

تاثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج

مهران نوری^۱ - بهزاد ناصحی^{۲*} - وحید سماواتی^۲ - سامان آبدانان مهدی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۹

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر پیش‌فرآیند مایکروویو بر محتوی رطوبت و چربی، حجم مخصوص، ویژگی‌های بافتی (سفتی و ارتجاعیت) و خصوصیات ساختار مغز (تعداد سلول‌های گاز و تخلخل) دونات غنی شده با منابع مختلف فیبر خوراکی (حاوی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج) انجام شد. همچنین شرایط فرآیند با استفاده از روش سطح پاسخ و یک طرح باکس-بکتن ۳ فاکتور بهینه‌سازی شد. فاکتورهای مورد استفاده در این پژوهش شامل توان مایکروویو (۹۰۰-۳۰۰ وات)، مدت زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (۹۰-۳۰ ثانیه) و مدت زمان سرخ کردن (۱۳۰-۷۰ ثانیه) بود. نتایج نشان داد با افزایش سطح هر یک از فاکتورها، محتوی رطوبت کاهش ولی محتوی چربی، سفتی مغز و ارتجاعیت، تعداد سلول‌ها و تخلخل دونات حاوی فیبر خوراکی افزایش می‌یابد. شرایط بهینه فرآیند شامل پیش‌فرآیند در توان ۴۰۰ وات به مدت ۶۰ ثانیه و سپس سرخ کردن به مدت ۱۰۸ ثانیه بود. در این شرایط، محتوی چربی دونات سرخ شده کمتر از دونات‌های سرخ شده در شرایط معمول بود.

واژه‌های کلیدی: دونات، مایکروویو، فیبر خوراکی، روش سطح پاسخ

(*al.*, 2001).

مقدمه

طی سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی از جمله پیش‌فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی شامل پیش خشک کردن و پیش پخت نمودن، بهینه‌سازی شرایط فرآیند و بهبود فرمولاسیون ماده غذایی به منظور کاهش جذب روغن طی سرخ کردن توسعه یافته است (*Adedji et al.*, 2009). به‌طور مثال، کاهش درآشامی روغن در فرآورده‌های سرخ شده توسط پس‌فرآیندهای فرورسوخ گزارش شده است (*Melito & Farkas*, 2012). همچنین استفاده از فناوری مایکروویو در تهیه فرآورده‌های غذایی سرخ شده در مطالعات پیشین نشان داده شده است (*Oztop et al.*, 2007). امروزه آون مایکروویو، به یک وسیله خانگی رایج برای پخت و پز تبدیل شده است. در مقایسه با روش‌های رایج، گرمادهی مایکروویو مزیت‌های زیادی از جمله صرفه‌جویی در انرژی، کوتاه نمودن مدت‌زمان پخت یا گرم نمودن غذا و بهبود یکنواختی و ریزساختار محصول را فراهم می‌کند (*Ngadi et al.*, 2009).

دونات‌ها، همچون سایر فرآورده‌های آماده که طی سال‌های اخیر محبوبیت بالایی نزد مصرف‌کنندگان پیدا نموده‌اند به دلیل استفاده از آردهای تصفیه شده در فرمولاسیون آن‌ها، مواد تغذیه‌ای لازم مانند فیبرهای خوراکی را برای فرد مصرف‌کننده فراهم نمی‌کنند (*Yildiz et al.*, 2013). بنابراین بهبود خواص تغذیه‌ای غذاها از دیگر

سرخ کردن یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین فرآیندهای تهیه غذا طی بیش از ۳۰۰۰ سال است. غذاهای سرخ‌شده به دلیل ویژگی‌های طعمی و بافتی عالی، نزد مصرف‌کنندگان از مطلوبیت بالایی برخوردار هستند. دونات^۴، از جمله فرآورده‌هایی است که به روش سرخ کردن عمیق^۵ تولید می‌شود. این فرآورده علیرغم مطلوبیت بالا، همانند سایر غذاهای سرخ‌شده مقدار قابل توجهی روغن طی سرخ کردن به خود جذب می‌کنند. بنابراین طی سال‌های اخیر، توسعه دونات‌هایی با محتوی چربی کاهش‌یافته بدون افت خصوصیات مطلوب حسی، چالشی برای فناوران مواد غذایی بوده است (*Shih et al.*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

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

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

* نویسنده مسئول: (Email: b_nasehi@yahoo.com)

4Donuts (Doughnuts)

5 Deep-fat frying

DOI: 10.22067/iffstrj.v1395i0.49210

(۱۰۰ درصد)، آب (۳۸ درصد)، تخم‌مرغ (۱۳ درصد)، آب برای تهیه سوسپانسیون مخمر (۱۳ درصد)، شورتینینگ (بهشهر، تهران، ایران) (۹ درصد)، شکر (۶/۳ درصد) پودر شیر خشک بدون چربی (شرکت پگاه، خوزستان، ایران) (۶/۳ درصد)، مخمر خشک فعال (شرکت ناب مایه، خوزستان، ایران) (۳ درصد)، عصاره وانیل (شرکت رنگ و اسانس آبیاز شیمی، تهران، ایران) (۱/۶ درصد)، بیکنینگ پودر (سهیل پودر، تهران، ایران) (۱/۶ درصد) و نمک (۱/۶ درصد) بود. درصدها بر اساس نسبت وزنی-وزنی آرد بود.

تهیه صمغ فارسی و پودر تفاله هویج

صمغ فارسی از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان در شهریور ۱۳۹۳ جمع‌آوری و توسط اتانول (۹۶ درصد) شسته شد. صمغ‌های یکرنگ (سفید شفاف) توسط آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر و با الک شماره ۳۵ (۵۰۰ μm) الک شد. پودر الک شده در بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای C ۴۰ نگه‌داری شد. به‌منظور تهیه پودر تفاله هویج، پس از فرآیند آب‌میوه‌گیری توسط یک دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر، مدل Heraeus, model JC-700P، تهران، ایران) تفاله هویج توسط آون (Heraeus, model UT 5042, Germany) (C ۶۰ ° در مدت ۱۲ ساعت) خشک شد. تفاله خشک‌شده توسط دستگاه آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر و با الک شماره ۳۵ (۵۰۰ μm) الک شد. سپس پودر تفاله هویج در بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

تهیه دونات

برای تهیه خمیر دونات، در ابتدا شکر، پودر شیر خشک بدون چربی، نمک و شورتینینگ در یک کاسه جدا با هم مخلوط و سپس تخم‌مرغ به این مخلوط اضافه شد. سپس آب و پس از آن عصاره وانیل به مخلوط اضافه شد. با مخلوط مخمر و آب مخصوص آن (C ۳۵) در یک ظرف جداگانه، سوسپانسیون مخمر تهیه و به مدت ۵ دقیقه نگاه‌داشته شد. مخلوط آرد گندم و منابع فیبری در یک کاسه جداگانه با بیکنینگ پودر مخلوط 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 (C ۲۷ به مدت ۳۰ دقیقه) تحت پیش‌فرآیند مایکروویو در توان‌ها و زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایشات) قرار گرفت. سپس نمونه‌های پیش‌فرآیند شده در یک سرخ‌کن (Moulinex, model F18-RA, France) حاوی روغن مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، پالم و سویا) (بهار، شرکت صنعتی بهشهر، تهران، ایران)

چالش‌های پیش روی پژوهشگران عرصه مواد غذایی است. فرآورده‌های آماده از جمله دونات‌ها، در سال‌های اخیر مصرف‌کنندگان مواد غذایی به سمت غذاهای آماده گرایش پیدا کرده‌اند. شده در این فیبرهای خوراکی دسته‌ای از ترکیبات مفید تغذیه‌ای شامل مخلوطی از پلیمرهای کربوهیدراتی گیاهی اولیگوساکاریدی و پلی‌ساکاریدی از جمله سلولز، همی‌سلولز، مواد پکتیکی، صمغ‌ها، نشاسته مقاوم و اینولین می‌باشند که ممکن است با لیگنین و یا سایر ترکیبات غیر کربوهیدراتی همراه باشند (Fuentes -Zaragoza et al., 2010). فیبرهای غیرمحلول با تنظیم فعالیت‌های روده در ارتباط می‌باشند و فیبرهای محلول سبب کاهش سطح کلسترول و جذب روده‌ای گلوکز می‌شوند (Raymundo et al., 2014). صمغ فارسی^۱ (PG) که منبعی ارزان برای فیبرهای محلول است، زیست‌پلیمری شفاف تا نیمه شفاف است که دارای بویی شبیه محصولات قنادی است (Abbasi & Mohammadi, 2013). طی سال‌های اخیر پژوهش‌هایی با هدف استفاده از صمغ فارسی در فرآورده‌های غذایی از جمله در مخلوط شیر-پرتقال (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹)، در پاستیل میوه‌ای (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰) و در ماست کم‌چرب (Ghasempour et al., 2012) انجام گرفته است. یکی از مهم‌ترین منابع فیبر غیرمحلول هویج است که پس از عملیات آب‌میوه‌گیری مقدار قابل توجهی از ترکیبات مفید هویج و فیبرهای خوراکی آن از طریق تفاله هدر می‌رود. بنابراین استفاده از تفاله هویج به‌عنوان یک محصول جانبی^۲ می‌تواند کمک شایانی به افزایش ارزش افزوده و حفظ محیط‌زیست نماید (Baljeet et al., 2014). طی سال‌های اخیر از پودر تفاله هویج^۳ (CPP) به‌منظور غنی‌سازی فرآورده‌های غلات از جمله در نان (Tanska et al., 2007)، در بیسکویت (Kumari et al., 2007) و در فرآورده‌های اکسترود شده (Upadhyay et al., 2010) به‌خوبی استفاده شده است.

بنابراین هدف این پژوهش استفاده از روش سطح پاسخ به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید دونات حاوی منابع فیبری صمغ فارسی و پودر تفاله هویج با به‌کارگیری پیش‌فرآیند مایکروویو به‌منظور کاهش محتوی روغن فرآورده بود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه و فرمولاسیون دونات

نمونه‌های دونات بر اساس فرمولاسیون و دستور پخت Melito و Farkas (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات تهیه شدند. این فرمولاسیون شامل آرد گندم (۹ درصد پروتئین) (شرکت آرد جنوب، خوزستان، ایران)

- 1 Persian gum
- 2 Byproduct
- 3 Carrot pomace powder

UK Goldalming) تجهیز شده با یک سلول بار^۱ پنج کیلوگرمی و پروب استوانه‌ای (قطر ۳۶ میلی‌متری) اندازه‌گیری شد. از مغز هر نمونه قطعه به ضخامت ۲۰ میلی‌متر برای این آزمون انتخاب شد. طی اندازه‌گیری، پروب دستگاه نمونه را با سرعت آزمون ۱/۷ میلی‌متر بر ثانیه تا ۴۰ درصد می‌فشرده و سپس ۳۲ ثانیه در این موقعیت باقی می‌ماند. سپس سفتی و ارتجاعیت نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Stable Microsystems,)Texture Exponent 5.1.1.0 (Godalming, UK محاسبه شد. سفتی تحت عنوان بیشینه نیروی مورد نیاز بر حسب نیوتن برای فشرده‌سازی نمونه تا ۴۰ درصد تغییر شکل تعریف شد. همچنین ارتجاعیت بر حسب درصد، از تقسیم نیروی فشرده‌سازی پس از ۳۰ ثانیه نگهداری پروب در موقعیت، بر بیشینه نیروی فشرده‌سازی ضرب در ۱۰۰ بدست آمد (Springiness) $(F30/Fmax) \times 100$ (=). اندازه‌گیری‌ها در ۶ تکرار انجام شد.

ساختار مغز دونات

به منظور بررسی ساختار مغز دونات از هر تیمار ۱۰ تصویر رنگی (RGB) (۲۴ بیتی) از مغز 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) گرفته شد. تنظیمات دوربین شامل فلاش خاموش، زوم خاموش، ایزو ۱۰۰، سرعت شاتر ۱/۲۰ ثانیه بود. تصویربرداری در یک فاصله ثابت ۳۰ سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه (با ابعاد تقریبی $100 \times 100 \times 100$ cm^۳) و با نورپردازی با زاویه ۴۵ درجه توسط لامپ‌های فلورئورسنسی انجام شد تصاویر پس از انتقال به محیط MATLAB نسخه R2014a (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA)، توسط نرم‌افزار به فرم خاکستری (۸ بیتی) تبدیل شد. عملیات بخش‌بندی^۲ پس از بهبود تباین تصاویر بر روی یک ناحیه 3×3 cm^۲ از مرکز هر تصویر، با استفاده از الگوریتم اتسو صورت پذیرفت (Otsu, 1979). در این پژوهش از دو شاخص تعداد سلول‌های گاز و تخلخل (نسبت مساحت سلول‌های گاز به مساحت کل تصویر) به منظور مطالعه ساختار مغز نمونه‌های دونات استفاده شد.

آزمون پذیرش مصرف‌کننده

دونات کنترل معمولی، دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی و دونات بهینه حاوی فیبر خوراکی از نظر ظاهر، رنگ پوسته، رنگ مغز، آروما، بافت، مزه و پذیرش کلی بر اساس یک مقیاس هدونیک نه نقطه‌ای

در دمای 2 ± 180 °C و برای مدت زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایشات) سرخ شد. دونات‌ها پس از خنک شدن در دمای اتاق و بر روی دستمال‌های کاغذی در بسته‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده بسته‌بندی شدند.

به منظور تهیه دونات حاوی فیبر خوراکی، ۷/۶۵ درصد از آرد با منابع فیبری صمغ فارسی (۱/۲۰ درصد) و پودر تفاله هویج (۶/۴۵ درصد) جایگزین شد. همچنین آب فرمولاسیون به ۴۸/۱۶ درصد افزایش پیدا کرد. به منظور دستیابی به سطوح بهینه پودر تفاله هویج، صمغ فارسی و آب، فرمولاسیون دونات طی یک مرحله اولیه با استفاده از روش سطح پاسخ و یک طرح گردش‌پذیر مرکب مرکزی بهینه‌سازی شد. در این مرحله، سه متغیر مستقل شامل پودر تفاله هویج (۱۵-۰ درصد)، صمغ فارسی (۱/۵-۰ درصد) و آب (۵۳-۳۸ درصد) در نظر گرفته شد. سپس عملیات بهینه‌سازی با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و با در نظر گرفتن حداکثر سطح پودر تفاله هویج (متغیر مستقل)، حداقل محتوی چربی و سفتی (متغیر وابسته) و حداکثر حجم مخصوص و تعداد سلول‌ها (متغیر وابسته) انجام شد. نتایج بهینه‌سازی در این مرحله نشان داد فرمولاسیونی با ۶/۴۵ درصد پودر تفاله هویج و ۱/۲۰ درصد صمغ فارسی و ۴۸/۱۶ درصد آب فرمولاسیون بهینه می‌باشد.

محتوی رطوبت و چربی

محتوی رطوبت نمونه‌های دونات توسط آون (Heraeus, model UT 5042, Germany) در دمای ۱۰۵°C و به مدت ۳/۵ ساعت تعیین شد (Kim et al., 2015). محتوی چربی نمونه‌های دونات، پس از رطوبت‌زدایی با استفاده از روش استخراج سوکسه توسط پترولیوم اتر به مدت استخراج ۵ ساعت تعیین شد (Melito & Farkas, 2012). اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

حجم مخصوص

حجم نمونه‌های دونات با استفاده از روش جایجایی دانه، روش استاندارد شماره ۱۰-۰۵ ولی با استفاده از دانه ارزن محاسبه شد (AACC, 2000). وزن نمونه‌ها توسط یک ترازوی دیجیتال (A&D, model GF-200, Japan) تعیین و سپس حجم مخصوص نمونه‌های دونات با تقسیم حجم بر وزن آن‌ها تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

ویژگی‌های بافتی

سفتی و ارتجاعیت بافت مغز نمونه‌ها به کمک روش مورد استفاده توسط Purhagen و همکاران (۲۰۱۱) با اندکی تغییرات و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج TA.XT2i (Stable Micro Systems,)

1 Load cell

2 Segmentation

نمره ۹ دوست داشتن شدید و نمره ۱ دوست نداشتن شدید) توسط یک گروه ۱۵ نفره از دانشجویان و کارمندان گروه صنایع غذایی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۱- دامنه و سطوح هر یک از متغیرهای مستقل در طرح باکس-بنکن

سطوح فاکتور			نماد فاکتور	متغیر مستقل (فاکتور)
-۱	۰	۱		
۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	X ₁	توان میکروویو (وات)
۳۰	۶۰	۹۰	X ₂	زمان میکروویو (ثانیه)
۷۰	۱۰۰	۱۳۰	X ₃	زمان سرخ کردن (ثانیه)

(Minneapolis, MN, USA) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای طراحی آزمایشات به منظور تولید دونات‌هایی با محتوی چربی پایین و ویژگی‌های فیزیکی موردپذیرش مصرف‌کننده از شیوه سطح پاسخ (RSM) و یک طرح باکس-بنکن^۱ استفاده شد (Montgomery, 2013). متغیرهای مستقل (فاکتورها) شامل توان میکروویو (MP) (وات)، مدت زمان پیش‌فرآیند میکروویو (MT) (ثانیه) و مدت زمان سرخ کردن (ثانیه) بود. طبق آزمایشات مقدماتی دامنه هر یک از متغیرهای مستقل تعیین (جدول ۱) و پس از آن، ۱۷ آزمون توسط نرم‌افزار ارائه شد. همچنین دونات کنترل معمولی (کنترل ۱) و دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی (بدون پیش‌فرآیند) (کنترل ۲) جدا از طرح آزمایشات تهیه شدند (جدول‌های ۲).

متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها) که بهترین توصیف را از ویژگی‌های کیفی دونات داشتند شامل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دونات بود (جدول ۲). پس از انجام آنالیز رگرسیون مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم برای هر یک از پاسخ‌ها برآزیده شد (رابطه ۱).

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

در این رابطه $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ و β_{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 غیروابسته می‌باشند. با استفاده از آنالیز واریانس^۲ و بر اساس شاخص p -value معنی‌داری مدل‌ها و عبارات معادله مورد بررسی و فاکتورهای غیرمعنی‌دار مشخص شد. همچنین شاخص‌های عدم تناسب^۳، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده ($adj-R^2$)، ضریب تغییرات^۴ (CV)، شاخص دقت کفایت^۵ به منظور بررسی کفایت مدل محاسبه شد (Homayoonfal et al., 2015). طراحی و آنالیز آزمایشات توسط نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease Inc.,)

بهینه‌سازی فرمولاسیون و اعتبارسنجی مدل

یک روش مفید برای بهینه‌سازی پاسخ‌های چندگانه استفاده از تکنیک بهینه‌سازی همزمان و توابع مطلوبیت^۶ است (Derringer & Suich, 1980). بنابراین با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت، به منظور دستیابی به سطوح بهینه هر یک از متغیرهای مستقل، پاسخ‌های محتوی چربی و سفتی مغز مینی‌م و حجم مخصوص و تعداد سلول‌های گاز ماکزیم در نظر گرفته شد. سپس شرایط فرآیندی با بالاترین مقدار مطلوبیت به عنوان شرایط بهینه انتخاب شد. به منظور اعتبارسنجی مدل، دونات‌های با شرایط فرآیند بهینه تهیه و پس از انجام آزمایشات مقادیر تجربی به دست آمده با مقادیر برآورد شده، توسط آزمون t -test در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, Cary, NC) با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج و بحث

برازش مدل

مقادیر پاسخ‌های هر یک تیمارهای دونات حاوی فیبر خوراکی در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای هر یک از پاسخ‌ها معنی‌دار ($P < 0.001$) و شاخص عدم برازش برای این مدل‌ها غیر معنی‌دار ($P > 0.05$) بود. همچنین ضریب تعیین، ضریب تغییرات و کفایت دقت هر یک از مدل‌ها که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در برآورد تغییرات جدید بود، در محدوده قابل قبول قرار داشت (جدول ۳).

محتوی رطوبت و چربی

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل تأثیر خطی منفی معنی‌داری ($P < 0.05$) بر محتوی رطوبت و تأثیر خطی

- 1 Box-Behnken design
- 2 ANOVA
- 3 Lack-of-fit
- 4 Coefficient of variation
- 5 Adequate precision

6 Desirability functions

است. در توان‌های بالای مایکروویو انرژی الکترومغناطیسی بالاتری به ترکیبات دی‌الکتریک تحمیل می‌شود (Adedeji *et al.*, 2009). از این رو افت رطوبت در این توان‌ها بیشتر بود. همچنین Zani و Peri (۱۹۹۳) طی پخت نان و Lostie و همکاران (۲۰۰۲) طی پخت بیسکویت نشان دادند که افت رطوبت طی پخت مایکروویو دارای نرخ ثابتی نیست و با افزایش توان مایکروویو این نرخ افزایش می‌یابد.

مثبت معنی‌داری ($P < 0.01$) بر محتوی چربی نمونه‌های دونات داشتند. همچنین اثرات درجه دوم توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن بر این پاسخ‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۳). نمودارهای سطح پاسخ اثر متغیرهای مستقل بر محتوی رطوبت و چربی دونات حاوی فیبر خوراکی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری که در شکل قابل مشاهده است نرخ افت رطوبت و درآشامی روغن در توان‌های بالاتر مایکروویو و زمان‌های بیشتر سرخ کردن بیشتر بوده

جدول ۲- ترتیب تیمارهای طرح باکس-بنکن و پاسخ‌های محتوی رطوبت و چربی، حجم مخصوص، ویژگی‌های بافتی و ساختار مغز دونات حاوی فیبر خوراکی

تیمار	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
۱	۶۰۰	۹۰	۲۴/۱۴	۲۳/۷۴	۱/۸۰۰	۱۵/۰۴	۵۳/۰۴	۳۰۰/۱۰۰	۰/۱۹۴
۲	۶۰۰	۳۰	۲۵/۱۰	۲۲/۳۴	۱/۷۵۷	۱۴/۳۸	۵۲/۰۷	۲۸۰/۳۰	۰/۱۸۹
۳	۹۰۰	۶۰	۲۲/۱۴	۲۴/۵۷	۱/۷۹۶	۱۶/۴۷	۵۲/۹۵	۲۸۰/۱۰	۰/۱۸۹
۴	۹۰۰	۹۰	۲۱/۳۴	۲۵/۱۸	۱/۸۳۰	۱۸/۵۵	۵۶/۸۸	۳۳۸/۱۹۰	۰/۲۱۶
۵	۶۰۰	۶۰	۲۳/۱۱	۲۳/۶۹	۱/۸۱۰	۱۴/۸۱	۵۵/۰۴	۳۱۸۶/۷۰	۰/۲۰۶
۶	۶۰۰	۶۰	۲۳/۴۷	۲۳/۲۹	۱/۸۰۶	۱۴/۰۴	۵۶/۷۷	۳۲۱۲/۳۰	۰/۲۰۵
۷	۶۰۰	۶۰	۲۴/۸۳	۲۲/۸۹	۱/۸۱۰	۱۵/۰۱	۵۵/۴۹	۳۰۶۷/۳۰	۰/۲۰۷
۸	۳۰۰	۶۰	۲۵/۸۰	۲۲/۰۸	۱/۷۱۰	۱۳/۲۱	۵۲/۸۵	۲۶۳۷/۶۰	۰/۱۸۷
۹	۶۰۰	۶۰	۲۴/۲۶	۲۳/۷۶	۱/۷۹۷	۱۴/۹۶	۵۴/۵۶	۳۱۵۶/۷۰	۰/۲۰۳
۱۰	۳۰۰	۳۰	۲۵/۰۶	۲۳/۰۵	۱/۷۵۷	۱۲/۳۱	۵۲/۳۲	۲۷۴۲/۸۰	۰/۱۹۰
۱۱	۶۰۰	۶۰	۲۴/۳۷	۲۳/۴۱	۱/۸۰۳	۱۴/۴۳	۵۷/۳۳	۳۲۵۸/۳۰	۰/۲۰۷
۱۲	۳۰۰	۶۰	۲۱/۴۵	۲۵/۲۴	۱/۷۸۷	۱۳/۵۰	۵۴/۷۵	۲۹۶۹/۲۰	۰/۱۹۹
۱۳	۶۰۰	۹۰	۲۰/۳۱	۲۵/۷۸	۱/۸۱۰	۱۶/۴۳	۵۶/۵۹	۳۳۸۸/۸۰	۰/۲۰۹
۱۴	۹۰۰	۳۰	۲۱/۴۶	۲۴/۴۴	۱/۷۷۱	۱۵/۱۳	۵۴/۱۱	۲۹۴۲/۵۰	۰/۱۹۵
۱۵	۳۰۰	۹۰	۲۳/۰۲	۲۴/۱۰	۱/۷۴۷	۱۲/۷۴	۵۳/۲۹	۲۶۶۷/۸۰	۰/۱۹۲
۱۶	۶۰۰	۳۰	۲۱/۰۴	۲۵/۰۰	۱/۷۸۳	۱۵/۲۷	۵۴/۶۱	۳۰۷۴/۵۰	۰/۲۰۱
۱۷	۹۰۰	۶۰	۱۹/۲۶	۲۶/۰۱	۱/۸۲۵	۱۷/۵۹	۵۶/۲۸	۳۴۶۶/۲۰	۰/۲۱۳
کنترل ۱	-	-	۲۲/۰۶	۲۵/۲۳	۲/۱۰	۹/۶۷	۵۴/۸۱	۴۳۶/۱۵	۰/۲۵۴
کنترل ۲	-	-	۲۶/۴۶	۱۷/۲۳	۱/۹۱	۱۱/۷۱	۵۱/۳۴	۳۷۲۵/۳۰	۰/۱۹۵

X_1 : توان مایکروویو (وات)، X_2 : زمان مایکروویو (ثانیه)، X_3 : زمان سرخ کردن (ثانیه).

Y_1 : محتوی رطوبت (درصد)، Y_2 : محتوی چربی (درصد)، Y_3 : حجم مخصوص (میلی‌لیتر/گرم)، Y_4 : سفتی مغز (نیوتن)، Y_5 : ارتجاعیت (درصد)، Y_6 : تعداد سلول‌ها، Y_7 : تخلخل.

کنترل ۱: دونات کنترل معمولی (بدون پیش‌فرآیند)، کنترل ۲: دونات حاوی فیبر خوراکی (بدون پیش‌فرآیند).

تغییرات ساختاری از جمله ژلاتینه شدن ترکیبات کربوهیدراتی و داناتوره شدن پروتئین‌ها در ماده غذایی می‌شود (Kassa & Ngadi, 2004). این تغییرات می‌توانند سبب گسترش تخلخل در ماده غذایی شوند که در مرحله سرخ کردن منجر به افزایش جذب روغن در فرآورده می‌شود (Pinthus *et al.*, 1995; Soorgi *et al.*, 2012).

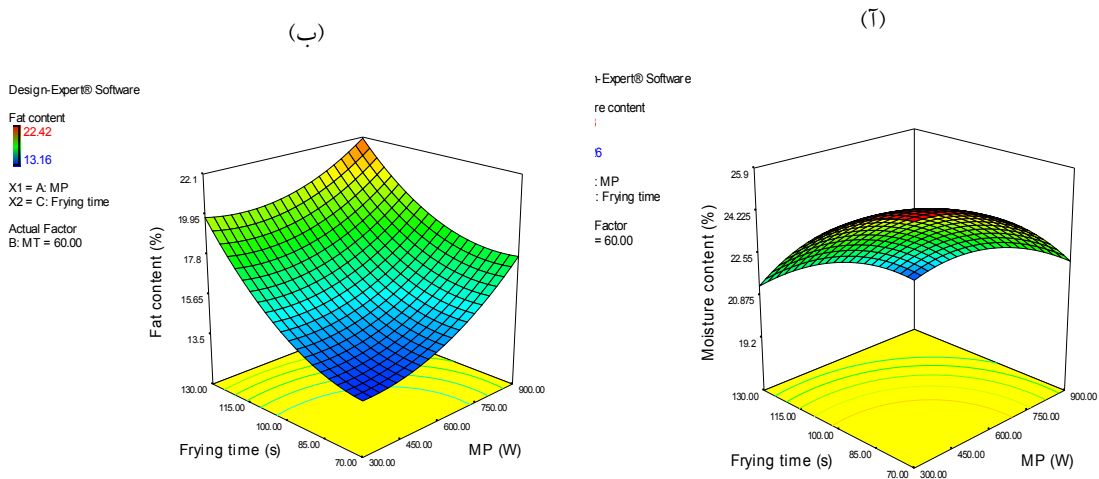
درآشامی روغن نیز مشابه افت رطوبت تحت اثرات درجه دوم توان مایکروویو و مدت‌زمان مایکروویو بود به شکلی که جذب روغن در زمان‌های سرخ کردن و توان‌های بالاتر مایکروویو افزایش چشمگیری داشت. پیش‌فرآیند نمونه‌ها قبل از سرخ کردن توسط آن مایکروویو علاوه بر افزایش افت رطوبت، سبب تغییر بافت سطحی و

جدول ۳- ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های محتوی رطوبت و چربی، حجم مخصوص و ویژگی‌های بافتی دونات حاوی فیبر خوراکی

منبع	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
β_0	۲۴/۰۱	۱۵/۸۲	۱/۸۱	۱۴/۶۵	۵۵/۸۴	۳۱۷۶/۲۶	۰/۲۱
β_1	-۱/۳۹****	۱/۶۱***	۰/۰۲۴***	۲/۰۰****	۰/۸۸*	۱۹۷/۶۶****	۰/۰۰۵**
β_2	-۰/۴۸*	۰/۸۵**	۰/۰۱۵*	۰/۷۱**	۰/۸۴*	۱۰۸/۹۳**	۰/۰۰۴**
β_3	-۱/۸۹****	۲/۶۴****	۰/۰۱۴**	۰/۴۶*	۱/۴۲**	۲۰۵/۴۶****	۰/۰۰۸****
$\beta_1 \beta_1$	-۰/۸۹*	۱/۰۸*	-۰/۰۱۵**	-۰/۰۲۸ ^{ns}	-۰/۷۸ ^{ns}	-۱۷۰/۱۹**	-۰/۰۰۴*
$\beta_2 \beta_2$	-۰/۴۰ ^{ns}	۰/۴۹ ^{ns}	-۰/۰۱۴**	۰/۰۵۷ ^{ns}	-۰/۹۱ ^{ns}	-۷۲/۳۳ ^{ns}	-۰/۰۰۳ ^{ns}
$\beta_3 \beta_3$	-۰/۹۶**	۱/۴۰**	-۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۵۷*	-۰/۸۵ ^{ns}	-۳۵/۷۹ ^{ns}	-۰/۰۰۴ ^{ns}
$\beta_1 \beta_2$	۰/۴۸ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	۰/۰۱۷**	۰/۷۵*	۰/۴۵ ^{ns}	۱۲۸/۶۰*	۰/۰۰۵*
$\beta_1 \beta_3$	۰/۳۷ ^{ns}	-۰/۵۱ ^{ns}	-۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۸۱/۶۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
$\beta_2 \beta_3$	۰/۰۵۷ ^{ns}	-۰/۵۹ ^{ns}	-۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۳۰/۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}
Model (p-value)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۳۷۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵
Lack of fit (p-value)	۰/۹۶۵۸	۰/۵۶۶۹	۰/۱۹۰۲	۰/۳۱۷۵	۰/۷۲۰۲	۰/۳۲۵۸	۰/۰۷۲۴
R ²	۰/۹۶۳۹	۰/۹۷۰۳	۰/۹۶۸۶	۰/۹۶۵۵	۰/۸۴۱۹	۰/۹۵۷۴	۰/۹۵۸۱
Adj-R ²	۰/۹۱۷۴	۰/۹۳۲۲	۰/۹۲۸۳	۰/۹۲۱۲	۰/۶۳۸۶	۰/۹۰۲۶	۰/۹۰۴۳
CV (%)	۲/۳۹	۳/۸۵	۰/۴۰	۳/۰۸	۱/۸۸	۲/۶۲	۱/۴۰
Adeq Precision	۱۵/۶۲۲	۱۶/۷۳۰	۱۵/۸۴۳	۱۵/۵۵۱	۶/۰۵۳	۱۲/۱۶۹	۱۲/۵۶۵

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.

Y_1 : محتوی رطوبت، Y_2 : محتوی چربی، Y_3 : حجم مخصوص، Y_4 : سفتی مغز، Y_5 : ارتجاعیت، Y_6 : تعداد سلول‌ها، Y_7 : تخلخل.



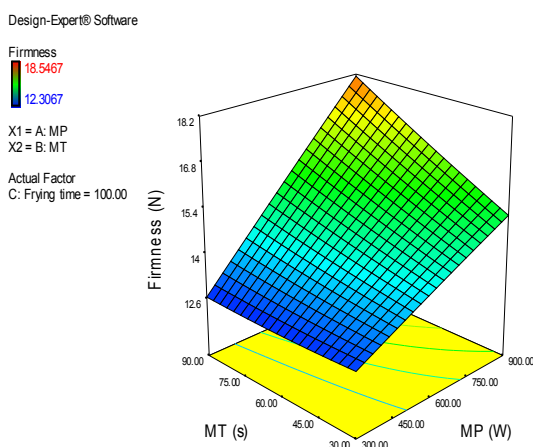
شکل ۱- نمودارهای سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر محتوی رطوبت (آ) و چربی (ب) دونات حاوی فیبر خوراکی

چیپس سیب‌زمینی سبب کاهش جذب روغن طی پخت می‌شود، که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت. دلیل این اختلاف می‌تواند ناشی از نوع پیش‌فرآیند و نوع فرآورده پیش‌تیمار شده باشد، به شکلی که در پیش‌خشک کردن چیپس سیب‌زمینی سطح ماده غذایی به سرعت رطوبت از دست داده و با تشکیل پوسته، مانعی برای انتقال چربی طی

همچنین نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین، مشابه نتایج حاضر حاکی از تاثیر قابل توجه پیش‌فرآیند مایکروویو در افزایش جذب روغن بود (Adedeji *et al.*, 2009; Soorgi *et al.*, 2012). با این وجود Tran و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Troncoso و Pedreschi (۲۰۰۹) گزارش نمودند که پیش‌تیمار خشک کردن

کربن دی‌اکسید توسط عوامل ورآورنده و همچنین تبخیر رطوبت است (Baik & Marcotte, 2002). همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است شیب افزایش حجم مخصوص با افزایش سطوح متغیرهای مستقل کاهش یافته است. افت افزایش حجم مخصوص در سطوح بالاتر متغیرهای مستقل می‌تواند ناشی از دو پدیده فیزیکی اساسی شامل باز شدن ساختار ماده طی پخت که سبب تسهیل خروج هوا می‌شود و سفت شدن ساختار که به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته رخ می‌دهد باشد (Lostie *et al.*, 2002). این پدیده‌ها در نهایت موجب توقف افزایش حجم و انبساط ماده می‌شوند. به‌طور کلی فرآورده‌های پخته‌شده توسط انرژی مایکروویو در مقایسه با سایر روش‌های رایج حجم پایین‌تری دارند که در پژوهش‌های پیشین نیز همانند نتایج پژوهش حاضر به‌خوبی این واقعیت نشان داده شده است (Megahey *et al.*, 2005; Seyhun *et al.*, 2005). این کاهش حجم می‌تواند ناشی از ژلاتینه شدن ناکافی نشاسته طی پخت مایکروویو باشد (Seyhun *et al.*, 2005).

(ب)

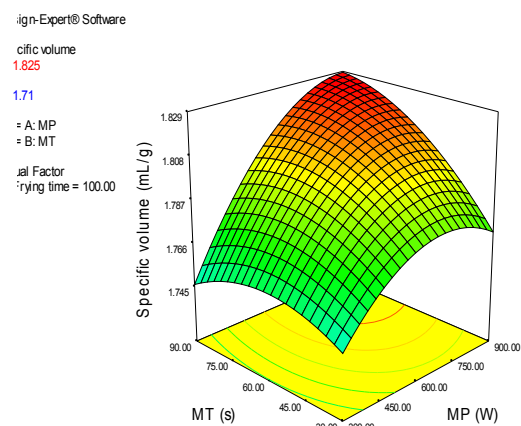


سرخ کردن بوجود می‌آید. اما در مورد پیش‌فرآیند مایکروویو و فرآورده-ای مثل دونات با افزایش توان مایکروویو حجم، تعداد سلول‌ها و تخلخل فرآورده نیز افزایش می‌یابد که همه این رخدادهای می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر تسهیل جذب روغن طی سرخ کردن داشته باشند (Soorgi *et al.*, 2012).

حجم مخصوص

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل اثر خطی مثبت معنی‌داری ($P < 0.05$) بر حجم مخصوص نمونه‌ها داشتند. همچنین توان مایکروویو دارای یک تأثیر درجه دوم منفی معنی‌دار ($P < 0.05$) بر این پاسخ بود. یک اثر دوسویه معنی‌داری ($P < 0.05$) نیز بین توان و مدت‌زمان مایکروویو مشاهده شد (جدول ۲). در شکل ۲ نمودار سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر حجم مخصوص دونات حاوی فیبر خوراکی نشان داده شده است. افزایش حجم فرآورده طی پیش‌فرآیند مایکروویو و سرخ کردن ناشی از تولید

(ا)



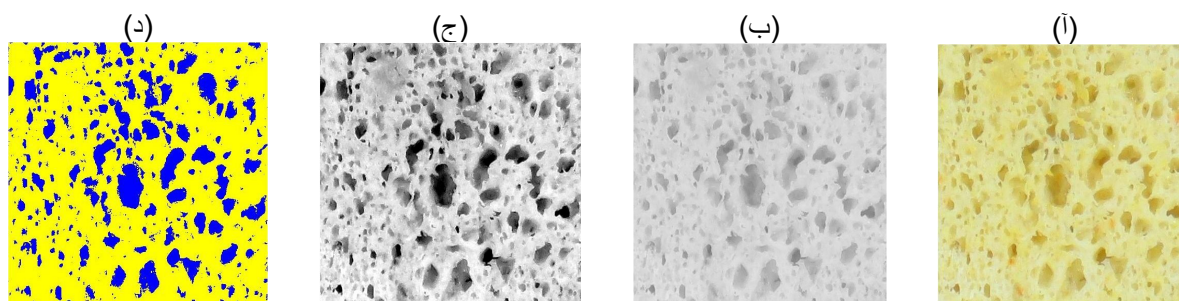
شکل ۲- نمودارهای سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر حجم مخصوص (ا) و سفتی مغز (ب) دونات حاوی فیبر خوراکی

نشاسته، محتوی رطوبت نیز نقش مهمی در سفتی مغز فرآورده‌های غلات به دلیل اثر پلاستیسایزری آن بر شبکه مغز این فرآورده‌ها ایفا می‌کند (Hug-Iten *et al.*, 2003). طی مطالعات پیشین یک ارتباط منفی بین محتوی رطوبت و سفتی مغز در فرآورده‌های غلات گزارش شده است (Ronda *et al.*, 2011). در این مطالعه نیز یک همبستگی منفی بین سفتی مغز دونات و محتوی رطوبت آن مشاهده شد ($r = -0.65$, $P < 0.01$). تأثیر انرژی مایکروویو بر سفت شدن مغز فرآورده-های غلات در مطالعات پیشین نیز به‌خوبی گزارش شده است. Keskin و همکاران (۲۰۰۴) افزایش سفتی مغز نان پخته‌شده توسط انرژی مایکروویو را نشان دادند. همچنین در پژوهشی Megahey و

ویژگی‌های بافت مغز

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل تأثیر خطی مثبت معنی‌داری ($P < 0.05$) بر سفتی و ارتجاعیت مغز نمونه‌ها داشتند (جدول ۳). همچنین مدت‌زمان سرخ کردن یک تأثیر درجه دوم معنی‌دار ($P < 0.05$) و توان و مدت‌زمان مایکروویو یک اثر متقابل معنی‌دار ($P < 0.05$) بر سفتی مغز نمونه‌ها نشان دادند (شکل ۲). سفتی مغز فرآورده، یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌های پخت فرآورده‌های غلات توسط انرژی مایکروویو است. خروج حجم زیاد آمیلوز از شبکه نشاسته، طی پخت مایکروویو می‌تواند یکی از دلایل این سفتی باشد (Seyhun *et al.*, 2002). علاوه بر نظم مولکولی

همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند افزایش توان مایکروویو سبب افزایش قابل توجه سفتی مغز فرآورده کیک می‌شود.



شکل ۳- مراحل پردازش تصویر برای استخراج شاخص‌های ساختار مغز. (ا) تصویر اولیه، (ب) تبدیل تصویر از فرم رنگی (RGB) به فرم خاکستری، (ج) بهبود تباین تصویر، (د) تبدیل تصویر از فرم خاکستری به فرم باینری

وجود آمدن گرادیان بالای فشار در مغز فرآورده طی پخت مایکروویو می‌تواند در بزرگ‌تر شدن سلول‌های گاز تشکیل شده مؤثر باشد (Turabi et al., 2010). Ozkoc و همکاران (۲۰۰۹) طی پخت نان توسط آن‌های مختلف و همچنین Turabi و همکاران (۲۰۱۰) طی پخت کیک در آن فرورسرخ-مایکروویو نتایج مشابه پژوهش حاضر گزارش نمودند

ساختار مغز

در پژوهش حاضر 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 تباین تصاویر مقیاس خاکستری و در انتها بخش بندی تصاویر و تبدیل تصاویر ۸ بیتی به باینری^۱ بود (شکل ۳).

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد متغیرهای مستقل دارای تأثیر خطی مثبت معنی‌داری ($P < 0.01$) بر ویژگی‌های ساختار مغز می‌باشند (جدول ۳). همچنین توان مایکروویو دارای یک تأثیر درجه دوم منفی معنی‌داری ($P < 0.05$) بر این پاسخ‌ها بود (جدول ۲). همچنین، یک رابطه متقابل معنی‌دار ($P < 0.05$) بین توان مایکروویو و مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو بر این پاسخ‌ها مشاهده گردید (شکل ۴). نتایج نشان داد که علیرغم پایین بودن تعداد سلول‌های گاز در نمونه‌های پیش‌پخت شده توسط انرژی مایکروویو نسبت به نمونه‌های کنترل، این نمونه‌ها دارای تخلخل نسبتاً بالایی بودند (جدول ۱). بیشتر بودن تخلخل و کمتر بودن تعداد سلول‌ها نشان‌دهنده بزرگ بودن اندازه سلول‌های گاز است. وجود سلول‌های نسبتاً بزرگ در فرآورده‌های پخته‌شده توسط مایکروویو، ظاهری غیرمنظم و غیریکنواخت به مغز این محصولات می‌دهد (Sánchez-Pardo et al., 2008). بزرگ‌تر بودن سلول‌های گاز طی پخت مایکروویو می‌تواند ناشی از حضور ترکیبات روغنی فرمولاسیون باشد که به‌عنوان روان‌کننده‌هایی^۲ 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 در نتیجه آن یک گرادیان بالای فشار به‌وجود می‌آید. به

بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مدل

به‌منظور دستیابی به سطوح بهینه متغیرهای مستقل، بهینه‌سازی عددی انجام شد. بهترین شرایط فرآیند با بالاترین مطلوبیت ($D=0.70$) به‌منظور تولید یک فرآورده باکیفیت و حاوی کم‌ترین مقدار چربی انتخاب شد. شرایط بهینه شامل ۴۰۰ وات توان مایکروویو، ۶۰ ثانیه مدت زمان مایکروویو و ۱۰۸ ثانیه مدت‌زمان سرخ کردن بود. به‌منظور اعتبارسنجی مدل در برآورد شرایط بهینه، نمونه‌های تجربی تهیه و مقادیر شاخص‌های برآورد شده پاسخ‌ها با مقادیر تجربی در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شد. جدول ۳ مقایسه مقادیر تجربی و برآورد شده پاسخ‌های شرایط فرآیند بهینه را نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل‌مشاهده است بین مقادیر تجربی و مقادیر برآورد شده توسط نرم‌افزار، تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت که نشان‌دهنده کفایت مدل در برآورد شرایط فرآیند بهینه بود.

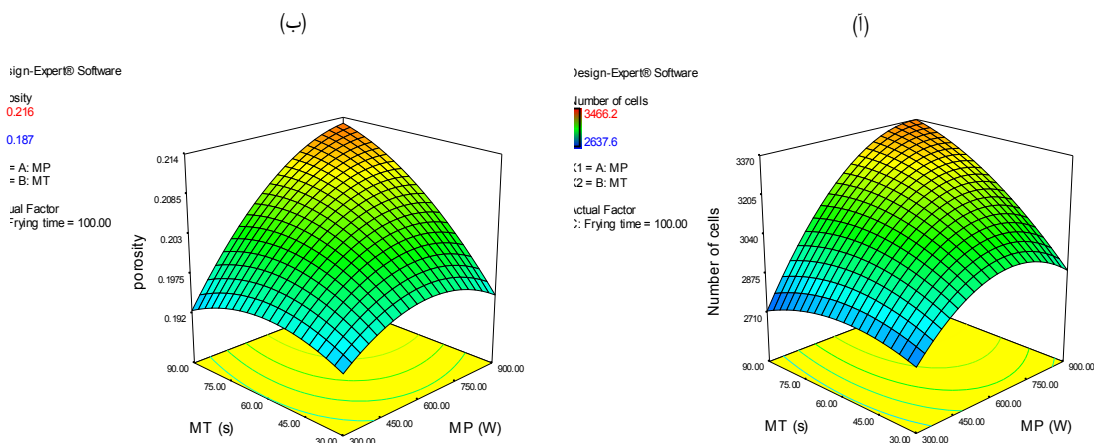
آزمون پذیرش مصرف‌کننده

ویژگی‌های حسی دونات کنترل (عدم پیش‌فرآیند)، دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی (عدم پیش‌فرآیند) و دونات بهینه (پیش‌فرآیند شده) از نظر ظاهر، رنگ پوسته، رنگ مغز، آروما، بافت، مزه و پذیرش کلی مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد در اغلب ویژگی‌های حسی دونات کنترل تفاوت آماری معنی‌داری ($P < 0.05$)

1-Binary
2-lubricant

نمونه‌های حاوی فیبر و بهینه توسط مصرف‌کنندگان بود.

با دونات‌های کنترل حاوی فیبر خوراکی (عدم پیش‌فرآیند) و دونات بهینه (پیش‌فرآیند شده) داشت. با این وجود، میانگین نمرات ویژگی‌های حسی نمونه‌های بهینه بالاتر از ۵ بود که نشان دهنده پذیرش



شکل ۴- نمودارهای سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر تعداد سلول‌ها (ا) و تخلخل (ب) مغز دونات حاوی فیبر خوراکی

جدول ۴- مقایسه بین مقادیر برآورد شده و تجربی پاسخ‌های مربوط به شرایط بهینه تولید دونات حاوی فیبر خوراکی

مقدار تجربی	مقدار برآورد شده	پاسخ‌ها
$23/14 \pm 1/10$	23/90	محتوی رطوبت (گرم/۱۰۰ گرم)
$15/63 \pm 0/90$	15/08	محتوی چربی (گرم/۱۰۰ گرم)
$1/79 \pm 0/03$	1/81	حجم مخصوص (میلی‌لیتر/گرم)
$14/20 \pm 1/36$	13/43	سفتی (نیوتن)
$54/10 \pm 1/90$	55/15	ارتجاعیت (درصد)
$2855/28 \pm 51/06$	2949/50	تعداد سلول‌ها
$0/198 \pm 0/006$	0/200	تخلخل

جدول ۵- آزمون پذیرش مصرف‌کننده برای دونات‌های کنترل و بهینه

دونات کنترل معمولی	دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی	دونات بهینه حاوی فیبر خوراکی	ظاهر
$7/70 \pm 0/63^a$	$6/10 \pm 0/75^b$	$5/03 \pm 0/15^b$	ظاهر
$8/44 \pm 0/88^a$	$7/90 \pm 0/05^a$	$5/97 \pm 0/25^b$	رنگ پوسته
$7/67 \pm 0/82^a$	$5/17 \pm 0/75^b$	$5/13 \pm 0/21^b$	رنگ مغز
$7/67 \pm 1/21^a$	$6/33 \pm 1/03^a$	$6/30 \pm 0/26^a$	آروما
$7/67 \pm 0/49^a$	$5/50 \pm 0/67^b$	$5/00 \pm 0/20^b$	بافت
$6/66 \pm 0/55^a$	$5/66 \pm 0/80^a$	$5/63 \pm 0/33^a$	مزه
$6/60 \pm 0/50^a$	$5/50 \pm 0/65^b$	$5/03 \pm 0/33^b$	پذیرش کلی

حروف غیر یکسان در هر ردیف نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌داری در سطح $P < 0.05$ است.

مایکروویو در توان و زمان‌های مختلف (۹۰۰-۳۰۰ وات و ۹۰-۳۰ ثانیه) و همچنین مدت زمان‌های سرخ کردن ۷۰-۱۳۰ ثانیه، با استفاده از روش سطح پاسخ و یک طرح باکس-بنکن بکار اعمال شد. نتایج نشان داد پیش‌فرآیند مایکروویو سبب افزایش قابل توجه افت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور کاهش محتوی روغن دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج، پیش‌فرآیند

رطوبت، جذب روغن، سفتی و تخلخل مغز دونات حاوی فیبر خوراکی می‌شود. با این وجود چون مدت زمان سرخ کردن نهایی به ۱۰۸ ثانیه کاهش پیدا کرد محتوی نهایی فرآورده کاهش یافت. همچنین آزمون پذیرش مصرف‌کننده نشان داد دونات تهیه شده در شرایط فرآیند بهینه (توان ۴۰۰ وات، مدت زمان پیش‌فرآیند ۶۰ ثانیه و مدت زمان سرخ کردن ۱۰۸ ثانیه) مورد پذیرش مصرف‌کنندگان بود.

منابع

- عباسی، س.، محمدی، س. و رحیمی، س.، ۱۳۹۰، جایگزینی بخشی از ژلاتین با صمغ فارسی و استفاده از کندور برای تولید پاستیل فراسودمند، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۱(۴۲): ۱۳۱-۱۲۱.
- محمدی، س.، عباسی، س. و حمیدی، ز.، ۱۳۸۹، تأثیر برخی هیدروکلوئیدها بر پایداری فیزیکی، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مخلوط شیر-آب‌پرتقال، *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، ۵ (۴): ۱۲-۱۱.
- AACC, 2000, Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Abbasi, S. & Mohammadi, S., 2013, Stabilization of milk-orange juice mixture using Persian gum: Efficiency and mechanism. *Food Bioscience*, 2: 60-53.
- 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. In Barbosa Canovas, G. V. (ed.) A Chapman and Hall food science book. Gaithersburg, MA, USA: Washington State University, Aspen Publishers, Inc. Pp:1-65.
- Baik, O.D. & Marcotte, M., 2002, Modelling the moisture diffusivity in a baking cake. *Journal of Food Engineering*, 56: 27-36.
- 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.
- Derringer, G. & Suich, R., 1980, Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12: 214-219.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E. & Pérez-Álvarez, J. A., 2010, Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4): 931-942.
- Ghasempour, Z., Alizadeh, M. & Bari, M. R., 2012, Optimisation of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. *International journal of dairy technology*, 65(1): 118-125.
- 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.
- Hug-Iten, S., Escher, F. & Conde-Petit, B., 2003, Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes. *Cereal Chemistry*, 80(6): 654-661.
- Kassama, L.S. & Ngadi, M.O., 2004, Pore development in chicken meat during deep-fat frying. *LWT - Food Science and Technology*, 37: 841-847.
- Keskin, S. O., Sumnu, G. & Sahin, S., 2004, Bread baking in halogen lamp-microwave combination baking. *Food Research International*, 37: 489-495.
- Kim, J., Choi, I., Shin, W.-K. & Kim, Y., 2015, Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT - Food Science and Technolog*, 62(1, Part 2): 620-627.
- Kumari, S & Grewal, R. B., 2007, Nutritional evaluation and utilization of carrot pomace for preparation of high fiber biscuits. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 44(1): 56-58.
- Lostie, M., Peczkalski, R., Andrieu, J. & Laurent, M., 2002, Study of sponge cake batter baking process. Part I: Experimental data. *Journal of Food Engineering*, 51: 131-137.
- Megahey, E. K., Mcminn, W. A. M. & Magee, T. R. A., 2005, Experimental study of microwave baking of Madeira cake batter. *Food and Bioproducts Processing*, 83(4): 277-287.
- 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. 8th edition. Wiley, New York. Pp 478-544.
- Ngadi, M. O., Wang, Y., adedeji, A. A. & Raghavan, G. S. V., 2009, Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. *LWT - Food Science and Technology*, 42: 438-440.
- 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.

- 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.
- Pinthus, E. J., Weinberg, P., & Saguy, I. S., 1995, Oil uptake in deepfat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60: 767-769.
- 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.
- Raymundo, A., Fradinho, Patricia. & Nunes, M. C., 2014, Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive carbohydrates and dietary fibre*, 3: 96-105.
- Ronda, F., Caballero, P. A., Quilez, J. & Roos, Y. H., 2011, Staling of frozen partly and fully baked breads. Study of the combined effect of amylopectin recrystallization and water content on bread firmness. *Journal of Cereal Science*, 53: 97-103.
- Sahin, S., Sumnu, G. & Altunakar, B., 2005, Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14): 2375-2379.
- Sanchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Perez & 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.
- Seyhun, N., Sumnu, G. & Sahin, S., 2005, Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioproducts Processing*, 83(1): 1-5.
- Shih, F. F., Daigle, K. W. & Clawson, E. L., 2001, Development of Low Oil-Uptake Donuts. *Journal of Food Science*, 66: 141-144.
- Soorgi, M., Mohebbi, M., Mousavi, S. M & Shahidi, F., 2012, The Effect of Methylcellulose, Temperature, and Microwave Pretreatment on Kinetic of Mass Transfer During Deep Fat Frying of Chicken Nuggets. *Food Bioprocess Technol*, 5:1521 – 1530.
- Tanska, M., Zadernowski, R. & Konopka, I., 2007, The quality of wheat bread supplemented with dried carrot pomace. *Polish Journal of Natural Science*, 22: 126-136.
- Tran, T. T. M., Chen, X. D. & Southern, C., 2007, Reducing oil content of fried potato crisps considerably using a 'sweet' pre-treatment technique. *Journal of Food Engineering*, 80: 719-726.
- Troncoso, E., & Pedreschi, F., 2009, Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6): 1164-1173.
- Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S., 2008, Optimization of baking of rice cakes in infraredmicrowave combination oven by response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 1: 64-73.
- Upadhyay, A., Sharma, H. K. & Sarkar, B. C., 2010, Optimization of Carrot Pomace Powder Incorporation on Extruded Product Quality by Response Surface Methodology. *Journal of Food Quality*, 33: 350-369.
- Yildiz, O., Yurt, B., Basturk, A., Toker, O.S., Yilmaz, M.T., Karaman, S., & Daglioglu, O., 2013, Properties, texture profile and stress-relaxation behavior of wheat starch/dietary fiber systems. *Food Research International*, 53: 278-290.
- Zanoni, B. & Peri, C., 1993, Study of the bread baking process I. Phenomenological model. *Journal of Food Engineering*, 19: 389-398.



Effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber

M. Nouri¹, B. Nasehi^{1*}, V. Samavati¹, S. Abdanan Mehdizade²

Received: 2015.08.19

Accepted: 2015.10.20

Introduction: Increased awareness of diet-health association has led to the growth of health food industry. Deep-fat fried foods such as donuts enjoy wide popularity owing to their taste, distinctive flavor, aroma and crunchy texture. There is, however, a great health concern over large fat content of fried foods. Incorporating the dietary fiber such as hydrocolloids into the food substrate in the batter formulation is one of the most effective strategies to decrease fat uptake in fried foods. Dietary fibers act as water binders in a coating or batter formulation through which reduce fat uptake of fried foods. That is, an increase of water content of food could lead to a decrease of oil penetration during the frying process. Persian gum (PG), as a novel gum, is exudates of the wild or mountain almond trees (the main source is *Amygdalus scoparia* Spach). Carrot pomace is a fibre-rich by-product of carrot juice industries which contains approximately 80% of carrot carotenes. Carrot juice yield is reported to be only 60-70% and the remaining pomace is usually disposed of as feed or fertilizer. 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. Therefore, the aim of this study was to examine the effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber.

Materials and methods: Donuts were prepared according to the formulation reported by Melito and Farkas (2012). Ingredients used in control donut formulation were consisted of 100 g of wheat flour (9 g/100g), 38 g of water, 9g of Shortening, 13g of Egg, 13g of water for yeast, 6.3g of sugar, 6.3g of nonfat dried milk powder, 3g of active dried yeast, 1.6g of Vanilla extract, 1.6g of baking powder, and 1.6g of Salt. For the making of donuts, the flour blends were prepared by replacing wheat flour with 1.2 g/100g PG and 645 g/100g CPP. As well, water was added at 48.16 g/100g based on flour weight. The exudate gums of mountain almond trees were collected in Lorestan province. In order to eliminate foreign matters such as dust and dirt, the PG was washed three times with its threefold weight of ethanol (96% w/v) for 15 min under constant stirring. After removing ethanol by drying in an oven (at 60° C for 6 h) the PG was ground using a coffee grinder (model 320, Spain), sieved (180 μm) and packaged in polyethylene packs and then stored in 4°C. Fresh carrots were purchased from a local market. Carrots were washed and then pressed with a juice extractor and the resultant pomace was collected. The carrot pomace was blanched in water (80 ± 2°C for 3 min) and then cooled in cold water (4° C). The pomace water was drained with cheese-cloth prior to drying. Finally, the carrot pomace was dried in an oven (60° C for 12 h). The dried pomace was ground using a coffee grinder to fine powder. The carrot pomace powder was sieved (180 μm) and packed in polyethylene packs and then stored in 4°C. Specific volume of donuts was determined using the rapeseed displacement AACC method. Moisture content of donuts crumb was measured using an oven at 105 °C for 3. The fat content of dried donuts was determined by Soxhlet extraction with petroleum ether for 5 h. Firmness and springiness were measured in triplicate using a TA.XT2i Texture Analyzer equipped with a 5 kg load cell and a P/35 mm aluminum cylindrical probe. Crumb grain (total number of cells and porosity) and crumb color of donuts were evaluated using an image analysis system consisted of a digital camera, a personal computer and MATLAB R2014a software. The control and optimized donuts were evaluated for acceptance of their appearance, crust color, crumb color, aroma, texture, taste and overall acceptance based on a nine-point hedonic scale. Response Surface Methodology (RSM) and Box-Behnken design with 3 factors were applied to obtain optimal levels of independent variables including microwave power (300-900 W),

3- Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran.

2- Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran

(*Corresponding Author Email: b_nasehi@yahoo.com)

microwave time (30-90 s) and frying time (70-130 s).

Results and discussion: The results indicated that moisture content significantly ($p < 0.05$) decreased whereas oil uptake increased. Moisture loss and fat uptake are two main mass transport phenomena during deep fat frying. The rate of this process is directly related to frying time and temperature. The high microwave power level, microwave time and frying time causes partial evaporation of the water, which moves away from the food through the surrounding oil, and a certain amount of oil is absorbed by the food. Results also showed that firmness of dietary fiber enriched donut significantly ($p < 0.05$) increased with increasing microwave power level, microwave time and frying time. This might be related with the high amount of amylose leached during microwave heating.

Conclusion: The optimum condition was found as pre-treatment at 400 W microwave power level for 60 s and then frying process for 108 s. At this condition, the oil content of fried donut was lower than that of conventionally fried ones.

Keywords: Donut, Microwave, Dietary fiber, Response surface methodology