مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال دوازدهم، شماره 1، بهار 1396، صفحات 68-59

بهینه‌سازی فرمول نان بدون گلوتن حاصل از آردکینوا، ذرت و برنج

سیمین قاسمی زاده [1]، بهزاد ناصحی [*2]، محمد نوشاد[3]

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایران

2- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایران، پست الکترونیکی: Nasehibehzad@gmail.com

3- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایران

تاریخ دریافت: 95/1/25 تاریخ پذیرش: 95/5/4

چکیده

سابقه و هدف: بیماران مبتلا به بیماری سلیاک باید از مصرف محصولات دارای گلوتن اجتناب کنند. پس برنامه‌ریزی برای تولید فرآورده‌های بدون گلوتن و به‌ویژه نان و همچنین بهبود کیفیت آنها با اهمیت است. در این پژوهش، تأثیر آرد کینوا به عنوان منبع غنی از فیبر، املاح و لیزین بر ویژگی‌های کیفی نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش اثر سه متغیر آرد کینوا (0 تا 30 درصد)، آرد ذرت (0 تا 30 درصد) و صمغ زانتان (0 تا 1/5 درصد) بر خصوصیات کیفی (رنگ، بافت، حجم ویژه) و شیمیایی (درصد رطوبت، خاکستر، چربی و قدرت تورم مغز) نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج بررسی شد. نتایج در قالب طرح مرکب مرکزی مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ‌ها معنی‌دار ($p<0/05$) و شاخص عدم برازش برای این مدل‌ها غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود. بنابراین صحت مدل برای برازش اطلاعات تأیید گردید. همچنین با افزودن آرد کینوا و صمغ زانتان به نان حجم مخصوص، محتوی رطوبت و خاکستر نمونه‌های نان افزایش یافته و سبب بهبود بافت و رنگ نان شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که استفاده از آرد کینوا برای تولید نان بدون گلوتن امکان‌پذیر است و فرمول بهینه دارای 19/39% آرد کینوا، 9/39% آرد ذرت و 5/ % صمغ زانتان است.

واژگان کلیدی: سلیاک، آرد کینوا، زانتان

• مقدمه

اگر چه محصولات نانوایی تهیه شده از آرد گندم به طور گسترده‌ای مصرف می‌شوند، اما برخی افراد قادر به تحمل گلوتن نیستند، این عدم تحمل، بیماری سلیاک نام دارد. افراد مبتلا به سلیاک بعد از مصرف غذاهای حاوی گلوتن دچار اختلال در هضم می‌شوند. ادامه چنین حالتی به مدت طولانی منجر به صدمه پرزهای موجود در روده کوچک، التهاب روده کوچک و اختلال در جذب چندین ماده مغذی مهم نظیر آهن، اسیدفولیک، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی می‌شود. بروز این نارسایی‌ها سبب یبوست، کم‌خونی، دردهای شکمی، نفخ، خستگی، ناباروری و پوکی استخوان می‌گردد و در صورت عدم درمان، زمینه سرطان روده ایجاد می‌شود (1). بیماران مبتلا باید از مصرف محصولات غلات حاوی گلوتن اجتناب کنند. حذف گلوتن از فرمول سبب تولید خمیر مایع و نانی با بافت فشرده، رنگ ضعیف و دیگر نقایص کیفیتی می‌شود. بسیاری از محصولات بدون گلوتن که به فروش می‌رسند، دارای کیفیت پایینی هستند، از این رو پژوهشگران با چالش بزرگی در ساخت محصولات نانوایی بدون گلوتن مواجه هستند (2). در نان بدون گلوتن ثبات شکل و بافت آن به شدت تحت تأثیر انتخاب مواد تشکیل دهنده است. کینوا دارای ارزش غذایی بسیار بالایی است و در سال‌های اخیر اهمیت و ارزش غذایی بالای آن در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است. اهمیت غذایی آن مربوط به ترکیب کامل اسیدهای آمینه، میزان بالای مواد معدنی (کلسیم، آهن، منیزیم و روی)، فیبر رژیمی و ویتامین‌ها می‌باشد. محتوای پروتئین در دانه کینوا در دامنه 14 تا 20 درصد و غنی از اسیدهای آمینه ضروری مانند متیونین و لیزین است (3). شبه غلاتی مانند

کینوا به دلیل میزان گلوکز بالاتر در مقایسه با برنج و آرد ذرت، بستری مناسب برای هوادهی خمیر با استفاده از مخمر هستند. به دلیل نداشتن گلوتن، فرآورده‌های حاصل از آن برای بیماران سلیاکی که در دوران زندگی باید از رژیم غذایی بدون گلوتن استفاده کنند، مناسب است. در چند دهه گذشته، گزارش‌های متعددی در خصوص ترکیب شیمیایی کینوا منتشر شده است (5-4). Krupa-Kozak و همکاران (2011) نشان داد که محصولات بدون گلوتن اغلب دارای مقدار پروتئین، مواد معدنی و فیبر کمی هستند (6)، بنابراین از کینوا برای تولید محصولاتی با ارزش تغذیه‌ای بالا مانند فرآورده‌های خمیری، نان، کیک و غذای کودک (8، 7) و همچنین برای تولید آرد و محصولات غنی شده نانوایی فاقد گلوتن استفاده شده است (9). سبوس کینوا متشکل از بافت سلولی بیرونی است که شامل پوسته و جنین است، و حدود 40 درصد از دانه کینوا را تشکیل می‌دهد (10). با این حال، سبوس غلات با اینکه حاوی اجزای ارزشمندی مانند فیبر است، ولی مقدار زیاد آن سبب مشکلات شدید فنی می‌شود. بنابراین باید به میزانی که برای سلامتی مفید هستند، استفاده شوند (11). درحالی که مطالعات پیشین بیشتر بر روی افزودن هیدروکلوئیدها، نشاسته و دیگر مواد جایگزین گلوتن تمرکز کرده‌اند، پژوهش‌ها در مورد اختلاط آردها در نان بدون گلوتن نادر هستند. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر افزودن آرد کینوا، ذرت و صمغ زانتان بر ویژگی‌های نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج بود.

• مواد و روش‌ها

مواد: آرد برنج از شرکت پودرینه شمال و آرد ذرت از شرکت ترخینه تهیه شد. آرد کامل کینوا از آسیاب دانه‌های کینوا که در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین واقع در شهرستان ملاثانی کشت شده بود، به دست آمد. بدین منظور آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات یکجا تهیه و در یخچال نگه‌داری شد. ترکیبات انواع آرد در جدول 1، گزارش شده است. مخمر مورد استفاده (ساکارومایسس سرویسیه) به شکل پودر مخمر خشک فعال و به‌صورت بسته‌بندی وکیوم از شرکت خمیرمایه رضوی (مشهد، ایران) خریداری شد. صمغ زانتان (شرکت رودیا، فرانسه) تهیه شد. سایر مواد مورد نیاز شامل شکر، نمک و روغن (شرکت لادن، ایران) و مواد شیمیایی (شرکت مرک، آلمان) بودند.

تولید نان: نان مورد بررسی در این تحقیق نان نیمه حجیم بربری بود که اجزای تشکیل دهنده آن شامل آرد برنج 100%، آرد کینوا و ذرت بر اساس طرح آزمایشات (0-30%)، صمغ زانتان بر اساس طرح آزمایشات (0/5 تا 1%)، مخمر خشک2%، نمک2%، شکر2%، روغن3%، آب 80% (بر اساس وزن آرد برنج) بود (12).

جدول1. درصد ترکیبات شیمیایی آردها

نوع آرد	رطوبت	چربی	پروتئین	خاکستر	فیبر
برنج	9/07	5/2	8/4	0/5	2/4
ذرت	8/72	7/8	10/22	0/52	1/3
کینوا	8/83	9/47	16/5	2/17	3/8

کلیه مواد خشک در مخزن هم زن (مدل مایسن، چین) مخلوط شدند و آب مورد نیاز به آن‌ها افزوده شد و خمیر با توان400 به مدت 10 دقیقه هم زده شد. روغن در دقیقه ششم به فرمولاسیون اضافه شد. پس از تهیه خمیر، تخمیر اولیه به مدت 15 دقیقه در دمای محیط (27درجه سانتی-گراد) صورت گرفت. سپس خمیر به قطعات 100 گرمی تقسیم شد و پس از عمل چانه‌گیری به منظور سپری شدن زمان تخمیر میانی به مدت 10-8 دقیقه در دمای محیط قرار گرفت. بعد از طی شدن این مرحله و شکل دادن خمیر، تخمیر نهایی به مدت 1 ساعت در گرمخانه با دمای 45 درجه سانتی-گراد و در بخار اشباع انجام شد. سپس عمل پخت در فر با هوای داغ با دمای 220 درجه سانتی‌گراد و مدت زمان 10 دقیقه انجام شد. پس از سرد شدن هر یک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط نگه‌داری شدند.

روش‌های ارزیابی: ویژگی‌ها شامل رطوبت با روش شماره 44-16، خاکستر با روش شماره 08-01، چربی با روش شماره 30-10، قدرت تورم مغز نان با روش شماره 56-20، حجم مخصوص با روش شماره 05-10، و ارزیابی بافت نان نیز با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (TA-XT-PLUS، Micro stable system، UK) طبق روش 09- 74 استاندارد AACC انجام گرفت (13). همچنین رنگ پوسته از طریق تعیین شاخص‌های روشنی (شاخص L^*)، گرایش به قرمزی (شاخص a^*) و گرایش به زردی (شاخص b^*) و با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Konica Minolta، CR-400، Japan) ارزیابی شدند.

تجزیه وتحلیل آماری: در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی فرمول تولید نان بدون گلوتن از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر CCRD (Central composite rotatable design) برای سه جزء نان شامل آرد کینوا، آرد ذرت، صمغ زانتان با حدود مشخص بالا و پایین استفاده شد. سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه در جدول 2 و تیمارهای آزمایش در جدول 3 ذکر شده‌اند.

جدول2. دامنه وسطوح هر یک از متغیرهای مستقل در طرح چرخش‌پذیر مرکب مرکزی

متغیر مستقل (%)	نماد فاکتور	1/68	1	0	-1	-1/68
آرد کینوا	X_1	30	23/91	15	6/08	0
آرد ذرت	X_2	30	23/91	15	6/08	0
صمغ زانتان	X_3	1/5	1/19	0/75	0/30	0

برای طراحی آزمایش، آنالیز نتایج و بهینه‌سازی از نرم‌افزار مینی تب نسخه 16، استفاده شد. بدین منظور معادلات ریاضی درجه دوم کامل با استفاده از آنالیز رگرسیون گام به گام پس رونده بر روی متغیرهای وابسته برازش شدند. برای نشان دادن رابطه هریک از متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل، نمودار سطح پاسخ به وسیله این نرم‌افزار ترسیم شدند. به منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش داده شده، آزمون ضعف برازش (Lack-of-fit)، ضریب تغییرات (coefficient of variation)، ضریب‌تبیین R^2، R^2(adj) (Coefficient of determination) مدل، PRESS و P ضرایب تعیین شدند (14).

جدول3. تیمارهای تصادفی آزمایش بر اساس متغیرهای فرمول نان در طرح مرکب مرکزی

تیمار	X_1	X_2	X_3
1	6/08	6/08	0/30
2	30/00	15/00	0/75
3	23/91	23/91	1/19
4	23/91	6/08	1/19
5	23/91	23/91	0/30
6	15/00	30/00	0/75
7	15/00	15/00	0/75
8	15/00	15/00	0/75
9	15/00	15/00	0/75
10	15/00	15/00	0/75
11	6/08	91/23	1/19
12	15/00	15/00	0/00
13	0/00	15/00	0/75
14	15/00	15/00	0/75
15	15/00	0/00	0/75
16	23/91	6/08	0/30
17	6/08	23/91	0/30
18	15/00	15/00	0/75
19	6/08	6/08	1/19
20	15/00	15/00	1/50

یکی از کاربردهای اصلی روش سطح پاسخ، بهینه‌سازی متغیرهای فرآیند تولید می‌باشد. این فرآیند به گونه‌ای صورت می‌گیرد که مجموع پاسخ‌ها بیشترین امتیاز ممکن را دریافت نمایند (15). در این پژوهش به دنبال یافتن مقداری از آرد کینوا، آرد ذرت و صمغ بودیم که نان حاصل تا حد امکان بیشترین امتیاز بافت، رنگ، درصد رطوبت، خاکستر، قدرت تورم نشاسته و چربی را داشته باشد.

• یافته‌ها

حجم مخصوص: آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ حجم مخصوص معنی‌دار ($p<0/01$) و شاخص عدم برازش برای این مدل غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود.

نتایج نشان داد افزودن آرد کینوا و صمغ زانتان دارای اثرات خطی مثبت معنی‌داری ($p<0/001$، $p<0/01$) بر حجم مخصوص نمونه‌ها بودند. همچنین یک اثر متقابل منفی معنی‌دار ($p<0/05$) بین آرد ذرت و صمغ بر حجم مخصوص نمونه‌های نان مشاهده شد (جدول4). شکل1 نمودار سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر حجم مخصوص نان را نشان می‌دهد. افزایش میزان صمغ و آرد کینوا موجب افزایش حجم شد. بررسی اثر صمغ زانتان بر میزان حجم فرآورده‌های خمیری بدون گلوتن نشان داد که استفاده از صمغ در افزایش حجم مؤثر و تأثیر مثبتی روی ثبات خمیر و حجم محصولات نهایی دارد (16).

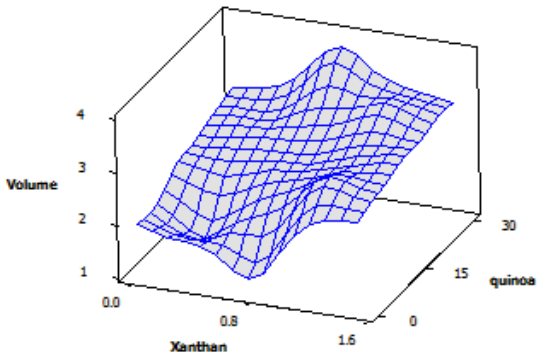
بافت: نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل‌های درجه دوم برازش شده برای پاسخ‌های سفتی و ارتجاعیت معنی‌دار ($p<0/01$) بود. همچنین شاخص عدم برازش مدل پاسخ سفتی غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود (جدول4). نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد آرد کینوا و صمغ زانتان دارای اثرات خطی منفی معنی‌داری ($p<0/05$) بر سفتی مغز نمونه‌های نان بودند.

همچنین آرد کینوا یک تأثیر درجه دوم مثبت معنی‌دار ($p<0/05$) بر این پاسخ داشت و یک اثر متقابل معنی‌دار ($p<0/05$) بین آرد کینوا و صمغ زانتان بر سفتی نمونه‌های نان مشاهده شد. افزودن آرد کینوا تأثیر خطی منفی معنی‌داری ($p<0/05$) بر ارتجاعیت بافت نمونه‌های نان داشت. همچنین اثرات متقابل متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های بافتی غیر معنی‌دار بود. با توجه به نمودارهای سطح پاسخ می‌توان کاهش سفتی نان را با افزایش سطح آرد کینوا و صمغ زانتان مشاهده کرد (شکل2).

جدول 4. ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های خصوصیات کیفی شامل حجم مخصوص، رنگ و ویژگی‌های بافتی نان

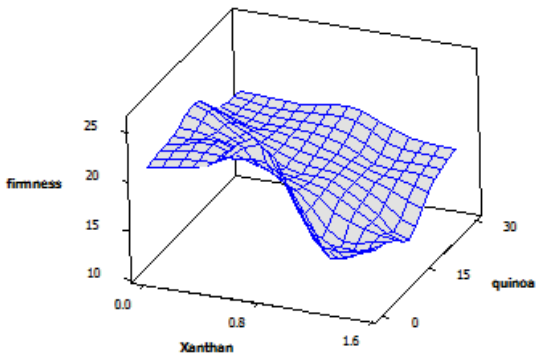
منبع	حجم مخصوص	سفتی مغز	ارتجاعیت	L^* پوسته	a^* پوسته	b^* پوسته
β_0	-0/05	30/26	83/30	70/79	-0/59	55/84
β_1	0/094***	-0/95 *	-0/95 *	-1/230**	0/101 ****	0/88 ns
β_2	0/052 ns	0/056 ns	-0/002 ns	-0/25 **	0/128 **	0/84*
β_3	2/48**	-9/24*	-5/94 ns	-21/573 ns	2/17*	1/42**
$\beta_1\beta_1$	-2/33 ns	0/018*	0/013*	0/030 ***	-0/002 ns	-0/78*
$\beta_2\beta_2$	-7/937 ns	0/003ns	-0/009ns	0/017 *	-0/006****	-0/91ns
$\beta_3\beta_3$	0/27ns	-1/50 ns	-1/69 ns	13/80****	-1/72 **	-0/85ns
$\beta_1\beta_2$	0/0004 ns	-0/002 ns	0/012 ns	-0/001 ns	1/86 ns	0/45ns
$\beta_1\beta_3$	-0/053ns	0/45*	0/29 ns	0/173ns	0/036 ns	0/36ns
$\beta_2\beta_3$	-0/078*	-0/14ns	0/17ns	0/009 ns	0/029ns	0/25ns
Model (p-value)	0/006	0/013	0/043	0/001	0/001	0/045
Lack of fit (p-value)	0/188	0/052	0/22	0/155	0/182	0/385
R^2	83/63	80/50	76/08	89/74	90/32	75/77
Adj-R^2	68/89	62/96	50/76	80/50	81/61	50/17
CV (%)	7/62	2/33	3/24	7/56	5/45	6/87
PRESS	9/30	14/07	154/94	222/199	8/041	41/57

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.

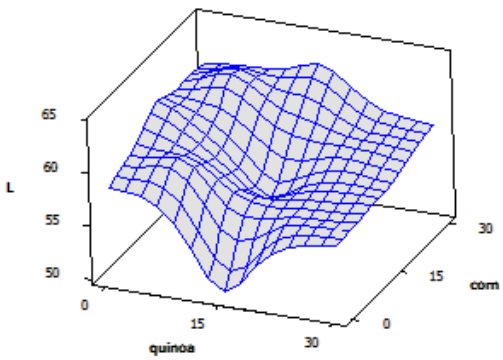


شکل1. نمودار سطح پاسخ تأثیر صمغ زانتان و کینوا بر شاخص حجم مخصوص

رنگ: نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل‌های درجه دوم برازش شده برای پاسخ‌های شاخص‌های رنگ پوسته معنی‌دار (p<0/001 و p<0/05) بود. همچنین شاخص عدم برازش برای مدل‌های معنی‌دار پاسخ‌های ویژگی‌های رنگ پوسته، غیر معنی‌دار (p>0/05) بود. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد آرد کینوا و ذرت تأثیر زیادی بر شاخص‌های رنگی نان داشتند. همان طوری که قابل مشاهده است (شکل3) با افزودن آرد کینوا و ذرت شاخص L^* به‌طور معنی‌داری (p<0/01) کاهش و شاخص a^* به‌طور معنی‌داری (p<0/01) افزایش یافت (جدول4). با افزودن آرد کینوا و ذرت رنگ نان تیره‌تر شد که این امر مربوط به رنگ تیره این آردها می‌باشد.



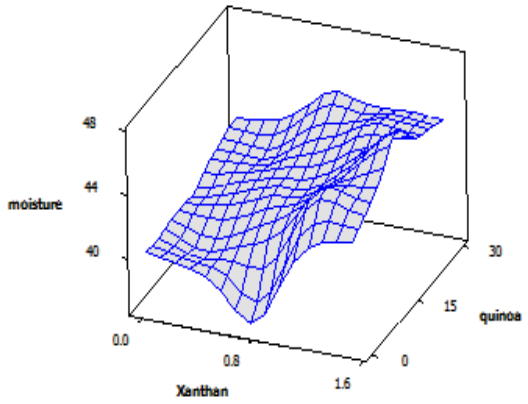
شکل2. نمودار سطح پاسخ تأثیر صمغ زانتان و کینوا بر سفتی



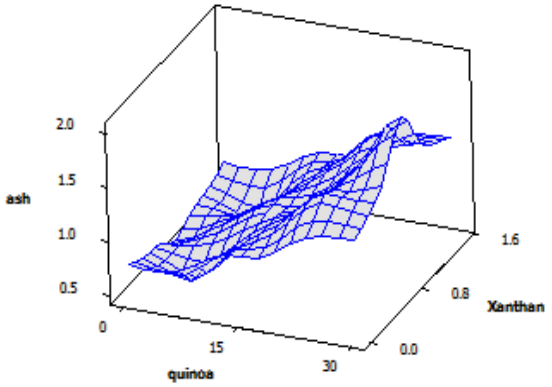
شکل3. نمودار سطح پاسخ تأثیر آرد ذرت و کینوا برشاخص L^*

رطوبت: نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ‌های محتوی رطوبت معنی‌دار ($p<0/01$) و شاخص عدم برازش برای این مدل‌ها غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود. همچنین نتایج نشان داد همه متغیرهای مستقل به جز آرد ذرت تأثیر خطی مثبت معنی‌داری ($p<0/001$) بر روی محتوی رطوبت نمونه‌های نان داشتند (جدول5). نمودار سطح پاسخ، اثرات متغیرهای مستقل بر محتوی رطوبت نان در شکل 4 نشان می‌دهد که با افزایش درصد آرد کینوا و صمغ زانتان میزان رطوبت نمونه‌های نان افزایش یافت.

خاکستر: آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ خاکستر معنی‌دار ($p<0/0001$) و شاخص عدم برازش برای این مدل غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود. نتایج نشان داد افزودن آرد کینوا یک اثر خطی مثبت معنی‌داری ($p<0/0001$) و یک تأثیر درجه دوم مثبت معنی‌دار ($p<0/001$) بر این پاسخ داشت. همچنین صمغ زانتان یک اثر درجه دوم منفی معنی‌دار ($p<0/01$) بر میزان خاکستر نمونه‌های نان داشت (جدول5). بنابراین با افزایش درصد کینوا در فرمولاسیون میزان خاکستر و موادمعدنی نان بدون گلوتن افزایش یافت (شکل 5).



شکل 4. نمودار سطح پاسخ تاثیرصمغ زانتان و کینوا بر رطوبت



شکل 5. نمودار سطح پاسخ تاثیرصمغ زانتان و کینوا بر خاکستر

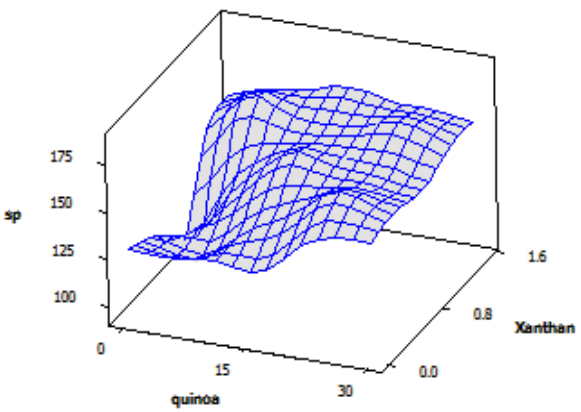
جدول 5 . ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم خصوصیات شیمیایی شامل رطوبت، چربی، قدرت تورم مغز نان و خاکستر

منبع	محتوی رطوبت	محتوی چربی	قدرت تورم مغز	محتوی خاکستر
β_0	36/27	16/81	79/91	0/29
β_1	$0/31^{***}$	$0/130^{ns}$	$7/39^{****}$	$0/027^{****}$
β_2	$-0/11^{ns}$	$0/0006^{ns}$	$-4/018^{ns}$	$0/007^{ns}$
β_3	$1/76^{****}$	$-3/56^{****}$	$87/07^{****}$	$0/14^{ns}$
$\beta_1\beta_1$	$-0/003^{ns}$	$0/002^{ns}$	$-0/13^{****}$	$0/000^{***}$
$\beta_2\beta_2$	$0/005^{ns}$	$-0/003^{ns}$	$0/093^{**}$	$-2/34^{ns}$
$\beta_3\beta_3$	$3/32^{ns}$	$-0/59^{ns}$	$-11/84^{ns}$	$-0/09^{**}$
$\beta_1\beta_2$	$0/001^{ns}$	$0/004^{ns}$	$0/032^{ns}$	$4/69^{ns}$
$\beta_1\beta_3$	$-0/11^{ns}$	$0/0031^{ns}$	$-3/048^{****}$	$-1/29^{ns}$
$\beta_2\beta_3$	$-0/006^{ns}$	$0/065^{ns}$	$0/424^{ns}$	$-3/11^{ns}$
Model (p-value)	0/002	0/013	0/000	0/000
Lack of fit (p-value)	0/103	0/408	0/061	0/051
R^2	87/56	80/38	95/55	98/93
Adj-R^2	76/37	62/71	91/54	97/97
CV (%)	5/82	11/52	14/67	4/27
PRESS	88/37	42/87	2853/16	0/26

^{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.

چربی: نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ‌های محتوی چربی معنی‌دار ($p<0/05$) و شاخص عدم برازش برای این مدل‌ها معنی‌دار ($p>0/05$) نبود. همچنین نتایج نشان داد صمغ زانتان تأثیر خطی منفی معنی‌داری ($p<0/0001$) بر روی محتوی چربی نمونه‌های نان داشت. در حالی که اثرات درجه دوم و متقابل متغیرهای مستقل بر محتوی چربی نان معنی‌دار نبود ($p>0/05$). احتمالاً افزودن زانتان سبب افزایش محتوی رطوبت و در نتیجه کاهش جذب روغن در نان می‌شود (جدول 5).

قدرت تورم مغز نان: آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ قدرت تورم مغز معنی‌دار ($p<0/0001$) و شاخص عدم برازش برای این مدل غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود. نتایج نشان داد آرد کینوا و صمغ زانتان اثر خطی مثبت معنی‌داری ($p<0/0001$) بر قدرت تورم نشاسته نمونه‌ها داشتند، همچنین افزودن آرد کینوا تأثیر درجه دوم منفی معنی‌دار ($p<0/0001$) و آرد ذرت یک تأثیر درجه دوم مثبت معنی‌دار ($p<0/01$) بر این پاسخ داشت. ارتباط متقابل منفی معنی‌دار ($p<0/0001$) بین آرد کینوا و صمغ زانتان بر قدرت تورم مغز نان نیز مشاهده شد (جدول 5). شکل 6، نمودار سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر قدرت تورم مغز نان نشان می‌دهد که با افزایش درصد آرد کینوا و صمغ زانتان قدرت تورم مغز نان نیز سیر صعودی دارد.



شکل6. نمودار سطح پاسخ تاثیرصمغ زانتان و کینوا برتورم مغزنان

• بحث

نتایج به دست آمده حاکی از آن هستند که روش سطح پاسخ را می‌توان به خوبی در بهینه‌سازی این خصوصیات به کار برد. مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش از R^2 و R^2 (Adj) متناسب، بالا و معنی‌داری برخوردار بودند. همچنین آزمون ضعف برازش آنها بی‌معنی و ضریب تغییرات آنها نیز پایین بود که نشان دهنده کارآیی مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی ویژگی‌های مورد ارزیابی است. نتایج طرح نشان می‌دهد که می‌توان با کنترل فرمولاسیون تولید و به دست آوردن نقطه بهینه به محصولی دست یافت که از ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای مطلوبی مطابق استاندارد برای بیماران سلیاکی برخوردار باشد. آرد کینوا سبب بهبود قابل توجه ویژگی‌های کیفی و شیمیایی نان بدون گلوتن شد. افزایش درصد آرد کینوا در فرمولاسیون باعث افزایش معنی‌داری در محتوی رطوبت، حجم ویژه، خاکستر، قدرت تورم مغز نان و کاهش معنی‌داری در سفتی و میزان چربی نان بدون گلوتن نسبت به نمونه شاهد شد.

ویژگی‌های کیفی: دلیل بیشتر بودن حجم نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد، ایجاد ویسکوزیته بیشتر توسط آرد کینوا به علت بهبود توزیع آب و توزیع گاز در خمیر و به دام انداختن مقدار بیشتری حباب گاز تولید شده در نان بود که در نتیجه حجم نان افزایش بیشتری یافت. Föste و همکاران (2014) اثر افزودن سبوس کینوا را به خمیر و نان‌های بدون گلوتن مورد بررسی قرار دادند. جایگزینی 10 % سبوس کینوا به طور ویژه‌ای حجم قرص نان را بهبود بخشید. همچنین آرد کینوا به طور خاص میزان گاز دی اکسید کربن را در حین تخمیر افزایش داد (12). بررسی اثر صمغ زانتان بر میزان حجم فرآورده‌های خمیری بدون گلوتن نشان داده است که استفاده از هیدروکلوئید در افزایش حجم مؤثر است و تأثیر مثبتی روی ثبات خمیر و حجم محصولات نهایی دارد (17). Gambus و همکاران (2007) اثر ترکیبی هیدروکلوئیدهای پکتین، زانتان، گوار در مقادیر 1، 3 و 7 گرم بر نان بدون گلوتن بر پایه نشاسته ذرت، آرد ذرت، نشاسته سیب‌زمینی ارزیابی و گزارش کردند که همه نان‌های حاوی زانتان افزایش حجم بهتری از نان‌های حاوی گوار و پکتین داشتند. همچنین سختی نان‌های در روز اول و سوم پس از نگهداری کاهش یافت. این محققین

دریافتند که ترکیب‌بندی و نوع واکنش بین صمغ‌ها بر روی مقدار ژلاتینه شدن نشاسته تأثیر می‌گذارد (16). Anton و Artfield (2008) افزودن هیدروکلوئیدهای مختلف به عنوان عوامل پیوند دهنده و با قابلیت جانشین شدن به جای گلوتن در نان حاصل از نشاسته ذرت را مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش کردند که در بین هیدروکلوئید زانتان در مقایسه با صمغ‌های خرنوب، گوار و تراگاکانت، بالاترین کیفیت را در نان ایجاد نمود (18). میزان گلوکز بالاتر در کینوا در مقایسه با برنج و آرد ذرت، شرایط مناسب‌تری برای هوادهی خمیر با استفاده از مخمر فراهم می‌آورد. بنابراین حباب‌های گاز به طور همگن و ریز در سطح نان توزیع شده و سبب حجم بالا و نرمی نان بدون گلوتن می‌شود. Elgeti و همکاران (2014) نشان دادند که افزودن آرد کینوا باعث نرم شدن بافت مغز و بهبود حجم نان می‌شود (19). تأثیر منفی صمغ زانتان بر سفتی مغز به دلیل ظرفیت نگهداری آب این صمغ و اثر تضعیف کنندگی بر ساختار نشاسته به دلیل ممانعت از بهم پیوستن زنجیره‌های آمیلوز است. رابطه عکس بین حجم و سفتی مغز در فرآورده‌های غلات در مطالعات پیشین گزارش شده است (20). Alvarez و همکاران (2010) جایگزینی نشاسته سیب‌زمینی با آرد شبه غلات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از تولید نان‌هایی بدون گلوتن با سطح بالایی از مواد مغذی بود. محتوای ترکیبات پلی فنلی نان‌های حاوی شبه غلات بخصوص باکویت (buckwheat) افزایش چشم گیری داشت. حجم کینوا و باکویت در مقایسه با نان شاهد به طور ویژه‌ای افزایش یافت و در تمام نان‌های شبه غلات، بافت مغز نرم‌تری ایجاد شد (21). Demirkesen و همکاران (2010) اثر صمغ‌های گوار، زانتان، لوبیای خرنوب، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، پکتین، زانتان و گوار، دانه‌های خرنوب و زانتان و امولسفایر داتم را بر خصوصیات رئولوژیکی نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین میزان کشسانی در نمونه‌های حاوی صمغ زانتان، زانتان و گوار و زانتان و دانه‌های خرنوب مشاهده شد (22). آزمون رنگ‌سنجی که بر روی پوسته نان‌ها انجام گرفت، مشخص کرد که میزان L*, b* در نان‌های حاوی آرد کینوا نسبت به نان شاهد کاهش یافت اما میزان a* افزایش یافت. رنگ تیره‌تر آرد کینوا نسبت به نان شاهد به دلیل حضور رنگدانه بتالانین در آن است و همچنین آرد کینوا به صورت آرد کامل (همراه با سبوس) مورد استفاده قرار گرفت که خود باعث تیرگی رنگ آن شده است. از طرفی حضور قند احیاء و اسید آمینه‌هایی مانند لیزین در کینوا باعث می‌شود تا در طی فرآیند پخت، قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی میلارد رخ دهد که خود باعث تیرگی رنگ نان‌ها می‌شود.

ویژگی‌های شیمیایی: شمار زیاد گروه‌های هیدروکسیل در ساختار صمغ و آرد کینوا سبب جذب و حفظ مولکول‌های آب می‌شود. از این رو تأثیر مثبت صمغ زانتان و آرد کینوا بر محتوی رطوبت نان ناشی از توانایی این ترکیبات در نگهداری آب در فرآورده طی پخت است. مطالعات Davidou و همکاران (1996) درباره تأثیر بین صمغ خرنوب و زانتان بر کیفیت نان نشان می‌دهد که این هیدروکلوئیدها، بیاتی نان را به تعویق می‌اندازند و سبب افزایش رطوبت در مغز نان شده و تأثیر مثبتی روی ثبات خمیر و حجم محصولات نهایی دارند. کنترل رطوبت در تمام مراحل تهیه نان از جمله ویژگی‌های مهم این هیدروکلوئیدها می‌باشد (23). Caperuto و همکاران (2001) کاربرد مخلوط کینوا و ذرت را در تولید انواع اسپاگتی‌های بدون گلوتن مورد مطالعه قرار دادند. ویژگی‌هایی مانند کیفیت پخت، بافت و ویسکوزیته تعیین شد. اسپاگتی‌های تولید شده ویژگی‌های فیزیکی بهتری را نسبت به اسپاگتی‌های تولید شده از گندم نرم نشان دادند (24). همچنین Christiansson و همکاران (1974) گزارش کردند به منظور به دست آوردن یک ساختار مغز خوب در غیاب گلوتن در یک سیستم بر پایه نشاسته، صمغ زانتان مورد نیاز است (25). از دید تکنولوژیکی آرد کینوا به دلیل ظرفیت اتصال آب و اثرات تغلیظ کنندگی و بافت‌دهی باعث اصلاح و بهبود بافت، خواص حسی و ماندگاری می‌شود. افزایش جذب آب به دلیل تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل موجود در مولکول‌های فیبر است که اجازه تعامل بیشتر به آب از طریق پیوندهای هیدروژنی می‌دهد (26). Schoenlechner و همکاران (2010) تحقیقاتی بر روی تولید فرآورده خمیری بدون گلوتن با استفاده از شبه غلات انجام دادند، نتایج حاصل کیفیت خوب بافت، وزن مطلوب پخت و ثبات و استحکام بافت را نشان داد. فرآورده خمیری کینوا با اینکه چسبندگی بهتری داشت اما با افزایش افت پخت همراه بود (27).

بررسی نتایج بهینه‌سازی فرمولاسیون نشان داد که نان حاوی 19/39% آرد کینوا، 9/39% آرد ذرت و 1/5% صمغ زانتان دارای بهترین کیفیت است و مصرف آن برای بیماران سلیاکی توصیه می‌شود. چنین نان بهینه شده‌ای دارای میزان رطوبت 47/16 درصد، چربی 10/03 درصد، خاکستر 1/19 درصد، قدرت تورم مغز 170/26درصد، سفتی 13/01 نیوتن، حجم مخصوص 3/94 میلی‌لیتر بر گرم و شاخص L* رنگ پوسته 61/18 می‌باشد.

• References

1. Gallagher E, Gormley TR and Arendt EK. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. J food Eng 2003; 56: 153-161.
2. Alvarez-Jubete L, Auty M, Arendt EK, Gallagher E . Baking properties and microstructure of pseudocereal floursin gluten-free bread formulations. Eur Food Res Technol2010;230(3):437–445.
3. Valencia-Chamorro SA. Encyclopedia of Quinoa grainscience. Australia: Elsevier/CRC 2000. p. 4885–4892.
4. Kozioł M. Chemical composition and nutritional evaluationof Quinoa (Chenopodium quinoa Willd). J Food Comp Anal 1992;5:35–68.
5. Hager AS, Wolter A, Jacob F, Zannini E, Arendt EK. Nutritional properties and ultra-structure ofcommercial glutenfree flours from different botanical sources compared to wheatflours. J Cereal Sci 2012;56(2):239–247.
6. Krupa-Kozak U, Wronkowsk M, Soral-S´mietana M. Effectof Buckwheat Flour on Microelements and Proteins. Czech JFood Sci 2011; 29(2):103–108.
7. Nsimba RY, Kikuzaki H, Konishi Y. Antioxidant activityof various extracts fractions of Chenopodium quinoa and Amaranthusspp. seeds. Food Chem 2008; 106:760–766.
8. Caperuto LC, Amaya-Farfan J, Camargo CRO. Performanceof quinoa (Chenopodium quinoa Willd) flour in the manufactureof gluten-free spaghetti. J Sci Food Agric 2001;81:95–101.
9. Taylor JRN, Parker ML Quinoa. In: Belton PS, TaylorJRN (eds) Pseudocereals and less commoncereals: grain propertiesand utilization. Springer, Berlin, 2002. p. 93–122.
10. Chauhan GS, Eskin NAM, Tkachuk R. Nutrients and antinutrientsin quinoa seed. Cereal Chem 1992;69(1):85–88.
11. Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen SE. Nutritionalvalue and use of the Andean crops quinoa (Chenopodium quinoa)and kariwa (Chenopodium pallidicaule). Food Rev Int 2003; 19:179–189.
12. Föste M, Besl M, Linden M, Heinz V. Impact of quinoa bran on gluten‑free dough and bread characteristics. Eur Food Res Technol 2014; 239:767–775.
13. AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. , Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
14. Myers R H, Montgomery D C, Anderson-Cook C M. Response surface methodoprocess and product optimization using designed experiments . Vol. 705. John Wiley & Sons. 2009. p. 183-8.
15 . Derringer, G. Simultaneous optimization of several response variables. J of quality tech 1980; 12, 214-219.
16. Gambus H, Sikora M, Ziobra R. The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free bread. Acta Sci Polonorum, Tech Alimentaria 2007; 6: 61-74.
17. Ribotta P, Leon A. , Anon C. Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter. Food Res Int 2003; 36, 357–363.
18. Anton A, and Artfield S. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. Int J of Food Sci and Nut 2008; 59(1):11-23.
19. Elgeti D , D. Nordlohne S, Föste M, Besl M, Linden M, Heinz V. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. J of Cer Sci 2014; 41-47.
20. Foschia M. , Peressini D, Sensidoni A,Brennan C. S. The effects of dietary fibre addition on the

quality of common cereal products. J of Cer Sci 2013; 58(2): 216-227.

21. Alvarez_Jubete L, Arendent E K, Gallagher E. Nutritional value of pseudocreal and their increacing use as functional gluten-free ingredients. Trend in Sci&Tech 2010; 21:106-113.

22. Demirkesen I, MertB, SumnuG, SahinS. Rheological properties of gluten-free bread formulation. J of Food Eng 2010;96 : 295-303.

23. Davidou S, le Meste M. , Debever E, Bekaert D. A contribution to the study of staling of white bread:Effect of water and hydrocolloid. Food Hydrocoll 1996;10:375- 383.

24. Caperuto L, Amaya-Farfan J, Camargo R O. Performance of quinoa (Cehnopodium quinoa Willd) flour in themanufacture of gluten-free spaghetti. J of the Sci of Food and Agri 2001; 81: 95-101.

25. Christiansson D, Gardne HW, Warner K, BoundyBK, Inglett GE. Xantan gum in protein-fortified starch based. Food tech 1974;28,23-29.

26. Gelroth J, and Ranhotra GR, M. L. Dreher, editors. Handbook of dietary fiber ,newyork:marcel dekker inc. 2001.

27. Schoenlechner R, Siebenhandi S, Berghofer E. Pseudocereals in: gluten free cereal, Ed. E. K. Arendent, F. Dal Bello. Elsevier, London,UK. 2008.

Formulation Optimization of Gluten-free Bread based on Quinoa, Corn and Rice Flour

Ghasemzadeh S[1], Nasehi B[2], Noshad M[3]*

1- MSc Graduated of Food Science and Technology, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan, Iran.

*2-*Corresponding author: Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan, Iran. Email: Nasehibehzad@gmail.com*

3- Assistant Prof, Dept. of Food Science and Technology, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan, Iran.

Received 13 Apr, 2016 **Accepted 25 Jul, 2016**

Background and Objectives: Patients with celiac disease should avoid consuming products that contain gluten. Therefore, planning to produce gluten-free products, especially bread, as well as improving their quality is important. In this study, the effect of quinoa flour as a rich source of fiber, minerals and Lysine on the quality characteristics of gluten-free bread based on rice flour was studied.

Materials and Methods: In this study the effects of three different treatments including quinoa flour (0 to 30%), corn flour (0 to 30%) and xanthan gum (0 to 1. 5%) on the quality characteristics (color, texture, specific volume) and chemical content (moisture, ash, fat, crumb swelling) of gluten-free bread were investigated. The findings were modeled and analyzed with central composite design.

Results: The results showed the quadratic model fitted to response was significant ($p \leq 0.05$), and lack of fit for these models was non-significant ($p > 0.05$). Therefore, the model was approved for fitting information. Bread enrichment with quinoa flour caused improvements in the specific volume, moisture, ash, texture and color of the samples.

Conclusions: The results showed that quinoa flour usable for improving the quality of gluten-free bread. The formulation was optimized at 19.39% quinoa flour, 9.39% corn flour and 1.5% xanthan gum.

Keywords: Celiac, Quinoa, Xanthan