مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال نهم، شماره 3، پاییز 1393، صفحات 82-73

بررسی امکان تولید کیک فنجانی کم‌کالری حاوی موسیلاژ بزرگ به عنوان جایگزین چربی

معصومه بی‌تقصیر[1]، مهدی کدیور[2]، محمد شاهدی[2]

1- نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد علوم صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، پست الکترونیکی: m.bitaghsir@ag.iut.ac.ir
2- استاد گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: 92/11/19 تاریخ پذیرش: 93/3/3

چکیده

سابقه و هدف: کیک فنجانی از جمله محصولاتی است که در تهیه آن می‌توان جهت کاهش کالری از جایگزین چربی استفاده کرد. لذا این تحقیق به منظور استفاده از موسیلاژ بزرگ (به عنوان جایگزین چربی) و بررسی اثر آن بر خصوصیات خمیر و کیک حاصل، انجام شد.

مواد و روش‌ها: استخراج موسیلاژ بزرگ انجام شد و غلظت‌های مختلف چربی در خمیر کیک استفاده گردید. در مرحله بهینه‌سازی نتایج به روش آماری سطح پاسخ و با استفاده از نرم افزار Design Expert مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی مدل و انتخاب فرمول بهینه از ویسکوزیته خمیر و سفتی بافت کیک استفاده گردید. در شرایط بهینه نتایج حاصل از ویسکوزیته خمیر، چگالی ویژه خمیر، حجم کیک و ارزیابی حسی با استفاده از نرم‌افزار SAS بررسی شد.

یافته‌ها: سه فاکتور آب، موسیلاژ و چربی به صورت خطی و درجه دوم به ترتیب بر ویسکوزیته و سفتی بافت مؤثر بود، بین آب و موسیلاژ اثر متقابل مشاهده گردید و اختلاف معنی‌داری بین ویسکوزیته و سفتی بافت اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده وجود نداشت. شرایط بهینه شامل 71/53 درصد آب، 1/60 درصد موسیلاژ و 10/38 درصد چربی تعیین شد. مقایسه بین نمونه های شاهد و بهینه نشان داد که ویسکوزیته و چگالی ویژه خمیر بهینه و حجم کیک بهینه‌سازی شده بالاتر از نمونه های شاهد بود ($p<0/05$). ارزیابی حسی اختلاف معنی‌داری را بین نمونه بهینه و نمونه شاهد نشان نداد ($p<0/01$). با توجه به نتایج، تولید کیک کم‌کالری با استفاده از موسیلاژ بزرگ امکان‌پذیر است به گونه‌ای که میزان چربی به 76/40 درصد مقدار اولیه آن تقلیل یافت.

نتیجه‌گیری: با استفاده از موسیلاژ بزرگ به راحتی می‌توان میزان چربی نسبتاً بالای موجود در ترکیب کیک را کاهش داد بدون آن که کیفیت محصول (از لحاظ فیزیکی و حسی) کاهش محسوسی پیدا کند.

واژگان کلیدی: کیک فنجانی کم کالری، موسیلاژ بزرگ، جایگزین چربی، روش سطح پاسخ

• مقدمه

خمیر کیک یک امولسیون روغن در آب است که در آن حباب‌های هوا در فاز روغنی به دام افتاده‌اند. در این حالت چربی سبب ایجاد تردی، نگهداری هوا، ایجاد عطر و طعم و احساس دهانی مطلوب در کیک می‌شود (1). از سوی دیگر امروزه مصرف‌کنندگان به میزان قابل توجهی نگران بیماری‌های ناشی از رژیم غذایی حاوی چربی بالا هستند و سعی در کاهش میزان چربی رژیم غذایی خود دارند. افراد دارای اضافه وزن و کسانی که میزان کلسترول خون آنها بالاست باید میزان چربی مصرفی خود را کاهش دهند(2). چربی‌ها و روغن‌ها منابع غنی انرژی هستند و حدود 9 کیلو-کالری بر گرم انرژی تولید می‌کنند که تقریباً دو برابر مقدار انرژی دریافتی توسط کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها است و این موضوع می‌تواند توجیه کند که چرا در صنعت غذایی، چربی-ها به عنوان اهداف اصلی جایگزینی قرار دارند (3). در کشورهای جهان سوم، محصولات غله‌ای بیش از 70 درصد کل کالری رژیم غذایی روزانه را تأمین می‌کنند؛ علاوه بر این افزایش آگاهی عمومی در مورد سلامتی و تغذیه سبب تمایل بیشتر افراد برای خرید محصولات کم‌چرب، کم‌کالری، کم-کلسترول و حاوی سدیم کمتر شده است (4). بنابراین تهیه محصولات غله‌ای کم‌چرب، هدف اکثر کارخانجات غذایی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

می‌باشد و این پدیده، محققین صنعت غذا را بر آن داشته تا راهکارهایی جهت کاهش چربی مواد غذایی ارائه دهند که در عین حال خواص کاربردی چربی نیز در سیستم غذایی حفظ گردد. از جمله راهکارها جهت رفع مشکلات کیفی حاصل از حذف چربی در محصولات غذایی، استفاده از انواع مختلف جایگزین‌های چربی است. به طور کلی جایگزین‌های چربی بر پایه کربوهیدرات به طور گسترده به علت مزایای اقتصادی نسبی آنها در مقایسه با سایر جایگزین‌ها در محصولات قنادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. Rodriguez و همکاران (2012) از اینولین به عنوان جایگزین چربی در کیک اسفنجی استفاده کردند. در این تحقیق تأثیر استفاده از سطوح مختلف اینولین در فرمولاسیون کیک بر خواص فیزیکی - شیمیایی و ریزساختاری آن بررسی شد (5). Lee و همکاران نیز از آمیلودکسترین‌های بتا گلوکان یولاف (اوتریم) به عنوان جایگزین شورتنینگ در کیک استفاده کردند. آنها مشاهده نمودند با افزایش میزان جایگزینی از 20 تا 60 درصد، مقدار چگالی ویژه خمیر افزایش، ویسکوزیته و تعداد حباب‌های هوا کاهش یافت که این تغییرات مطابق با تغییرات ایجاد شده در حجم کیک بود(6).

بزرک با نام علمی لینوم یوزیتاتیسیموم از جمله منابع کلیدی ترکیبات فعال زیستی در محصولات فراسودمند می‌باشد؛ فیبر محلول در بزرک موسیلاژ نام دارد که به طور عمده در اپیدرم پوشش دانه قرار داشته و به آسانی توسط آب استخراج می‌گردد. موسیلاژ بزرک علاوه بر ایجاد خواص عملکردی، دارای خواص تغذیه‌ای به عنوان فیبر رژیمی است(7). در این تحقیق با بکارگیری موسیلاژ بزرک، میزان چربی فرمولاسیون کیک کاهش و فرآیند تولید کیک کم-کالری به روش آماری سطح پاسخ بهینه‌سازی شد؛ سپس در بهترین شرایط اثر افزودن موسیلاژ بزرک بر خصوصیات کیک حاصل، ارزیابی شد.

• مواد و روش‌ها

جانشین چربی: جانشین چربی مورد استفاده موسیلاژ بزرک است که استخراج آن از دانه بزرک توسط روش کوئی و همکاران (1994) انجام شد؛ در این روش ابتدا استخراج موسیلاژ توسط آب صورت گرفت، پس از آن موسیلاژ با اتانل 96% رسوب داده شد و در نهایت نمونه‌ها توسط خشک کن انجمادی دنا وکیوم (ساخت ایران) خشک گردید(8).

تولید کیک: نمونه‌های کیک طبق فرمول ارائه شده در جدول 1، در کارگاه گروه صنایع غذایی دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شد. به این ترتیب که ابتدا تخم مرغ و شکر به مدت 3 دقیقه با سرعت بالا مخلوط شده، سپس مایعات شامل روغن، آب، امولسیفایر، قند اینورت و سایر ترکیبات خشک (به‌جز آرد و بیکینگ‌پودر) اضافه گردید و به مدت 2 دقیقه با سرعت بالا هم‌زده شد. در آخرین مرحله آرد و بیکینگ‌پودر اضافه شده و به مدت 1 دقیقه با دور پائین همزن مخلوط گردید. پس از اندازه‌گیری ویسکوزیته، خمیرِ تهیه شده در قالب کیک حاوی کاغذ روغنی توزین شد. سپس قالب‌ها درون فر با دمای 200 درجه سانتی‌گراد به مدت 17 دقیقه قرار گرفته، تا عمل پخت صورت گیرد. بعد از اتمام زمان پخت قالب حاوی کیک را به مدت نیم ساعت در دمای محیط قرار داده تا خنک شود و از تعریق نمونه در بسته جلوگیری به عمل آید. در نهایت نمونه‌های کیک تا زمان آزمایش در فیلم پلاستیکی نازک پیچیده شده و در دمای محیط نگهداری گردید.

جدول 1. مواد لازم برای تهیه کیک

مواد لازم	مقدار (گرم)
آرد	500
شکر	300
بیکینگ پودر	15
آب	300
روغن	220
تخم‌مرغ	210
قند اینورت	45
امولسیفایر	30

به منظور بررسی و بهینه‌سازی فرمول کیک کم‌کالری سه فاکتور آب، موسیلاژ و چربی استفاده از روش آماری سطح پاسخ در سه سطح مختلف بر اساس جدول 2 انتخاب شدند. سپس 20 تیمار مختلف در قالب طرح دی اپتیمال بر اساس سطوح متغیرهای مورد بررسی مشخص شد. برای بررسی مدل و انتخاب فرمول بهینه از پاسخ ویسکوزیته خمیر و سفتی بافت کیک حاصل استفاده شد.

اندازه‌گیری چگالی ویژه خمیر: از تقسیم وزن حجم مشخصی از خمیر کیک بر وزن همان حجم آب، در دمای ثابت محاسبه شد (9).

اندازه‌گیری ویسکوزیته خمیر: با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد مدل DV2 ساخت آمریکا، سرعت 20 دور در دقیقه و در دمای اتاق، ویسکوزیته محاسبه شد(10).

اندازه‌گیری شاخص حجم: پس از پخت و خنک شدن کیک‌ها به مدت 1 ساعت، نمونه کیک بصورت عمودی به دو

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

قسمت مساوی بریده شد و قرینه بودن و شاخص حجمِ آن با استفاده از روش AACC10-91(1976) و توسط تمپلیت (چارت اندازه‌گیری ارتفاع و تقارن سطح کیک) اندازه‌گیری شد(11).

آزمون بافت: با استفاده از آزمون سوراخ کردن با یک استوانه فلزی با سطح صاف و به کمک دستگاه آنالیزکننده بافت اینسترون مدل 1140 ساخت انگلستان، انجام گرفت. دستگاه میزان تنش برشی برای برش یک سوراخ را نشان داد. با استفاده از رابطه زیر میزان تنش برشی گزارش گردید. مشخصات بکار گرفته شده در آزمون عبارتند از قطر پروب 0/5 سانتی‌متر، سرعت پروب 100 میلی‌متر بر دقیقه، سلول حساس به نیروی بارگذاری استفاده شده 500 گرم تا 5 کیلوگرم بود(12).

معادله 1)

$$S = \frac{F}{\pi r^2}$$

S: حداکثر تنش برش (گرم بر سانتی مترمربع)
F: نیروی وارد بر نمونه (گرم)
r: شعاع پروب (سانتی متر)

ارزیابی حسی: به منظور تبیین تفاوت بین دو نمونه از روش مثلثی برای مقایسه کیک کم‌کالری تهیه شده با کیک شاهد استفاده شد(13).

روش‌های آماری مورد استفاده: آنالیز نتایج در بخش‌های مدل‌سازی فرآیند، رسم نمودار سطح پاسخ سه بعدی و تعیین شرایط بهینه تولید و در نهایت پیش‌بینی مقادیر متغیر هدف در شرایط بهینه، به کمک نرم افزار آماری دیزاین اکسپرت (Design Expert ver:7) انجام گرفت. همچنین تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده در قالب طرح دی‌اپتیمال انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین آن‌ها، آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری (p<0/05) مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (ver: SAS 9.1) انجام شد.

• یافته‌ها

برای بررسی مدل و انتخاب فرمول بهینه از پاسخ ویسکوزیته خمیر وسفتی بافت کیک استفاده شد که در جدول 2، تعداد آزمایشات، ویسکوزیته واقعی و پیش‌بینی شده، سفتی بافت اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در محصولات تولیدی ارائه شده است. نتایج به دست آمده در جدول 3 نشان می‌دهد که بین ویسکوزیته و سفتی بافت اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط مدل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (p<0/05). مناسب‌ترین مدل برای پاسخ ویسکوزیته و بافت به ترتیب مدل خطی و درجه دوم بود که توسط نرم‌افزار پیشنهاد شد.

جدول 2. متغیرها و سطوح اندازه‌گیری

متغیرها	سطوح		
کد	1	0	-1
چربی(%)	20	10	0
آب(%)	80	70	60
صمغ(%)	2/5	1/75	1

ضرایب فاکتورها در پاسخ ویسکوزیته به صورت معادله 2 نشان داده شده است.

معادله 2)

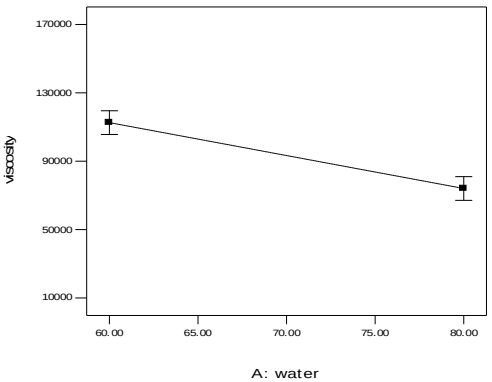
$$Y = 93301/71 - 19269/44\ X_1 + 31970/24\ X_2 + 7723/93\ X_3$$

معادله 3)

$$Y = 1/32 + 0/15\ X_1 - 0/46\ X_2 + 0/38 X_3 + 0/49\ X_2X_1 + 0/77\ X_1^2 + 0/53\ X_2^2 - 1/10 X_3^2$$

بررسی اثر خصوصیات بررسی شده و تأثیر آن بر ویسکوزیته

الف) تأثیر درصد آب: بر اساس معادله (2) مشاهده می‌شود که اثر آب بر ویسکوزیته به صورت خطی است. مطابق با منحنی شکل (1) با افزایش مقدار آب، میزان ویسکوزیته به صورت درجه اول کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر میزان ویسکوزیته با افزایش مقدار آب نسبت عکس دارد. زمانی‌که میزان آب 60 درصد بوده، مقدار ویسکوزیته 112571 سانتی‌پواز است که با افزایش میزان آب به 80 درصد مقدار ویسکوزیته به حدود 74032/3 سانتی پواز تقلیل یافت.



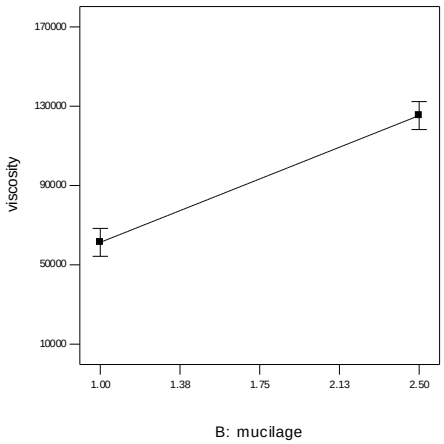
شکل 1. تأثیر درصد آب بر ویسکوزیته

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

جدول 3. تیمارهای انتخابی مطابق طرح دی اپتیمال و مقادیر سفتی بافت و ویسکوزیته واقعی و پیش بینی شده

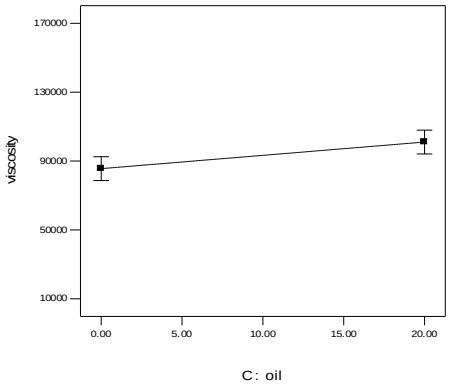
آزمون ها	آب(%)	موسیلاژ(%)	چربی (%)	سفتی بافت (N/cm^2)		ویسکوزیته(cp)	
				واقعی	پیش بینی شده	واقعی	پیش بینی شده
1	80	1	20	2/15	2/03	$5/38*10^4$	$4/97*10^4$
2	75/57	1/56	3/94	0/97	1/09	$6/70*10^4$	$6/99*10^4$
3	80	2/50	0	1/45	1/32	$1/08*10^5$	$9/82*10^4$
4	60	1/60	6/59	1/84	1/88	$8/70*10^4$	$1/03*10^5$
5	68/03	1	11/95	2/55	2/44	$8*10^4$	$6/66*10^4$
6	60	2/50	6/95	1/43	1/30	$1/45*10^5$	$1/42*10^5$
7	68/12	1/89	0	0/03	0/239	$1/16*10^5$	$9/52*10^4$
8	68/03	1	11/95	2/55	2/44	$7/18*10^4$	$6/66*10^4$
9	72/88	2/50	20	0/61	0/92	$1/11*10^5$	$1/27*10^5$
10	80	1/90	11/95	2/19	2/30	$6/36*10^4$	$8/18*10^4$
11	72/56	1/56	20	0/82	0/81	$9/32*10^4$	$8/81*10^4$
12	67/69	1/94	12/22	1/12	1/25	$1/04*10^5$	$1/07*10^5$
13	80	1	0	1/13	1/27	$5/1*10^4$	$5/43*10^4$
14	60	2/50	20	0/80	0/71	$1/69*10^5$	$1/52*10^5$
15	80	2/50	0	1/45	1/32	$9/44*10^4$	$9/82*10^4$
16	60	1	0	1/89	1/94	$6/48*10^4$	$7/28*10^4$
17	80	1	0	1/12	1/27	$1/71*10^4$	$3/43*10^4$
18	60	1/54	20	1/64	1/53	$1/05*10^5$	$1/11*10^5$
19	60	1	0	1/84	1/94	$6/78*10^4$	$7/28*10^4$
20	80	1	20	2/18	2/03	$5/38*10^4$	$4/97*10^4$

ب) تأثیر درصد موسیلاژ: بر اساس ضرایب معادله 22 اثر موسیلاژ بر ویسکوزیته نسبت به دو متغیر دیگر مؤثرتر بوده به طوری که با افزایش درصد موسیلاژ، ویسکوزیته به صورت خطی با شیب تندتری افزایش می‌یابد (شکل2).



شکل 2. تأثیر درصد موسیلاژ بر ویسکوزیته

ج)تأثیر درصد چربی: بر اساس معادله 2 مشاهده می‌شود میزان چربی به صورت معادله درجه اول بر ویسکوزیته مؤثر است. منحنی شکل (3) نشان می‌دهد که با افزایش درصد چربی، مقدار ویسکوزیته با شیب نسبتاً ملایم به صورت خطی افزایش می‌یابد بطوری که در اثر افزودن 20 درصد چربی، ویسکوزیته با سرعت کمی افزایش یافته و بیانگر این نکته است که تأثیر چربی بر ویسکوزیته نسبت به دو متغیر دیگر کمتر است.



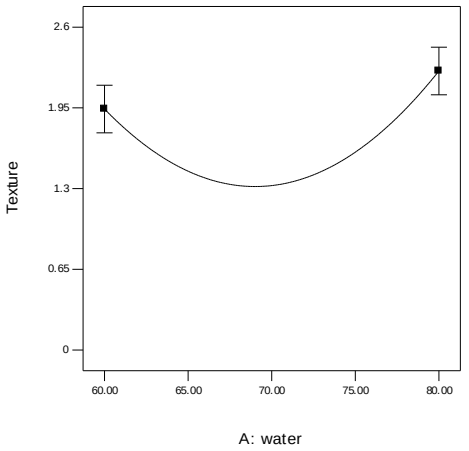
شکل 3. تأثیر درصد چربی بر ویسکوزیته

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

د) بررسی اعتبار مدل انتخاب شده و تأیید آن برای ویسکوزیته: قبل از استفاده از یک مدل، مناسب بودن یا دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. از جمله روش‌های تعیین اعتبار مدل و تأیید اولیه آن رسم منحنی مقادیر واقعی به دست آمده از انجام تیمارها در مقابل مقادیر پیش بینی شده توسط مدل پیشنهادی می‌باشد. پس از رسم منحنی ، یک معادله درجه اول و یک ضریب توجیه‌کنندگی داده می‌شود که مقادیر شیب منحنی، عرض از مبدأ و ضریب توجیه‌کنندگی به ترتیب برابر با 0/883، 10063 و 0/883 بود.

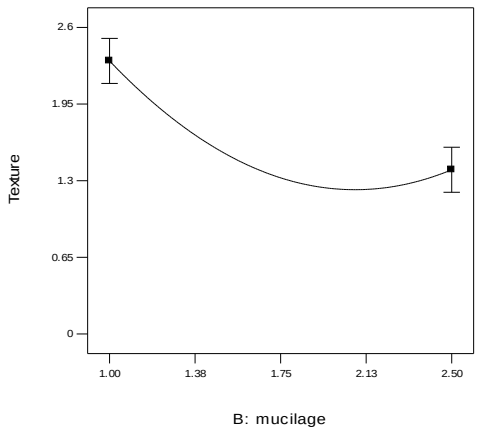
بررسی اثر خصوصیات بررسی شده و تأثیر آن بر سفتی بافت:

الف)تأثیر درصد آب: بر اساس معادله 3 مشاهده می‌گردد که میزان آب بر بافت به صورت معادله درجه دوم و همچنین به صورت اثر متقابل با موسیلاژ مؤثر است. مطابق با منحنی شکل 4 می‌توان دریافت که با افزایش مقدار آب تا حدود 72 درصد میزان سفتی بافت کاهش یافته و چنانچه مقدار آب از این حد بیشتر شود، سفتی بافت با شیبی ملایم افزایش می‌یابد.



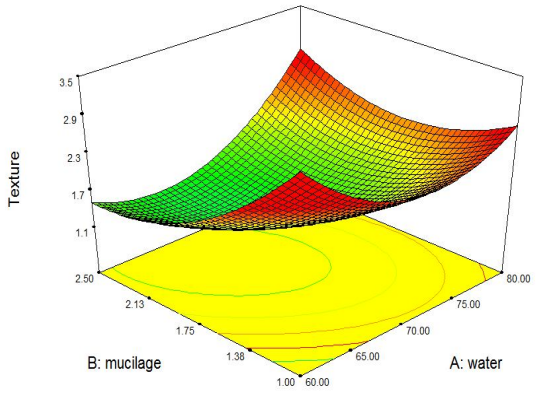
شکل 4. تأثیر درصد آب بر سفتی بافت

ب)تأثیر درصد موسیلاژ: بر اساس معادله 3 مشاهده می‌گردد که تأثیر افزایش درصد موسیلاژ برسفتی بافت به صورت منحنی با شیب نزولی می‌باشد. منحنی شکل 5 نشان می‌دهد که با افزایش مقدار موسیلاژ سفتی بافت به صورت درجه دوم کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش 2/5 درصدی در غلظت موسیلاژ، مقدار سفتی بافت حدود 40 درصد کاهش یافته است (با فرض ثابت بودن درصد آب و چربی).



شکل 5. تأثیر درصد موسیلاژ بر سفتی بافت

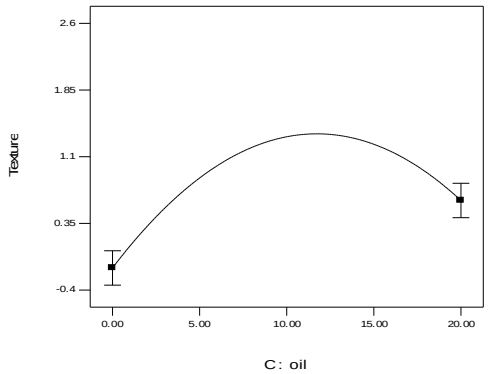
بر اساس مدل مربوط به بافت و معادله 3، می توان دریافت که موسیلاژ و آب به صورت همزمان اثر متقابل بر بافت دارند. هنگامی که اثر متقابل دو متغیر بر روی فاکتور مورد نظر بررسی گردد، نمودار سطح پاسخ سه بعدی آن‌ها ترسیم می‌شود. برای رسم این منحنی یک متغیر، ثابت فرض شده و چگونگی تغییر همزمان دو متغیر دیگر تعیین می-گردد. به دلیل وجود اثر متقابل موسیلاژ و آب بر بافت، نمودار سطح پاسخ سه بعدی بافت در مقابل درصد آب و موسیلاژ ترسیم شده است (شکل 6). در نمودار سطح پاسخ سه بعدی مشاهده می‌گردد که با افزایش میزان موسیلاژ کاهش قابل توجهی در سفتی بافت صورت می‌گیرد. در مورد آب نیز تا سطح 72 درصد چنین اثری مشاهده می‌شود اما اثرش نسبت به موسیلاژ کمتر است. از سوی دیگر چنانچه میزان آب افزایش یابد افزایش سفتی با شیب بسیار کم حاصل می‌شود. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش همزمان غلظت موسیلاژ تا 2/5 درصد و میزان آب تا 72 درصد ، سفتی بافت کاهش قابل توجهی می‌یابد.



شکل6. نمودار سطح پاسخ سه بعدی بافت در مقابل درصد آب و موسیلاژ

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

ج)تأثیر درصد چربی: بر اساس معادله 3 می‌توان دریافت که اثر چربی بر بافت بصورت معادله درجه دوم است. همان طور که مشاهده می‌شود، مطابق با منحنی شکل 7 میزان چربی در مقادیر کم با سفتی بافت رابطه مستقیم دارد ولی چنانچه میزان چربی از 10 درصد بیشتر شود، میزان سفتی بافت کاهش می‌یابد.



شکل 7. تأثیر درصد چربی بر سفتی بافت

د) **بررسی اعتبار مدل انتخاب شده و تأیید آن برای سفتی بافت:** همان طورکه اشاره شد یکی از روش‌های تأیید مدل، رسم منحنی مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده بوده و مانند ویسکوزیته، مقادیر واقعی سفتی بافت در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده رسم گردید. شیب منحنی، ضریب توجیه‌کنندگی و عرض از مبدأ به ترتیب برابر با 0/878، 0/948 و 0/199 بود.

بهینه‌سازی: پس از تعیین مدل، بهینه‌سازی به منظور دست‌یابی به سطوحی از متغیرهای مستقل که در نتیجه بکارگیری آنها بهترین فرمولاسیون از لحاظ ویسکوزیته خمیر و سفتی بافت کیک به دست آید، انجام شد. نرم‌افزار بر اساس مدل توصیفی و همچنین سطوح تعیین شده، نقاطی را تعیین می‌کند که در این شرایط بهترین ویسکوزیته خمیر و سفتی بافت کیک حاصل گردد. در جدول 4 نقطه بهینه تعیین شده توسط نرم‌افزار جهت رسیدن به ویسکوزیته و سفتی بافت مورد نظر و همچنین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده آنها مشاهده می‌شود. با مقایسه نتایج واقعی و پیش‌بینی شده مشخص می‌گردد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده وجود ندارد ($p<0/05$).

تولید بر مبنای نقاط بهینه: بر طبق نقطه بهینه ارائه شده توسط نرم‌افزار، فرمولاسیون کیک بهینه به صورت 71/53 درصد آب، 1/60 درصد موسیلاژ و 10/38 درصد چربی در نظر گرفته شد و بین نمونه شاهد و بهینه شده مقایسه انجام گرفت.

چگالی ویژه: بررسی میانگین داده‌ها نشان داد که چگالی ویژه در تیمار بهینه (1/09±0/05) بالاتر از تیمار شاهد (0/95±0/00) است و این اختلاف بین دو تیمار در سطح ($p<0/05$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

ویسکوزیته: مقایسه ویسکوزیته بین دو تیمار نشان داد که ویسکوزیته تیمار بهینه (64500±900) در مقایسه با شاهد (42500±4700) بالاتر است و این اختلاف بین دو تیمار در سطح ($p<0/05$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

شاخص حجم: نتایج حاصل از شاخص حجم کیک بیانگر حجم بالاتر تیمار بهینه (106/00±3/46) در مقایسه با شاهد (96/33±2/08) است و این اختلاف در سطح ($p<0/05$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

ارزیابی حسی: به منظور تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمار بهینه و شاهد، ارزیابی حسی با روش مثلثی صورت گرفت. تعداد ارزیاب‌ها 20 نفر و تعداد پاسخ صحیح 8 پاسخ بود. در سطح معنی‌داری ($p<0/01$) عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها گزارش گردید.

جدول4. سطوح بهینه متغیرها و مقادیر واقعی و پیش بینی شده سفتی بافت و ویسکوزیته

متغیر	آب(%)	موسیلاژ(%)	چربی(%)	سفتی بافت(N/cm^2)		ویسکوزیته(cp)	
				واقعی	پیش بینی شده	واقعی	پیش بینی شده
سطح بهینه	71/53	1/60	10/38	2/517	2/410	64500	64800

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

• بحث

زمانی که مقدار بالایی آب در سیستم وجود داشته باشد، قوام خمیر به میزان قابل توجهی کاهش یافته و باعث سهولت فرآیند مخلوط کردن می‌گردد. Farahnaky and Hill به بررسی تأثیر نمک، آب و دما بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر پرداختند. آنها بیان کردند که اضافه کردن آب سبب کاهش قوام خمیر می‌شود. به طوری که افزایش میزان آب مصرفی در تهیه خمیر از 50 به 74 درصد، سبب کاهش معنی‌داری در قوام خمیر گردید و قوام خمیر حاصل، در اثر افزودن این مقدار آب به حدود 8 برابر مقدار اولیه‌اش تنزل یافت(14). افزایش ویسکوزیته خمیر در اثر افزودن صمغ، از طریق ظرفیت اتصال به آب بالای صمغ‌ها توضیح داده می‌شود. بدین صورت که چنانچه هیدروکلوئید با مقدار قابل توجهی رطوبت پیوند برقرار کند سبب ایجاد ویسکوزیته بالاتری در خمیر می‌گردد. Xue (2007)، به بررسی خواص رئولوژیکی و حرارتی سیستم خمیر پرداخت. او گزارش کرد که افزودن متیل سلولز سبب افزایش جذب آب شده و در نتیجه ویسکوزیته خمیر افزایش می‌یابد. همچنین در نتایج خود مشاهده کرد که افزودن 0/2 درصد زانتان به خمیر سبب افزایش ویسکوزیته آن در دمای پائین می‌گردد. سایر محققین نیز بیان کردند ویسکوزیته نشاسته گندم در اثر اضافه کردن مقدار کمی صمغ زانتان، گوار و سلولز افزایش می‌یابد (15). تأثیر چربی بر ویسکوزیته نسبت به دو متغیر دیگر کمتر است، که عمده‌ترین دلیل عدم تأثیر این پارامتر بر ویسکوزیته مقدار کم این ترکیب در فرمولاسیون می‌باشد. به طور کلی با توجه به مقادیر ضرایب توجیه‌کنندگی و عرض از مبدأ مشاهده می‌شود که مدل انتخابی برای ویسکوزیته مناسب است.

با افزایش میزان آب تا 72 درصد سفتی بافت کم می‌شود که به علت افزایش محتوای رطوبتی کیک می‌باشد. در صورتی که میزان آب از 72 درصد بیشتر شود به دلیل اینکه مقدار آب اضافی به عنوان آب تبلور عمل می‌نماید در نتیجه سبب اتصال رشته‌های آمیلوز به یکدیگر شده و بیاتی بافت را در پی دارد که در اینصورت سبب افزایش سفتی بافت می‌گردد. Manohar و همکاران گزارش کردند تغییر در محتوای آب حتی به میزان 1 درصد سبب ایجاد تغییرات قابل توجه در خصوصیات رئولوژیکی می‌گردد. با افزایش میزان آب چسبناکی خمیر بیشتر شده و محصول بدست آمده سفت‌تر می‌شود، که بیانگر افزایش در دانسیته، نیروی شکستن و فشردگی می‌باشد(16).

با افزایش میزان موسیلاژ کاهش قابل توجهی در سفتی بافت صورت می‌گیرد. در مورد آب نیز تا سطح 72 درصد چنین اثری مشاهده شد، با این تفاوت که اثرش در مقایسه با موسیلاژ کمتر بود. از سوی دیگر چنانچه میزان آب اضافه شده به خمیر بیش از 72 درصد باشد، سفتی بافت با شیب بسیار کمی افزایش می‌یابد. وجود گروه‌های هیدروکسیل در ساختار موسیلاژ و فعالیت متقابل این گروه‌ها با آب، از طریق پیوند هیدروژنی سبب افزایش جذب آب می‌شود؛ موسیلاژ به علت محبوس کردن آب در ساختار خود خواص جریانی مشابه چربی را ایجاد می‌کند و در نتیجه سبب نرمی بافت می‌گردد. از سوی دیگر موسیلاژ این توانایی را دارد که با رشته‌های آمیلوز پیوند برقرار کرده و مانع از اتصال رشته‌های آمیلوزی به یکدیگر شود. Ashwini و همکاران بیان کردند هیدروکلوئیدها سبب افزایش ظرفیت اتصال به آب در محیط آبی نشاسته می‌گردند. این واقعیت بیانگر کنترل تحرک آب بوده و یکی از فاکتورهای مهم در جلوگیری از بیاتی نشاسته و سفتی بافت می‌باشد. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از صمغ عربی و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به عنوان جایگزین تخم‌مرغ در کیک سبب کاهش سفتی کیک و بهبود بافت آن گردید. علاوه بر این در مطالعات ریزساختاری مشاهده کردند که گرانول‌های نشاسته توسط هیدروکسی پروپیل متیل سلولز پوشیده شده است و این پدیده سبب بهبود کیفیت کلی کیک به ویژه حجم و بافت آن گردید (17).

افزایش چربی تا محدوده 10 درصد در جلوگیری از بیاتی و سفتی بافت نقشی ندارد، به این دلیل که این مقدار چربی در حدی نبوده که بتواند سطح ذرات آرد را بپوشاند و در نتیجه سفتی بافت رخ می‌دهد. از سوی دیگر در این محدوده، میزان پیوندهای هیدروفوب بین چربی و بخش‌های هیدروفوب آمینواسیدها بیشتر است؛ بنابراین با افزایش میزان چربی، سفتی بافت نیز افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش پیوندهای هیدروفوب می‌باشد. Khalil در تحقیق خود بیان داشت چربی در سطوح پائین سبب ایجاد ساختار متراکم و در نتیجه سفت‌تر شدن بافت کیک می‌گردد(18).

چنانچه میزان چربی بکار رفته در فرمولاسیون بیش از 10 درصد باشد در اینصورت این مقدار چربی، اطراف ذرات آرد را احاطه کرده و مانع جذب آب توسط ذرات می‌شود که در نهایت از سفتی بافت جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر چنانچه میزان چربی از 10 درصد بیشتر شود به این دلیل که این مقدار چربی، بیشتر از میزان لازم برای ایجاد

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

پیوندهای هیدروفوبی است در نتیجه چربی اضافی، بین لایه‌های پروتئینی قرار می‌گیرد و سبب لغزندگی و نرمی بافت می‌شود؛ همچنین چربی در این حالت منجر به کاهش تشکیل پیوندهای مختلف از جمله پیوندهای سولفیدی می‌گردد و در نتیجه سفتی بافت کاهش می‌یابد.

Menjivar و همکاران بیان کردند، در صورت وجود مقدار کافی چربی، این ماده سطح ذرات آرد را می‌پوشاند و از گسترش پروتئین‌های گلوتن جلوگیری می‌کند(19). Ferrari و همکاران گزارش کردند میزان چربی نسبت به آب در تردی محصول تأثیر بیشتری دارد و هرچه میزان چربی در کیک افزایش یابد در اینصورت کیک حاصل نرم‌تر خواهد بود البته این در حالتی صادق است که میزان رطوبت نیز در محدوده مناسبی باشد (20).

با توجه به مقدار ضریب توجیه‌کنندگی و عرض از مبدأ مشخص گردید که مدل انتخابی، برای نشان دادن میزان سفتی بافت کیک مناسب است. هر چه شیب منحنی داده شده و ضریب توجیه‌کنندگی به عدد یک و عرض از مبدأ به عدد صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر مناسب بودن مدل انتخابی است. با مقایسه نتایج واقعی و پیش‌بینی شده برای ویسکوزیته خمیر و سفتی بافت کیک مشخص می‌شود که مدل تعیین شده به خوبی می‌تواند برای تولید کیک کم‌کالری استفاده گردد و بکارگیری این فرمولاسیون سبب کاهش 76/40 درصدی در میزان چربی موجود در ترکیب می‌شود.

مقدار چگالی ویژه خمیر بیانگر میزان هوای به دام افتاده در خمیر است به طوریکه چگالی ویژه پائین، بیانگر خمیر حاوی حباب هوای بالا می‌باشد. خمیر ویسکوز به نگهداری حباب هوا کمک می‌کند در حالیکه خمیر با ویسکوزیته پائین و چگالی ویژه بالا اجازه می‌دهد که حباب‌های هوای موجود در خمیر به یکدیگر بپیوندند و حباب بزرگتری را ایجاد کنند که در اینصورت حباب بزرگ، به سطح آمده و از خمیر خارج می‌شود. از این لحاظ چگالی ویژه خمیر، با شاخص حجم کیک رابطه دارد (17). بنابراین تعیین چگالی ویژه برای ارزیابی تأثیر موسیلاژ بزرگ بر مقدار هوای به دام افتاده در خمیر و رابطه آن با حجم کیک است. نمونه بهینه دارای چگالی ویژه خمیر بالاتری در مقایسه با نمونه شاهد بود که به علت میزان آب بالاتر و میزان چربی کمتر در فرمولاسیون آن می‌باشد. Lee و همکاران از آمیلودکسترین بتا گلوکان یولاف به عنوان جایگزین چربی در کیک استفاده کردند. آنها دریافتند که با افزایش درصد جایگزینی چربی با بتا گلوکان، چگالی ویژه خمیر نیز افزایش می‌یابد (6).

از سوی دیگر هیدروکلوئیدها به دلیل پیوند با مقدار قابل توجهی رطوبت، سبب ایجاد ویسکوزیته بالاتری در خمیر می‌گردند. ویسکوزیته خمیر کیک به عنوان یک عامل کنترلی در حجم کیک نهایی است که به علت تأثیر آن در به دام انداختن حباب‌ها و جلوگیری از حرکت و جابه‌جایی آنها می‌باشد. چنانچه خمیر به اندازه کافی ویسکوز نباشد باعث اتصال حباب‌های هوا به یکدیگر شده و در نتیجه حباب‌های بزرگ به سطح آمده و از سیستم خمیر خارج می‌شوند. به گونه‌ای که هر چه قدر ویسکوزیته خمیر بالاتر باشد به عنوان یک فاکتور کمکی نقش آن در نگهداری حباب هوا بیشتر است. Gomez و همکاران بیان کردند، وجود هیدروکلوئید در خمیر کیک سبب افزایش ویسکوزیته می‌شود که از صعود حباب‌ها به سطح جلوگیری می‌کند و در نتیجه سبب افزایش ثبات، پایداری و تشکیل ساختار سلولی یکنواخت می‌گردد (9).

جایگزینی چربی با موسیلاژ بزرگ اگرچه اندکی سبب کاهش تشکیل سلول هوایی گردید (بالاتر بودن چگالی ویژه خمیر تیمار بهینه در مقایسه با شاهد)، ولی از سوی دیگر به دلیل افزایش ویسکوزیته در خمیر تیمار بهینه، سبب افزایش قابلیت نگهداری سلول‌های هوایی گردید و در نتیجه افزایش حجم را به دنبال داشت. کیک با کیفیت باید دارای شاخص حجم بالا باشد. چربی یا شورتنینگ از طریق به دام انداختن و نگهداری هوا در مرحله خامه‌ای کردن سبب ایجاد حجم بالا در کیک می‌شود (5). بنابراین اندازه‌گیری حجم جهت ارزیابی تأثیر جایگزینی چربی با موسیلاژ بزرگ در فرمولاسیون کیک بهینه است.

Khalil در تحقیق خود گزارش کرد، هر چه سطوح جایگزینی چربی با ترکیبات کربوهیدراتی بیشتر شود ویسکوزیته افزایش می‌یابد و حجم کیک حاصل نیز بیشتر می‌گردد که علت آن نگهداری حباب هوا توسط فیلم‌هایی با چسبناکی بالا در اطراف آنها و تشکیل حباب مقاوم‌تر می‌باشد (18).

Rodriguez و همکاران از اینولین به عنوان جایگزین چربی در کیک استفاده نمودند. آنها بیان کردند، چنانچه ویسکوزیته خمیر بالاتر باشد در نتیجه به‌دام انداختن هوا در خمیر بیشتر شده که منجر به تولید کیک با حجم بالاتر می‌گردد (5).

Gomez و همکاران نیز اعلام کردند، حجم نهایی حاصل از کیک‌های حاوی هیدروکلوئید اساساً بستگی به مقدار هوای اولیه در خمیر ندارد بلکه به توانایی سیستم خمیر در نگهداری هوا، طی مرحله پخت و همچنین تأثیر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

هیدروکلوئید بر دمای ژلاتیناسیون نشاسته بستگی دارد. به طوری که تأثیر هیدروکلوئید بر حجم نهایی کیک توسط افزایش در ویسکوزیته خمیر توضیح داده می‌شود که سرعت انتشار گاز را کاهش می‌دهد و به نگهداری آن طی مراحل اولیه پخت کمک می‌کند. به دلیل اینکه هیدروکلوئید در جذب آب در دسترس با نشاسته رقابت می‌کند، سبب افزایش دمای ژلاتیناسیون نشاسته می‌گردد، در اینصورت تغییر امولسیون خمیر مایع و هوادار به حالت ساختار جامد و متخلخل دیرتر اتفاق می‌افتد در نتیجه برای مدت زمان طولانی‌تری اجازه افزایش حجم به کیک داده می‌شود. آنها در نتایج خود بیان کردند، در اثر استفاده از هیدروکلوئید زانتان در فرمولاسیون کیک لایه‌ای زرد، حجم کیک حاصل در مقایسه با شاهد بیشتر می‌شود (9).

در ارزیابی حسی کیک، نمونه‌ها با رمزهای عددی سه-تایی به همراه برگه ارزیابی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت. تعداد کل ارزیاب‌ها 20 نفر و تعداد پاسخ‌های صحیح 8 بود. به این معنی که از 20 ارزیاب شرکت‌کننده، 8 ارزیاب قادر به تشخیص تفاوت بودند و 12 ارزیاب موفق به تشخیص تفاوت نشدند و اختلاف معنی‌داری بین نمونه بهینه تولیدی و نمونه شاهد وجود نداشت ($p<0/01$). به عبارت دیگر برای معنی‌داری تفاوت بین دو نمونه در این سطح احتمال، از بین 20 ارزیاب حداقل باید 13 نفر قادر به تشخیص تفاوت باشند.

با توجه به نتایج به دست آمده اگرچه نمی‌توان تمامی چربی موجود در ترکیب را با موسیلاژ بزرک جایگزین نمود، اما تا حد قابل ملاحظه‌ای (حدود 77%) می‌توان مقدار چربی را کاهش داد بدون آنکه خواص مکانیکی و رئولوژیکی خمیر و ارگانولپتیکی کیک دستخوش تغییرات نامطلوب گردد.

References

1. Bennion EB, G.S.T.Bamford. The Technology of Cake Making.ed: AJBent Blackie Academic & Professional, UK. 1997.
2. SandraBastin MNS, R.D. Fat replacers. State Extension Specialist, Food and Nutrition Cooperative Extension Service University of Kentucky, College of Agriculture.1997; H.E.3-208.
3. Hu FB. Dietary pattern analysis: a new direction in nutritional epidemiology. Curr.Opin.lipidolo. 2002; 13(1):3-9.
4. Inglett GE, Peterson SC, Carriere CJ, Maneepun S. Rheological, textural, and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid. Food Chem. 2005; 90(1):1-8.
5. Rodriguez-Garcia J, Puig A, Salvador A, Hernando I. Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties. J. Food Sci. 2012; 77(2):C189-C97.
6. Lee S, Kim S, Inglett GE. Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. Cereal Chem. 2005; 82(2):120-4.
7. Kadivar M. Studies on integrated processes for the recovery of mucilage, hull, oil and protein from solin (Low Linolenic acid flax). [Ph.D Dissertation]. Canada: University of Saskatchewan, Saskatoon. 2001.
8. Cui W, Mazza G, Oomah BD, Biliaderis CG. Optimization of an aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology.LWT. 1994; 27(4):363-9.
9. Gomez M, Ronda F, Caballero PA, Blanco CA, Rosell CM. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. Food Hydrocolloid. 2007; 21(2):167-73.
10. Lakshminarayan SM, Rathinam V, KrishnaRau L. Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. J. Sci. Food Agric. 2006; 86(5):706-12.
11. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC, The Association: St. Paul, MN. 2002.
12. Vereecken J, Meeussen W, Lesaffer A, Dewettinck K. Effect of water and monoglyceride concentration on the behaviour of monoglyceride containing fat systems. Food Res. Int. 2010; 43(3):872-81.
13. Roessler E, Pangborn R, Sidel J, Stone H. Expanded statistical tables for estimating significance in paired—preference, paired–difference, duo–trio and triangle tests. J. Food Sci. 1978; 43(3):940-3.
14. Farahnaky A, Hill SE. The effect of salt, water and temperature on wheat dough rheology. J. Texture Stud. 2007; 38(4): 499-510.
15. Xue J. Thermal and Rheological Properties of Batter Systems: Department of Bioresource Engineering Macdonald Campus, McGill University; 2007.
16. Manohar RS, Rao PH. Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. Eur. Food Res. Technol. 1999; 209(3-4):281-5.
17. Ashwini A, Jyotsna R, Indrani D. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. Food Hydrocolloid. 2009; 23(3):700-7.
18. Khalil AH. The influence of carbohydrate-based fat replacers with and without emulsifiers on the quality characteristics of lowfat cake. Plant Food. Human Nutr. 1998; 52(4):299-313.
19. Menjivar JA, Faridi H. Rheological properties of cookie and cracker doughs. The Science of Cookie and Cracker Production H Faridi, ed Chapman and Hall: New York. 1994:283-322.
20. Ferrari I, Alamprese C, Mariotti M, Lucisano M, Rossi M. Optimisation of cake fat quantity and composition using response surface methodology. Int. J. Food Sci. Technol. 2013; 48(3):468-76.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]

Investigation of the Possibility of Producing Low-calorie Cake Containing Flaxseed Mucilage as Fat Replacer

Bitaghsir M[*1], *Kadivar M* [2], *Shahedi M*[2]

*1- *Corresponding author: M.Sc in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*
E-mail: m.bitaghsir@ag.iut.ac.ir

2- Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received 8 Feb, 2014 **Accepted 24 May, 2014**

Background and Objective: Cup cake is one of the foods that fat replacement can be used in its preparation. In this study, the application of flaxseed mucilage (as fat replacer) in reducing the fat content in cake formulations was investigated, and its effect on the characteristics of low-calorie cake and batter was then evaluated.

Materialsand Methods: Flaxseed mucilage extraction was performed. In order to produce low calorie cake, different percentages of fat were considered. Optimization of the reaction and the optimum level of each variable were conducted by response surface methodology using design expert software. Any changes in batter viscosity and cake firmness were monitored, and based on the model, optimum formulation was obtained. The tests were carried out to examine the properties of optimized formulation, including viscosity, specific gravity of batter and volumetric index of cakes. Then the results were analyzed by SAS software.

Results: Variables of the model (water, mucilage and fat) were effective on the viscosity and texture, as linear and quadratic levels, respectively; there was an interaction between the water and mucilage content. According to the results, there was no significant difference between the measured and predicted viscosity of the batter and firmness of the cake. The optimum conditions ($p<0.05$) were determined as 71.53% water, 1.60% mucilage and 10.38% fat. then the properties of batter and cake at optimum conditions were studied. It was observed that viscosity and specific gravity of the optimized batter formulation were more than those of the control ($p<0.05$). Volumetric index of the optimized cake was higher than that of the control ($p<0.05$). In respect to sensory evaluation, there was no significant difference between the optimized (low-calorie) and control cakes ($P<0.01$). Generally, the results indicated that production of low-calorie cake by using flaxseed mucilage as fat replacer is possible, so that the lipid levels could reduce to 76.40%.

Conclusion: By using flaxseed mucilage, fat content can be reduced without considerable decrease in the product quality.

Keywords: Low-calorie cup cake, Fat replacer, Flaxseed mucilage, Response surface methodology

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-28]