

## مدل سازی اثر افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج بر ویژگی های بینایی دونات با استفاده از روش سطح پاسخ

مهران نوری<sup>۱\*</sup>، بهزاد ناصحی<sup>۲</sup>، سامان آبدانان مهدی زاده<sup>۳</sup>

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲- دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۱۳)

### چکیده

در این پژوهش اثر افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج به فرمولاسیون دونات به منظور تهیه یک فرآورده کم چرب با محتوی فیبری بالا و ویژگی های حسی مطلوب با استفاده از شیوه سطح پاسخ و با یک طرح چرخش پذیر مرکب مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل صمغ فارسی (۱/۵-۰)، پودر تفاله هویج (۱۵-۰) و آب (۵۳-۳۸) بود. متغیرهای وابسته شامل ویژگی های بافت سطحی، شاخص های رنگ پوسته، ویژگی های ساختار مغز و ویژگی های حسی دونات بود. نتایج نشان داد با افزودن پودر تفاله هویج به فرمولاسیون، زبری سطح نمونه های دونات افزایش یافته و ویژگی های ساختار مغز افت می کنند ( $p < 0/05$ ). آب فرمولاسیون دارای یک تأثیر منفی درجه دوم معنی داری بر ساختار مغز دونات بود ( $p < 0/05$ ). همچنین یک اثر متقابل قابل توجه بین آب و پودر تفاله هویج بر ویژگی های ساختار مغز مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). با افزایش سطح پودر تفاله هویج و کاهش سطح آب فرمولاسیون، شاخص  $L^*$  سطح نمونه ها کاهش و شاخص  $a^*$  سطح آن ها افزایش یافت ( $p < 0/05$ ). همچنین نتایج ارزیابی حسی نشان داد با افزودن سطوح بالاتر پودر تفاله هویج نمرات پذیرش مصرف کننده کاهش معنی دار یافت ( $p < 0/05$ ). نتایج آنالیز همبستگی به خوبی نشان داد شاخص های بینایی، همبستگی قوی ( $p < 0/05$ ) با ویژگی های حسی دونات داشتند که بیان کننده توانایی تکنیک های پردازش تصویر در پیش بینی پذیرش مصرف کننده بود. شیوه سطح پاسخ نشان داد دونات با فرمولاسیون بهینه شامل ۱/۱۷٪ صمغ فارسی، ۷/۴۴٪ پودر تفاله هویج و ۴۸/۲۹٪ آب دارای محتوی فیبری بالا، محتوی روغن کاهش یافته و ویژگی های حسی قابل قبولی بود.

کلید واژگان: ماشین بینایی، ساختار مغز، بافت سطحی، فیبرهای خوراکی، دونات

\*مسئول مکاتبات: mnouri1366@gmail.com

## ۱- مقدمه

ظاهری فرآورده‌های غلات، رنگ و خصوصیات ساختار مغز<sup>۲</sup> مانند تعداد، مساحت و دانسیته سلول‌های گاز و تخلخل بافت مغز است که طی سال‌های اخیر به‌خوبی توسط تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۹-۱۵]. از دیگر مشخصه‌های ظاهری مواد غذایی بافت سطحی<sup>۳</sup> این مواد است که بیان‌کننده آرایش فضایی سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر است [۱۶]. سطح ماده غذایی که تغییرات شیمیایی و فیزیکی اولیه ماده در آن رخ می‌دهد، اولین مشخصه‌ای از جسم است که توسط مصرف‌کننده درک می‌شود. از این رو، درک و پیش‌بینی تأثیر مواد سازنده، ترکیب شیمیایی، فرآیندهای تکنولوژیکی و همچنین انبارمانی بر ویژگی‌های سطحی مواد غذایی ضروری می‌باشد [۱۷].

دونات‌ها فرآورده‌هایی بر پایه آرد گندم‌اند که به دلیل فرآیند تولید آن‌ها (سرخ کردن به شیوه غوطه‌وری) از ویژگی‌های حسی مطلوبی برخوردار است، باین‌حال طی سرخ کردن مقدار زیادی روغن به خود جذب می‌کنند [۱۸]. همچنین به دلیل استفاده آرد تصفیه‌شده گندم، دونات‌ها از مقادیر پایین ترکیبات مفیدی از جمله فیبرهای خوراکی برخوردارند [۱۹]؛ بنابراین در این پژوهش صمغ فارسی<sup>۴</sup> (PG) به‌عنوان یک منبع ارزان و فراوان در کشور [۲۰]، به منظور کاهش جذب روغن و پودر تفاله هویج<sup>۵</sup> (CPP) که یک منبع سرشار از فیبرهای خوراکی و یک محصول جانبی<sup>۶</sup> کارخانجات تولید آب‌میوه است [۲۱]، به منظور بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای به فرمولاسیون دونات افزوده شد. باین‌وجود، علیرغم مهم بودن ویژگی‌های بافتی و تغذیه‌ای دونات، در این مطالعه تأثیر افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج بر روی ویژگی‌های ظاهری دونات مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین با توجه به اهمیت ویژگی‌های ظاهری در پذیرش مصرف‌کننده و تأثیر اجزاء فرمولاسیون ماده غذایی بر این ویژگی‌ها، هدف این پژوهش بررسی تأثیر منابع فیبری صمغ فارسی و پودر تفاله هویج بر مشخصه‌های بینایی دونات با استفاده از شیوه سطح پاسخ<sup>۷</sup> و تکنیک‌های ماشین بینایی بود.

افزایش آگاهی‌ها نسبت به ویژگی‌های کیفی مواد غذایی، سبب بالا رفتن انتظار برای بهبود کیفیت این محصولات و لزوم بهبود سیستم‌های نظارتی شده است [۱]. اگرچه مهم‌ترین شاخص‌های کیفی محصولات غذایی شامل ویژگی‌های تغذیه‌ای، شیمیایی، مکانیکی، سلامتی‌بخشی و حسی است، باین‌وجود، پذیرش محصول در درجه اول بستگی به ویژگی‌های ظاهری آن دارد؛ به‌نحوی که یک محصول با ظاهری خوب توسط اغلب مصرف‌کننده‌ها پذیرفته می‌شود [۲]. بنابراین ارزیابی ظاهری محصولات طی فرآیند تولید که می‌تواند به کمک مسئولین کنترل کیفی و کارکنان آموزش‌دیده انجام گیرد ضروری است. باین‌وجود بازرسی‌های کیفی توسط نیروی انسانی اغلب با خطا همراه بوده و مستلزم پرداخت هزینه‌های کارگری بالایی است [۳]. بنابراین استقرار سیستم‌های اندازه‌گیری و بازرسی ماشینی از جمله ماشین بینایی<sup>۱</sup> در خطوط تولید مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد. ماشین بینایی، شامل تصویربرداری، پردازش و آنالیز تصاویر است که می‌تواند سبب تسهیل ارزیابی سریع و غیر مخرب ویژگی‌های ظاهری محصولات غذایی شود [۴]. طی سال‌های اخیر بازرسی خودکار بر پایه فناوری ماشین بینایی به‌طور موفقیت‌آمیزی برای ارزیابی حسی مواد غذایی و کشاورزی بکار گرفته شده است [۳]. کاندراواته و همکاران (۲۰۰۷) از تکنیک‌های ماشین بینایی به‌خوبی در دسته‌بندی گوشت استفاده نمودند [۵]. همچنین کابرو و همکاران (۲۰۱۱) مزیت‌های به‌کارگیری تکنیک‌های ماشین بینایی را در بازرسی خودکار و ارزیابی کیفی میوه و سبزیجات را گزارش کردند [۶]. در پژوهشی دیگر گونزالز-بارون و باتلر (۲۰۰۸) نشان دادند تکنیک-های پردازش تصویر و ماشین بینایی می‌توانند به‌خوبی در ارزیابی ویژگی‌های ساختار مغز نان بکار گرفته شوند [۷].

فرآورده‌های غلات از شروع شکل‌گیری تمدن‌های بشری عمده‌ترین منابع غذایی جوامع را تشکیل داده‌اند [۸]. ظاهر این محصولات یکی از ویژگی‌های مهم کیفی آن‌ها است که با طعم محصول همبستگی داشته و بر درک بینایی مصرف‌کننده و تصمیم او بر خرید محصول تأثیر بسزایی دارد [۳]. از جمله مشخصه‌های

2. Crumb grain  
3. Surface texture  
4. Persian gum  
5. Carrot pomace powder  
6. Byproduct  
7. Response surface methodology

1. Machine vision

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد اولیه و فرمولاسیون دونات

نمونه‌های دونات بر اساس فرمولاسیون و دستور پخت مورد استفاده توسط ملیتو و فارکاس (۲۰۱۳) تهیه شدند [۲۲]. این فرمولاسیون شامل آرد گندم (۹٪ پروتئین) (شرکت آرد جنوب، خوزستان، ایران) (۱۰۰٪)، آب (۳۸٪) شورتنینگ (بهشهر، تهران، ایران) (۹٪)، تخم‌مرغ (۱۳٪)، آب برای تهیه سوسپانسیون مخمر (۱۳٪)، شکر (۶/۳٪) پودر شیر خشک بدون چربی (شرکت پگاه، خوزستان، ایران) (۶/۳٪)، مخمر خشک فعال (شرکت ناب مایه، خوزستان، ایران) (۳٪)، عصاره وانیل (شرکت رنگ و اسانس آبیاز شیمی، تهران، ایران) (۱/۶٪)، بیکنینگ‌پودر (سهیل پودر، تهران، ایران) (۱/۶٪) و نمک (۱/۶٪) بود. همه افزودنی‌ها بر اساس نسبت وزنی و وزنی آرد بود.

## ۲-۲- تهیه صمغ فارسی و پودر تفاله هویج

صمغ فارسی از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان در شهریور ۱۳۹۳ جمع‌آوری شد. فراکسیون‌های یکرنگ (سفید شفاف) پس از جداسازی توسط اتانول (۹۶٪) شسته شد. این فراکسیون‌ها توسط آون (Heraeus, model UT 5042, Germany) در دمای ۶۰°C خشک شد. سپس صمغ‌ها توسط آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر شده و سپس الک (۵۰۰ μm) شد. پودر حاصله در بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای ۴°C نگهداری شد. به منظور تهیه پودر تفاله هویج، پس از فرآیند آبمیوه‌گیری توسط یک دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر، مدل JC-700P، تهران، ایران) تفاله هویج توسط آون (Heraeus, model UT 5042, Germany) در دمای ۶۰°C به مدت ۱۲ ساعت خشک شد. تفاله خشک‌شده توسط دستگاه آسیاب (Moulinex, model 320, Spain) پودر و با الک با مش ۳۵ (۵۰۰ μm) غربال شد. سپس پودر تفاله هویج در بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای ۴°C نگهداری شد.

## ۲-۳- تهیه دونات

برای تهیه دونات شکر، پودر شیر خشک بدون چربی، نمک و شورتنینگ در یک کاسه جدا با هم مخلوط و سپس تخم‌مرغ به این مخلوط اضافه شد. پس از افزودن آب به کاسه (طبق طرح آزمایشات بند ۲-۸) عصاره وانیل اضافه شد. با مخلوط مخمر و آب مخصوص آن (۳۵°C) در یک ظرف جداگانه، سوسپانسیون مخمر تهیه و به مدت ۵ دقیقه نگه داشته شد. مخلوط آرد گندم و سطوح مختلف صمغ فارسی و پودر تفاله هویج (طبق طرح آزمایشات بند ۲-۸) در یک کاسه جداگانه با بیکنینگ‌پودر مخلوط شده و به سایر اجزاء اضافه شد. سپس سوسپانسیون مخمر به مخلوط افزوده و این مخلوط تا تشکیل یک خمیر مناسب ورز داده شد. در انتها خمیر به قطعاتی یک‌شکل به وزن تقریباً ۵۰ گرم بریده شد. قطعات خمیر پس از طی فرآیند تخمیر (۲۷°C) به مدت ۳۰ دقیقه) در یک سرخ‌کن (Moulinex, model F18- RA, France) حاوی روغن مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، پالم و سویا) (شرکت صنعتی بهشهر، تهران، ایران) سرخ شد (۲۰۰ ثانیه، ۱۸۰ ± ۲°C). دونات‌ها پس از خنک شدن در دمای اتاق و بر روی دستمال‌های کاغذی در بسته‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده بسته‌بندی شدند.

## ۲-۴- آنالیز تصویر

تصویربرداری از نمونه‌های دونات ۱۲ ساعت پس از پخت همزمان با ارزیابی‌های حسی انجام شد. بررسی ویژگی‌های رنگی و ریخت‌شناسی نمونه‌ها با استفاده از یک سیستم آنالیز تصویر شامل یک دوربین تصویربرداری دیجیتال (Canon PowerShot SX60 HS, Japan) و یک کامپیوتر شخصی (Pentium(R) Dual-Core processor and Windows 7 Ultimate) انجام شد. تصویربرداری در یک فاصله ثابت ۳۰ سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه (با ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ × ۱۰۰ cm<sup>۳</sup> و با نورپردازی با زاویه ۴۵ درجه توسط لامپ‌های فلوئور سنتی) انجام شد. تصاویر سپس به محیط MATLAB R2014a (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA) انتقال داده و توسط این نرم‌افزار ویژگی‌های رنگی و ریخت‌شناسی استخراج شد.

## ۲-۴-۱- رنگ دونات

برای تعیین رنگ پوسته نمونه‌ها از مدل رنگی  $CIE L^*a^*b^*$  (یا CIELAB) استفاده شد. از آنجایی که تصاویر در فضای رنگی RGB گرفته شده بود، عملیات تبدیل فضای رنگی، برای به دست آوردن شاخص‌های  $CIE L^*a^*b^*$  انجام شد. پس از عملیات تبدیل فضای رنگی سه شاخص  $L^*$  که بیان‌کننده مقدار روشنایی تصویر است،  $a^*$  که بیان‌کننده قرمزی (مقادیر مثبت) و سبزی (مقادیر منفی) است و  $b^*$  بیان‌کننده زردی (مقادیر مثبت) و آبی (مقادیر منفی) بودن است تعیین شد [۲۳].

## ۲-۴-۲- ساختار مغز دونات

به منظور بررسی ساختار مغز دونات از هر تیمار ۱۰ تصویر رنگی (RGB) (۲۴ بیتی) از مغز نمونه‌ها تهیه شد. تصاویر پس از انتقال به محیط متلب<sup>۱</sup>، توسط نرم‌افزار به فرم خاکستری (۸ بیتی) تبدیل شد. عملیات بخش‌بندی<sup>۲</sup> پس از بهبود تباین تصاویر بر روی یک ناحیه  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  از مرکز هر تصویر، با استفاده از الگوریتم اتسو<sup>۳</sup> صورت پذیرفت [۲۴]. در این پژوهش از دو شاخص دانسیته سلول‌ها<sup>۴</sup> (تعداد سلول در  $\text{cm}^2$ ) و مساحت سلول‌ها<sup>۵</sup> ( $\text{mm}^2$ ) برای مطالعه ساختار مغز نمونه‌های دونات استفاده شد [۱۱، ۲۵].

## ۲-۴-۳- بافت سطحی دونات

در این مطالعه از ماتریس هم رخداد سطح خاکستری<sup>۶</sup> (GLCM) برای محاسبه شاخص‌های بافت سطحی استفاده شد. در این روش اصول کار بر پایه محاسبات انجام‌شده بر روی هیستوگرام‌های درجه دوم تصاویر مقیاس خاکستری است. GLCM، یک ماتریس مربعی است که اندازه آن منوط به بیشینه شدت خاکستری پیکسل‌های موجود در تصویر است. این ماتریس بیانگر تعداد رخداد یک زوج پیکسل، در یک عنصر ماتریس  $(i, j)$  با  $P_{\delta}$  مقادیر شدت خاکستری  $i$  و  $j$  در فاصله مکانی ویژه  $\delta$  در امتداد یک مسیر معین  $d$  (افقی، عمودی یا قطری) در یک تصویر است [۲۶]. هارلیک و همکاران (۱۹۷۳) برای اولین بار یک آنالیز کمی GLCM با ۱۴ توصیف‌کننده بافت سطحی را

پیشنهاد کردند [۲۷]. در این مطالعه، پس از انتقال تصاویر به محیط متلب، شاخص‌های ممان درجه دوم زاویه‌ای<sup>۷</sup> ( $ASM$ ) یا انرژی<sup>۸</sup> ( $ENR$ )، تباین<sup>۹</sup> ( $CON$ )، همبستگی<sup>۱۰</sup> ( $COR$ )، همگنی<sup>۱۱</sup> ( $HOM$ ) و انتروپی<sup>۱۲</sup> ( $ENT$ ) (جدول ۱) به‌عنوان توصیف‌کننده بافت سطحی توسط الگوریتم ماتریس هم رخداد سطح خاکستری محاسبه شد [۱۷].

## ۲-۶- ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی نمونه‌های دونات از یک گروه ۱۵ نفره شامل ۵ زن و ۱۰ مرد از دانشجویان گروه صنایع غذایی کمک گرفته شد. نمونه‌های دونات بر اساس پذیرش ظاهر پوسته، ظاهر مغز، رنگ پوسته، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی در یک مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای و نمره‌دهی از ۱ (دوست نداشتن شدید) تا ۹ (دوست داشتن شدید) مورد ارزیابی قرار گرفتند [۲۸].

## ۲-۷- آنالیز همبستگی

در این پژوهش، ارتباط بین شاخص‌های ظاهری و شاخص‌های حسی با استفاده از مقادیر ضریب همبستگی ( $r$ ) که مقیاسی از رابطه خطی بین دو متغیر است مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب همبستگی با استفاده از رابطه (۱) و با استفاده از نرم‌افزار (SAS 9.1 Institute, Cary, NC) محاسبه گردید.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

در این رابطه  $x_i$  و  $y_i$  اندازه‌گیری متغیر  $X$  و  $Y$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) و همچنین  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  میانگین‌های نمونه  $X$  و  $Y$  می‌باشند.

7. Angular Second Moment  
8. Energy  
9. Contrast  
10. Correlation  
11. Homogeneity  
12. Entropy

1. Matlab  
2. Segmentation  
3. Otsu algorithm  
4. Cells density  
5. Area of cells  
6. Grey-level co-occurrence matrices

Table 1 Extraction of textural features from GLCM.

descriptor	Formula	Description
Contrast	$CON = \sum_{i=0}^p n^2 \left( \sum_i \sum_j p(i,j) \right)$	Returns a measure of the intensity contrast between a pixel and its neighbor over the whole image. Contrast is 0 for a constant image
Correlation	$COR = \frac{\sum_i \sum_j (ij) - \mu^2}{\sigma^2}$ $\mu = \sum_i \sum_j iP(i,j)$	Returns a measure of how correlated a pixel is to its neighbor over the whole image. Range = [-1 1] Correlation is 1 or -1 for a perfectly positively or negatively correlated image. Correlation is NaN for a constant image.
Energy	$ASM = \sum_i \sum_j P^2(i,j)$ $ENR = \sqrt{ASM}$	Returns the sum of squared elements in the GLCM. Range = [0 1] Energy is 1 for a constant image.
Homogeneity	$HOM = \sum_{i,j} \frac{P(i,j)}{1+ i-j }$	Returns a value that measures the closeness of the distribution of elements in the GLCM to the GLCM diagonal. Range = [0 1] Homogeneity is 1 for a diagonal GLCM.
Entropy	$ENT = - \sum_i \sum_j P(i,j) \log(P(i,j))$	Entropy is a measure of statistical randomness, it is related to a measure of the image disorder.

i and j: row and column numbers in the GLCM matrix,  $\mu$ : means,  $\sigma$ : standard deviation,  $P(i,j)$  th entry in a normalised grey-level cooccurrence matrix.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_{0i} x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{1i} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

در این رابطه  $Y$ ،  $\beta_0$ ،  $\beta_{ij}$  و  $\beta_{ii}$  به ترتیب پاسخ، ثابت معادله (عرض از مبدأ)، ضریب اثرات خطی، ضریب اثرات درجه دوم و ضریب اثرات متقابل می‌باشند. همچنین  $x_i$  و  $x_j$  سطوح متغیرهای غیر وابسته می‌باشند. با استفاده از آنالیز واریانس<sup>۲</sup> و بر اساس شاخص  $p$ -value معنی‌داری مدل‌ها و عبارات معادله مورد بررسی و فاکتورهای غیر معنی‌دار مشخص شد. همچنین شاخص‌های عدم تناسب<sup>۳</sup>، ضریب تعیین<sup>۴</sup> ( $R^2$ )، ضریب تعیین تعدیل‌شده ( $adj-R^2$ ) و شاخص دقت کفایت<sup>۵</sup> به منظور بررسی کفایت مدل محاسبه شد [۳۰]. در این مطالعه نرم‌افزار دیزاین اکسپرت<sup>۶</sup> 7.0.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) برای طراحی و آنالیز آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲-۸- طراحی آزمایشات و آنالیز داده‌ها

برای طراحی آزمایشات به منظور دستیابی به سطوح بهینه صمغ فارسی ( $X_1$ )، پودر تفاله هویج ( $X_2$ ) و آب ( $X_3$ ) برای تولید یک دونات کم‌چرب با محتوی فیبری بالا و موردپذیرش مصرف‌کننده از شیوه سطح پاسخ ( $RSM$ ) و یک طرح گردش پذیر مرکب مرکزی<sup>۱</sup> ( $CCRD$ ) با ۳ فاکتور و ۵ سطح استفاده شد [۲۹]. دامنه هر یک از متغیرهای مستقل طبق آزمایشات مقدماتی تعیین شد (جداول ۲). ویژگی‌های رنگی ( $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ )، ویژگی‌های بافت سطحی (انرژی، تباین، همبستگی، همگنی و انتروپی) و ویژگی‌های ساختار مغز (مساحت و دانسیته سلول‌ها) و همچنین ویژگی‌های حسی شامل، ظاهر پوسته، ظاهر مغز، رنگ پوسته، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی که بهترین توصیف را از ویژگی‌های ظاهری و حسی دونات دارند به‌عنوان متغیرهای وابسته (پاسخ) در نظر گرفته شد. پس از انجام آنالیز رگرسیون مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم برای هر یک از پاسخ‌ها برآزیده شد (رابطه ۲).

2. ANOVA  
3. Lack-of-fit  
4. Coefficient of determination  
5. Adequate precision  
6. Design Expert

1. Central composite rotatable design

**Table 2** Experimental range and values of the independent variables in the central composite design.

Independent variables	symbol	Levels				
		-1.682	-1	0	1	1.682
Persian gum (%)	X <sub>1</sub>	0.00	0.30	0.75	1.20	1.50
Carrot pomace powder (%)	X <sub>2</sub>	0.00	3.04	7.50	11.96	15.00
Water (%)	X <sub>3</sub>	38.00	41.04	45.50	49.96	53.00

کفایت مدل‌های معنی‌دار برای پیش‌بینی، به دلیل رضایت‌بخش بودن  $R^2$  بالا بود [۳۳]. مقادیر بالای شاخص دقت کفایت مطلوب می‌باشند، بطوریکه مقادیر بالای ۴ نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی است [۳۴]. در این مطالعه، به‌استثنای شاخص انتروپی، سایر مدل‌های پیشنهاد شده دارای دقت کفایت بالاتر از ۴ بودند.

### ۲-۳- ساختار مغز دونات

در این پژوهش به منظور محاسبه شاخص‌های ساختار مغز، مراحل پردازش تصویر شامل انتقال تصاویر رنگی به محیط متلب، تبدیل تصاویر از فرم رنگی (۲۴ بیتی) به فرم خاکستری (۸ بیتی)، بهبود تباين تصاویر مقیاس خاکستری و در انتها بخش‌بندی تصاویر و تبدیل تصاویر ۸ بیتی به باینری<sup>۲</sup> بود (شکل ۱).

فیبرهای غیر محلول سبب ایجاد نقاط گسستگی در ساختار خمیر و تسهیل خروج گاز از آن می‌شوند [۳۵]. بر این اساس تأثیر منفی پودر تفاله هویج بر مساحت و دانسیته سلول‌ها می‌تواند ناشی وجود فیبرهای نامحلول باشد که بخش عمده فیبرهای موجود در آن را تشکیل می‌دهند [۳۶]. باگزالی و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند جایگزینی آرد گندم با ۱۵ درصد یا سطوح بیشتر از نشاسته مقاوم سبب کاهش حجم و تعداد و مساحت سلول‌های گاز می‌شود [۳۷].

در شکل ۲ اثرات درجه دوم و متقابل افزودن پودر تفاله هویج و آب بر ویژگی‌های ساختار مغز نشان داده شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است افزودن آب تأثیر منفی درجه دوم معنی‌داری بر ویژگی‌های ساختار مغز دونات داشت ( $p < 0.05$ ).

### ۲-۹- بهینه‌سازی فرمولاسیون و اعتبار سنجی

#### مدل

یک روش مفید برای بهینه‌سازی پاسخ‌های چندگانه استفاده از تکنیک بهینه‌سازی همزمان و توابع مطلوبیت<sup>۱</sup> است [۳۱]. بنابراین با استفاده از ابزار بهینه‌سازی عددی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت پیشینه سطح صمغ فارسی (متغیر مستقل)، پیشینه سطح پودر تفاله هویج (متغیر مستقل) و پیشینه پذیرش کلی مصرف‌کننده (متغیر وابسته) در نظر گرفته شد. سپس فرمولاسیونی با بالاترین مقدار مطلوبیت به‌عنوان بهینه انتخاب شد. به منظور اعتبار سنجی مدل، دونات‌های با فرمولاسیون بهینه تهیه و پس انجام آزمایشات مقادیر تجربی به‌دست‌آمده با مقادیر برآورد شده توسط آزمون  $t$ -test در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار SAS (SAS Institute, Cary, NC) 9.1 با یکدیگر مقایسه شد.

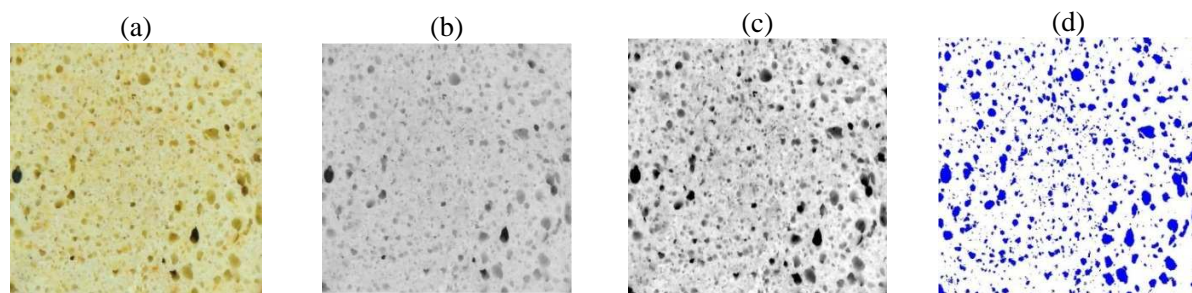
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- برازش مدل

در این مطالعه با استفاده از شیوه سطح پاسخ، بیست آزمون طراحی و سپس آنالیز واریانس و رگرسیون به منظور برازش مدل‌های سطح پاسخ و بررسی معنی‌داری فاکتورهای مدل انجام شد (جدول ۳-۶). نتایج آنالیز واریانس نشان داد به‌استثنای شاخص‌های همگنی،  $b^*$  و آروما برای سایر پاسخ‌ها مدل چندجمله‌ای درجه دوم معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بود. همچنین شاخص عدم برازش که معیاری از کیفیت برازش مدل‌ها است و دقت مدل در پیش‌بینی تغییرات را نشان می‌دهد [۳۲]، غیر معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) بود. همچنین آنالیز آماری نشان داد که

2. Binary

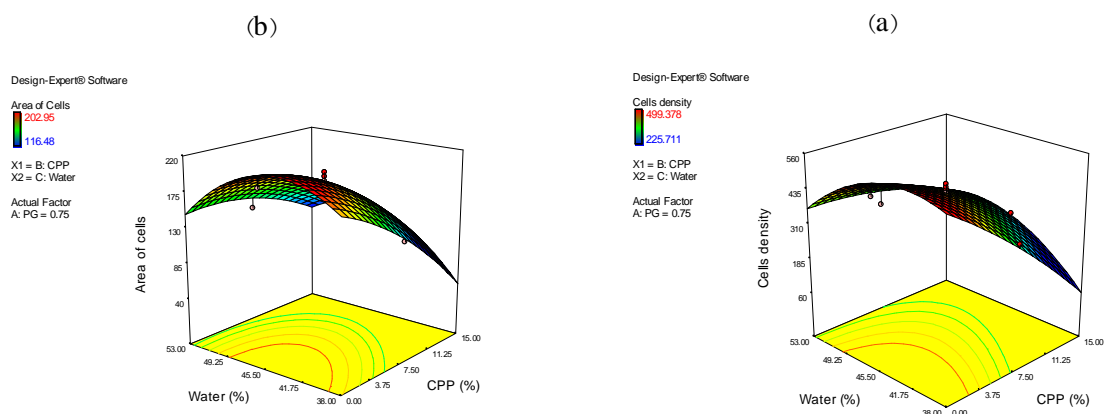
1. Desirability functions



**Fig. 1.** A typical digital image of donut crumb from a  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  field of view: (a) the original image, (b) the grey-level image, (c) the contrast adjusted image, (d) the binarized image.

غلظت‌های بالای آب افزودن پودر تفاله هویج اثر مخرب کمتری بر ساختار مغز داشت که نشان از وجود یک اثر متقابل معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین آب و پودر تفاله هویج بر ویژگی ساختار مغز دونات بود.

با افزایش سطح آب فرمولاسیون تا یک مقدار معین ویژگی‌های ساختار مغز بهبود یافت ولی با افزایش بیشتر آب فرمولاسیون ویژگی‌های ساختار مغز افت پیدا نمود که دلیل آن می‌تواند کاهش ویسکوزیته و تسهیل خروج هوا از بافت فرآورده باشد. همچنین همان‌طور که در شکل ۲ قابل‌مشاهده است در



**Fig 2** Response surface plots for the effects of independent variables on responses variables: (a) cell density, (b) area of cell.

معنی‌دار شاخص  $L^*$  و کاهش معنی‌دار شاخص  $a^*$  شد. این اثر می‌تواند ناشی از رقیق شدن پودر تفاله هویج و سایر اجزاء خمیر با افزایش محتوی آب فرمولاسیون باشد.

### ۳-۴- بافت سطحی دونات

در این مطالعه، به منظور بررسی شاخص‌های بافت سطحی، میانگین مقادیر محاسبه شده در چهار جهت (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) و با در نظر گرفتن یک پیکسل برای یک فاصله در الگوریتم GLCM استفاده شد.

### ۳-۳- رنگ پوسته دونات

افزودن پودر تفاله هویج به فرمولاسیون دونات سبب کاهش معنی‌دار شاخص  $L^*$  و افزایش معنی‌دار شاخص‌های  $a^*$  و  $b^*$  شد ( $p < 0.05$ ). افزایش قرمزی رنگ پوسته را می‌توان ناشی از محتوی کاروتن پودر تفاله هویج دانست [۳۸]. کوما و کوما (۲۰۱۱) نشان دادند که با افزودن تفاله هویج به فرمولاسیون یک نوع شیرینی شاخص  $L^*$  کاهش و شاخص  $a^*$  افزایش می‌یابد [۳۹]. همچنین افزودن آب به فرمولاسیون دونات سبب افزایش

**Table 3** Actual levels of independent variables and observed values of responses of visual properties.

Trial	PG (%)	CPP (%)	Water (%)	Energy	Contrast	Correlation	Homogeneity	Entropy	Cell density	Area of cell	L*	a*	b*
1	0.30	11.96	49.96	0.32	0.3	0.64	0.87	6.05	304.49	139.99	74.43	27.53	36.34
2	0.75	7.50	53.00	0.51	0.16	0.61	0.9	5.96	295.27	130.88	83.38	13.70	42.38
3	0.75	7.50	45.50	0.57	0.16	0.66	0.92	5.75	454.78	195.86	74.01	25.13	40.70
4	0.30	3.04	49.96	0.65	0.09	0.64	0.96	5.95	457.36	188.14	84.28	14.45	40.25
5	0.75	7.50	45.50	0.56	0.18	0.64	0.92	5.71	411.71	181.74	76.53	24.54	44.08
6	0.75	7.50	45.50	0.57	0.13	0.62	0.93	5.65	394.13	177.29	77.02	22.02	46.10
7	0.30	3.04	41.04	0.79	0.05	0.7	0.98	5.5	486.60	189.72	77.25	26.39	41.40
8	1.20	3.04	49.96	0.69	0.08	0.64	0.97	5.81	478.18	195.8	85.89	13.44	38.75
9	0.75	0.00	45.50	0.74	0.11	0.66	0.93	5.32	495.82	198.61	85.30	11.40	45.79
10	0.00	7.50	45.50	0.56	0.16	0.65	0.9	5.76	340.58	153.06	75.02	26.50	46.78
11	0.30	11.96	41.04	0.3	0.27	0.67	0.86	5.5	259.04	116.48	70.60	29.44	25.95
12	1.20	3.04	41.04	0.8	0.04	0.69	0.96	5.46	499.38	202.95	78.02	26.01	40.79
13	1.50	7.50	45.50	0.59	0.15	0.61	0.93	5.49	402.67	169.84	78.51	22.52	44.88
14	0.75	7.50	45.50	0.55	0.18	0.65	0.91	5.51	435.91	190.57	77.53	21.60	45.54
15	1.20	11.96	41.04	0.32	0.26	0.65	0.88	5.58	271.98	133.01	72.10	28.54	24.35
16	0.75	7.50	45.50	0.58	0.16	0.61	0.93	5.64	443.82	184.7	76.00	24.93	45.88
17	0.75	15.00	45.50	0.32	0.26	0.62	0.88	5.71	261.42	120.85	65.21	27.54	33.14
18	0.75	7.50	38.00	0.58	0.15	0.68	0.92	5.59	337.22	131.68	77.97	20.58	40.60
19	0.75	7.50	45.50	0.4	0.21	0.65	0.9	5.71	423.09	183.22	75.57	25.53	40.07
20	1.20	11.96	49.96	0.34	0.28	0.6	0.88	5.94	325.02	150.51	73.91	28.52	37.79

همبستگی پایین‌تر و انتروپی، تباین بالاتری می‌باشند [۱۷]. نتایج نشان داد پودر تفاله هویج و آب تأثیر معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) و مشابهی بر ویژگی‌های سطحی دونات داشتند. با افزایش درصد پودر تفاله هویج و محتوی آب فرمولاسیون، انرژی و همبستگی کاهش و در مقابل تباین و انتروپی افزایش یافت. این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر افزودن این دو متغیر بر زیرتر شدن سطح نمونه‌ها بود. کاهش گرانیوی خمیر که در پی افزایش محتوی رطوبت آن رخ می‌دهد می‌تواند سبب تسهیل خروج حباب‌های هوا طی فرآیند پخت شود. ازاین‌رو با افزایش محتوی آب

اندازه‌گیری‌های مقدماتی در فواصل مکانی مختلف (تا ۱۰ پیکسل) نشان داد کمتر بودن فاصله و صاف بودن تصویر ارتباط مستقیمی با هم دارند به شکلی که با افزایش فاصله مقادیر تباین و انتروپی افزایش و مقادیر همگنی، همبستگی و انرژی کاهش می‌یابد. از آنجاییکه کاهش یا افزایش فاصله مکانی یک روند را در تغییرات شاخص‌ها بافت سطحی نشان داد، ازاین‌رو در این مطالعه فاصله مکانی یک پیکسل انتخاب شد. سطوح دارای انرژی، همگنی و همبستگی بالاتر و انتروپی و تباین پایین‌تر صاف‌تر می‌باشند. در مقابل سطوح زیرتر دارای انرژی، همگنی و



گلوتن و تضعیف شبکه گلوتن-نشاسته می‌شود [۳۷]. با تضعیف ساختار خمیر خروج هوا از طریق سطح تسهیل می‌شود. بنابراین تأثیر افزودن پودر تفاله هویج بر زبرتر شدن سطح فرآورده می‌تواند ناشی از تضعیف شبکه گلوتن و افزایش نرخ خروج بخار آب از طریق سطح ماده غذایی باشد.

فرمولاسیون، رطوبت خمیر افزایش و گرانی آن کاهش می‌یابد که متعاقب آن طی پخت حباب‌های هوای بیشتری از سطح ماده خارج می‌شود. در نتیجه زبرتر شدن سطح نمونه‌ها را می‌توان ناشی از خروج بیشتر حباب‌های هوا از سطح نمونه‌ها دانست. افزودن فیبرهای غیر محلول سبب کاهش غلظت پروتئین‌های

**Table 4** Regression coefficients of the second-order polynomial equations for visual properties of donut.

Source	Energy	Contrast	Correlation	Homogeneity	Entropy	Cell density	Area of cell	L*	a*	b*
$\beta_0$	0.54	0.17	0.64	0.92	5.66	426.14	185.08	76.13	2.23	27.59
$\beta_1$	0.01 <sup>ns</sup>	-0.005 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	-0.048 <sup>ns</sup>	9.30 <sup>ns</sup>	4.11 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	-0.023 <sup>ns</sup>	1.01 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	-0.17 <sup>***</sup>	0.08 <sup>***</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>***</sup>	0.074 <sup>*</sup>	-84.58 <sup>***</sup>	-26.76 <sup>***</sup>	4.99 <sup>***</sup>	0.97 <sup>**</sup>	3.38 <sup>***</sup>
$\beta_3$	-0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>***</sup>	-0.002 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>***</sup>	-6.49 <sup>ns</sup>	3.12 <sup>ns</sup>	2.17 <sup>**</sup>	-0.60 <sup>*</sup>	0.067 <sup>ns</sup>
$\beta_1 \beta_1$	0.007	0.004 <sup>ns</sup>	-0.004 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	-12.47 <sup>ns</sup>	-5.35 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.0033 <sup>ns</sup>	-0.10 <sup>ns</sup>
$\beta_2 \beta_2$	0.008 <sup>ns</sup>	-0.006 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	-0.002 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	-9.99 <sup>ns</sup>	-5.96 <sup>ns</sup>	-0.43 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>*</sup>	0.34 <sup>ns</sup>
$\beta_3 \beta_3$	0.003 <sup>ns</sup>	-0.004 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	-0.0007 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-32.04 <sup>**</sup>	-16.20 <sup>***</sup>	1.49 <sup>**</sup>	-0.12 <sup>*</sup>	0.60 <sup>ns</sup>
$\beta_1 \beta_2$	0.001 <sup>ns</sup>	-0.001 <sup>ns</sup>	-0.006 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	-5.57 <sup>ns</sup>	-0.48 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	2.19 <sup>ns</sup>
$\beta_1 \beta_3$	0.004 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	-0.0012 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.036 <sup>ns</sup>	-6.38 <sup>ns</sup>	-1.70 <sup>ns</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	1.19 <sup>ns</sup>
$\beta_2 \beta_3$	0.036 <sup>ns</sup>	-0.003 <sup>ns</sup>	0.0037 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.014 <sup>ns</sup>	32.51 <sup>*</sup>	8.72 <sup>*</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	0.068 <sup>ns</sup>	-0.095 <sup>ns</sup>
Model (p)	0.006	0.004	0.013	0.272	0.007	0.005	0.001	0.001	0.028	0.054
Lack of fit (p)	0.489	0.088	0.766	0.031	0.175	0.126	0.063	0.227	0.141	0.012
R <sup>2</sup>	0.901	0.901	0.804	0.768	0.826	0.904	0.927	0.951	0.765	0.725
Adj-R <sup>2</sup>	0.810	0.704	0.629	0.559	0.670	0.819	0.861	0.907	0.553	0.477
Adeq Precision	11.89	9.32	7.844	7.21	8.68	11.78	12.98	18.23	7.63	6.59

<sup>ns</sup> No significant.

\* Significant at  $p \leq 0.05$ .

\*\* Significant at  $p \leq 0.01$ .

\*\*\* Significant at  $p \leq 0.001$ .

\*\*\*\* Significant at  $p \leq 0.0001$ .

نسبت به ویژگی‌های تغذیه‌ای فیبرهای خوراکی می‌توانست در افزایش نمرات حسی تأثیر مثبتی داشته باشد [۳۷]. همچنین افزایش محتوی آب فرمولاسیون تأثیر مثبت معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر ویژگی‌های حسی فرآورده داشت. تأثیر مثبت افزایش سطح آب را می‌توان به رقیق شدن پودر تفاله هویج در فرمولاسیون نسبت داد.

### ۳-۵- ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی نشان داد افزودن پودر تفاله هویج اثر منفی معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر ویژگی‌های ظاهری نمونه‌ها دارد به شکلی که با افزایش سطوح پودر تفاله هویج نمرات ویژگی‌های حسی کاهش یافت. باین‌وجود، وجود آگاهی مصرف‌کنندگان

**Table 5** Actual levels of independent variables and observed values of responses of sensory properties.

Trial	PG (%)	CPP (%)	Water (%)	Crust appearance	Crumb appearance	Crust colour	Aroma	Texture	Taste	Overall acceptance
1	0.30	11.96	49.96	3.38	5.17	3.66	5.77	2.80	3.66	3.47
2	0.75	7.50	53.00	6.03	5.94	6.87	5.87	5.34	5.88	6.02
3	0.75	7.50	45.50	4.62	6.00	4.85	6.77	4.66	4.02	5.87
4	0.30	3.04	49.96	6.87	7.01	7.84	8.13	6.87	7.07	6.89
5	0.75	7.50	45.50	4.67	7.00	5.38	6.00	4.87	4.73	6.5
6	0.75	7.50	45.50	5.07	5.23	5.07	5.77	4.93	5.47	5.47
7	0.30	3.04	41.04	6.07	7.28	6.56	6.35	6.04	6.05	6.97
8	1.20	3.04	49.96	6.87	7.96	7.53	5.68	7.71	7.56	7.87
9	0.75	0.00	45.50	8.47	7.98	8.47	8.77	8.47	8.40	8.73
10	0.00	7.50	45.50	4.60	5.30	4.53	6.33	3.53	4.53	5.55
11	0.30	11.96	41.04	2.65	3.05	2.27	7.35	1.87	2.47	2.23
12	1.20	3.04	41.04	6.07	8.76	6.60	8.88	7.15	6.39	7.65
13	1.50	7.50	45.50	4.80	6.60	3.07	5.67	4.84	4.55	5.58
14	0.75	7.50	45.50	4.07	5.79	4.80	6.63	4.55	4.47	5.33
15	1.20	11.96	41.04	2.65	5.88	2.27	5.86	2.87	2.47	2.54
16	0.75	7.50	45.50	5.07	5.55	5.88	7.51	4.04	4.93	5.37
17	0.75	15.00	45.50	2.15	4.27	1.88	7.68	1.47	2.46	2.17
18	0.75	7.50	38.00	3.01	3.20	4.30	6.76	3.77	3.66	3.05
19	0.75	7.50	45.50	5.68	5.70	4.19	5.76	4.87	5.73	6.71
20	1.20	11.96	49.96	3.27	4.97	3.49	5.76	3.87	3.47	3.76

**Table 6** Regression coefficients of the second-order polynomial equations for sensory properties of donut.

Source	Crust appearance	Crumb appearance	Crust colour	Aroma	Texture	Taste	Overall acceptance
$\beta_0$	4.87	5.85	5.02	6.41	4.64	4.89	6.33
$\beta_1$	0.017 <sup>ns</sup>	0.53	-0.21 <sup>ns</sup>	-0.18 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>**</sup>	0.049 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	-1.80 <sup>****</sup>	-1.33 <sup>**</sup>	-2.04 <sup>***</sup>	-0.45 <sup>ns</sup>	-2.06 <sup>***</sup>	-1.83 <sup>***</sup>	-1.94 <sup>***</sup>
$\beta_3$	0.59 <sup>**</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>***</sup>	-0.34 <sup>ns</sup>	0.44 <sup>***</sup>	0.59 <sup>**</sup>	0.74 <sup>**</sup>
$\beta_1 \beta_1$	0.082 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	-0.40 <sup>*</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.095 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>ns</sup>
$\beta_2 \beta_2$	0.13 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	0.091 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>*</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	-0.38 <sup>ns</sup>
$\beta_3 \beta_3$	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.31 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	-0.065 <sup>ns</sup>	0.035 <sup>ns</sup>	0.048 <sup>ns</sup>	-0.49 <sup>*</sup>
$\beta_1 \beta_2$	-0.014 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	0.013 <sup>ns</sup>	-0.20 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>
$\beta_1 \beta_3$	-0.014 <sup>ns</sup>	-0.45 <sup>ns</sup>	-0.065 <sup>ns</sup>	-0.44 <sup>ns</sup>	-0.025 <sup>ns</sup>	-0.005 <sup>ns</sup>	-0.078 <sup>ns</sup>
$\beta_2 \beta_3$	0.031 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.050 <sup>ns</sup>	-0.033 <sup>ns</sup>	0.068 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>
Model (p)	0.0001	0.007	0.0001	0.181	0.0001	0.0001	0.0002
Lack of fit (p)	0.641	0.135	0.795	0.192	0.615	0.996	0.405
R <sup>2</sup>	0.951	0.830	0.965	0.621	0.984	0.960	0.925
Adj-R <sup>2</sup>	0.907	0.677	0.935	0.280	0.971	0.925	0.857
Adeq Precision	17.01	9.67	19.92	5.96	31.29	18.91	12.69

<sup>ns</sup> No significant.

\* Significant at  $p \leq 0.05$ .

\*\* Significant at  $p \leq 0.01$ .

\*\*\* Significant at  $p \leq 0.001$ .

\*\*\*\* Significant at  $p \leq 0.0001$ .

هویج و ۴۸/۲۹ درصد آب انتخاب شد. پس از عملیات بهینه‌سازی، برای اعتبار سنجی مدل دونات‌هایی با فرمولاسیون بهینه تهیه و ویژگی‌های حسی و ظاهری آن با مقادیر پیش‌بینی‌شده مقایسه گردید. نتایج این مقایسه نشان داد که مقادیر تجربی و برآورد شده دارای اختلاف آماری معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) نبودند که نشان‌دهنده اعتبار مدل ارائه شده بود (جدول ۷).

### ۳-۶- بهینه‌سازی فرمولاسیون و اعتبار سنجی

#### مدل

به منظور تولید یک دونات با محتوی فیبری بالا و موردپذیرش مصرف‌کننده با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت مناسب‌ترین فرمولاسیون با بالاترین مطلوبیت (۰/۶۰) (D = شامل ۱/۱۷ درصد صمغ فارسی، ۷/۴۴ درصد پودر تغاله

**Table 7** Predicted and experimental values of response variables.

Response variables	Predicted values	Experimental values
Area of cell	183.75	176.44 ±8.44
Cell density	427.66	412.85 ±16.36
L*	80.20	79.03 ±1.04
a*	18.48	16.89 ±1.88
b*	63.43	64.51 ±1.31
Energy	0.58	0.58 ±0.01
Contrast	0.15	0.15 ±0.02
Correlation	0.62	0.61 ±0.05
Entropy	5.58	5.61 ±0.52
Crust appearance	5.53	6.10 ±0.75
Crumb appearance	6.68	6.25 ±0.19
Crust colour	6.32	7.90 ±0.55
Crumb colour	6.79	6.17 ±0.75
Texture	5.74	5.50 ±0.67
Taste	5.62	5.66 ±0.80
Overall acceptance	6.10	5.50 ±0.65

و ارزیابی ویژگی‌های ظاهری دونات دانست. طی سال‌های اخیر کاربرد تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر در ارزیابی‌های ظاهری مواد غذایی به‌خوبی نشان داده شده است [۳]. فونگارو و کوال (۲۰۱۳) با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر ویژگی‌های سطحی پاستاهای ایتالیایی را مورد بررسی قرار دادند [۱۷]. آن‌ها وجود همبستگی بین ویژگی‌های سطحی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های پاستا را گزارش کردند. همچنین در پژوهشی که توسط گبرولامی و همکاران (۲۰۱۴) انجام شد از یک سیستم بینایی کامپیوتری و آنالیز تصویر به همراه ارزیابی حسی به منظور ارزیابی ظاهر سوسیس استفاده شد [۳۸].

### ۳-۷- آنالیز همبستگی

در ارزیابی آنالیز همبستگی، ضرایب منفی معرف رابطه معکوس، ضرایب مثبت معرف رابطه مستقیم و ضرایب حوالی صفر نمایانگر عدم وجود رابطه خطی بین متغیرها است. آنالیز همبستگی به‌خوبی نشان داد شاخص‌های بینایی ارتباط خطی قوی با ویژگی‌های حسی دونات دارند (جدول ۸). نتایج این آزمون نشان داد دونات‌هایی با سطح صاف‌تر، رنگ روشن‌تر و مغزی متخلخل‌تر نزد مصرف‌کنندگان پذیرش بالاتری دارند. بنابراین با توجه به نتایج آنالیز همبستگی می‌توان تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر را ابزاری مناسب در پیش‌گویی

**Table 8.** Correlation coefficients between the visual properties and the sensory parameters of donut.

	Energy	Contrast	Correlation	Homogeneity	Entropy	Cell density	Area of cell	L*	a*	b*
Crust appearance	0.78**	-0.78***	0.13**	0.73**	-0.13 <sup>ns</sup>	0.78****	0.75**	0.85***	-0.74***	0.57**
Crumb appearance	0.73***	-0.70*	0.17***	0.72**	-0.17 <sup>ns</sup>	0.77****	0.76****	0.62**	-0.44*	0.37 <sup>ns</sup>
Crust colour	0.81***	-0.80**	0.19*	0.76*	-0.02 <sup>ns</sup>	0.75**	0.69***	0.87****	-0.77**	0.56**
Aroma	0.38*	-0.35 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	-0.42*	0.32 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>
Texture	0.84***	-0.83***	0.22***	0.81***	-0.19 <sup>ns</sup>	0.84****	0.77****	0.88	-0.74***	0.51*
Taste	0.79***	-0.79***	0.14**	0.76**	-0.11 <sup>ns</sup>	0.78****	0.73**	0.87***	-0.77**	0.57**
Overall acceptance	0.82****	-0.80****	0.18**	0.77****	-0.16 <sup>ns</sup>	0.86****	0.86****	0.77***	-0.61**	0.56**

<sup>ns</sup> No significant.\* Significant at  $p \leq 0.05$ .\*\* Significant at  $p \leq 0.01$ .\*\*\* Significant at  $p \leq 0.001$ .\*\*\*\* Significant at  $p \leq 0.0001$ .

#### ۴- نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش اثر افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج به فرمولاسیون بر ویژگی‌های ظاهری و حسی دونات مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد پودر تفاله هویج و آب اثرات خطی، درجه دوم و متقابل معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر ویژگی‌های ساختار مغز دونات دارند. افزودن پودر تفاله هویج سبب زبرتر شدن سطح فرآورده و تیره‌تر شدن رنگ آن شد ( $p < 0.05$ ). نتایج ارزیابی حسی نشان داد پودر تفاله هویج سبب کاهش معنی‌دار نمرات مربوط به ویژگی‌های حسی شد ( $p < 0.05$ ). همچنین روش سطح پاسخ نشان داد دونات با فرمولاسیون بهینه شامل ۱/۱۷٪ صمغ فارسی، ۷/۴۴٪ پودر تفاله هویج و ۴۸/۲۹٪ آب دارای محتوی فیبری بالا و ویژگی‌های حسی قابل قبولی بود. همچنین نتایج آنالیز همبستگی به‌خوبی نشان داد ویژگی‌های بینایی همبستگی بالایی با ویژگی‌های حسی دونات دارند ( $p < 0.05$ ). این یافته‌ها نشان داد سیستم‌های ماشین بینایی می‌توانند به‌عنوان یک ابزار سریع و غیرمخرب در ارزیابی ویژگی‌های بینایی فرآورده‌های نانوائی مفید واقع شود.

#### ۵- منابع

- [2] ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., & Blasco, J, 2012, In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system, *Journal of Food Engineering*, 112(1), 60-68 .
- [3] Brosnan, T., & Sun, D.-W, 2004, Improving quality inspection of food products by computer vision—a review, *Journal of Food Engineering*, 61(1), 3-16 .
- [4] Du, C.-J., & Sun, D.-W, 2004, Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation, *Trends in food science & technology*, 15(5), 230-249.
- [5] Chandraratne, M. R., Kulasiri, D., & Samarasinghe, S, 2007, Classification of lamb carcass using machine vision: comparison of statistical and neural network analyses, *Journal of Food Engineering*, 82(1), 26-34.
- [6] Cubero, S., Aleixos, N., Molto, E., Gomez-Sanchis, J., & Blasco, J, 2011, Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables, *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 829-830.
- [7] Gonzales-Barron, U., & Butler, F, 2008, Discrimination of crumb grain visual appearance of organic and non-organic bread loaves by image texture analysis, *Journal of Food Engineering*, 84(3), 480-488.

- [1] Shewfelt, R. L., & Bruckner, B, 2000, *Fruit and vegetable quality: an integrated view*: CRC Press.

- extraction from their texture images, *Food Research International*, 51(2), 693-705 .
- [18] Brannan, R. G., Mah, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K. L., Myers, A., & Herrick, C., 2014, Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(3), 240-254 .
- [19] Baljeet, S., Ritika, B., & Reena, K., 2014, Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits, *International Food Research Journal*, 21(1), 217-222 .
- [20] Abbasi, S., & Mohammadi, S., 2013, Stabilization of milk–orange juice mixture using Persian gum: Efficiency and mechanism, *Food Bioscience*, 2, 53-60 .
- [21] Chau, C.-F., Chen, C.-H., & Lee, M.-H., 2004, Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions, *LWT-Food Science and Technology*, 37(2), 155-160 .
- [22] Melito, H. S., & Farkas, B. E., 2012, Impact of Infrared Finishing on the Mechanical and Sensorial Properties of Wheat Donuts, *Journal of food science*, 77(9), E224-E230 .
- [23] Quevedo, R., Díaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., & Aguilera, J., 2009, Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L\* color information from digital images, *LWT-Food Science and Technology*, 42(8), 1367-1373 .
- [24] Otsu, N., 1979, A threshold selection method from grey-level histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 9(1), 62–66 .
- [25] Sánchez-Pardo, M., Ortiz-Moreno, A., García-Zaragoza, F., Necoechea-Mondragón, H., & Chanona-Pérez, J., 2012, Comparison of pound cake baked in a two cycle microwave-toaster oven and in conventional oven, *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 356-362 .
- [26] Bharati, M. H., Liu, J. J., & MacGregor, J. F., 2004, Image texture analysis: methods and comparisons, *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 72(1), 57-71 .
- [27] Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. H., 1973, Textural features for image classification, *Systems, Man and*
- [8] Kent, D., & Amos, A., 1967, *Modern cereal chemistry*: Food Trade Press, London.
- [9] Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G., & Romani, S., 2011, Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder, *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 700-705 .
- [10] Fan, F., Ma, Q., Ge, J., Peng, Q., Riley, W. W., & Tang, S., 2013, Prediction of texture characteristics from extrusion food surface images using a computer vision system and artificial neural networks, *Journal of Food Engineering*, 118(4), 426-433 .
- [11] Hager, A.-S., & Arendt, E. K., 2013, Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat, *Food Hydrocolloids*, 32(1), 195-203 .
- [12] Hirte, A., Primo-Martín, C., Meinders, M. B., & Hamer, R. J., 2012, Does crumb morphology affect water migration and crispness retention in crispy breads? *Journal of Cereal Science*, 56(2), 289-295 .
- [13] Manzocco, L., Calligaris, S., Da Pieve, S., Marzona, S., & Nicoli, M. C., 2012, Effect of monoglyceride-oil–water gels on white bread properties, *Food Research International*, 49(2), 778-782 .
- [14] Purhagen, J. K., Sjö, M. E., & Eliasson, A.-C., 2011, Starch affecting anti-staling agents and their function in freestanding and pan-baked bread, *Food Hydrocolloids*, 25(7), 1656-1666 .
- [15] Ziobro, R., Witczak, T., Juszczak, L., & Korus, J., 2013, Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic, *Food Hydrocolloids*, 32(2), 213-220 .
- [16] Jackman, P., & Sun, D.-W., 2013, Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment, *Trends in food science & technology*, 29(1), 35-43 .
- [17] Fongaro, L., & Kvaal, K., 2013, Surface texture characterization of Italian pasta by means of univariate and multivariate feature

- production from Bacillus sp. RGR-14, *Process Biochemistry*, 39(12), 2115-2122 .
- [34] Montgomery, D. C, 2013, *Design and Analysis of Experiments* (8 ed.). New York: Wiley
- [35] Martínez, M. M., Díaz, Á., & Gómez, M, 2014, Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making, *Journal of Food Engineering*, 142, 49-56.
- [36] Chantaro, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N, 2008, Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels, *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1987-1994 .
- [37] Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S, 2008, Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter, *Journal of Cereal Science*, 47(3), 502-509 .
- [38] Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Di Bello, G., & Braghieri, A, 2014, Image analysis with the computer vision system and the consumer test in evaluating the appearance of Lucanian dry sausage, *Meat science*, 96(1), 610-616.
- [39] Kumar, N., & Kumar, K, 2011, Development of carrot pomace and wheat flour based cookies, *Journal of Pure and Applied Science and Technology*, 1(1), 5-11.
- Cybernetics, IEEE Transactions on*(6), 610-621 .
- [28] Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. A, 2012, *Sensory evaluation practices*: Academic press.
- [29] Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M, 2009, *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments* (Vol. 705): John Wiley & Sons.
- [30] Pourfarzad, A., Mahdavian-Mehr, H., & Sedaghat, N, 2013, Coffee silverskin as a source of dietary fiber in bread-making: Optimization of chemical treatment using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 599-606 .
- [31] Derringer, G, 1980, Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12, 214-219 .
- [32] Homayoonfal, M., Khodaiyan, F., & Mousavi, M, 2015, Modelling and optimising of physicochemical features of walnut-oil beverage emulsions by implementation of response surface methodology: Effect of preparation conditions on emulsion stability, *Food chemistry*, 174, 649-659 .
- [33] Chauhan, B., & Gupta, R, 2004, Application of statistical experimental design for optimization of alkaline protease

## Modeling the effects of Persian gum and carrot pomace powder addition on visual features of donut using response surface methodology

Nouri, M. <sup>1\*</sup>, Nasehi, B. <sup>2</sup>, Abdanan Mehdizadeh, S. <sup>3</sup>

1. MSc graduated of Food Science and Technology, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan
2. Associate professor of Food Science and Technology, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan
3. Assistant professor of Bio system of Agricultural Engineering, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan

(Received: 2015/07/04 Accepted: 2015/10/05)

In the present study, the effects of addition of Persian gum (PG) and carrot pomace powder (CPP) on formulation of donut were investigated in order to obtain a low-fat dietary fiber-enriched product with desired sensory and appearance properties. Response surface methodology (RSM) with a 5-level-3-factor central composite rotatable design (CCRD) was employed, where the independent variables were PG (0-1.5%), CPP (0-15%) and water (38-53%) while the dependent variables were surface texture properties, crust color values, crumb grain features and sensory characteristics of donut. Results showed that the roughness of the donuts surface increased by addition of CPP into formulation ( $p < 0.05$ ). It was found that CPP adversely affected the crumb grain properties of donut ( $p < 0.05$ ). As well, a significant negative quadratic effect of water addition and a significant interaction effect of CPP and water were observed on crumb grain properties of donut ( $p < 0.05$ ). With regard to samples color,  $L^*$  decreased while  $a^*$  increased as levels of CPP were increased and levels of water were decreased. Results of sensory evaluation, illustrated that CPP significantly decreased consumer acceptance scores ( $p < 0.05$ ). Furthermore, results of correlation analysis revealed that there were strong relationships between visual features of donuts and sensory attributes that indicated capability of machine vision to prediction of consumer acceptance. RSM described that donut with optimum formulation of 1.17% PG, 7.44% CPP and 48.29% water had considerably higher dietary fiber content, lower fat uptake and acceptable sensory attributes compared to control sample.

**Keywords:** Machine vision, Crumb grain, Surface texture, Dietary fiber, Donut

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: mnouri1366@gmail.com