



بررسی خصیصه‌های رنگی و بافتی دونات کم کالری حاوی مالتودکسترین با استفاده از سامانه بینایی ماشین

علی گنج‌لو^{1*}، محسن زندی²، ماندانا بی‌مکر¹

1 دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

2 استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	در مطالعه حاضر برای ارزیابی خصیصه‌های رنگی و بافتی مغز دونات کم کالری یک روش پردازش تصویر ساده بر اساس تصاویر RGB با استفاده از سیستم بینایی ماشین طراحی شد. بر این اساس اثر جایگزینی مالتودکسترین با مارگارین در سطوح 25، 50، 75 و 100 درصد (وزنی/وزنی) بر خصوصیات بینایی ارزیابی گردید. این خصیصه‌ها شامل رنگ مغز دونات (L^* ، a^* و b^*)، کسر مساحت منافذ، تعداد سلول در سانتی‌متر مربع، شکل منافذ، عدد اولر، بعد برخالی مرزهای منافذ و بافت مغز (کنتراست، آنتروپی، همبستگی، انرژی و همگنی) بود. نتایج نشان داد که افزودن مالتودکسترین به‌طور معنی‌دار سبب افزایش روشنایی (L^*) و کاهش زردی (a^*) مغز دونات می‌گردد. کنتراست، آنتروپی و عدد اولر مغز دونات حاوی 75 و 100 درصد مالتودکسترین به‌طور قابل توجهی بالاتر از نمونه‌های شاهد، 25 و 50 درصد بود. همبستگی، انرژی، همگنی، متوسط سطح و قطر حفره‌ها، تعداد سلول (حفره) در هر سانتی‌متر مربع و نسبت سطحی منافذ پس از افزودن مالتودکسترین (75 یا 100 درصد) کاهش یافت اما هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد، 25 و 50 درصد مشاهده نشد ($p < 0/05$). مقدار بعد برخالی مرز منافذ در دونات حاوی 100 درصد مالتودکسترین بیشترین مقدار بود که نشان می‌دهد افزودن مالتودکسترین باعث ایجاد مرزهای متخلخل نامنظم و پر پیچ و خم می‌گردد.
کلمات کلیدی:	
پردازش تصویر،	
خصیصه‌های بافتی،	
خصیصه‌های رنگی،	
دونات کم کالری، مالتودکسترین.	
DOI: 10.22034/FSCT.19.125.11	
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.2.1	
* مسئول مکاتبات:	
aganjloo@znu.ac.ir	

1- مقدمه

دونات ازجمله فرآورده‌های قنادی سرخ شده محبوب بر پایه آرد گندم در رژیم غذایی مردم در سراسر جهان می‌باشد. ویژگی‌های ظاهری در کنار ویژگی‌های شیمیایی، حسی و تغذیه‌ای از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب و پذیرش نهایی فرآورده‌های غذایی توسط مصرف‌کنندگان هستند. در نتیجه ارزیابی ویژگی‌های ظاهری قبل از ارائه فرآورده‌های غذایی خصوصاً آنهایی که به عنوان فرآورده جدید به بازار معرفی می‌شوند بسیار ضروری است چرا که معمولاً مصرف‌کننده به مقایسه آنها با فرآورده‌های موجود در بازار می‌پردازد. ارزیابی ویژگی‌های ظاهری فرآورده‌های غذایی را می‌توان با استفاده از روش‌های مبتنی بر نیروی انسانی و یا روش‌های آزمایشگاهی انجام داد که استفاده از این روش‌ها معمولاً پیچیده، زمان‌بر، مخرب، همراه با خطا و مستلزم پرداخت هزینه‌های بالای کارگری است [1]. به دلیل همین محدودیت‌ها، روش‌های جایگزین سریع، غیرمخرب با دقت و قابلیت اعتماد بالا نظیر سامانه بینایی ماشین¹ در حال گسترش است. این سامانه مبتنی بر تکنیک‌های پردازش تصویر بوده و شاخه‌ای از هوش مصنوعی محسوب می‌شود که در آن بینایی انسان شبیه‌سازی می‌شود. لذا از آن می‌توان به عنوان ابزاری با مزایایی نظیر عدم تخریب نمونه، کاهش هزینه و زمان لازم برای دستیابی به پاسخ، عدم اتکا به فرد، دقت و صحت بالا برای کنترل کیفیت، جداسازی و درجه‌بندی فرآورده‌های کشاورزی استفاده نمود [2-4]. بررسی منابع نشان می‌دهد طی سالیان اخیر این سامانه به‌طور موفقیت آمیزی در ارزیابی ویژگی‌های ساختاری مغز نان [5، 6]، ساختار فرآورده‌های نانوائی متخلخل [7] و ویژگی‌های بینایی دونات [8] مورد استفاده واقع شده است.

متأسفانه فرآورده‌ای نظیر دونات به‌علت استفاده از مقادیر بالایی از کربوهیدرات‌ها و لیپیدها در ترکیب فرمولاسیون و همچنین روش تولید که معمولاً به‌روش سرخ کردن غوطه‌وری است جزء محصولات پرکالری بشمار می‌آید [9]. در دهه‌های اخیر تمایل به استفاده از فرآورده‌های غذایی با کالری کاهش یافته

به دلیل اثبات وجود ارتباط تنگاتنگ بین مصرف فرآورده‌های غذایی پر کالری و بروز بیماری‌های مختلف و همچنین تغییر نگرش مردم مبنی بر محدود نمودن کالری دریافتی روزانه به شدت در حال افزایش است. استفاده از چربی‌ها در فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی به‌علت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حسی غیر قابل اجتناب است اما استفاده از آنها منجر به افزایش کالری فرآورده نهایی می‌گردد. در سالیان اخیر استفاده از جایگزین‌های چربی به‌منظور محدود کردن کالری و جلوگیری از بروز تأثیرات کیفی نامطلوب در پی حذف چربی‌ها از فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی مطرح شده است. مالتودکسترین یک جایگزین چربی بر پایه کربوهیدرات و فاقد طعم شیرین است. محلول مالتودکسترینی رنگ بوده و با ایجاد یک شبکه ژلی قادر است تا احساس دهانی شبیه چربی‌ها اما با 50 درصد انرژی کمتر تولید نماید [10، 11]. بر اساس منابع علمی در دسترس تا کنون به‌طور موفقیت آمیزی از مالتودکسترین با درصدهای مختلف جایگزینی در فرمولاسیون فرآورده‌های کم کالری نظیر شیرینی سنتی قطاب [12]، شیرینی مافین [13]، بیسکویت بدون قند [14]، نان بدون گلوتن [15]، پنیر خامه‌ای کم چرب [16] و سس مایونز [17] استفاده شده است. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تأثیر جایگزینی مالتودکسترین با مارگارین در فرمولاسیون دونات کم کالری بر خصیصه‌های رنگی و بافتی و همچنین بررسی عملکرد سامانه بینایی ماشین به‌عنوان ابزاری غیر مخرب برای بررسی این خصوصیات بود.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد اولیه

مواد اولیه مورد نیاز برای تولید خمیر دونات شامل آرد گندم (رطوبت 13/35 درصد، خاکستر 0/98 درصد، پروتئین 11 درصد)، شیر خشک، وانیل، خمیر مایه، مارگارین، شکر، نمک، بیکنینگ پودر، مخمر، شیر خشک و وانیل از یک فروشگاه عرضه کننده مواد اولیه قنادی در شهر زنجان خریداری شد. تخم مرغ تازه تا زمان استفاده در یخچال با دمای 4 درجه

1. Machine vision system

سلسیوس نگهداری گردید. مالتودکسترین نشاسته ذرت با معادل دکستروز 18-20 از شرکت سی سیب (ایران) خریداری شد. از روغن سرخ کردن گدنی گیاهی فامیلا (ایران) برای سرخ کردن دونات‌ها استفاده شد.

2-2- روش آماده سازی خمیر و فرایند سرخ کردن دونات

آماده‌سازی خمیر دونات شاهد طبق فرمولاسیون ارائه شده توسط سلطان (1969) با اندکی تغییر صورت پذیرفت [18]. بدین منظور ابتدا حدود 10 گرم مخمر با مقدار اندکی آب 35 درجه سلسیوس و شکر مخلوط و به مدت 30 دقیقه در ظرفی در بسته نگهداری شد. سپس مارگارین آب‌شده (60 گرم) و 37 گرم تخم مرغ کامل به مدت یک دقیقه با استفاده از هم‌زن خانگی هم‌زده شدند. سپس سایر مواد خشک پودری شامل 300 گرم آرد گندم، 20 گرم شکر، 19 گرم شیر خشک، 4/72 گرم وانیل، 4/72 گرم نمک و 4/72 گرم بیکنینگ پودر با هم مخلوط شدند و پس از عبور از الک با اندازه مش 40 به تدریج به مواد مایع اضافه شدند و در نهایت پس از افزودن مقدار آب مورد نیاز به مدت 5 دقیقه ورز داده شد. خمیر به صورت چانه به مدت 30 دقیقه جهت گذراندن دوره تخمیر اولیه درون گرم‌خانه با دمای 35 درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس با استفاده از یک وردنه به ضخامت تقریباً یک سانتی‌متر پهن گردید و با استفاده از قالبی با قطر خارجی 93 میلی‌متر و قطر داخلی 26 میلی‌متر قالب‌زنی شد. خمیرهای قالب‌زنی شده به مدت 20 دقیقه درون گرم‌خانه با دمای 35 درجه سلسیوس جهت تکمیل دومین مرحله تخمیر قرار گرفتند. برای تهیه دونات کم کالری از مالتودکسترین به ترتیب در چهار سطح 25، 50، 75 و 100 درصد به‌عنوان جایگزین مارگارین استفاده شد. کلیه مراحل تولید دونات‌های کم کالری نظیر مراحل تولید نمونه شاهد انجام شد. در نهایت خمیرهای دونات در یک دستگاه سرخ‌کن برقی (نانیوا، ایران) مجهز به ترموستات و سبد توری ضد زنگ در دمای 180 درجه سلسیوس به مدت زمان سه دقیقه برای قسمت زیرین و سه دقیقه برای قسمت بالایی

سرخ شدند. دمای روغن در تمامی مراحل سرخ کردن با استفاده از دماسنج لیزری (MASTECH, MS6520B, TAIWAN) کنترل شد. در انتها دونات‌ها از دستگاه سرخ‌کن خارج شدند و به منظور سرد شدن و حذف روغن اضافی به مدت 30 دقیقه در دمای اتاق (حدود 25 درجه سلسیوس) روی کاغذ جاذب روغن قرار گرفتند. دونات‌های آماده شده تا زمان انجام آزمایشات (حداکثر 1 ساعت بعد) در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری شدند.

2-3- تصویربرداری

از یک محفظه پردازش تصویر مجهز به دو لامپ SMD 15 وات، مهتابی) که با زاویه 45 درجه نسبت به سطح افق و در فاصله 50 سانتی‌متر واقع شده است، برای تصویربرداری استفاده گردید. برای تثبیت سیستم نورپردازی، حدود 30 دقیقه قبل از تصویربرداری، سیستم روشن گردید. تصاویر با کمک دوربین سونی (مدل DSC-H5، ژاپن) با فاصله کانونی 45 میلی‌متری و در فاصله 40 سانتی‌متری نسبت به نمونه ثبت گردید. برای دستیابی به یکنواختی و تکرارپذیری بالا از دیافراگم لنز 5/6 ISO100 و سرعت شاتر 1/80 ثانیه استفاده گردید. تصاویر خام با فرمت TIFF و وضوح 3072x2304 و با قدرت تفکیک 0/03 میلی‌متر در هر پیکسل از طریق درگاه USB به رایانه رومیزی با RAM برابر 8 گیگابایت و پردازنده Intel Core i7 منتقل و ثبت گردید. در این مطالعه، نمونه‌های دونات به‌طور افقی به دو نیمه تقسیم شدند و از دو نیمه برای بررسی استفاده گردید.

2-4- رنگ مغز دونات

تعیین رنگ مغز دونات با استفاده از تصاویر RGB به‌دست آمده و با کمک تبدیل محیط تصویر از محیط RGB به محیط $L^*a^*b^*$ CIE انجام شد. مشخصه‌های رنگی و مقادیر رنگ بر اساس خصوصیات L^* یا روشنایی (0=سیاه و 100=سفید)، a^* (-60=سبز و 60=قرمز) و b^* (-60=آبی و 60=زردی) محاسبه گردید.

2-5- پیش‌پردازش و استخراج خصیصه

$$Con = \sum_{i,j=1}^N |i - j|^2 P_{ij} \quad (1)$$

$$Corr = \sum_{i,j=1}^N P_{ij} \frac{(i - \mu)(j - \mu)}{\sigma^2} \quad (2)$$

$$Eng = \sqrt{\sum_{i,j=1}^N P_{ij}^2} \quad (3)$$

$$Hom = \sum_{i,j=1}^N \frac{P_{ij}}{1 + |i - j|} \quad (4)$$

$$Ent = - \sum_{i,j=1}^N P_{ij} \log(P_{ij}) \quad (5)$$

خصیصه کنتراست (*Con*) نشان‌دهنده تنوع شدت سطوح خاکستری است و شدت بین یک پیکسل را با پیکسل مجاور نسبت به کل تصویر اندازه‌گیری می‌کند که برای یک تصویر ثابت برابر صفر است؛ توصیف‌کننده همبستگی (*Corr*) میزان خطی بودن و همبستگی تصویر و به عبارتی میزان همبستگی یک پیکسل با پیکسل مجاور خود در کل تصویر را نشان می‌دهد که بین 1 و -1 است و برای یک تصویر ثابت، تعریف نشده است؛ خصیصه انرژی (*Eng*) نشان‌دهنده میزان صافی و یکنواختی سطح نمونه است که برای یک تصویر ثابت برابر یک است و با کاهش صافی این پارامتر نیز کاهش می‌یابد؛ خصیصه همگنی (*Hom*) نیز میزان یکنواختی تصویر را نشان می‌دهد که بین صفر و یک می‌باشد. آنتروپی (*Ent*) پیچیدگی تصویر را با توجه به موقعیت مکانی سطوح خاکستری در تصویر اندازه‌گیری می‌کند [19].

2-7- ساختار و شکل منافذ مغز دونات

در این مرحله پس از تنظیم آستانه، شکل منافذ، توزیع اندازه منافذ، تعداد سلول در سانتی‌متر مربع، نسبت کسری مساحت منافذ به سطح کل با استفاده از نرم افزار ImageJ محاسبه گردید. با داشتن خطکش استاندارد و تنظیم مقیاس، پیکسل به سانتی‌متر تبدیل گردید [20]. از نتایج حاصل از منافذ مغز

ابتدا تصاویر با استفاده از فیلتر شارپ (تصویر 1-b) تصحیح گردید و بزرگ‌ترین سطح مقطع تصویر به شکل مستطیل تقطیع شد (تصویر 1-c). سپس تصویر رنگی به مقیاس خاکستری تبدیل شد (تصویر 1-d). تجزیه و تحلیل تصویر با استفاده از نرم‌افزار ImageJ (نسخه 1/52، مؤسسه ملی بهداشت، ایالات متحده آمریکا) و جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب (R2019a، Mathworks، ایالات متحده آمریکا) انجام پذیرفت.

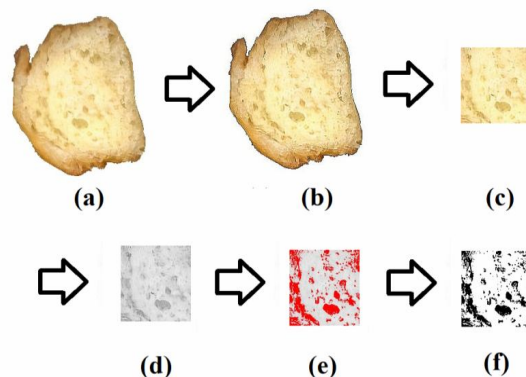


Fig 1 (a) Original image, (b) Image after filtering (sharpening), (c) Cropped image, (g) Grayscale image, (e) Thresholding and (f) Binary image.

2-6- تجزیه و تحلیل تصویر بافت مغز دونات

ماتریس خاکستری هم وقوع (GLCM)¹ یکی از روش‌های آماری پرکاربرد در تجزیه و تحلیل بافت تصویر می‌باشد که در آن مشخصه‌های بافت توسط برخی روش‌های آماری از ماتریس هم‌زمانی $p(i,j)$ با مقادیر شدت خاکستری i و j به دست می‌آید. دو پارامتر جهت جفت‌های پیکسلی (0، 90، 180 و 270) و فاصله بین جفت پیکسلی (برابر 1) انتخاب گردید تا GLCM با شمردن جفت‌های پیکسلی با مقادیر شدت خاکستری i و j در جهت و فاصله تعیین شده تشکیل گردد. 14 توصیف‌کننده بافت سطحی برای تجزیه و تحلیل کمی GLCM وجود دارد که در این بین پنج خصیصه کنتراست²، همبستگی³، انرژی، همگنی⁴ و آنتروپی معمول‌تر می‌باشند [19-21]:

1. Gray level co-occurrence matrix (GLCM)
2. Contrast
3. Correlation

4. Homogeneity

نرم افزار ImageJ محاسبه گردید. عدد اولر⁶ رابطه بین تعداد بخش های پیوسته و تعداد حفره ها در شکل را نشان می دهد. این عدد از تفاضل تعداد سوراخ ها از تعداد بخش های پیوسته به دست می آید.

2-9- تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی تاثیر جایگزینی مالتودکستری از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تمام اندازه گیری ها با سه تکرار و تجزیه و تحلیل داده ها با کمک تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه (one-way ANOVA) و در سطح معنی داری 5% انجام پذیرفت. برای مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده گردید. جهت تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS نسخه 26 و رسم نمودار از نرم افزار اکسل نسخه 2019 استفاده شد.

3- نتایج و بحث

3-1- رنگ مغز دونات

رنگ ویژگی بصری مهمی است که با شاخص های کیفی فیزیکی و شیمیایی و حسی در ارتباط است که بر نظر نهایی مصرف کننده موثر می باشد. همان طور که در جدول 1 مشاهده می شود، با افزایش میزان مالتودکستری مولفه روشنایی (شاخص L^*) مغز دونات به طور معنی داری افزایش یافت ($p < 0/05$). از آنجائی که با جایگزینی مالتودکستری از میزان جذب روغن نمونه ها کاسته می شود [24]، در نتیجه رنگ نمونه ها روشن تر شده است؛ به همین دلیل میزان مولفه b^* (زردی) نمونه ها با افزودن مالتودکستری به طور معنی داری کاهش یافت ($p < 0/05$). نتایج همچنین نشان دهنده تاثیر غیرمعنی دار افزودن مالتودکستری بر میزان مولفه a^* (قرمزی) است.

دونات برای محاسبه میزان تخلخل استفاده گردید که از نسبت مجموع سطح حفرات هوا به سطح کل مغز دونات محاسبه شد.

در این مرحله برای تعیین شکل منافذ، خصیصه های شکلی منافذ مانند مدور بودن (Cir)¹، نسبت ابعاد (AR)² و گرد بودن (Rou)³ با استفاده از نرم افزار ImageJ مورد بررسی قرار گرفت. مقدار Cir بین 0 تا 1 است و Cir برابر یک نشانگر دایره کامل است؛ مقدار Cir برابر است با:

$$Cir = 4\pi \times \frac{A}{P^2} \quad (5)$$

که A و P به ترتیب محیط و سطح منافذ می باشد. AR برابر نسبت طول محور اصلی (قطر اصلی، D) به طول محور فرعی (قطر فرعی، d) منافذ است:

$$AR = \frac{D}{d} \quad (6)$$

مقدار Rou نشان دهنده میزان تفاوت شکل منافذ از دایره کامل است:

$$Rou = \frac{A}{4\pi \times D^2} \quad (7)$$

2-8- محاسبه بعد برخالی (فراکتال⁴)

بعد برخالی میزان بی نظمی یک شی از الگوی فضایی را کمی می کند. روش های مختلفی برای اندازه گیری خصوصیات برخالی یک جسم یا ساختار هندسی وجود دارد. یکی از ساده ترین و متداول ترین روش ها برای تعیین کمیت فراکسیون، روش مربع شمار⁵ است که نتیجه آن بعد برخالی شیا تصویر است. بعد برخالی سطح پیچیدگی یا مقدار جزئیات را از طریق مقیاس نشان می دهد [22، 23]. برای محاسبه بعد برخالی ابتدا از تصویر خاکستری (8 بیتی) استفاده گردید و به تصاویر دودویی تبدیل گردید (تصویر 1-f). مرز منافذ استخراج شد و در آخر مقدار بعد برخالی با استفاده از روش مربع شمار و با استفاده از

1. Circularity
2. Aspect Ratio
3. Roundness
4. Fractal
5. Boxcounting

6. Euler's number

Table 1 Effect of maltodextrin addition on color features of doughnut crumb

Feature	Maltodextrin (%)				
	0	25	50	75	100
<i>L*</i>	87.4 ^a	88.6 ^{ab}	90.7 ^b	91.2 ^b	92.2 ^c
<i>a*</i>	-4.7 ^a	-4.1 ^a	-4.9 ^a	-4.8 ^a	-5.1 ^a
<i>b*</i>	8.5 ^a	8.4 ^a	8.2 ^a	7.6 ^b	6.9 ^c

Different letters in each row show significant difference at $p < 0.05$.

از این‌رو در این مطالعه فاصله مکانی یک پیکسل و در چهار جهت 0، 90، 180 و 270 انتخاب شد. نتایج نشان داد که با افزودن مالتودکسترین انرژی، همگنی و همبستگی به‌طور معنی‌داری کاهش و در مقابل آن‌تروپی نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0/05$). کاهش میزان انرژی، همگنی و همبستگی و افزایش میزان آن‌تروپی (پیش‌چیدگی تصویر) نشان‌دهنده زبری سطحی بیشتر است. سطوح با انرژی، همگنی و همبستگی بالاتر و آن‌تروپی پایین‌تر، سطوحی صاف هستند [25].

3-2- ویژگی‌های بافتی (تصویر) دونات

ویژگی‌های بافتی را می‌توان با روش‌های ساختاری، اطلاعات آماری مبتنی بر مدل استخراج کرد. GLCM یک الگوریتم شناخته شده برای استخراج ویژگی‌های بافتی است که جزء روش‌های آماری است. بافت‌تصویر با ساختار فاصله‌ای پیکسل‌ها در تصویر مرتبط است و GLCM وقوع سطح خاکستری را بین دو پیکسل جدا شده در تصویر با یک فاصله معین توصیف می‌کند [20]. از آنجائی که کاهش یا افزایش فاصله مکانی یک روند را در تغییرات شاخص‌های بافت سطحی نشان می‌دهد،

Table 2 Effect of maltodextrin addition on texture features of doughnut crumb.

Feature	Maltodextrin (%)				
	0	25	50	75	100
Contrast	0.1811 ^a	0.1976 ^a	0.2011 ^a	0.2431 ^b	0.2831 ^c
Correlation	0.7531 ^a	0.7405 ^a	0.7249 ^a	0.6748 ^b	0.6431 ^c
Entropy	4.659 ^a	4.716 ^a	4.947 ^b	5.108 ^b	5.768 ^c
Energy	0.6983 ^a	0.6423 ^a	0.5691 ^b	0.5021 ^b	0.3369 ^c
Homogeneity	0.9834 ^a	0.9549 ^a	0.9401 ^a	0.9065 ^b	0.8719 ^c

Different letters in each row show significant difference at $p < 0.05$.

و صمغ فارسی غلظت پروتئین‌های گلوتن کاهش می‌یابد و شبکه گلوتن - نشاسته تضعیف می‌گردد؛ در نتیجه سبب تسهیل خروج حباب‌های هوا طی پخت و افزایش زبری می‌شود (کاهش میزان انرژی، همگنی و همبستگی و افزایش میزان کنتراست و آن‌تروپی) [26].

3-3- شکل و ساختار منافذ مغز دونات

ارتباط مستقیمی بین تشکیل و توسعه شبکه گلوتنی و تغییرات حجم (ایجاد منافذ) متاثر از فعالیت مخمرها و آزاد شدن دی اکسیدکربن در فرآورده‌های خمیری نظیر دونات وجود دارد. مغز محصولاتی مانند نان و دونات در حقیقت کف ویسکوالاستیک با توزیع تصادفی از سلول‌های منافذ می‌باشد. تعداد منافذ در سانتی‌متر مربع و کسر سطح منافذ (درصد) در شکل 1 نشان داده شده است، نتایج مشخص نمود که جایگزینی مارگارین با مالتودکسترین در فرمولاسیون دونات تأثیر معنی‌داری بر اندازه حفرات و کسر سطح منافذ داشت ($p < 0/05$). اگرچه جایگزینی 25 و 50 درصد مالتودکسترین

همان‌طور که در جدول 2 مشاهده می‌گردد، اگرچه افزودن سطوح 25 و 50 درصد مالتودکسترین تأثیر معنی‌داری بر تغییر میزان انرژی، کنتراست، همگنی، همبستگی و انرژی نسبت به نمونه شاهد نداشت ($p < 0/05$) ولی سطوح بالاتر (75 و 100 درصد مالتودکسترین) تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان انرژی، همگنی و همبستگی و افزایش میزان کنتراست و آن‌تروپی داشت ($p < 0/05$). این نتایج نشان داد که افزودن مالتودکسترین در سطوح بالا سبب افزایش زبری سطح می‌گردد. با افزایش میزان مالتودکسترین و کاهش میزان چربی نمونه شبکه گلوتن توسعه کافی پیدا نمی‌کند [24] و در نتیجه با تضعیف ساختار خمیر خروج هوا از طریق سطح تسهیل می‌گردد و قابلیت نگهداری گاز کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه زبرتر شدن سطح نمونه‌ها را می‌توان ناشی از خروج بیشتر حباب‌های هوا از سطح نمونه‌ها دانست. نوری و همکاران نتایج مشابهی از افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج بر خصوصیات بافت تصویر به‌دست آوردند. آنها دریافتند که با افزودن فیبرهای غیرمحلول

تخلخل در نمونه‌های دونات با جایگزینی 75 یا 100 درصد نسبت به نمونه شاهد به ترتیب 67 و 75 درصد بود. نوری و همکاران نیز دریافتند که افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج تأثیر منفی بر مساحت و دانسیته منافذ دارد و باعث کاهش تخلخل می‌گردد؛ آنها این امر را ناشی از تضعیف شبکه گلوئن - نشاسته و تسهیل خروج حباب‌های هوا دانستند [26].

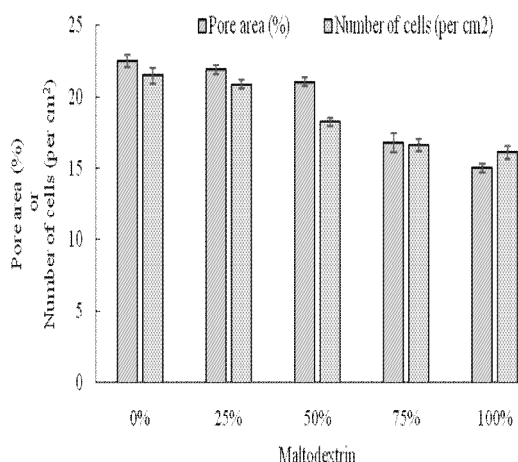


Fig 2 Effect of maltodextrin addition on pore area fraction and number of cells per cm² of doughnut crumb.

Table 3 Effect of maltodextrin addition on number of cell, mean pore area and diameter of doughnut crumb

Feature	Maltodextrin (%)				
	0	25	50	75	100
Number of cell detected	2789 ^a	2651 ^a	2518 ^a	2111 ^b	1934 ^c
Mean pore area (mm ²)	0.56 ^a	0.51 ^a	0.47 ^a	0.33 ^b	0.29 ^c
Mean pore diameter (mm)	0.38 ^a	0.36 ^a	0.35 ^b	0.29 ^b	0.28 ^c

Different letters in each row show significant difference at $p < 0.05$.

داده‌های شکل سلول منافذ دونات در شکل 3 نشان داده شده است. *Rou* معیار اندازه‌گیری تفاوت شکل منافذ از دایره کامل می‌باشد. منافذ کاملاً گرد مقدار *Rou* در حدود یک دارند. نتایج نشان داد که با جایگزینی مالتودکسترین خصیصه‌های *Rou*، *Cir* و *AR* تغییر معنی‌داری نداشتند ($p < 0.05$) که این امر نشان‌دهنده عدم تغییر شکل منافذ می‌باشد.

3-4- بعد بر خالی

مشخص شده است که به جهت ساختار مورفولوژیکی نامنظم و پیچیده، مغز دونات را می‌توان به عنوان یک بر خالی طبیعی در نظر گرفت و می‌توان ظاهر مغز محصولاتی مثل نان و دونات را با محاسبه بعد بر خالی تصویر دیجیتال آنها کمی نمود. مفهوم بعد بر خالی به سبب فراهم کردن داده‌های عددی

تأثیر معنی‌داری بر کاهش تعداد منافذ در سانتی‌متر مربع، کسر سطح منافذ (درصد)، سطح و قطر منافذ نداشت ولی جایگزینی 75 و 100 درصد سبب کاهش این خصیصه‌ها گردید. هرچه کسر سطحی منافذ بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده وجود حباب‌های هوای بیشتر در ساختار مغز دونات و حجم بیشتر و تراکم کمتر بافت است. تشکیل شبکه گلوئینی با قابلیت نگهداری گاز و افزایش حجم یکی از خصوصیات منحصر به فرد آرد گندم است. افزودن مالتودکسترین به دلیل کاهش میزان چربی سبب تضعیف شبکه گلوئینی و جذب بالای آب می‌گردد و این امر باعث کاهش تعداد و اندازه حفرات و پخش غیر یکنواخت سلول‌های گازی موجود در مغز بافت دونات گردید. بنابراین از تغییرات این خصیصه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که میزان تخلخل دونات با جایگزینی 75 یا 100 درصد مارگارین توسط مالتودکسترین بطور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند ($p < 0.05$) که در نتیجه تأثیر منفی بر خصوصیات کیفی محصول می‌گذارد. عدم امکان خروج آن همان‌گونه که مشاهده می‌شود بر اساس نتایج حاصل از کسر سطحی منافذ، رابطه معکوسی بین درصد جایگزینی با تخلخل مغز دونات وجود دارد. این کاهش

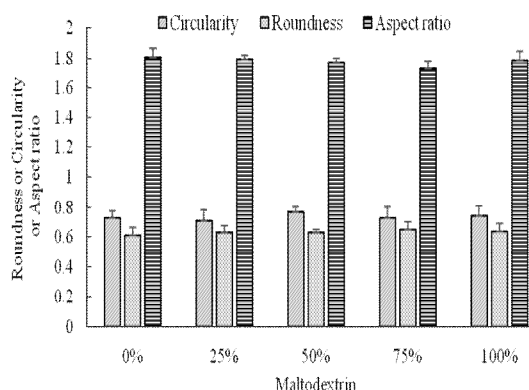


Fig 3 Effect of maltodextrin addition on pore shape (roundness, circularity and aspect ratio) of doughnut crumb

شکل منافذ، اطلاعات ارزشمندی در مورد ویژگی‌های ساختاری محصولات خمیری فراهم می‌کند. نتایج حاصل از

می‌باشد. همان‌طور که در جدول 4 مشاهده می‌گردد، افزودن مالتودکستری تا سطح 75 درصد تاثیر معنی‌داری بر مقادیر بعد برخالی ندارد، ولی در سطح 100 درصد مقدار بعد برخالی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده مرزهای نامنظم، پریچ‌وخم و زیر است و تخریب بافت مغز دونات است. این نتایج با نتایج حاصل از بافت تصویر مطابقت دارد.

برای محصولات غذایی با اشکال نامنظم و بافت پیچیده اهمیت دارد. بعد برخالی در اشکال دو بعدی بین 1 تا 2 متغیر می‌باشد که هرچه به یک نزدیک باشد یعنی تصویر جسم مورد تجزیه و تحلیل دارای مرزهای صاف است و هرچه به مقدار 2 نزدیک گردد، نشان‌دهنده درجه بالایی از زبری یا پیچ‌وخم در تصویر است [27]. مقدار بعد برخالی دیواره حفره‌های موجود در مغز دونات وابسته به پیچ‌وخم و انحنا دیواره حفره‌ها

Table 4 Effect of maltodextrin addition on fractal dimension of cell boundary and Euler number of doughnut crumb

Feature	Maltodextrin (%)				
	0	25	50	75	100
Fractal dimension	1.343 ^a	1.348 ^a	1.351 ^a	1.352 ^a	1.367 ^b
Euler number	1724 ^a	1698 ^a	1773 ^a	1843 ^b	1892 ^b

Different letters in each row show significant difference at $p < 0.05$.

این حال خصیصه‌های مرتبط با شکل منافذ تغییر معنی‌داری نکرد ($p < 0/05$). افزایش بعد برخالی در سطوح 100 درصد مالتو دکستری نشان‌دهنده ساختار مرزهای نامنظم، پریچ‌وخم و زیر بافت نمونه نسبت به نمونه شاهد است. این نتایج نشان داد که از یک طرف جایگزینی مالتودکستری تا 50 درصد تاثیر معنی‌داری در خصوصیات بینایی مغز دونات کم کالری ندارد و از سوی دیگر می‌توان از تحلیل تصاویر رقمی با کمک سیستم ماشین بینایی به عنوان ابزاری دقیق، ارزان، انعطاف‌پذیر و سریع در ارزیابی محصولات و فراورده‌های نانویی به‌صورت برخط و برون خط استفاده نمود.

برای تعیین توپولوژی (پیکربندی) یک تصویر از عدد اولر استفاده می‌گردد که ساختار یک تصویر را بدون توجه به شکل خاص هندسی آن توصیف می‌کند [27]. مقدار مطلق عدد اولر بین نمونه‌های شاهد، حاوی 25 و حاوی 50 درصد مالتودکستری، تفاوت معنی‌داری نداشت و افزودن 75 و 100 درصد سبب افزایش معنی‌دار مقدار مطلق عدد اولر گردید.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر جایگزینی مارگارین با مالتودکستری بر خصوصیات مغز دونات از طریق تحلیل تصاویر رقمی مورد مطالعه قرار گرفت. این تحلیل با کمک خصیصه‌های بافتی و رنگی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که افزودن مالتودکستری سبب می‌شود که خصیصه‌های L^* و b^* به ترتیب افزایش و کاهش یابند ولی خصیصه a^* تغییر معنی‌داری نداشت ($p < 0/05$) که احتمالاً به سبب کاهش جذب روغن نمونه‌ها است. سطوح بالای مالتودکستری (75 و 100 درصد) همچنین تاثیر معنی‌داری بر کاهش میزان انرژی، همگنی و همبستگی و افزایش میزان کنتراست و آنتروپی داشت ($p < 0/05$) که نشان‌دهنده افزایش زبری سطح می‌باشد و ناشی از خروج بیشتر حباب‌های هوا از سطح نمونه‌ها است. بر اساس نتایج حاصل از شکل و اندازه منافذ، رابطه معکوسی بین درصد جایگزینی با تخلخل مغز دونات وجود داشت، به‌طوری‌که جایگزینی 75 یا 100 درصد مالتودکستری به ترتیب سبب کاهش 67 و 75 درصد تخلخل نسبت به نمونه شاهد گردید؛ با

5- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر حاصل از طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان با عنوان "استفاده از سیستم پردازش تصویر به‌منظور تعیین خصوصیات رنگی و بافتی دونات‌های کم کالری" مورخ 1399/07/20 و دوازدهمین جلسه شورای آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان مورخ 1399/08/05 می‌باشد. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق ما را یاری کردند، سپاسگزاری می‌نمایم.

6- منابع

- [1] Brosnan, T. and Sun, D.-W. 2004. Improving quality inspection of food

- [11] Sibel, R. and Sylvia, A.J. 1996. Handbook of fat replacers. CRC Press, Boca Raton.
- [12] Ghandehari Yazdi, A.P., Hojjat aleslami, M., Keramat, J. and Jahadi, M. 2014. Study on the effect of replacing sucrose with sucralose-maltodextrin on the rheological properties and the amount of calories in Ghotab- A traditional confectionary. Innovative Food Technologies, 1(2): 49-58.
- [13] Najafi, S. and Salehifar, M. 2016. Optimization of production low-calorie muffin with natural sweetener stevia and maltodextrin. Journal of Food Research (Agricultural Science), 26(4): 715-724.
- [14] Nadian, N., Mosafa, L., Hojjatoleslami, M. and Adib, S.H. 2017. Effect of isomalt and maltodextrin on physical, textural and sensory properties of sugar-free biscuit with oat flour. Journal of Food Science and Technology, 69(14): 181-193.
- [15] Witczak, M., Korus, J., Ziobro, R. and Juszcak, L. 2010. The effects of maltodextrins on gluten-free dough and quality of bread. Journal of Food Engineering, 96: 258-265.
- [16] Rahmati, M., Hashemiravan, M. and Khani, M.R. 2018. Effect of hydrocolloids kappa-carrageenan and maltodextrin as fat substitutes on the production of low-fat cream cheese. Food Science and Technology, 14(73): 121-131.
- [17] Amiri Aghdaei, S.S., Aalami, M. and Rezaei, R. 2011. Feasibility of gum tragacanth and maltodextrin used as a fat replacer in mayonnaise. Electronic Journal of Food Processing and Preservation, 2(3): 1-18.
- [18] Sultan, W.J. 1969. Practical Baking, Second Ed. AVI Publishing Company Inc., Westport, CT.
- [19] Arakeri, M.P. and Lakshmana, L. 2016. Computer vision based fruit grading system for quality evaluation of tomato in agriculture industry. Procedia Computer Science, 79: 426-433.
- [20] Ireri, D., Belal, E., Okinda, C., Makange, N. and Ji, C. 2019. A computer vision system for defect discrimination and grading in tomatoes using machine learning and image processing. Artificial Intelligence in Agriculture, 2: 28-37.
- [21] Ganjloo, A., Zandi, M., Bimakr, M. and Monajem, S. 2020. Ripening stages control of cherry tomato coated with *aloe vera* gel products by computer vision—a review. Journal of Food Engineering, 61(1): 3-16.
- [2] Pordarbani, R., Gasemzadeh, H.R., Golzadeh, A.A. and Behfar, H. 2009. Feasibility study of apple quality grading using image processing. Journal of Food Research, 19(1): 75-85.
- [3] Ganjloo, A., Zandi, M., Bimakr, M. and Ghareh Baghi, A. 2021. Evaluation the effect of Farsi gum containing hemp seed oil coating on mass and volume changes of grape during cold storage using machine vision and machine learning systems. Journal of Food Science and Technology (Iran), 18(113): 157-172.
- [4] Ganjloo, A., Zandi, M., Bimakr, M. and Monajem, S. 2021. Visual grading of cherry tomatoes coated with aloe vera gel containing hemp seed oil using principal component analysis, artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system methods. Journal of Food Science and Technology (Iran), 18(116), pp. 143-159.
- [5] Gonzales-Barron, U. and 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.
- [6] Shahidi, F., Mohebbi, M. and Ehtiai, A. 2011. Image analysis of crumb digital images in Barbary bread enriched with soy flour. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 6(4): 247-253.
- [7] Rahimi, J., Baur, J. and Singh, A. 2020. Digital imaging as a tool to study the structure of porous baked foods. Journal of Cereal Science, 95: 103084.
- [8] Nouri, M., Nasehi, B. and Abdanan Mehdizadeh, S. 2017. Modeling the effects of Persian gum and carrot pomace powder addition on visual features of donut using response surface methodology. Food Science and Technology, 14(65): 285-299.
- [9] Zolfaghari, Z., Mohebbi, M. and Haddad khodaparast, M.H. 2013. Quality changes of donuts as influenced by leavening agent and hydrocolloid coating. Journal of Food Processing and Preservation, 37: 34-45.
- [10] Chronakis, I.S., 1998. On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: A Review. Critical Review in Food Science, 38: 599-673.

- assessmentT Trends in Food Science & Technology, 29(1): 35-43.
- [26] Nouri, M., Nasehi, B. and Abdanan Mehdizadeh, S. 2017. Modeling the effects of Persian gum and carrot pomace powder addition on visual features of donut using response surface methodology. Iranian Journal of Food Science and Technology, 35(14): 285-299.
- [27] Naji-Tabasi, S. and Mohebbi, M. 2015. Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. Journal of Food Measurement and Characterization, 9(1): 110-119.
- using artificial vision system. Iranian Journal of Food Science and Technology, 17(105): 135-149.
- [22] Moreira, I.C., 1999. In Complexidade e Caos, Ed. by H.M Nussenzveig (Editora UFRJ/COPEA, Rio de Janeiro). 51-82
- [23] Barros Filho, M. and Sobreira, F. 2005. Assessing texture pattern in slum across scales: an unsupervised approach, Vol. (CASA Working Papers Series). 87
- [24] Ganjloo, A., Bimakr, M. and Shiekhi, Z. 2021. Effect of maltodextrin-sucralose mixture on physical, chemical and sensory properties of reduced-calorie doughnut. Journal of Innovation in Food Science and Technology. In Press.
- [25] Jackman, P. and Sun, D.-W. 2013. Recent advances in image processing using image texture features for food quality



Evaluation of Color and Texture Features of Low-calorie Doughnut Containing Maltodextrin using Machine Vision System

Ganjloo, A.^{1*}, Zandi, M.², Bimakr, M.¹

1. Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

ABSTRACT

In the current study, a simple image processing method based on a RGB images using machine vision system has been designed to evaluate the color and texture features of low-calorie doughnut crumb. The effect of maltodextrin substitution with margarine at the levels of 25, 50, 75 and 100% (w/w) was evaluated on vision properties. These features were crumb color (L^* , a^* and b^*), pore area fraction, number of cells/cm², pore shape, Euler number, fractal dimension of pore boundaries and crumb texture (contrast, entropy, correlation, energy and homogeneity). Results revealed that the addition of maltodextrin increased L^* value and decrease a^* value of crumb color significantly. The contrast, entropy and Euler number of doughnut crumb containing 75 and 100% maltodextrin were considerably higher than control, 25% and 50% samples. Correlation, energy, homogeneity, mean pore area and diameter, number of cells per square centimeter and pore area fraction decreased after maltodextrin addition (75 or 100%) but no significant difference observed between control, 25% and 50% samples. The fractal dimension value of pore boundaries in doughnut containing 100% maltodextrin were the highest which indicates that the addition of maltodextrin caused more irregular and tortuosity porous boundaries.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/ 01/ 13

Accepted 2021/ 11/ 16

Keywords:

Image processing,
Textural features,
Color features,
Low-calorie doughnut,
Maltodextrin.

DOI: 10.22034/FSCT.19.125.11

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.2.1

*Corresponding Author E-Mail:
aganjloo@znu.ac.ir