نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص.879-867

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 867-879

استفاده از فناوری ماشین بینایی در ارزیابی ظاهری دونات پیش‌فرآیند شده توسط مایکروویو

مهران نوری[1]- بهزاد ناصحی*[2]- وحید سماواتی[3]- سامان آبدانان مهدی‌زاده[4]

تاریخ دریافت: 1395/02/10
تاریخ پذیرش: 1395/04/19

چکیده

در این پژوهش از تکنیک‌های ماشین بینایی به‌منظور بررسی اثر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری دونات استفاده شد. آزمایش‌ها بر اساس روش سطح پاسخ با یک طرح باکس-بنکن طراحی شد. متغیرهای مستقل شامل توان مایکروویو (900-300 وات)، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (90-30 ثانیه) و مدت‌زمان سرخ کردن (130-70 ثانیه) بود. همچنین متغیرهای وابسته شامل ویژگی‌های بافت سطحی، شاخص‌های رنگ پوسته، ویژگی‌های ساختار مغز و پذیرش مصرف‌کننده بود. نتایج نشان داد افزایش سطح توان مایکروویو، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن سبب افزایش قابل‌توجه زبری سطح نمونه‌ها شد. نتایج همچنین نشان داد اثرات مثبت خطی همه متغیرهای مستقل و اثر منفی درجه دوم توان مایکروویو بر ویژگی‌های ساختار مغز دونات معنی‌دار بود. در مورد رنگ نمونه‌ها، نتایج نشان داد که شاخص‌های L^*و a^* سطح نمونه‌ها با افزایش سطح مدت‌زمان سرخ کردن به‌ترتیب به‌طور قابل‌توجهی کاهش و افزایش یافتند. نتایج حاصل از پذیرش مصرف‌کننده حاکی از تأثیر قابل‌توجه مدت‌زمان سرخ کردن بر نمرات حسی بود. همچنین نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان‌دهنده وجود ارتباط خطی قوی بین ویژگی‌های ظاهری و خصوصیات حسی دونات بود.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های ظاهری، دونات، ماشین بینایی، پیش‌فرآیند مایکروویو

مقدمه

فرآورده‌های غلات از شروع شکل‌گیری تمدن‌ها، عمده‌ترین منابع غذایی جوامع بشری را تشکیل داده‌اند (Kent & Amos, 1967). امروزه فرآورده‌های گوناگونی از غلات با فرمولاسیون‌ها و روش‌های پخت متفاوت توسعه پیدا کرده است. دونات[5] یکی از فرآورده‌های غلات است که به دلیل فرآیند تولید آن‌ها (سرخ کردن به شیوه غوطه‌وری) از ویژگی‌های حسی مطلوبی برخوردار است، با این‌حال متأسفانه این فرآورده طی سرخ کردن مقدار زیادی روغن به خود جذب می‌کنند (Brannan *et al*., 2014). طی سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی ازجمله پیش‌فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی شامل پیش خشک‌کردن و پیش پخت نمودن به‌منظور کاهش جذب روغن طی سرخ کردن توسعه یافته است (Adedji *et al*., 2009). Melito و Farkas (2012) کاهش جذب روغن در دونات سرخ شده توسط پس‌فرآیند فروسرخ را گزارش کردند. همچنین طی پژوهش دیگری Oztop و همکاران (2007) استفاده از فناوری مایکروویو را در تهیه فرآورده‌های غذایی سرخ شده گزارش کردند. امروزه آون مایکروویو، به یک وسیله خانگی رایج برای پخت و پز تبدیل شده است. در مقایسه با روش‌های رایج، گرمادهی مایکروویو مزیت‌های زیادی ازجمله صرفه‌جویی در انرژی، کوتاه نمودن مدت‌زمان پخت یا گرم نمودن غذا و بهبود ریزساختار محصول را فراهم می‌کند (Ngadi *et al*., 2009)؛ بنابراین استفاده از مایکروویو در پخت فرآورده‌هایی از جمله دونات می‌تواند مفید باشد، همان‌طوری که نوری (1394) نشان داد پیش‌پخت دونات با استفاده از انرژی مایکروویو می‌تواند مدت‌زمان فرآیند سرخ کردن و متعاقب آن جذب روغن را کاهش دهد. با این وجود به‌کارگیری فناوری مایکروویو در پخت مواد غذایی ممکن است بر ویژگی‌های ظاهری و پذیرش مصرف‌کننده تأثیرگذار باشد.

ظاهر فرآورده‌های غذایی یکی از ویژگی‌های مهم کیفی این مواد است که با طعم محصول همبستگی داشته و بر درک بینایی مصرف‌کننده تأثیر بسزایی دارد (Brosnan & Sun, 2004). اگرچه مهم‌ترین شاخص‌های کیفی محصولات غذایی شامل ویژگی‌های تغذیه‌ای، شیمیایی، مکانیکی، سلامتی بخشی و حسی است، با این وجود، پذیرش محصول در درجه اول بستگی به ویژگی‌های ظاهری

1، 2و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
4- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
(* - نویسنده مسئول: (Email: b_nasehi@yahoo.com
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55526
5 Donuts (Doughnuts)

آن دارد؛ به شکلی که یک محصول با ظاهری مطلوب توسط اغلب مصرف‌کننده‌ها پذیرفته می‌شود (ElMasry *et al*., 2012).

طی سال‌های اخیر از فناوری ماشین بینایی به‌طور موفقیت‌آمیزی برای بررسی ویژگی‌های ظاهری فرآورده‌های غذایی و کشاورزی استفاده شده است (Brosnan & Sun, 2004). ماشین بینایی، شامل تصویربرداری، پردازش و آنالیز تصاویر است که می‌تواند سبب تسهیل در ارزیابی سریع و غیرمخرب ویژگی‌های ظاهری محصولات غذایی شود (Du & Sun, 2004). از جمله مشخصه‌های ظاهری فرآورده‌های غذایی، رنگ و خصوصیات ساختار مغز 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 (Balestra *et al*., 2013; Hager & Arendt, 2013; Hirte *et al*.,2012; Manzocco *et al*., 2012; Purhagen *et al*., 2011; Ziobro *et al*., 2013). بافت سطحی از دیگر مشخصه‌های ظاهری مواد غذایی است که بیان‌کننده آرایش فضایی سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر است (Jackman & Sun, 2013). خصوصیات بافت سطحی که می‌تواند اطلاعات مفیدی از جمله زبری و ناهمواری سطح فرآورده را در اختیار پژوهشگران قرار دهد نیز در مطالعات پیشین به‌خوبی در ارزیابی‌های کیفی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (Chandraratne *et al*., 2007; Fongaro & Kvaal, 2013; Jackman *et al*., 2009).

بنابراین از آنجایی که ظاهر فرآورده اولین مشخصه‌ای است که توسط مصرف‌کننده درک می‌شود و بر تصمیم فرد بر خرید محصول نقش بسزایی دارد، مطالعه تأثیر فرآیندهای تکنولوژیکی بر ویژگی‌های ظاهری (ویژگی‌های رنگی و بافت سطحی) مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد (Fongaro & Kvaal, 2013). از این رو با توجه به ارتباط ویژگی‌های ظاهری و پذیرش مصرف‌کننده و امکان تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری، در این پژوهش با استفاده از فناوری ماشین بینایی تأثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های ظاهری دونات بررسی شد. همچنین ارتباط بین ویژگی‌های ظاهری و پذیرش مصرف‌کننده دونات مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های دونات بر اساس فرمولاسیون مورد استفاده توسط ملیتو و فارکاس (2013) با اندکی اصلاحات تهیه شد (جدول 1). اصلاح فرمولاسیون شامل استفاده از پودر تفاله هویج و صمغ فارسی به‌منظور بهبود محتوی فیبر خوراکی و کاهش جذب روغن بود. صمغ فارسی از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان در شهریور 1393 جمع‌آوری و توسط اتانول (96 درصد) شسته شد. سپس صمغ‌های یکرنگ (سفید شفاف) پس از خشک شدن توسط آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر شد. به‌منظور تهیه پودر تفاله هویج، پس از فرآیند آب‌میوه‌گیری توسط یک دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر، JC-700P، ایران) تفاله هویج توسط آون (Heraeus, T 5042, Germany) (60 °C به مدت 12 ساعت) خشک شد. تفاله خشک‌شده توسط دستگاه آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر شد. تعیین سطوح مناسب منابع فیبریِ پودر تفاله هویج و صمغ فارسی بر اساس نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و حسی و بهینه‌سازی فرمولاسیون بود (نوری، 1394).

جدول 1- فرمولاسیون دونات

اجزاء سازنده	وزن (درصد) (بر اساس وزن آرد)	مشخصات
آرد گندم	100/00	9 درصد پروتئین، شرکت آرد جنوب، خوزستان، ایران
آب	52/00	-
آب برای مخمر	14/00	-
تخم‌مرغ	14/00	تهیه‌شده از فروشگاه‌های محلی
شورتنینگ	9/75	شرکت بهشهر، تهران، ایران
پودر تفاله هویج	7/00	تهیه شده در آزمایشگاه شیمی مواد غذایی
صمغ فارسی	1/30	تهیه شده از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان
شکر	6/80	تهیه‌شده از فروشگاه‌های محلی
پودر شیر خشک بدون چربی	6/80	شرکت پگاه، خوزستان، ایران
مخمر خشک فعال	3/25	شرکت ناب مایه، خوزستان، ایران
نمک	1/70	تهیه‌شده از فروشگاه‌های محلی
عصاره وانیل	1/70	شرکت رنگ و اسانس آبیاز شیمی، تهران، ایران
بیکینگ پودر	1/70	شرکت سهیل پودر، تهران، ایران

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. صمغ فارسی در آب حل و پس از افزودن آن به کاسه، عصاره وانیل به مخلوط اضافه شد. با مخلوط مخمر و آب مخصوص آن (35 ºC) در یک ظرف جداگانه، سوسپانسیون مخمر تهیه و به مدت 5 دقیقه نگه داشته شد. آرد گندم و پودر تفاله هویج در یک کاسه جداگانه با بیکینگ‌پودر 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 50 گرم بریده شد. قطعات خمیر پس از طی فرآیند تخمیر (27 ºC به مدت 30 دقیقه) تحت پیش‌فرآیند مایکروویو در توان‌ها و زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایش‌ها) قرار گرفت. سپس نمونه‌های پیش‌فرآیند شده در یک سرخ‌کن (Moulinex, F18-RA, France) حاوی روغن مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، پالم و سویا) (بهار، شرکت صنعتی بهشهر، تهران، ایران) در دمای 180 ±2ºC و برای مدت‌زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایش‌ها) سرخ شد. دونات‌ها پس از خنک شدن در دمای اتاق و بر روی دستمال‌های کاغذی در بسته‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده بسته‌بندی شدند.

آنالیز تصویر

تصویربرداری از نمونه‌های دونات 12 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 30 سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه (با ابعاد cm^3 100× 100×100 و با نورپردازی با زاویه 45 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.

رنگ دونات

برای تعیین رنگ پوسته نمونه‌ها از مدل رنگی CIE L*a*b* (یا CIELAB) استفاده شد. ازآنجایی‌که 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 (Quevedo *et al*., 2009).

ساختار مغز دونات

به‌منظور بررسی ساختار مغز دونات از هر تیمار 10 تصویر رنگی (RGB) (24 بیتی) از مغز نمونه‌ها تهیه شد. تصاویر پس از انتقال به محیط متلب، توسط نرم‌افزار به فرم خاکستری[1] (8 بیتی) تبدیل شد. عملیات بخش‌بندی پس از بهبود تباین تصاویر بر روی یک ناحیه cm^2 3× 3 از مرکز هر تصویر، با استفاده از الگوریتم Otsu صورت پذیرفت (Otsu, 1979). در این پژوهش از دو شاخص دانسیته سلول‌ها (تعداد سلول در cm^2) و مساحت سلول‌ها (mm^2) برای مطالعه ساختار مغز نمونه‌های دونات استفاده شد (Hager & Arendt, 2013; Sánchez-Pardo *et al*., 2012).

بافت سطحی دونات

در این مطالعه از ماتریس هم رخداد سطح خاکستری[2] برای محاسبه شاخص‌های بافت سطحی استفاده شد. برای این منظور، پس از انتقال تصاویر به محیط متلب، شاخص‌های ممان درجه دوم زاویه‌ای[3] یا انرژی[4]، تباین[5]، همبستگی[6]، همگنی[7] و انتروپی[8] جدول 2) 2) به‌عنوان توصیف‌کننده بافت سطحی توسط الگوریتم ماتریس هم رخداد سطح خاکستری محاسبه شد (Fongaro & Kvaal, 2013).

پذیرش مصرف‌کننده

برای بررسی پذیرش مصرف‌کننده، ارزیابی حسی نمونه‌های دونات به کمک یک گروه 15 نفره شامل 5 زن و 10 مرد از دانشجویان گروه صنایع غذایی انجام شد. نمونه‌های دونات بر اساس پذیرش ظاهر پوسته، ظاهر مغز، رنگ پوسته، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی در یک مقیاس هدونیک 9 نقطه‌ای و نمره‌دهی از 1 (دوست نداشتن شدید) تا 9 (دوست داشتن شدید) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Stone *et al*., 2012).

---

1 Gray scale
2 Grey-level co-occurrence matrices GLCM()
3 Angular Second Moment (ASM)
4 Energy (ENR)
5 Contrast (CON)
6 Correlation (COR)
7 Homogeneity (HOM)
8 Entropy (ENT)

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 (1) و با استفاده از نرم‌افزار (SAS Institute, SAS 9.1 Cary, NC) محاسبه گردید.

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

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

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش برای طراحی آزمایش‌ها از شیوه سطح پاسخ (RSM) و یک طرح باکس-بنکن استفاده شد (Montgomery, 2013). متغیرهای مستقل (فاکتورها) شامل توان مایکروویو (MP) (وات)، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (MT) (ثانیه) و مدت‌زمان سرخ کردن (ثانیه) بود. طبق آزمایش‌های مقدماتی دامنه هریک از متغیرهای مستقل تعیین (جدول 3) و پس از آن، 17 آزمون توسط نرم‌افزار ارائه شد (جدول 4).

جدول 2- توصیف‌کننده‌های بافت سطحی به‌دست‌آمده از ماتریس هم رخداد سطح خاکستری

توصیف گر	فرمول	شرح
آ) انرژی	$ASM = \sum_i \sum_j p^2(i,j)$ $ENR = \sqrt{ASM}$	انرژی، مجموع مربعات عناصر *GLCM* را محاسبه می‌کند. این توصیف گر معیاری از نظم است و یکنواختی یک تصویر را نشان می‌دهد. بازه آن [۱،۰] است. مقدار 1 نشان‌دهنده صاف و یکنواخت بودن تصویر است.
ب) تباین	$CON = \sum_{n=0}^{D} n^2 \left(\sum_i \sum_j p(i,j) \right)_{\lvert i-j \rvert = n}$	تباین میزان تغییرات منطقه‌ای موجود در تصویر را نشان می‌دهد. تصاویر صاف دارای مقدار تباین صفر می‌باشند.
پ) همبستگی	$COR = \frac{\sum_i \sum_j (ij) - \mu^2}{\sigma^2}$ $\mu = \sum_i \sum_j iP(i,j)$	این شاخص اندازه‌ای از مقدار همبستگی یک پیکسل با پیکسل مجاورش در کل تصویر می‌باشد. بازه آن [-۱،۱] است. تصاویر صاف مقدار همبستگی تعریف نشده‌ای دارند ($COR = NaN$). μ مقدار متوسط ماتریس است.
ت) همگنی	$HOM = \sum_{i,j} \frac{P(i,j)}{1 + \lvert i-j \rvert}$	این شاخص تراکم توزیع عناصر *GLCM* را نسبت به *GLCM* قطری محاسبه می‌کند. همگنی برای یک *GLCM* قطری برابر 1 است.
ث) انتروپی	$ENT = -\sum_i \sum_j P(i,j) \log(P(i,j))$	انتروپی یک مقدار آماری از بی‌نظمی است. تصاویر با انتروپی پایین‌تر صاف‌تر می‌باشند.

جدول 3- دامنه و سطوح هر یک از متغیرهای مستقل در طرح باکس-بنکن

متغیر مستقل (فاکتور)	نماد فاکتور	سطوح فاکتور		
		-1	0	1
توان مایکروویو (وات)	X_1	300	600	900
زمان مایکروویو (ثانیه)	X_2	30	60	90
زمان سرخ‌کردن (ثانیه)	X_3	70	100	130

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 برازیده شد (معادله 2).

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

در این رابطه Y، β_0، β_i ، β_{ii} وβ_{ij} 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 و بر اساس شاخص p-value، معنی‌داری مدل‌ها و عبارات معادله مورد بررسی و

فاکتورهای غیرمعنی‌دار مشخص شد. همچنین شاخص‌های عدم تناسب، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده (adj-R^2)، ضریب تغییرات (CV)، شاخص دقت کفایت[9] به‌منظور بررسی کفایت مدل محاسبه شد (Homayoonfal *et al.*, 2015). طراحی و آنالیز آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) انجام شد.

نتایج و بحث

برازش مدل

در این مطالعه با استفاده از شیوه سطح پاسخ، 17 آزمون طراحی و سپس آنالیز واریانس و رگرسیون به‌منظور برازش مدل‌های سطح پاسخ و بررسی معنی‌داری عبارات مدل انجام شد (جدول‌های 5 و 7). نتایج آنالیز واریانس نشان داد به‌استثنای شاخص همبستگی، 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 (Homayoonfal *et al.*, 2015)، غیرمعنی‌دار ($p>0/05$) بود. آنالیز آماری نشان داد که کفایت مدل‌های معنی‌دار برای پیش‌بینی، به دلیل ضریب تعیین بالا، رضایت‌بخش بود (Chauhan & Gupta, 2004). گزارش شده است که ضریب تعیین یک مدل برازش شده مناسب، بهتر است بالاتر از 0/80 باشد (Homayoonfal *et al.*, 2015)، با این وجود برخی پژوهشگران مدل‌هایی با ضریب تعیین بالاتر از 0/75 را نیز موردپذیرش قرار داده‌اند (Chauhan & Gupta, 2004). با نزدیک شدن این ضریب به واحد، تغییرات در داده‌های پاسخ می‌تواند به‌خوبی به‌وسیله مدل‌های رگرسیون توضیح داده شود (Homayoonfal *et al.*, 2015). شاخص ضریب تغییرات، تغییرات غیرقابل توضیح یا باقی‌مانده در داده‌ها را به‌عنوان درصدی از میانگین تغییرات پاسخ محاسبه می‌کند (Montgomery, 2013). مقادیر پایین‌تر این شاخص، تکرارپذیری بهتری را فراهم می‌نمایند. به‌طورکلی ضریب تغییرات بالاتر از 10 نشان‌دهنده تغییرات بالا در میانگین است و برای یک مدل رضایت‌بخش نیست (Samavati *et al.*, 2014). نتایج نشان داد که در اغلب مدل‌های برازش شده ضریب تغییرات دارای مقادیر رضایت‌بخشی بود. شاخص کفایت دقت از تقسیم تفاوت بین پاسخ برآورد شده بیشینه و پاسخ برآورد شده کمینه بر متوسط انحراف معیار همه پاسخ‌های برآورد شده محاسبه می‌شود. مقادیر بالای این شاخص مطلوب است، به‌طوری‌که مقادیر بالای 4 نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی است (Montgomery, 2013). در این مطالعه، به‌استثنای شاخص همبستگی، سایر مدل‌های پیشنهاد شده دارای دقت کفایت بالاتر از 4 بودند.

ساختار مغز دونات

مقادیر شاخص‌های ساختار مغز نمونه‌های دونات در جدول 4 گزارش شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل دارای تأثیر خطی مثبت معنی‌داری($p<0/01$) بر ویژگی‌های ساختار مغز می‌باشند. همچنین توان مایکروویو دارای یک تأثیر درجه دوم منفی معنی‌داری ($p<0/05$) بر این پاسخ‌ها بود. شاخص مساحت سلول‌ها نیز تحت تأثیر منفی درجه دوم معنی‌دار ($p<0/05$) مدت‌زمان مایکروویو بود. یک رابطه مثبت متقابل معنی‌دار ($p<0/05$) بین توان مایکروویو و مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو بر این پاسخ‌ها نیز وجود داشت (جدول 5).

نتایج نشان داد که علیرغم کم‌تر بودن دانسیته سلول‌های گاز در نمونه‌های پیش پخت شده توسط انرژی مایکروویو نسبت به نمونه کنترل، سلول‌های این نمونه‌ها دارای مساحت نسبتاً بیشتری بودند (جدول 4). بیشتر بودن مساحت و کمتر بودن دانسیته سلول‌ها نشان‌دهنده اندازه بزرگ‌تر سلول‌های گاز است. وجود سلول‌های نسبتاً بزرگ در فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو به مغز این محصولات ظاهری غیرمنظم و غیریکنواخت می‌دهد. این خصوصیات ظاهر مغز فرآورده‌های پخت شده توسط مایکروویو طی پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Sanchez-Pardo *et al.*, 2008; Sumnu & Sahin, 2005). بزرگ‌تر بودن سلول‌های گاز طی پخت مایکروویو می‌تواند ناشی از حضور ترکیبات روغنی فرمولاسیون باشد که به‌عنوان روان کننده‌هایی از تخریب حباب‌های گاز طی انبساط جلوگیری می‌کنند (Aguilera & Stanley, 1999). همچنین حرارت زیاد ایجادشده توسط مایکروویو سبب افت رطوبت بالا در ماده غذایی می‌شود که درنتیجه آن یک گرادیان فشار بالا به وجود می‌آید. به وجود آمدن گرادیان فشار بالا در مغز فرآورده طی پخت مایکروویو می‌تواند در بزرگ‌تر شدن سلول‌های گاز تشکیل شده مؤثر باشد (Turabi et al., 2010). Ozkoc و همکاران (2009) طی پخت نان توسط آون‌های مختلف و همچنین Turabi و همکاران (2010) طی پخت کیک در آون فروسرخ- مایکروویو نتایجی مشابه پژوهش حاضر گزارش نمودند.

رنگ پوسته دونات

مقادیر شاخص‌های رنگ پوسته دونات در جدول 4 گزارش شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد مدت‌زمان سرخ کردن تأثیر مثبت خطی معنی‌داری ($p<0/05$) بر شاخص a^* پوسته و تأثیر منفی خطی معنی‌داری ($p<0/05$) بر L^* پوسته داشتند. مدت‌زمان مایکروویو

9 Adequate precision

نیز تأثیر منفی خطی معنی‌داری ($p<0/05$) بر L^* پوسته داشت. مدت‌زمان سرخ کردن همچنین دارای اثر منفی درجه دوم معنی‌داری بر L^* و b^* پوسته بود. همچنین اثر منفی متقابل متغیرهای توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن بر b^* پوسته معنی‌دار ($p<0/05$) بود. تأثیر مدت‌زمان سرخ کردن بر قهوه‌ای شدن رنگ پوسته ناشی از واکنش‌های غیر آنزیمی مایلارد است که بین آمینواسیدها و قندهای احیاکننده در حضور گرما رخ می‌دهند (Turabi *et al*., 2008). طی پخت مایکروویو هوای مجاور فرآورده سرد است و بخارآب خارج شده از فرآورده با برخورد با این هوا کندانس شده و سبب عدم تردی فرآورده می‌شود (Chandrasekaran *et al*., 2013). ازاین‌رو طی فرآیند پخت توسط مایکروویو، پوسته ترد و قهوه‌ای‌رنگ در فرآورده ایجاد نمی‌شود. پژوهش‌های گذشته نیز به‌خوبی عدم قهوه‌ای شدن رنگ فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو را گزارش نموده‌اند (Içöz *et al*., 2004; Ozmutlu *et al*., 2001; Sumnu, 2001; Turabi *et al*., 2008).

بافت سطحی دونات

مقادیر توصیف‌کننده‌های سطحی در جدول 4 گزارش شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن تأثیر خطی منفی معنی‌داری ($p<0/01$) بر شاخص‌های انرژی، همبستگی و همگنی داشت. همچنین این متغیرهای مستقل تأثیر خطی مثبت قابل‌توجهی($p<0/001$) بر تباین و انتروپی سطح نمونه‌های دونات داشتند. اثرات منفی درجه دوم مدت‌زمان سرخ کردن بر شاخص‌های انرژی و همگنی معنی‌دار و اثرات مثبت درجه دوم این متغیر بر شاخص‌های تباین و انتروپی معنی‌دار ($p<0/05$) بود (جدول 4). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن بر غیریکنواختی و زبرتر شدن سطح نمونه‌ها بود. افزایش توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن می‌تواند سبب افزایش نرخ خروج بخارآب از طریق پوسته فرآورده طی فرآیند پخت شود. درنتیجه غیریکنواختی و زبرتر شدن سطح نمونه‌ها را می‌توان ناشی نرخ بالای خروج بخارآب از طریق سطح نمونه‌ها دانست.

پذیرش مصرف‌کننده

نمرات ارزیاب‌های حسی در جدول 6 گزارش شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد اثرات خطی مثبت توان مایکروویو بر شاخص‌های حسی رنگ مغز، طعم مزه و پذیرش کلی معنی‌دار($p<0/05$) و اثرات منفی این متغیر بر شاخص‌های ظاهر پوسته معنی‌دار ($p<0/05$) بود.

جدول 4- فاکتورها و پاسخ‌های ویژگی‌های ظاهری به‌دست‌آمده در طرح باکس-بنکن

آزمون	متغیرهای غیر وابسته (فاکتورها)			متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)								
	X_1	X_2	X_3	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	انتروپی	دانسیته سلول‌ها	مساحت سلول‌ها	L*	a*	b*
1	600	90	70	0/50	0/06	0/89	0/97	5/56	333/44	174/32	82/12	7/07	36/49
2	600	30	70	0/57	0/05	0/90	0/98	5/52	312/03	170/47	84/76	6/71	37/03
3	900	60	70	0/52	0/09	0/82	0/96	5/83	312/01	170/49	84/33	7/86	38/76
4	900	90	100	0/41	0/10	0/81	0/95	5/74	375/77	191/05	81/49	9/08	36/93
5	600	60	100	0/60	0/06	0/74	0/97	5/53	354/08	185/72	83/45	8/59	36/85
6	600	60	100	0/63	0/06	0/74	0/97	5/60	356/92	184/70	82/94	8/83	35/92
7	600	60	100	0/56	0/08	0/89	0/96	5/60	340/81	186/37	84/35	8/00	34/94
8	300	60	70	0/67	0/04	0/90	0/98	5/32	293/07	168/62	86/33	6/05	35/72
9	600	60	100	0/56	0/08	0/87	0/96	5/55	350/74	182/48	84/16	7/16	37/23
10	300	30	100	0/67	0/04	0/90	0/98	5/34	304/76	169/50	85/33	7/68	35/74
11	600	60	100	0/53	0/09	0/88	0/96	5/72	362/03	186/18	83/02	9/03	35/53
12	300	60	130	0/56	0/09	0/87	0/96	5/68	329/91	181/01	81/05	14/25	31/44
13	600	90	130	0/41	0/13	0/80	0/93	6/20	376/53	188/52	79/16	12/57	30/44
14	900	30	100	0/51	0/08	0/84	0/96	5/81	326/94	175/35	82/23	8/34	36/07
15	300	90	100	0/58	0/05	0/85	0/98	5/52	296/42	172/62	81/00	7/78	35/67
16	600	30	130	0/39	0/13	0/80	0/94	6/08	342/61	181/02	78/28	15/25	31/04
17	900	60	130	0/33	0/15	0/75	0/93	6/10	385/13	191/77	76/79	17/22	30/05
کنترل	-	-	200	0/58	0/15	0/61	0/93	5/61	412/85	176/44	79/03	16/89	64/51

جدول 5- ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های ویژگی‌های ظاهری

منبع	متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)									
	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	انتروپی	دانسیته سلول‌ها	مساحت سلول‌ها	L*	a*	b*
β_0	0/58	0/073	0/82	0/96	5/60	352/92	185/09	83/58	8/32	36/09
β_1	-0/091***	0/026***	-0/038ns	-0/014***	0/20***	21/96***	4/61**	-0/12ns	0/84ns	0/41ns
β_2	-/028ns	0/004ns	-0/012ns	-0/003ns	0/033ns	12/10**	3/77**	-0/86ns	-0/18ns	-0/044ns
β_3	-0/071**	0/033***	-0/038ns	-0/015***	0/23***	22/83***	7/30***	-2/78****	3/95****	-3/13****
$\beta_1\beta_1$	0/01ns	-/006ns	0/008ns	0/004ns	-0/049ns	-18/91**	-4/29**	-0/006ns	0/42ns	0/13ns
$\beta_2\beta_2$	-0/043ns	-0/003ns	0/019ns	-0/0002ns	0/056ns	-8/03ns	-3/68*	-1/05ns	-0/52ns	-0/12ns
$\beta_3\beta_3$	-0/066**	0/020*	0/004ns	-0/011*	0/18**	-3/98ns	-2/83ns	-1/45*	2/60ns	-2/23***
$\beta_1\beta_2$	-0/01ns	-0/0005ns	0/005ns	-0/0008ns	-0/061ns	14/29*	3/14*	0/91ns	0/16ns	0/23ns
$\beta_1\beta_3$	-0/017ns	0/001ns	-0/009ns	-0/0008ns	-0/024ns	9/07ns	2/22ns	-0/56ns	0/29ns	-1/11*
$\beta_2\beta_3$	0/023ns	-0/005ns	0/004ns	0/002ns	0/020ns	3/38ns	0/91ns	0/88ns	-0/76ns	-0/015ns
Model (p-value)	0/0023	0/0020	0/6675	0/0028	0/0028	0/0005	0/0006	0/0015	0/0003	0/0003
Lack of fit (p-value)	0/6245	0/6018	0/8974	0/5090	0/1563	0/3259	0/0921	0/1258	0/2292	0/8795
R^2	0/9336	0/9363	0/4891	0/9300	0/9301	0/9574	0/9561	0/9422	0/9642	0/9625
Adj-R^2	0/8483	0/8544	-0/1678	0/8401	0/8402	0/9026	0/8997	0/8679	0/9183	0/9144
CV (%)	7/20	15/64	7/47	0/67	1/77	2/62	1/39	1/14	9/81	2/19
Adeq Precision	11/068	12/311	3/200	11/503	11/193	13/170	12/384	11/068	14/768	14/397

ns، *، **، *** و **** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی¬داری، معنی‌داری در سطح p<0/05، معنی‌داری در سطح p<0/01، معنی‌داری در سطح p<0/001 و معنی‌داری در سطح p<0/0001 می‌باشند.

جدول 6- فاکتورها و پاسخ‌های ویژگی‌های حسی به‌دست‌آمده در طرح باکس-بنکن

آزمون	متغیرهای غیر وابسته (فاکتورها)			متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)						
	X_1	X_2	X_3	ظاهرپوسته	ظاهرمغز	رنگ‌پوسته	آروما	بافت	طعم و مزه	پذیرش کلی
1	600	90	70	7/19	5/01	4/66	4/77	4/94	5/34	6/24
2	600	30	70	7/26	4/12	4/54	4/39	4/76	4/01	5/61
3	900	60	70	6/98	3/54	4/76	5/14	3/78	5/14	6/04
4	900	90	100	6/09	6/02	5/65	5/88	4/52	5/26	6/76
5	600	60	100	6/13	4/77	5/88	5/36	6/43	6/06	6/96
6	600	60	100	6/95	4/23	6/12	6/08	6/08	6/37	7/07
7	600	60	100	6/01	5/43	5/88	5/69	6/92	5/63	6/53
8	300	60	70	7/72	3/45	4/56	4/08	4/02	3/66	4/56
9	600	60	100	7/02	4/76	5/77	6/17	6/84	6/01	6/91
10	300	30	100	7/30	3/25	5/01	5/19	4/97	4/36	5/26
11	600	60	100	6/61	4/77	6/25	5/61	6/86	5/78	6/68
12	300	60	130	6/30	6/02	7/96	6/63	4/64	5/22	6/12
13	600	90	130	5/02	7/13	7/77	6/88	6/17	5/75	7/65
14	900	30	100	6/21	3/66	5/68	5/69	4/81	5/26	6/16
15	300	90	100	6/89	4/87	5/43	5/22	4/56	4/26	5/16
16	600	30	130	5/52	5/77	7/32	6/22	6/36	6/86	6/76
17	900	60	130	4/87	6/87	7/01	5/69	4/76	6/16	7/06
کنترل	-	-	200	6/10	6/25	7/90	6/33	5/50	0/66	5/50

جدول 7- ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های ویژگی‌های حسی

منبع	متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)						
	ظاهر پوسته	ظاهر مغز	رنگ‌پوسته	آروما	بافت	طعم و مزه	پذیرش کلی
β_0	6/54	4/79	5/98	5/78	6/63	5/97	6/83
β_1	$-0/51^{**}$	$0/31^{ns}$	$0/017^{ns}$	$0/16^{ns}$	$-0/040^{ns}$	$0/54^{ns}$	$0/62^{ns}$
β_2	$-0/14^{ns}$	$0/78^{*}$	$0/12^{ns}$	$0/16^{ns}$	$-0/089^{ns}$	$0/015^{ns}$	$0/25^{ns}$
β_3	$-0/93^{***}$	$1/21^{**}$	$1/44^{****}$	$0/88^{***}$	$0/55^{**}$	$0/73^{****}$	$0/64^{****}$
$\beta_1\beta_1$	$0/15^{ns}$	$-0/44^{ns}$	$-0/27^{ns}$	$-0/23^{ns}$	$-1/58^{***}$	$-0/82^{***}$	$-0/81^{***}$
$\beta_2\beta_2$	$-0/071^{ns}$	$0/098^{ns}$	$-0/27^{ns}$	$-0/054^{ns}$	$-0/33^{ns}$	$-0/37^{*}$	$-0/19^{ns}$
$\beta_3\beta_3$	$-0/23^{ns}$	$0/62^{*}$	$0/36^{*}$	$-0/16^{ns}$	$-0/74^{**}$	$-0/11^{ns}$	$-0/077^{ns}$
$\beta_1\beta_2$	$0/072^{ns}$	$0/19^{ns}$	$-0/11^{ns}$	$0/040^{ns}$	$0/030^{ns}$	$0/025^{ns}$	$0/17^{ns}$
$\beta_1\beta_3$	$-0/17^{ns}$	$0/19^{ns}$	$-0/29^{ns}$	$-0/50^{*}$	$0/090^{ns}$	$-0/13^{ns}$	$-0/14^{ns}$
$\beta_2\beta_3$	$-0/11^{ns}$	$0/12^{ns}$	$0/082^{ns}$	$0/070^{ns}$	$-0/093^{ns}$	$-0/61^{*}$	$0/065^{ns}$
Model (p-value)	0/0050	0/0041	0/0001	0/0057	0/0006	0/0003	0/0002
Lack of fit (p-value)	0/9861	0/2864	0/1665	0/5151	0/6305	0/7411	0/5142
R^2	0/9163	0/9213	0/9733	0/9130	0/9563	0/9652	0/9689
Adj-R^2	0/8086	0/8201	0/9389	0/8012	0/9002	0/9205	0/9289
CV (%)	5/48	10/03	4/53	5/93	6/18	4/60	3/40
Adeq Precision	10/570	10/734	16/840	11/167	11/809	16/785	18/006

^{ns}، *، **، *** و **** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح $p<0/05$، معنی‌داری در سطح $p<0/01$، معنی‌داری در سطح $p<0/001$ و معنی‌داری در سطح $p<0/0001$ می‌باشند.

همچنین اثرات خطی مثبت مدت‌زمان مایکروویو بر شاخص‌های حسی ظاهر مغز، رنگ مغز و پذیرش کلی معنی‌دار($p<0/05$) بود. نتایج نشان داد که اثرات خطی مثبت مدت‌زمان سرخ کردن بر شاخص‌های حسی ظاهر مغز، رنگ پوسته، رنگ مغز، آروما، بافت، طعم و مزه و پذیرش کلی معنی‌دار($p<0/05$) بود. همچنین اثرات منفی این متغیر بر شاخص‌های ظاهر پوسته معنی‌دار ($p<0/05$) بود (جدول 7). اغلب ارزیاب‌ها اظهار داشتند که نمونه‌ها دچار خشکی محسوسی بودند. سومنو و ساهین (2005)، از فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو به عنوان فرآورده‌هایی خشک، نسبت به روش‌های رایج نام بردند. آن‌ها این خشکی را ناشی از افت رطوبت بالا در فرآورده‌های پخت شده توسط مایکروویو بیان کردند. همچنین قابل‌ذکر است گروه ارزیاب‌ها اظهار نمودند نمونه‌های دونات از شیرینی کافی برخوردار نبودند. پوشش‌دهی با مواد شیرین و پودر شکر، همان‌طور که در فرآورده‌های دونات انجام می‌گیرد، می‌توانست نمرات طعم و مزه را افزایش دهد.

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. نتایج آنالیز همبستگی به‌خوبی نشان‌دهنده وجود ارتباط قوی بین شاخص‌های ظاهری با ویژگی‌های حسی دونات بود (جدول 8). وجود یک ارتباط قوی و البته منفی بین پذیرش ظاهر نمونه‌ها و تباین و انتروپی و همچنین وجود ارتباط قوی و مثبت بین این شاخص حسی و انرژی، همبستگی و همگنی نشان‌دهنده تمایل مصرف‌کننده به دونات‌هایی با سطح صافت‌تر بود. ارتباط مثبت قوی بین پذیرش ظاهر مغز با شاخص‌های ساختار مغز دانسیته و مساحت سلول‌های حاکی از تمایل بیشتر مصرف‌کنندگان به فرآورده‌ای با مغزی متخلخل‌تر بود. شاخص‌های رنگ پوسته ارتباط قوی با پذیرش رنگ پوسته نشان داد به شکلی که پارامتر L* و b* دارای ارتباطی منفی و پارامتر a* دارای ارتباط مثبتی با پذیرش رنگ پوسته دونات داشت. این نتایج بیان‌کننده تمایل نصرف کننده به مصرف دونات‌های پیش‌فرآیند شده با مایکروویو با رنگ پوسته تیره و قرمزتر بود. بنابراین استفاده از مایکروویو در پخت فرآورده‌هایی از جمله دونات تأثیر منفی بر رنگ فرآورده و پذیرش مصرف‌کننده دارد. به‌طورکلی نتایج این آزمون نشان داد دونات‌هایی با سطح صاف‌تر، رنگ قرمزتر 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 و ارزیابی ویژگی‌های ظاهری دونـات دانسـت. کـاربرد تکنیک‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر در ارزیابی‌های ظـاهری مواد غذایی به‌خوبی در پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده شده اسـت (Brosnan & Sun, 2004). بـرای مثـال، Fongaro و Kvaal (2013) با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر ویژگی‌های سطحی پاستاهای ایتالیایی را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران وجـود همبستگی بین ویژگی‌های سـطحی و خصوصـیات فیزیکوشـیمیایی نمونه‌های پاستا را گزارش کردند. همچنین در پژوهشـی کـه توسـط Girolami و همکـاران (2014) انجـام شـد از یـک سیسـتم بینـایی کامپیوتری و آنالیز تصویر به همراه ارزیابی حسی بـه‌منظـور ارزیـابی ظاهر سوسیس استفاده شد.

جدول 8- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های حسی و شاخص‌های ظاهری دونات

ویژگی‌های حسی	شاخص‌های بینایی									
	انرژی	تباین	همبستگی	همگنی	انتروپی	دانسیته سلول‌ها	مساحت سلول‌ها	L*	a*	b*
ظاهر پوسته	0/80***	-0/88****	0/60*	0/87****	-0/86****	-0/73***	-0/75***	-0/83****	0/82****	0/75***
ظاهر مغز	-0/75***	0/76***	-0/39ns	-0/75***	0/70**	0/73***	0/77***	-0/81****	0/75***	-0/75***
رنگ پوسته	-0/51*	0/74***	-0/44ns	-0/70**	0/70**	0/60*	0/64**	-0/74***	0/86****	-0/85****
آروما	-0/45ns	0/66**	0/43ns	-0/65**	0/63**	0/64**	0/67**	-0/59*	0/62**	-0/56*
بافت	-0/04ns	0/20ns	-0/17ns	-0/24ns	0/14ns	0/51*	0/52*	-0/07ns	0/09*	-0/16ns
طعم و مزه	-0/53*	0/68**	-0/66**	-0/69**	0/61**	0/76***	0/70**	-0/56*	0/57*	-0/38ns
پذیرش کلی	-0/60*	0/70**	-0/65**	-0/73***	0/68**	0/92****	0/84****	-0/55*	0/50*	-0/36ns

ns، *، **، *** و **** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معناداری، معنی‌داری در سطح $p<0/05$، معنی‌داری در سطح $p<0/01$، معنی‌داری در سطح $p<0/001$ و معنی‌داری در سطح $p<0/0001$ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در ایـن پـژوهش بـا اسـتفاده از فنـاوری ماشـین بینـایی تـأثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های ظـاهری دونـات بررسـی شـد. همچنین ارتباط بین ویژگی‌هـای ظـاهری بـا خصوصـیات حسـی و پذیرش مصرف‌کننـده مـورد مطالعـه قـرار گرفـت. نتـایج نشـان داد پیش‌فرآیند مایکروویو اثر قابل‌توجهی بر افت ویژگی‌های ظـاهری و حسی دونـات داشـت. همچنـین نتـایج آنـالیز همبسـتگی بـه‌خـوبی نشان‌دهنده وجود ارتباط خطـی قـوی بـین ویژگـی‌هـای ظـاهری و شاخص‌های حسی دونات پیش‌فرآیند شده با مایکروویو بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌فرآیند مایکروویو تاثیر قابل‌توجهی بـر افت خصوصیات ظاهری دونات و متعاقب آن افت ویژگی‌های حسـی فرآورده دارد. همچنین نتایج ایـن پـژوهش نشـان داد تکنیـک‌هـای ماشین بینایی می‌توانند کارایی بالایی در ارزیابی ظاهری فرآورده‌های غذایی داشته باشند.

منابع

نوری، م.، 1394، بررسی اثر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و روند بیاتی دونات حاوی پودر تفاله هـویج و صـمغ فارسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

Adedeji, A. A., Ngadi, M. O. & Raghavan, G. S. V., 2009, Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 91: 146–153.

Aguilera, J. M. & Stanley, D. W., 1999, Microstructural principles of food processing and Engineering. Pages 1-65 in Barbosa Canovas, G. V. (ed.) A Chapman and Hall food science book. Gaithersburg, MA, USA: Washington State University, Aspen Publishers, Inc.

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.

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.

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.

Chandraratne, M. R., Samarasinghe, S., Kulasiri, D., & Bickerstaffe, R., 2006, Prediction of lamb tenderness using image surface texture features. *Journal of Food Engineering*, 77(3): 492-499.

Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. & Basak, T., 2013. Microwave food processing-A review. *Food Research International*. 52: 243–261.

Chauhan, B., & Gupta, R., 2004, Application of statistical experimental design for optimization of alkaline protease production from Bacillus sp. RGR-14. *Process Biochemistry*, *39*(12): 2115-2122.

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.

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.

Fongaro, L., & Kvaal, K., 2013, Surface texture characterization of an Italian pasta by means of univariate and multivariate feature extraction from their texture images. *Food Research International*, *51*(2): 693-705.

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.

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.

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.

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.

Icoz, D., Sumnu, G. & Sahin, S., 2004, Color and texture development during microwave and conventional baking of breads. *International Journal of Food Properties*, 7(2): 201–213.

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.

Jackman, P., Sun, D.-W., & Allen, P., 2009, Prediction of beef palatability from colour, marbling and surface texture features of longissimus dorsi. Journal of Food Engineering, 96(1): 151-165.

Kent, D., & Amos, A., 1967, Modern cereal chemistry: Food Trade Press, London.

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.

Melito, H. S. & Farkas, B. E. 2013, Effect of infrared finishing process parameters on physical, mechanical, and sensory properties of par-fried, infrared-finished gluten-free donuts. *Journal of food engineering*. *117*(3): 399-407.

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): 224-230.

Montgomery, D. C., 2013, Design and Analysis of Experiments (8 Ed.). New York: Wiley

Otsu, N., 1979, A threshold selection method from grey-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, *9*(1): 62–66.

Ozkoc, S. O., Sumnu, G., Sahin, S. & Turabi, E., 2009, Investigation of physicochemical properties of breads baked in microwave and infrared–microwave combination ovens during storage. *European Food Research and Technology*, 228: 883-893.

Oztop, M. O., Sahin, S. & Sumnu, G., 2007, Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering*, 79: 83-91.

Purhagen, J. K., Sjöö, 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.

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.

Samavati, V., Lorestani, M. & Joolazadeh, S., 2014, Identification and characterization of hydrocolloid from Cordia myxa leaf. *International journal of biological macromolecules*. 65: 215-221.

Sanchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Perez and Necoechea-Mondragon, H., 2008, Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT-Food Science and* Technology, 41: 620-627.

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.

Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. A., 2012, *Sensory evaluation practices*: Academic press.

Sumnu, G,. 2001, A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(2): 117-127.

Sumnu, G. & Sahin, S. 2005. The microwave processing of foods (Chapter 7). Pages 119-141 in Schubert, H. and Regier, M. (eds.) Baking using microwave processing. Cambridge, England: CRC Press.

Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S. 2008. Optimization of baking of rice cakes in infraredemicrowave combination oven by response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*. 1: 64-73.

Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S. 2010. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*. 24: 755-762.

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.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 867-879

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص.879-867

Application of machine vision technology for visual assessment of microwave pre-treated donut

M. Nouri[1], B. Nasehi[2*], V. Samavati[3], S.Abdanan Mehdizade[4]

Received: 2016.04.29
Accepted: 2016.07.09

Introduction: Fried foods such as donuts enjoyed worldwide for their taste, distinctive flavor, aroma and crunchy texture. There is, however, grave health concern over large fat content of fried foods (Melito and Farkas, 2013). There are several ways to lower fat content in deep-fried foods. One method is to reformulate the product by adding hydrophilic ingredients such as dietary fibers to reduce oil uptake during frying. Another method to reduce fat content is to partially cook the food using another heating method (Melito and Farkas, 2012). There is an increasing interest in microwaving foods for several reasons: it is faster than conventional methods, the energy consumption is often lower and foods cooked by microwaving maintain nutritional integrity.vIn foods, the appearance is a main criterion in making purchasing decisions. Appearance is used throughout the production –storage-marketing-utilization chain as the key means of judging the quality of individual units of product. The appearance of unities of products could be assessed by considering their color and surface texture. The use of computer-vision technology has quickly increased in the fields of quality inspection, classification and evaluation in processing a large number of food products (Brosnan and Sun, 2004). Therefore the aim of this study was to study the effects of microwave pre-treatment on sensory and appearance properties of donut.

Materials and methods: Response surface methodology and Box- Behnken design were applied to evaluate the effects of independent variable include microwave power (300-900 W), microwave time (30-90 s) and frying time (70-130 s) on sensory and appearance properties of donuts. Donuts were prepared according to the formulation by Melito and Farkas (2012) with some modifications. Ingredients used in donuts formulation were consisted of 100 g of wheat flour (9 g/100g), 52 g of water, 9.75 g of Shortening, 14 g of Egg, 14 g of water for yeast, 6.80 g of sugar, 6.80 g of nonfat dried milk powder, 3.25 g of active dried yeast, 1.70 g of Vanilla extract, 1.7 g of baking powder, 1.70 g of Salt, 1.3 g of Persian gum and 7.00 g of carrot pomace powder. The dough was cut into squares approximately 50 mm on each side. Then, the dough pieces were allowed to proof for 30 min at 27 ºC. The proofed samples were pre-treated using a microwave oven at different levels of microwave power and microwave time in accordance with the experimental design. Formerly, the per-treated donuts were deep-fat fried in a Moulinex deep-fat fryer (model F18-RA, France) filled with 1.5 L of vegetable frying oil (A mixture of Sunflower, palm, and soybean oil; Behshahr CO., Tehran, Iran) at different levels of frying time in accordance with the experimental design. The oil was preheated for 30 min prior to frying and replaced with fresh oil after every frying process. After frying, donuts were removed from the fryer and allowed to cool for 30 min on paper towels. They were then stored in coded sealed polyethylene bags.The evaluation of the crumb grain and crust color of donuts was performed using an image analysis system consisted of a Canon digital camera (model SX60 HS, Japan) and a personal computer with a Pentium(R) Dual-Core processor and Windows 7 Ultimate. The samples were photographed at a fixed distance of 30 cm from the crumb of samples, which were sitting inside a black box. The captured images were analyzed using the MATLAB R2014a software (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA).The CIE L*a*b* (or CIELAB) color model was used for determination of the crust color of donuts. Crumb grain features of the donut samples were obtained with described digital image analysis system. After imaging, each image was converted from RGB format to 8 bits (grey level) using the MATLAB software. In this format, an area of 3×3 cm^2 was selected at the center of the captured image. After contrast enhancement of image, the image segmented using the Otsu algorithm, which produces highly uniform binary images (Otsu, 1979). Finally, crumb grain properties of donuts were studied by determination of cells densities and area of cells. Sensory evaluation of donut samples was carried out by assigning scores for crust appearance, crumb appearance, crust color, aroma, texture, taste and overall acceptance parameters based on a nine-point hedonic

1, 2 3. Former MSc student, Associated Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran.
(*Corresponding author Email: b_nasehi@yahoo.com)

scale. (Stone *et al*., 2012).

Results and discussion: Results showed that roughness of the donuts surface increased significantly ($p<0.05$) with increasing microwave power, microwave time and frying time levels. The significant positive linear effect ($p<0.05$) of independent variables and a significant negative quadratic effect of microwave power ($p<0.05$) were observed on crumb grain properties of donut (Table 5). With regard to samples color, L* considerably decreased and a* considerably ($p<0.05$) increased as levels of frying time was increased (Table 5). Results of sensory evaluation, illustrated that frying time significantly ($p<0.05$) increased consumer acceptance scores (Table 7). Furthermore, results of correlation analysis revealed that there were strong linear relationships between appearance properties of donuts and sensory attributes (Table 8).

Keywords: Appearance properties, Donut, Machine vision, Microwave pre-treatment