



بهینه یابی فرمولاسیون پرمیکس جایگزین چربی به روش سطح پاسخ و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیک با چربی کاهش یافته زهرا نظری^۱، رضا کاراژیان^{۲*}، معصومه مهربان سنگ آتش^۱، احمد احتیاطی^۱

۱- گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی.
۲- گروه بیوتکنولوژی صنعتی میکروارگانیسم‌ها، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۰

کلمات کلیدی:

کیک کم کالری،

مالتودکسترین،

اینولین،

خصوصیات بافتی،

متدولوژی سطح پاسخ

یکی از مشکلات شایع در جوامع امروزی، میزان کالری دریافتی و افزایش وزن به علت مصرف طولانی محصولات پرکالری است. از این رو هدف از این تحقیق تولید کیک کم کالری، با کاهش میزان چربی و بهینه سازی فرمولاسیون آن توسط کنستانتره پروتئین آب پنیر، مالتودکسترین و اینولین به منظور کاهش کالری بود. در این پژوهش از متدولوژی سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی به منظور بررسی و بهینه سازی متغیرهای مستقل شامل کنستانتره پروتئین آب پنیر (۱۳-۳ درصد؛ X_1)، مالتودکسترین (۳-۰/۳ درصد؛ X_2) و اینولین (۱-۰ درصد؛ X_3) بر ویژگی های محصول نهایی استفاده شد. نتایج مرحله بهینه سازی نشان داد که با کاهش چربی فرمولاسیون و افزودن مالتودکسترین و اینولین میزان رطوبت و فعالیت آبی نمونه های کیک بهتر حفظ شده که منجر به کاهش سفتی و همچنین افزایش پیوستگی بافت نمونه های کیک و در نتیجه محصولی نرم تر با بیاتی کمتر تولید گردید. همچنین کاربرد این ترکیبات در فرمولاسیون کیک اثر منفی ناشی از حذف بخشی از چربی بر کاهش تخلخل و حجم کیک را تا حد زیادی جبران نمود. شرایط بهینه فرمولاسیون جهت به حداقل رساندن سفتی و همچنین به حداکثر رساندن حجم و پیوستگی کیک که در آزمایش های عملی مورد تأیید قرار گرفت، برای پارامترهای مستقل شامل میزان کنستانتره پروتئین آب پنیر، مالتودکسترین و اینولین به ترتیب ۶/۶٪، ۰/۳٪ و ۱٪ به دست آمد. در این نقطه بهینه مقادیر پاسخ ها شامل رطوبت، فعالیت آبی، سفتی، پیوستگی بافت و حجم نمونه ها به ترتیب برابر ۱۸/۰۷ درصد، ۰/۷۸، ۰/۱۸ نیوتن، ۱/۲۶ و ۹۶ سانتی متر مکعب بود.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.187

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.16.1

* مسئول مکاتبات:

Reza_karazhyan2002@yahoo.com

۱- مقدمه

امروزه، تحرک کم و مصرف مقادیر بالای چربی یکی از عواملی است که باعث ایجاد چاقی و بیماری‌های بسیار در جوامع بشری می‌شود. میانگین مصرف سرانه روغن ایران حدود ۲۲ کیلوگرم اعلام شد، این در حالی است که میانگین مصرف سرانه آن در کشورهای توسعه‌یافته ۱۹ کیلوگرم است. در نتیجه، اهداف تغذیه‌ای جهت محدود کردن کل چربی دریافتی به کمتر از ۳۱٪ کل کالری و چربی اشباع شده به کمتر از ۹۱٪ کل انرژی مصرفی در نظر گرفته شده است [۱]. به جهت اینکه چربی سبب تغییر یا ایجاد خصوصیات متعددی در انواع غذا می‌شود، جایگزینی آن امری دشوار است [۲]. جایگزین‌های چربی ترکیباتی هستند که دارای خواص عملکردی، ثبات، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی همانند چربی‌ها هستند ولی در هر گرم میزان کالری کمتری در مقایسه با چربی‌ها تولید می‌کنند. در جایگزین کردن چربی بایستی خواص عملکردی آن ترکیبات در فرمولاسیون فرآورده از قبیل ثبات امولسیون، ماندگاری و خواص ارگانولپتیکی مورد توجه قرار گیرد [۳]. جایگزین‌های چربی می‌توانند بر اساس ساختمان شیمیایی خود به سه دسته برپایه کربوهیدرات، پروتئین و چربی طبقه‌بندی شوند [۴]. ظرفیت ژله‌ای شدن، توانایی افزایش ویسکوزیته محلول‌های آبی و اثر بر ویژگی‌های رئولوژیکی، مهم‌ترین ویژگی جایگزین‌های چربی است [۴]. مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی کیک، رنگ، اندازه، شکل و بافت آن است. تفاوت در نسبت مواد مورداستفاده و از طرفی ویژگی‌های خمیر به‌عنوان محصول میانی بین مواد اولیه و محصول نهایی، بر ویژگی‌های محصول نهایی تأثیر دارد [۵]. کاهش چربی باعث افزایش ویسکوزیته خمیر و استفاده از جانشین چربی باعث کاهش چگالی خمیر می‌گردد [۶]. بٹ و همکاران (۱۹۹۲) دریافتند خمیرهای تهیه‌شده با چربی بیشتر نسبت به خمیرهای حاوی چربی کمتر (به دلیل ورود هوا و چربی بیشتر) عایق‌های بهتری هستند [۷]؛ بنابراین در هنگام پخت شیب حرارتی شدیدی از بیرون به مرکز کیک به وجود می‌آید که باعث برآمده شدن سطح کیک می‌گردد. سیستم‌های اصلاح‌شده چربی می‌توانند خصوصیات سلامتی و تغذیه‌ای

بهتری را ایجاد کنند [۸]. اثر جانشین‌های چربی بر روی خصوصیات خمیر کیک توسط سیمولی و همکاران (۲۰۱۳) مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها از جانشین‌های چربی شامل مالتودکسترین، اینولین، اولیگوفروکتوز، پکتین مرکبات و پروتئین‌های ریز مولکول شده‌صورت مجزا استفاده کردند. در نمونه‌های کیک با جایگزینی بیشتر از ۶۵ درصد جایگزین چربی، در همه نمونه‌ها، سختی و الاستیسیته افزایش یافت و این در حالی بود که میزان حجم کاهش یافت. همچنین در نمونه‌ها با افزایش میزان جانشین چربی امتیاز طعم و عطر آن کاهش یافت و در کل نمونه‌های ۱۰۰ درصد جایگزین شده چربی، قابل قبول نبودند؛ اما در میزان جایگزینی ۶۵ درصد نمونه‌ها از لحاظ بافتی، فیزیکی و حسی قابل قبول بودند [۹]. در تحقیق رودریگوز و همکاران (۲۰۱۴) چندین سطح جانشین چربی به‌وسیله اینولین در کیک اسفنجی از لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ریزساختاری بررسی شد. جایگزینی روغنی با اینولین به‌طور قابل توجهی، ویسکوزیته خمیر کیک را کاهش داد و در آن حباب‌های غیریکنواخت را که با میکروسکوپ نوری قابل رؤیت بود ایجاد کرد. چربی قرارگرفته در لایه داخل حباب‌ها باعث توسعه ساختار کیک در حین پخت گردید. کیک‌ها با میزان جانشینی چربی تا حدود ۷۰ درصد دارای حباب‌های هوای بیشتری در بافت خود بوده، بافت نرم‌تر بود و قابلیت پذیرش بیشتری از نظر ارزیابان حسی داشتند [۱۰]. سندرز و همکاران (۱۹۹۳) از ایزوله پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان به‌عنوان یک مخلوط برای جایگزینی چربی در نان استفاده کردند. خصوصیات بافتی و ویسکوزیته نمونه‌های با میزان چربی کاهش‌یافته برای بهینه‌سازی فرمولاسیون جایگزینی چربی با استفاده از روش سطح پاسخ ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مخلوط پروتئین آب‌پنیر و زانتان اثر مثبتی دارد و از نظر بافت و ویسکوزیته شرایط مناسبی را در نمونه‌های با چربی کاهش‌یافته ایجاد می‌کنند [۱۱]. رودریگوز و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد آنزیم لیپاز و امولسیفایر را در خمیر کیک دارای اینولین، به‌عنوان جانشین چربی مطالعه کردند. افزودن امولسیفایر باعث کاهش دانسیته نسبی در خمیر کیک شد. همچنین خصوصیات ویسکوالاستیک خمیر کیک را افزایش داد [۱۰]. نقش تکنولوژیکی چربی در فرآورده‌های بر

رطوبت آرد با استفاده از روش AACC 44-15، خاکستر بر اساس روش AACC 08-01، گلوتن مرطوب با روش AACC38-10، پروتئین با روش AACC 46-12 و عدد زلنی بر اساس روش AACC 56-60 اندازه‌گیری شدند [۱۳].

۲-۳- اندازه‌گیری حجم

برای محاسبه حجم نمونه‌های کیک از استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۷۲-۱۰ استفاده شد. نمونه‌های کیک پس از خنک شدن کامل با دقت ۰/۰۰۱ توزین و سپس جهت محاسبه حجم نمونه‌ها از روش جابجایی با دانه کلزا استفاده شد، به این ترتیب که یک مزور ۱۰۰۰ میلی‌لیتری از دانه کلزا پرورسیس مقداری از دانه‌ها درون یک بشر ۲۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد، نمونه داخل بشر قرار گرفت و به حجم ۱۰۰۰ رسید حجم دانه باقیمانده در مزور نمایانگر حجم نمونه‌های کیک برحسب سانتی‌متر مکعب بود [۱۴].

۲-۴- تعیین رطوبت

برای محاسبه میزان رطوبت، از استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۴۴-۱۶ و با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج مادون قرمز و بر اساس دستورالعمل سازنده برای محاسبه رطوبت استفاده گردید [۱۴].

۲-۵- تعیین فعالیت آبی

برای تعیین فعالیت آبی از دستگاه تست و مدل ۴۰۰ و فعالیت آبی نمونه‌ها مطابق دستورالعمل سازنده این دستگاه تعیین شد. سل دستگاه با کیک آسیاب شده در روز تولید پر شد و میزان فعالیت آبی در دمای ۲۵ درجه تعیین گردید [۱۵].

۲-۶- ارزیابی بافت

برای تعیین خصوصیات بافت کیک (شامل سفتی^۲، صمغی بودن^۳ و پیوستگی^۴) از دستگاه بافت سنج و آزمون TPA بر اساس روش روندا و همکاران (۲۰۰۵) استفاده شد [۱۶]. در این آزمون قطعه‌ای ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر مکعب از مغز کیک توسط چاقوی برقی بریده شده و در زیر پروب دستگاه قرار گرفت،

پایه غلات شامل نگهداری هوا در خمیر و تشکیل غشا در اطراف سلول‌های هوا و ایجاد تخلخل در فرآورده، نرمی بافت و بهبود طعم، احساس دهانی مطلوب، بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و افزایش ماندگاری محصول می‌باشد. از این رو جانشین‌های چربی بر پایه چربی، پروتئین و کربوهیدرات، برای تهیه مخلوط جایگزین، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این تحقیق دستیابی به جایگزین چربی مناسب برای محصولات پخت (به صورت موردی، کیک) بود. جهت ارزیابی مخلوط جایگزین چربی، خصوصیات بافتی، رطوبت، فعالیت-آبی و حجم کیک حاصله مورد ارزیابی قرار گرفت و ترکیبات بهینه جایگزین چربی انتخاب شد.

۲- مواد و روش‌ها

مواد اولیه این تحقیق شامل آرد نول ۲۸٪ (رطوبت ۱۲/۶٪، خاکستر ۰/۵۶٪، گلوتن مرطوب ۲۶/۷٪، پروتئین ۹/۶۷٪، عدد زلنی ۲۱/۷٪)، شکر ۲۵٪، چربی ۱۲٪، آب ۲۷٪، پودر شیر خشک ۳٪، تخم مرغ ۳٪، نمک ۱٪، بیکنگ پودر ۱٪ بودند که از فروشگاه‌های مواد غذایی تهیه شد. کنستاتره پروتئین آب‌پنیر^۱ (هیلمار ۸۰۱۰-امریکا)، مالتودکسترین (چین) و اینولین از شرکت پویاکابک تهیه شد.

۲-۱- تولید کیک

ابتدا تخم مرغ و شکر به مدت یک دقیقه با کمترین سرعت، مخلوط شد، سپس روغن اضافه و مخلوط شد، همه مواد خشک و آب به ترتیب اضافه شد و به مدت سه دقیقه مخلوط شد. ۳۶ گرم از خمیر کیک در قالب‌های کاغذی توزین گردید، سپس در آون معمولی برای ۲۵ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از پخت، کیک‌ها در دمای اتاق به مدت ۲۰ دقیقه سرد و بسته‌بندی شدند [۱۲]. WPC، مالتودکسترین و اینولین پس از آماده‌سازی اولیه (مخلوط شدن و ماندن به مدت یک شب) به صورت ژل به فرمولاسیون کیک افزوده شدند. پخت نمونه‌ها و آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی در سه تکرار انجام گرفت.

۲-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های آرد

2. Hardness
3. Gumminess
4. Cohesiveness

1. whey protein concentrate: WPC

منحنی‌های سطح پاسخ جهت بررسی رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل رسم شد. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کدشده در جدول ارائه شده است. برای ارزش سنجی شرایط پیشنهادشده توسط نرم‌افزار، نمونه بهینه از فرمول پیشنهادی نرم‌افزار Design Expert در سه تکرار تولید شد و برای مقایسه از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۱) استفاده گردید.

Table 1 Independent variables and their values

Independent variables	code	-1	0	+1
WPC(%)	X ₁	3	8	13
Maltodextrin(%)	X ₂	0	0.15	0.3
Inulin(%)	X ₃	0	0.5	1

Table 2 Statistical analysis result of reduced second-order polynomial fitted model on the response data

Test	Model	Average	Standard deviation	R ²	R ² -adj	Lack of fit
Moisture	$M = 21.30 - 0.56x_1 - 12.54x_2 - 0.60x_3 + 0.042x_1^2 - 26.92x_2^2 - 3.51x_2x_3$	21.13	0.19	0.95	0.93	0.133
Water activity	$aw = 0.66 + 0.022x_1 - 0.136x_2 - 0.0304x_3 + 0.67x_2^2 - 0.017x_1x_2 + 0.16x_2x_3$	0.87	0.013	0.97	0.96	0.317
Hardness(N)	$H = 0.244 - 0.0046x_1 - 0.044x_2 - 0.025x_3$	0.21	0.0058	0.92	0.91	0.692
Cohesiveness	$Coh = 0.924 + 0.014x_1 + 1.22x_2 - 0.107x_3 - 0.0067x_1^2 - 3.86x_2^2 + 0.085x_3^2 + 0.0106x_1x_3$	1.09	0.0042	0.99	0.99	0.121
Volume	$V = 96.72 - 5.13x_1 - 2.52x_2 - 4.27x_3 + 0.402x_1^2 + 3.21x_1x_2 + 1.98x_1x_3$	95.67	1.38	0.98	0.98	0.248

نداشت. نتایج اثر مالتودکسترین نیز نشان داد که با افزودن مالتودکسترین تا ۰/۲ درصد میزان رطوبت در محصول نهایی افزایش یافت درحالی‌که با افزودن مالتودکسترین تا میزان ۰/۳ درصد در فرمولاسیون کیک، رطوبت محصول تغییر زیادی پیدا نکرد، بنابراین نمونه‌های کیک حاوی ۱۳ درصد WPC و ۰/۱۵ مالتودکسترین دارای بیشترین میزان رطوبت بودند. تابع پاسخ (رابطه مدل) جهت تخمین میزان رطوبت کیک با توجه به ضرایب رگرسیونی محاسبه شده، به صورت رابطه جدول ۲ به دست آمد که بالا بودن ضریب R² و R² اصلاح شده و همچنین عدم معنی‌داری آزمون Lack of fit مؤید قدرت بالای مدل درجه دوم کاسته می‌باشد. ترتیب اثرگذاری متغیرهای مستقل بر این پارامتر به صورت:

پررب استوانه‌ای مسطح به قطر خارجی ۳۵ میلی‌متر برای فشردن هر نمونه تا ۵۰٪ ارتفاع اولیه این (۲۰ میلی‌متر) با سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه، نقطه شروع ۰/۰۵ نیوتن و سل اعمال نیروی ۵ کیلوگرم برای انجام این آزمون انتخاب شد. خصوصیات بافتی در روز تولید مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۶].

۷-۲- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق طرح مرکب مرکزی (CCD) با سه متغیر مستقل و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح، جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل (چربی X₁، صمغ زانتان X₂، نشاسته X₃) بر برخی خصوصیات کیفی کیک پخته شده به روش ماکروویو مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های به دست آمده در این طرح با استفاده از نرم‌افزار Design Expert مدل‌سازی شده

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان

رطوبت کیک

همان‌طور که تأثیر متغیرهای مستقل بر درصد رطوبت در شکل ۱ نشان داده شده است، میزان چربی تأثیر زیادی بر تغییرات رطوبت محصول نهایی داشت. نتایج آنالیز واریانس و شکل‌های سطح پاسخ نشان می‌دهد که با افزایش WPC در فرمولاسیون تا ۸ درصد تغییر معنی‌داری در میزان رطوبت مشاهده نشد ولی با افزایش آن تا ۱۳ درصد، رطوبت محصول به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (p < ۰/۰۵)، این در حالی بود که تغییرات اینولین تأثیر معنی‌داری بر رطوبت کیک

WPC < مالتودکسترین < اینولین بود.

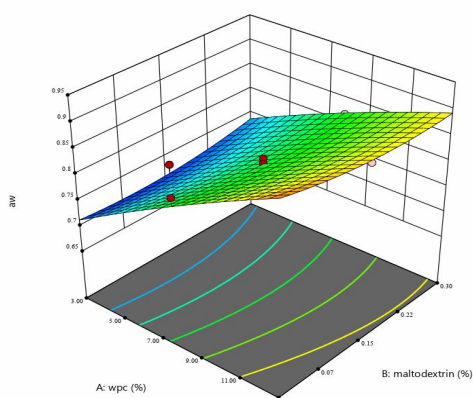
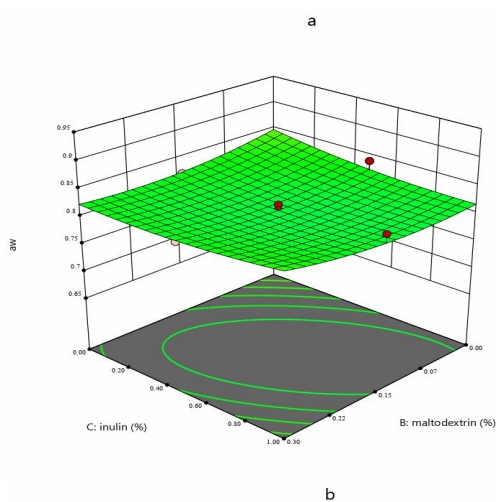


Fig 2 The effectiveness of the response surface curves a) Maltodextrin and Inulin b) Maltodextrin and WPC on water activity of cake

۳-۳- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر

ویژگی‌های بافتی کیک

۳-۳-۱- سفتی بافت

بافت از ویژگی‌های کیفی مهمی است که نظر مصرف‌کننده نسبت به یک محصول را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. تعداد، اندازه و نحوه توزیع سلول‌های هوا بر بافت و در نتیجه کیفیت خوراکی محصول اثر دارد. همچنین تعداد و اندازه سلول‌های هوا بر ساختار کیک، بر ضخامت دیواره‌های سلولی و در نتیجه بر نیروی مورد نیاز برای گاز زدن، جویدن و بلع آن مؤثر است [۱۸]. از آن جایی که گلبول‌های چربی، هوا را به دام می‌اندازند در ماتریکس خمیر و طی فرایند مخلوط کردن، محصولی حجیم، با بافتی نرم طی فرایند پخت به دست می‌آید،

WPC < مالتودکسترین < اینولین بود. راهم و همکاران (۲۰۱۲) نشان داند که استفاده از اینولین به‌عنوان جایگزین چربی در مافینبر مقدار رطوبت اثر معنی‌داری نداشت [۱۷].

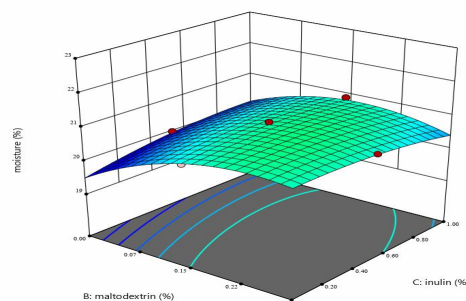
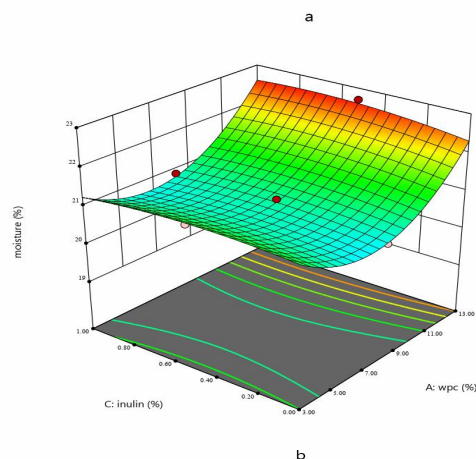


Fig 1 The effectiveness of the response surface curves a) Inulin and WPC b) Maltodextrin and Inulin on moisture content of cake

۲-۳- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر فعالیت آبی کیک

شکل ۲ نشان می‌دهد که در صورت استفاده هم‌زمان مالتودکسترین و اینولین، به علت افزایش تعداد گروه‌های عاملی و اثر آن بر افزایش میزان جذب آب، فعالیت‌آبی بیشتری نسبت به زمانی که مالتودکسترین و اینولین به‌صورت جداگانه استفاده می‌شوند، داشته که نشان‌دهنده اثر سینرژیستی این دو ترکیب بر این پارامتر می‌باشد (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که اثر مستقل میزان WPC و اثر متقابل آن با مالتودکسترین معنی‌دار بود ($P < 0.05$) و با افزایش میزان WPC فرمولاسیون از ۳ تا ۱۳ درصد فعالیت‌آبی نمونه‌های کیک به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد و بیشترین فعالیت‌آبی در نمونه‌های حاوی ۱۳ درصد WPC مشاهده گردید (شکل ۲). ترتیب اثرگذاری متغیرهای مستقل بر این پارامتر به‌صورت:

اینولین و WPC این باشد که با افزایش میزان هر سه متغیر مستقل در فرمولاسیون، میزان حفظ رطوبت و در نتیجه فعالیت آبی نمونه‌ها پس از پخت افزایش پیدا می‌کند. ترتیب اثرگذاری متغیرهای مستقل بر این پارامتر به صورت: $WPC < \text{اینولین} < \text{مالتودکسترین}$ بود.

۳-۲-۳- پیوستگی بافت

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود متغیرهای WPC و اینولین به صورت سینرژیست موجب افزایش پیوستگی بافت کیک پس از پخت شد، در تمام سطوح اینولین، افزایش WPC باعث افزایش قابل توجه پیوستگی بافت نمونه‌ها شده است.

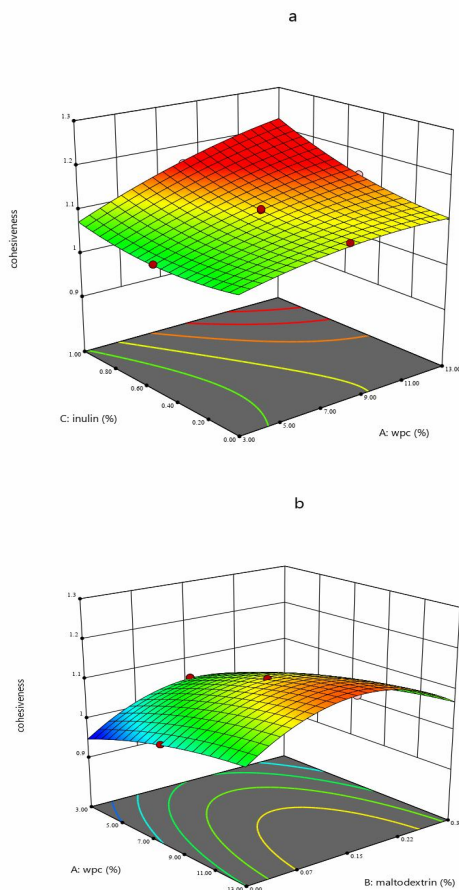


Fig 4 The effectiveness of the response surface curves a) Inulin and WPC b) Maltodextrin and WPC on cohesiveness of cake

با توجه به اثر سینرژیستی این دو ترکیب، پیوستگی بافت نمونه‌های حاوی این ترکیبات افزایش یافته است. طبق نتایج آنالیز واریانس و شکل‌های سطح پاسخ افزودن مالتودکسترین تا ۰/۱۵ درصد در فرمولاسیون خمیر کیک نیز باعث افزایش

همچنین چربی خصوصیت امولسیفایری داشته و با مقدار زیادی آب در خمیر باند می‌شود که باعث بهبود و نرمی بافت می‌شود [۱۹]. با کاهش میزان روغن، به علت این که روغن باعث نگهداری حباب‌های هوا می‌شود بنابراین با کاهش روغن، میزان حباب‌های هوا کمتر می‌شود و کیک فشرده‌تر و بافت سفت‌تر می‌شود و افزودن اینولین به نمونه‌های کیک اسفنجی کم‌چربی، باعث کاهش میزان سفتی بافت گردید [۲۰]. تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان سفتی بافت در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مالتودکسترین و اینولین به طور معنی‌داری بر سفتی محصول مؤثر بودند به طوری که با افزایش مالتودکسترین و اینولین در غلظت ثابت WPC (۸ درصد) سفتی بافت کیک به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0/01$)، به این ترتیب، بیشترین سفتی مربوط به نمونه‌های کیک حاوی کمترین مقادیر این ترکیبات بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان WPC فرمولاسیون نیز اثر قابل توجهی بر سفتی نمونه‌های کیک داشت و با افزایش میزان WPC، سفتی بافت، کاهش یافت (شکل ۳).

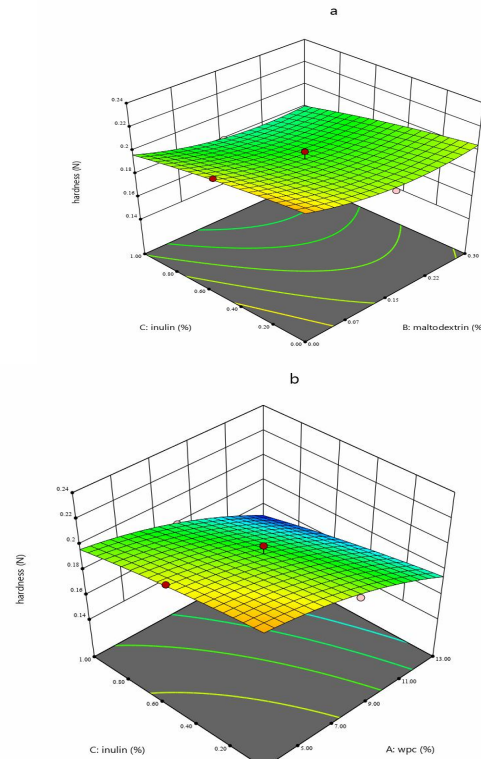


Fig 3 The effectiveness of the response surface curves a) Maltodextrin and Inulin b) WPC and Inulin on hardness of cake
احتمالاً دلیل کاهش سفتی کیک با افزایش مالتودکسترین،

نتایج همچنین نشان داد که افزایش مالتودکسترین و اینولین نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر افزایش حجم نمونه‌های کیک داشت ($p < 0.05$)، بدین‌صورت که با افزایش میزان مالتودکسترین و اینولین در فرمولاسیون، میزان حجم نمونه‌های کیک به‌طور خطی افزایش یافت. یکی از عوامل مهم بر مقدار حجم کیک، هوادمی خمیر است که تابعی از ویسکوزیته خمیر می‌باشد. کاهش چربی باعث افزایش ویسکوزیته خمیر و استفاده از جایگزین چربی باعث کاهش چگالی خمیر می‌گردد [۲].

۳-۵- نتایج حاصل از بررسی ارزیابی حسی

برای تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین کیک کم‌کالری تهیه‌شده با کیک شاهد از آزمون سه‌تایی استفاده شد، به این صورت که نمونه‌ها با رمزهای عددی سه‌تایی به همراه برگه ارزیابی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت. تعداد کل ارزیاب‌ها ۲۰ نفر و تعداد پاسخ‌های صحیح ۸ بود. به این معنی که از ۲۰ ارزیاب شرکت‌کننده، ۸ ارزیاب قادر به تشخیص تفاوت بوده و ۱۲ ارزیاب موفق به تشخیص تفاوت نشدند. اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ($p < 0.01$) بین نمونه بهینه تولیدی و نمونه شاهد وجود نداشت، به‌عبارت‌دیگر برای معنی‌داری تفاوت بین دو نمونه در این سطح احتمال، از بین ۲۰ ارزیاب حداقل باید ۱۳ نفر قادر به تشخیص تفاوت باشند.

۳-۶- بهینه‌یابی

شرایط بهینه برای فرمولاسیون پرمیکس جایگزین چربی جهت تهیه کیک کم‌کالری با استفاده از متغیرهای مستقل WPC، مالتودکسترین و اینولین بر روی پارامترهای مورداندازه‌گیری با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی^۵ نرم‌افزار Design Expert بررسی شد. بدین منظور، ابتدا اهداف بهینه‌سازی را مشخص کرده و سپس سطوح پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل تنظیم شد. برای این منظور مقدار حجم و پیوستگی در حداکثر و مقدار سفتی بافت در حداقل و رطوبت و a_w و همچنین متغیرهای مستقل در حالت *in range* انتخاب شدند. پس از بهینه‌یابی نهایی، مقادیر پاسخ‌ها شامل رطوبت، فعالیت‌آبی، سفتی و پیوستگی بافت و حجم نمونه‌ها به ترتیب برابر ۱۸/۰۸ درصد، ۰/۷۸، ۰/۱۸ نیوتن، ۱/۲۶ نیوتن و ۹۶ سانتی‌متر مکعب بود. در شرایط بهینه مقادیر متغیرهای مستقل شامل میزان WPC، مالتودکسترین و اینولین به ترتیب ۶/۶، ۰/۳ و ۱ درصد به دست آمد (جدول ۳).

پیوستگی بافت محصول نهایی شده، درحالی‌که با افزایش مالتودکسترین تا ۰/۳ درصد، روند پیوستگی بافت کاهش‌یافته بود (شکل ۴). بر اساس مقادیر و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته که در جدول ۲ نشان داده شده است، ترتیب اثرگذاری متغیرهای مستقل بر پیوستگی بافت به‌صورت: $WPC < اینولین < مالتودکسترین$ بود. راسل و همکاران در سال ۲۰۱۲ با افزودن اینولین به کیک لایه‌ای بدون گلوتن نشان دادند که با افزودن اینولین به فرمولاسیون کیک نسبت به نمونه شاهد، پیوستگی افزایش می‌یابد [۲۱].

۳-۴- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر تغییرات

حجم کیک

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود WPC بیشترین تأثیر را بر افزایش حجم نمونه‌های کیک داشت و با افزایش میزان WPC در فرمولاسیون خمیر حجم نمونه‌های کیک افزایش نشان داد.

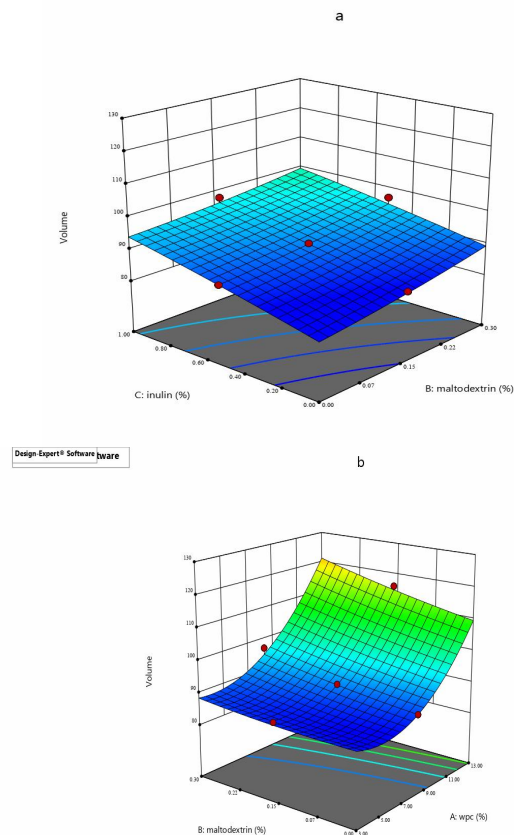


Fig 5 The effectiveness of the response surface curves a) Maltodextrin and Inulin
b) Maltodextrin and WPC on volume of cake

Table 3 The results of the optimization of formulation of low calorie

	Moisture(%)	aw	*hardness(N)	*cohesiveness	Volume(cm ³)
Low fat cake	18.08	0.78	0.18	1.26	96
control	17.91	0.76	0.21	1.24	95

* (significant difference at P < 0.05)

مناسبی برای آن انتخاب شود تا ویژگی‌های آن از لحاظ کیفی مانند طعم و رنگ آن حفظ گردد. جایگزین چربی حاوی سطوح بهینه‌ای از WPC، مالتودکسترین و اینولین به ترتیب ۶/۶، ۰/۳ و ۱٪ توسط روش آماری سطح پاسخ تعیین شد.

۵- منابع

- [1] Anonymous. 2010. Dictionary of food science and technology, 2nd ed. International food information service. Wiley-Blackwell.
- [2] Hui, Y.H. 2007. Bakery products: science and technology, Wiley-Blackwell.
- [3] Rusinek, M. 2012. Cake: The centerpiece of celebrations. In: McWilliams, M. Editor. Celebration Proceedings of the Oxford Symposium on Food and Cookery 2011. Jellyfish Solutions. 308.
- [4] Jia, C. Kim, Y.S. Huang, G. (2008). Sensory and instrumental assessment of Chinese.
- [5] Laneville, S. Paquin, P. Sylvie, L. 2005. Formula Optimization of a Low-fat Food System Containing Whey Protein Isolate-Xanthan Gum Complexes as Fat Replacer. Journal of food science. Vol. 70, Nr. 8, 2005.
- [6] Kalinga D.N. 2010. Delivering β -glucan via selected bakery systems: cake. MS Thesis, School of Biomedical and Health Sciences Faculty of Health, Engineering and Science Victoria University, Blacksburg, Montgomery County, Virginia, USA.
- [7] Bath, D. Shelke, K. Hosney, R. (1992). Fat replacers in high ratio layer cakes. Cereals Foods Word, 37.
- [8] Hesso, N. Le-Bail, A. Loisel, C. Chevallier, S. Pontoire, B. Queveau, D. and Le-Bail, P. 2015. Monitoring the crystallization of starch and lipid components of the cake crumb during staling. Carbohydrate polymers, 133: 533-534.
- [9] Psimouli, V. Oreopoulou, V. The Effect of Fat Replacers on Batter and Cake Properties. Journal of Food Science. Vol. 78. No. 10.

نتایج مرحله بهینه‌سازی فرمولاسیون پرمیکس جایگزین چربی نشان داد که با کاهش WPC و افزودن مالتودکسترین و اینولین، میزان رطوبت و فعالیت آبی نمونه‌های کیک بهتر حفظ شده و در نتیجه باعث کاهش سفتی و همچنین افزایش پیوستگی بافت نمونه‌های کیک شده و در نتیجه به تولید محصولی با کیفیت نهایی بالاتر منتهی شد. طبق نتایج کاهش WPC فرمولاسیون منجر به کاهش حجم نمونه‌های کیک می‌شود که با افزودن مالتودکسترین و اینولین این کاهش حجم نسبتاً جبران می‌گردد. فرمولاسیون بهینه نشان داد که با افزودن ۰/۳٪ مالتودکسترین و ۱٪ اینولین می‌توان میزان چربی فرمولاسیون را به نصف کاهش داد و در نتیجه محصولی کم‌کالری با ویژگی‌های سلامتی بخش بیشتری تولید کرد. در نهایت برای نشان دادن کارایی اثر پرمیکس جایگزین چربی در مقایسه با چربی، سه تکرار با فرمولاسیون یکسان نقطه بهینه پرمیکس جایگزین چربی (۶/۶ WPC، ۰/۳٪ مالتودکسترین و ۱٪ اینولین) تهیه گردید و سپس میانگین ویژگی‌های کیک پخته‌شده با نمونه شاهد حاوی چربی مقایسه گردید. نتایج نشان داد در مجموعه جز سفتی و پیوستگی بافت، اختلاف قابل توجهی بین دو نمونه کیک از نظر خصوصیات مورد بررسی وجود نداشت (جدول ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی پرمیکس جایگزین چربی به دلیل حفظ رطوبت و در نتیجه فعالیت آبی بالاتر، در مقایسه با نمونه شاهد سفتی بافت کمتری داشتند. همچنین کیک‌های حاوی پرمیکس جایگزین چربی از نظر پیوستگی بافت نیز برتری نشان دادند و در مقایسه با کیک‌های شاهد به طور معنی‌داری دارای پیوستگی و انسجام بافت بیشتری بودند.

۴- نتیجه گیری کلی

با توجه به اینکه چربی در محاسبات ارزش کالری زایی بالاترین فاکتور را داراست (۹ کیلوکالری / گرم)، کاهش آن در فرمولاسیون بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر به سبب نقش کلیدی چربی در کیک می‌بایست جایگزین

- Caballero, P. A. 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549–555.
- [17] Rohm, H., Zahn, S. and Pepke, F. (2010). Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *Journal of Food Science and Technology*, 45: 2531–2537.
- [18] Cauvain, S.P. Young, L.S. (2006). *Baked products: Science, technology and practice* Wiley on line library.
- [19] O’Sullivan, M. G. (2019). Nutritional optimisation through reductions of salt, fat and sugar using sensory and consumer driven techniques. In R. Vasilios (Ed.)
- [20] Gómez, M., Mancho n, L., Oliete, B., Ruiz, E. and Caballero, C.M. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90: 549-555.
- [21] Rosell, M., Gularte, M.A., Hera, E. and Gómez, M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *Food Science and Technology*, 48: 209-214
- 2013
- [10] Rodríguez-García, j. Sahi, S. Hernando, I. Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin. *LWT - Food Science and Technology*. 58 (2014) 173-182.
- [11] Sanders, S.W. 1993. Dried Plums: A Multi-Functional Bakery Ingredient. *Bulletin*, 228:1-2.
- [12] Seyhun, N. Sumnu, G. Sahin, S. 2005. Effects of different starch types on retrogradation of staling of microwave baked cakes, *Food and Bioproducts Processing*, 83(C1): 1–5.
- [13] AACC, 1991, Approved methods of the AACC. Method 10-91. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.
- [14] AACC. 2000. Approved methods of the American of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- [15] Roa, V and Tapia, D.D. 1991. Evaluation of water activity measurement with a dew point electronic humidity meter. *Lebenswiss. Technol.*, 24(3): 208-213.
- [16] Ronda, F., Gomez, M., Blanco, C. A., &



The modeling and optimization of Fat Replacer Permixformulation by using response surface methodology (RSM)

Nazari, Z. ¹, Karazhian, R. ^{2*}, Mehraban sangh atash, M. ¹, Ehtiati, A. ¹

1. Department of Food quality and safety, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.
2. Department of industrial microbial biotechnology, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.

ABSTRACT

One of the most common problems in modern communities is long-term high energy intakes due to consumption of high energy foods, resulting in overweight and obesity. Therefore the aim of this study was to produce low calorie cake, by reducing fat and optimization of formulation with whey protein concentrate, Maltodextrin and Inulin to calorie reducing. In this study, response surface methodology and central composite design In order to evaluate and optimization of the independent variables including whey protein concentrate (x1:3-13%), Maltodextrin (x2: 0-0.3%) and Inulin (x3:0-1%) on the characteristics of the final product were used. The results of optimization showed that with reduced fat and add Maltodextrin and Inulin, moisture content and water activity of the cake, better preserved which leads to reduced stiffness and increases the cohesiveness, therefore softer cake with a longer shelf-life was produced. The uses of these compounds in the cake formulation can offset the negative effect from the fat reducing results in reduce the porosity and volume of the cake. Formulation optimization done to minimize stiffness as well as to maximize the volume and cohesiveness of cake that was confirmed in practical tests for Independent parameters of the WPC, Maltodextrin and Inulin 6.6%, 0.3% and 1% respectively. At this point, the optimal response levels include humidity, aw, stiffness, the cohesiveness and volume of samples was 18.07%, 0.78, 0.18 N, 1.26 and 96 cm³ respectively.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/ 09/ 22
Accepted 2022/ 12/ 01

Keywords:

Low-calorie cake,
Maltodextrin,
Inulin,
Textural characteristics,
Response surface.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.187
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.16.1

*Corresponding Author E-Mail:
Reza_karazhyan2002@yahoo.com