color and viscosity of watermelon juice treated by high-intensity pulsed electric fields or heat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.004>.
- Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S., & Ojo, A. (2006). Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.015>.
- Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Ziaratban, A., & Ghajarjazi, E. (2016). Application of artificial neural network (ANN) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(2), 413-425.
- Barreiro, J. A., Milano, M., & Sandoval, A. J. (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33(3-4), 359-371. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00035-6).
- Bhat, S., Saini, C. S., & Sharma, H. K. (2017). Changes in total phenolic content and color of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) juice upon conventional and ohmic blanching. *Food Science and Biotechnology*, 26(1), 29-36. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0004-7>.
- Cabrera, S. G., Jang, J. H., Kim, S. T., Lee, Y. R., Lee, H. J., Chung, H. S., & Moon, K. D. (2009). Effects of processing time and temperature on the quality components of campbell grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(3), 347-360. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00255.x>.
- Chakraborty, I., & Athmaselvi, K. A. (2014). Changes in Physicochemical Properties of Guava Juice during Ohmic Heating. *Journal Of Ready To Eat Food*, 1(4), 152-157.
- Cheng, H. D., Jiang, X. H., Sun, Y., & Wang, J. L. (2001). Color Image Segmentation: Advances & Prospects 1 INTRODUCTION. *Pattern Recognition*, 34, 2259-2281.
- Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., & Martínez-Navarrete, N. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of

- apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.014>.
- Duan, Z. H., Jiang, L. N., Wang, J. L., Yu, X. Y., & Wang, T. (2011). Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating. *Food and Bioprocess Processing*, 89(4), 472-476.
- Ishita, C., & Athmaselvi, K. A. (2017). Changes in pH and colour of watermelon juice during ohmic heating. *International Food Research Journal*, 24(2), 741-746.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39, 1084-1091.
- Lima, M., Heskitt, B. F., & Sastry, S. K. (2001). Diffusion of beet dye during electrical and conventional heating at steady-state temperature. *Journal of Food Process Engineering*, 24(5), 331-340. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2001.tb00547.x>.
- Montazer, Z., & Niakousari, M. (2012). Evaluation of color change of sour orange juice (from different stages of processing line) during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 9(4), 109-121.
- Moreno, J., Espinoza, C., Simpson, R., Petzold, G., Nuñez, H., & Gianelli, M. P. (2016). Application of ohmic heating/vacuum impregnation treatments and air drying to develop an apple snack enriched in folic acid. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 381-386. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.014>.
- Ozkan, I. A., Akbudak, B., & Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of food engineering*, 78(2), 577-583.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>.
- Cullen, P. J., Tiwari, B. T., & Valdramidis, V. P. (2012). *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods*. (1st Ed.). Elsevier.
- Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2007). Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. *Biosystems Engineering*, 98(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.06.006>.
- Vahedi Torshizi, M., Azadbakht, M., & Kashaninejad, M. (2020). Application of response surface method to energy and exergy analyses of the ohmic heating dryer for sour orange juice. *Fuel*, 278, 1-13.
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2304-2317. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0710-3>.



Research Paper

Investigation Color Changing Sour Orange Juice during Ohmic Heating Process by Response Surface Method

M. Vahedi Torshizi, M. Azadbakht* and M. Kashaninejad

*Corresponding Author: Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: bahrami16@gmail.com.

Received: 13 May 2021, Accepted: 2 August 2021

<http://doi: 10.22092/AMSR.2021.354561.1384>

Abstract

Given that color is one of the appearance characteristics of food products for customer selection and marketability, in this study, an ohmic heating system had made in three input voltage gradients (8.33, 10.83, 13.33 V/cm) and three percent weight loss (10, 20 and 30%) of the total weight in the heating process. After the heating process, the color change was analyzed using Image J software and the factors L^* , a^* , b^* , BI, C, TCD were measured and the results were analyzed using the response surface method. The results showed that for L^* , b^* , browning index, chroma index and TCD had the highest estimation coefficient for weight loss percentage and for a^* value of process voltage had the highest estimation coefficient. Also, except for the factor a^* , where the quadratic model is suitable for the two model factors, for the other factors, the linear model is obtained against the mean of the appropriate model by the response surface. In the analysis of response surface diagrams, the L^* and a^* factor had the highest value in the voltage range of 50 to 65 volts and the weight loss percentage of 20%, and for b^* , the browning index and TCD had the highest values at voltages of 70 and above and a weight loss of 25%.

Keywords: Color Changing, Ohmic Heating Process, Response Surface Method, Sour Orange Juice



© 2021 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)