مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بهینه یابی و ارزیابی ویژگی‌های کیفی نان بدون گلوتن بر پایه آرد کینوای حاوی صمغ زانتان و آنزیم لکاز در طی دوره نگهداری

قدسیه علیزاده بهاآبادی[۱]، لیلا لک زاده[۲*]، حمید فروتن فر[۳،۴*]، حمیدرضا اخوان[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران.

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران.

٤- استاد، مرکز تحقیقات علوم دارویی و فراورده‌های آرایشی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.

۵- دانشیار، بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

کلمات کلیدی:

نان بدون گلوتن،

بهینه‌یابی،

آنزیم لکاز،

آرد کینوا،

ماندگاری.

DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1

*مسئول مکاتبات:

lakzadeh@iaush.ac.ir

h_forootanfar@kmu.ac.ir

چکیده

بیماری سلیاک رایج‌ترین بیماری ناشی از مصرف گلوتن است و تنها راه پیشگیری از آن استفاده از مواد غذایی فاقد گلوتن می‌باشد. هدف از این پژوهش بهینه یابی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بود. برای این منظور، ویژگی‌های حسی و بافت نان تحت تأثیر متغیرهای مستقل شامل آرد کینوا (۰-۵۰ درصد)، صمغ زانتان (۰/۵- ۰ درصد) و آنزیم لکاز (۰-۲ واحد فعالیت آنزیم به ازای هر گرم آرد (U/g)) با استفاده از روش سطح پاسخ و بر اساس طرح مرکب مرکزی ارزیابی شدند. سپس برخی ویژگی‌های کیفی نان‌های بدون گلوتن در شرایط بهینه با نمونه شاهد (نان بدون گلوتن حاوی آرد برنج و ذرت فاقد آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان) در مدت‌زمان ۷ روز مقایسه شد. نتایج نشان داد آرد کینوا و آنزیم لکاز تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی نمونه‌های نان شامل رنگ پوسته نان، تخلخل، طعم، عطر و بو، سفتی و پذیرش کلی داشتند ($p<0.05$). درحالی‌که اثر سطح درجه دوم صمغ بر پذیرش کلی و همچنین برهم‌کنش آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر سفتی نان معنی‌دار بود ($p<0.05$). فرمولاسیون نان بهینه شامل۳۴/۳۳ درصد آرد کینوا،۰/۳۳ درصد صمغ زانتان و ۲ U/g آنزیم لکاز بود. مقایسه نمونه بهینه با نمونه شاهد بدون گلوتن نشان داد که میزان آنتالپی و دمای پیک نمونه نان شاهد بیشتر از نمونه بهینه بوده و بیانگر بیاتی بیشتر آن می‌باشد. از نظر فاکتورهای بافت و ارزیابی حسی، نمونه بهینه به صورت معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد بهتر بود.ولی از نظر شاخص رنگ L^*، نمونه شاهد مقادیر بالاتری نشان داد ($p<0.05$).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

۱- مقدمه

نان به‌عنوان یکی از منابع اصلی الگوی غذایی بوده و سهم مهمی در تأمین انرژی و پروتئین مورد نیاز روزانه بدن، همچنین فیبرهای رژیمی، برخی املاح مانند آهن و کلسیم و ویتامین‌های گروه B به‌ویژه تیامین دارد. اگرچه از انواع غلات در تولید نان استفاده می‌گردد ولی پخت نان با آرد گندم بیشتر رایج است. گندم حاوی پروتئین گلوتن بوده که سبب ایجاد برخی خصوصیات عملکردی منحصر به فرد در نان می‌شود ولی از سویی دیگر برخی افراد در اثر دریافت گلوتن از منابعی نظیر گندم، جو، چاودار و یولاف دچار یک اختلال خود ایمنی به نام سلیاک[1] شده که یکی از رایج‌ترین حساسیت‌های غذایی محسوب می‌شود، این بیماری روده کوچک افرادی را که به‌صورت ژنتیکی زمینه بروز آن را دارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱].

از آنجایی‌که تنها درمان مؤثر بیماران سلیاکی، دریافت رژیم بدون گلوتن در تمام عمر است، لذا تقاضا برای مصرف محصولات بدون گلوتن[2] افزایش یافته است. با توجه به اینکه گلوتن جزء ضروری ساختار نان و عامل مؤثر بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک خمیر است، حذف گلوتن سبب ایجاد مشکلات عملکردی خاص در تولید نان‌های بدون گلوتن نظیر ایجاد بافت داخلی ضعیف، بیاتی سریع، کیفیت پایین و در نهایت عدم مقبولیت نان از طرف مصرف‌کنندگان می‌گردد.از این جهت، پژوهشگران با چالش بزرگی در ساخت محصولات نانوایی بدون گلوتن مواجه هستند و منجر به انجام پژوهش‌هایی برای یافتن جایگزین مناسب گلوتن در تولید محصولات بدون گلوتن شده است. بر این اساس، صنایع نانوایی برای توسعه محصولات فاقد گلوتن از هیدروکلوئیدها، امولسیفایرها، پروتئین‌ها، فیبرها و آنزیم‌ها در فرمولاسیون استفاده می‌نمایند [۳،۲].

یکی از انواع این افزودنی‌ها در محصولات بدون گلوتن، آنزیم لکاز[3] (EC 1.10.3.2) بوده که توسط انواع قارچ‌ها، گیاهان و برخی باکتری‌ها تولید می‌شود و به طور گسترده در طبیعت یافت می‌گردد. این آنزیم ۱ و ٤-بنزن دیول اکسیدوردوکتاز[4] و دارای ٤ یون مس به ازای یک مولکول است و در گیاهان عالی و میکروارگانیسم‌ها یافت می‌شوند. لکاز در واقع پلی‌فنول اکسیداز گلیکوزیله[5] است و اکسیداسیون طیف گسترده‌ای از ترکیبات فنولی را با استفاده از اکسیژن مولکولی به‌عنوان پذیرنده نهایی الکترون کاتالیز و آب را به‌عنوان تنها محصول جانبی تولید می‌کنند. افزودن لکاز به خمیر مورد استفاده برای محصولات نانوایی موجب بهبود قدرت ساختار گلوتن در خمیر و محصولات پخته شده می‌شود. استفاده از لکاز منجر به تشکیل زنجیره جانبی، افزایش حجم، ساختار بهتر مغز نان و نرمی محصولات شده و با جذب اکسیژن باعث افزایش زمان ماندگاری محصول می‌گردد [٤-٦].

راهکار دیگر برای تولید نان بدون گلوتن با کیفیت و ماندگاری بالا استفاده از آرد کینوا می‌باشد. کینوا[6] از خانواده *کنوپودیاسه*[7] شبه غله بومی مناطق کوه‌های آند در آمریکای جنوبی است و 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 ١٤ تا۲۰ درصد و غنی از اسیدهای آمینه ضروری مانند متیونین و لیزین است. با افزایش پروتئین در نان، کمپلکس‌های پروتئین-کربوهیدرات تشکیل می‌گردد و این عامل، بیاتی نان را به تأخیر می‌اندازد [۸،۷]. به تأخیر انداختن بیاتی نان یکی از مسائل مهم صنایع پخت بوده و از جنبه اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد.چون محصولات صنایع نانوایی پس از طی فرآیند پخت، دستخوش تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی می‌شوند و در مفهوم کلی آن را بیاتی می‌نامند.علاوه بر آن بیاتی فرآیندی است که طی آن ویژگی‌های ظاهری و درونی شامل بو، طعم و مزه، عطر و قابلیت جویدن نان تغییر می‌کند و نتیجه این تغییرات کهنه شدن و یا به عبارت دیگر عدم تازگی نان می‌باشد [۱۰،۹]؛ بنابراین استفاده از آرد کینوا در تولید نان علاوه بر اینکه به دلیل نداشتن گلوتن برای مصرف بیماران سلیاکی مناسب است، می‌تواند سبب تازه نگه

1. Celiac disease
2. Gluten-free products
3. Laccase enzyme

4. 4-benzene diol oxidoreductase و1
5. Glycosylated polyphenol oxidase
6. *Chenopodium quinoa* Willd
7. *Chenopodiaceae*

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

داشتن، جلوگیری از بیاتی و افزایش قابلیت نگهداری نان گردد که این توانایی از جنبه‌های سلامتی، اقتصادی و تغذیه‌ای از اهمیت فوق‌العاده زیادی برخوردار است [۲].

بنابراین، هدف از این پژوهش ارائه فرمولاسیون مناسب برای تولید نان‌های بدون گلوتن با کیفیت برای بیماران سلیاکی است. برای این منظور تأثیر استفاده از آرد کینوا، صمغ زانتان و آنزیم لکاز بر ویژگی‌های حسی و کیفی نمونه‌های نان بررسی شد تا بتوان نان بدون گلوتن با ویژگی‌های کیفی و حسی مطلوب و با ماندگاری بالا تولید کرد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آرد کینوا، آرد ذرت و آرد برنج به صورت آماده و بسته‌بندی شده از فروشگاه‌های شهر کرمان خریداری گردید. مخمر مورد استفاده (*ساکارومایسس سرویزیه*) به شکل پودر مخمر خشک فعال و به صورت بسته‌بندی تحت خلاء از شرکت خمیرمایه رضوی (مشهد، ایران) خریداری شد. صمغ زانتان از شرکت رودیا فرانسه و سایر مواد شامل شکر از شرکت مه جبین، نمک از شرکت ریفان، روغن از شرکت فریکو ایران و آنزیم لکاز گونه *T. versicolor* laccase از شرکت سیگما-آلدریچ (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) تهیه گردیدند.

۲-۲- تعیین ترکیبات آرد

ترکیبات تشکیل دهنده آردهای مصرفی (کینوا، ذرت و برنج) شامل محتواهای رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی به ترتیب مطابق با روش‌های AACC به شماره‌های ۱۶-۴۴، ۰۱-۰۸، ۱۲-۴۶ و ۱۰-۳۰ تعیین شدند [۱۱].

۲-۳- فرمولاسیون نان فاقد گلوتن

فرمولاسیون نان فاقد گلوتن در جدول ۱ نشان داده شده است.آرد ذرت و آرد برنج به صورت ترکیبی با نسبت برابر و آرد کینوا مطابق با طرح آزمون بین ۰ تا ۵۰ درصد (جدول ۲) مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ترکیبات مورد استفاده در این فرمولاسیون بر اساس ۱۰۰ گرم آرد تعیین شدند.

Table1 Gluten-free bread formulation

Bread ingredients	Amount in formulation in 100g flour
Flour (total flours of corn, quinoa, and rice)	100g
Corn starch	6 g
Sugar	2 g
Salt	2g
Dry yeast	3g
Water	130 ml
sunflower oil	6g
Laccase enzyme	0-2U/g
Xanthan gum	0-0.5%

۲-۴- تهیه خمیر و نان

جهت تهیه نان با توجه به طرح آزمایش به شرح جدول ۱، کلیه مواد خشک شامل انواع آرد (مخلوط آردهای ذرت، برنج و کینوا)، مخمر خشک، نمک، شکر، صمغ زانتان و آنزیم لکاز در مخزن همزن (میکسر ایستاده، GSM-887، چین) با سرعت کم مخلوط شد. سپس آب مورد نیاز به آن‌ها اضافه گردید و خمیر به مدت ۱۲ دقیقه هم زده شد. روغن در دقیقه ششم به فرمولاسیون اضافه گردید. پس از عمل چانه‌گیری و قرارگیری در قالب مناسب، عمل تخمیر به مدت۳۰ دقیقه در گرمخانه با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و در شرایط بخار اشباع انجام گرفت. فرآیند پخت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه انجام گرفت. نمونه‌های نان بدون گلوتن پس از خنک شدن در کیسه‌های پلی‌پروپیلنی در دمای محیط قرار گرفتند تا ویژگی‌های کیفی آن‌ها شامل ارزیابی بافت و ارزیابی حسی در طی دوره نگهداری (روزهای اول، چهارم و هفتم) ارزیابی گردند. بعد از انجام بهینه‌یابی با توجه به ویژگی‌های کیفی شامل سختی بافت و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

ارزیابی حسی نهایتاً مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه نان بدون گلوتن بهینه با نمونه نان بدون گلوتن شاهد (شامل آرد برنج، ذرت و فاقد آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان) انجام شد.

۲-۵- اندازه‌گیری بافت مغز نان بدون گلوتن

جهت ارزیابی بافت نان بدون گلوتن می‌توان از آزمون TPA (شبیه‌سازی عملیات جویدن) استفاده کرد. آزمون TPA توسط دستگاه بافت‌سنج (CT3, Brookfield, USA) در طی دوره نگهداری در روزهای اول، چهارم و هفتم انجام و میزان سختی نمونه‌های نان محاسبه شد. در این آزمون قطعات نان در ابعاد ۳۰×۳۰×۳۰ میلی‌متر برش داده شده و آزمون با پروب آلومینیومی به قطر ۱۲/۷ میلی‌متر با سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه انجام گردید [۱۲].

۲-٦- ارزیابی خصوصیات حسی نان بدون گلوتن

در این مطالعه به‌منظور بهینه‌یابی و مقایسه تیمارهای مختلف در طی دوره نگهداری، خصوصیات حسی شامل رنگ پوسته، نرمی مغز نان و خاصیت ارتجاعی، پوکی و تخلخل، عطر و بو، طعم و مزه و پذیرش کلی توسط ۷۵ ارزیاب آموزش دیده از دانشجویان و کارمندان دانشگاه علوم پزشکی کرمان و همچنین تعدادی از بیماران سلیلکی در دامنه سنی ۱۹-٥٦ سال به روش هدونیک نه نقطه‌ای مطابق جدول ۲ از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۹) مورد ارزیابی قرار گرفتند [۱۳]. برای هر نفر قطعات نان مورد ارزیابی در بسته‌های پلی‌اتیلنی همراه با یک فرم ارزیابی حسی محصول داده شد و از آب جهت تشخیص تمایز طعم نمونه‌ها استفاده گردید. پس از پایان ارزیابی فرم‌ها جمع‌آوری و امتیاز هر نان محاسبه شد.

۲-۷- ارزیابی حرارتی نان بدون گلوتن

برای مقایسه میزان بیاتی نان بهینه و نمونه شاهد، ارزیابی حرارتی توسط دستگاه گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)[1] (مدل ZF-DSC-D2) با برنامه دمایی بین ۲۰ تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت افزایش دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه انجام گردید. آزمون در روزهای اول، چهارم و هفتم نگه‌داری روی نمونه‌های نان بهینه و شاهد انجام گرفت. در منحنی‌های اندوترم DSC، دمای پیک و آنتالپی به‌عنوان معیارهای اصلی تفسیر ژلاتینه شدن و بیاتی مورد بررسی قرار گرفت [۱٤].

۲-۸- اندازه‌گیری تغییرات رنگ پوسته نان بدون گلوتن در طی دوره نگهداری

شاخص رنگ (L^*) سطح نمونه‌های نان با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج TES-135A ساخت تایوان در روزهای اول، چهارم و هفتم اندازه‌گیری شد.

۲-۹- ارزیابی نان در طول مدت نگهداری

در این تحقیق به‌منظور دستیابی به فرمولاسیون بهینه نان بدون گلوتن، از پاسخ‌های مرتبط با شاخص سختی بافت و ارزیابی حسی نمونه‌های نان استفاده گردید. سپس بر اساس آزمون آماری، نان بهینه انتخاب شد و ویژگی‌های کیفی آن شامل آزمون‌های حرارتی، بافت‌سنجی، ارزیابی حسی و ویژگی‌های رنگ با نمونه شاهد (نمونه نان فاقد آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان) در طی دوره نگهداری (روزهای۱، ٤ و۷) مقایسه شد.

۲-۱۰- آنالیز آماری

در این پژوهش به‌منظور بهینه‌یابی فرمول نان بدون گلوتن از روش سطح پاسخ[2] (RSM) با استفاده از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر[3] (CCRD) برای پارامترهای آزمایش شامل مقدار آرد کینوا درصد،X1)، فعالیت آنزیم لکاز واحد فعالیت آنزیم به ازای هر گرم آرد،X2) و صمغ زانتان (درصد،X3) با حدود مشخص بالا و پایین استفاده شد. سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه در جدول۲ و تیمارهای آزمایش جهت بررسی اثر متقابل فاکتورها و بهینه یابی بهترین شرایط در تولید نان‌های موردنظر در جدول ۳ ذکر شده‌اند.توابع پاسخY در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های خطی، چند جمله‌ای ساده، چند جمله‌ای درجه دوم و چند جمله‌ای درجه سوم مورد بررسی قرار گرفتند. آنالیز آماری توسط نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۲،۰،۳،۰ صورت گرفت. در

1. Differential scanning calorimetry

2. Response surface methodology
3. Rotatable central composite designs

این تحقیق به‌منظور دستیابی به فرمولاسیون بهینه نان با تکیه بر ویژگی‌های کیفی و خصوصیات حسی نان بدون گلوتن بر اساس یازده پاسخ استفاده شد.برای تمام فاکتورها بر اساس جداول طرح سطح پاسخ، مدل پیشنهادیReduced Quadratic ارائه شد.مقایسه میانگین نمونه شاهد با نمونه بهینه بر اساس آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد با نرم‌افزار SAS انجام گرفت.

Table 2 Independent variable values of the process and their corresponding levelsin the rotatable central composite design

Variable	Component	Unit	Low level (-1)	High level (+1)
X_1	Quinoa flour	%	0	50
X_2	Laccase activity	U/g	0	2
X_3	Xanthan gum	%	0	0.5

Table 3 Random treatments experiment based on gluten-free bread formulation variables in central composite design

Std	Block	Coded levels		
		X_1	X_2	X_3
1	Block 1	1.0	1.0	1.0
2	Block 1	-1.0	-1.0	-1.0
3	Block 1	1.0	1.0	-1.0
4	Block 1	0.0	0.0	0.0
5	Block 1	0.0	0.0	0.0
6	Block 1	1.0	-1.0	1.0
7	Block 1	-1.0	1.0	-1.0
8	Block 1	-1.0	1.0	1.0
9	Block 1	1.0	-1.0	-1.0
10	Block 1	-1.0	-1.0	1.0
11	Block 1	0.0	0.0	0.0
12	Block 2	-1.0	0.0	0.0
13	Block 2	0.0	-1.0	0.0
14	Block 2	0.0	1.7	0.0
15	Block 2	1.7	0.0	0.0

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات نمونه‌های آرد

ارزش تغذیه‌ای نان بستگی به ترکیبات تشکیل‌دهنده آن دارد. محتوای رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر نمونه‌های آرد کینوا، برنج و ذرت در جدول٤ نشان داده شده است.به‌استثنای محتوای رطوبت، محتوای سایر ترکیبات بر پایه وزن خشک بیان شده است.

Table 4 Comparison of the nutritional values of flours (100 g).

Flour	Ash	Lipids	Protein	Moisture	Total fiber	Carbohydrate
Quinoa flour	2.34±0.14[a]*	5.04±0.44[a]	14.22±0.68[a]	9.04±1.18[b]	9.3±0.14[a]	60.06±0.16[d]
Rice flour	1.19±0.15[b]	2.52±0.06[c]	6.76±0.10[c]	8.51±0.12[c]	2.35±0.17[c]	78.67±0.09[a]
Corn flour	1.29±0.08[b]	4.62±0.06[b]	7.34±0.15[c]	7.22±0.07[d]	4.31±0.02[b]	75.22±0.8[b]
Wheat flour	1.19±0.02[b]	2.35±0.08[c]	11.01±0.11[b]	10.26±0.12[a]	8.13±0.17[a]	67.06±0.10[c]

*Values of three independent repeats (n=3) are expressed as mean± SD. Values with different letters in the same column are significant at $p<0.05$

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

بر اساس این جدول محتوای پروتئینی آرد کینوا۱۴/۲۲±۰/۶۸ درصد بود که مقدار آن از آرد برنج و ذرت به ترتیب با محتوای پروتئینی۶/۷۶±۰/۱۰ و ۷/۳۴±۰/۱۵ درصد بیشتر می‌باشد. بر اساس پژوهش‌های قبلی نیز این میزان در محدوده بین ۱۴ تا ۱۸ درصد گزارش شده است که بیشتر از اکثر غلات رایج مورد استفاده نظیر گندم و برنج می‌باشد. مطالعات متعدد نشان داده است پروتئین‌های منابع مختلف می‌توانند کیفیت نان بدون گلوتن را بهبود دهند[۱۶،۱۵].بنابراین پروتئین آرد کینوا توانایی بهبود کیفیت نان بدون گلوتن را دارد [۱۷]. همچنین افزودن آرد کینوا می‌تواند محتوای مواد معدنی نان بدون گلوتن را افزایش دهد. کینوا به‌عنوان یکی از غلات بسیار مغذی معرفی شده است و خاویار گیاهی محسوب می‌شود و در سال‌های اخیر، استفاده از آن در سراسر جهان از جمله ایران افزایش یافته و مصرف آن به‌عنوان جایگزین سالم‌تر غلاتی از جمله گندم رواج یافته است. پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب خانواده امگا ۳ و همچنین فسفر، آهن، منیزیم، پتاسیم، ویتامین‌های خانواده B، ویتامین E، ترکیبات فیبری وآنتی‌اکسیدان‌ها از جمله موادی هستند که در مقادیر قابل توجهی در دانه‌های این گیاه وجود دارند و برای مصرف‌کنندگان به خصوص بیماران سلیاکی مفید و مؤثر می‌باشد [۱۸]. از طرف دیگر مطالعات متعدد نشان داده است پروتئین علاوه بر ارزش تغذیه‌ای می‌تواند در بهبود ساختار و کیفیت نان بدون گلوتن تأثیر داشته باشد؛ بنابراین پروتئین آرد کینوا می‌تواند کیفیت نان بدون گلوتن را بهبود دهد [۱۷،۱۵]. مقدار انرژی آرد به محتوای چربی تام آن مربوط است [۱۸]. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، محتوای چربی خام کینوا۵/۰۴±۰/۴۴ درصد بود که بیشتر از چربی آرد برنج (۲/۵۲±۰/۰۶ درصد) و آرد ذرت (۴/۶۲±۰/۳۶ درصد) می‌باشد؛ لذا افزودن آن‌ها می‌تواند محتوای انرژی نان بدون گلوتن را افزایش دهد. مقدار خاکستر به مقدار مواد معدنی موجود در آرد بستگی دارد همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است محتوای خاکستر کینوا۲/۳۴±۰/۱۴ درصد بود که به صورت معنی‌داری بیشتر از محتوای خاکستر آرد برنج (۰/۱۵± ۱/۱۹ درصد) و آرد ذرت (۰/۰۸± ۱/۲۹ درصد) است.

۳-۲-بهینه‌یابی نان بدون گلوتن

در این تحقیق فرمولاسیون بهینه نان بدون گلوتن بر اساس پاسخ‌های سفتی بافت و ارزیابی حسی در طی دوره نگهداری انتخاب گردید.برای تمام فاکتورها بر اساس جدول شماره ٤ مدل پیشنهادیReduced Quadratic ارائه شد.

۳-۲-۱- ارزیابی بافت نان

سختی بافت، نیروی لازم برای فشرده‌سازی مواد غذایی بین دندان‌ها است که باعث درک تازه بودن غذاها می‌شود.تأثیر سطوح مختلف آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر شاخص سفتی بافت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان دارای اثرات خطی منفی بر سختی نمونه‌های نان بودند ($p<0.05$).شکل۱(a, d, g) اثر متقابل سطوح مختلف آنزیم لکاز و آرد کینوا بر شاخص سختی بافت در سه دوره زمانی اول، چهارم و هفتم را در سطح متوسط صمغ زانتان نشان می‌دهد. برهمکنش آرد کینوا و آنزیم لکاز سبب کاهش شاخص سختی شده است. شکل۱ (b,e, h) اثر متقابل سطوح مختلف صمغ زانتان و آرد کینوا بر شاخص سختی بافت نان در سطح متوسط آنزیم لکاز نشان می‌دهد.

بر اساس این نتایج بهترین بافت با کمترین سختی در سطح میانه صمغ زانتان و آرد کینوا مشاهده گردید. راسل و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر هیدروکلوئیدها بر کاهش سختی بافت نان را به افزایش محتوای آب نمونه‌های نان نسبت دادند که از طریق پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و هیدروکلوئیدها صورت می‌گیرد [۱۹]. بر اساس شکل۱(c, f, i)، کمترین سختی در سطح میانه صمغ زانتان (۰/۲۵ درصد) مشاهده گردید در حالی که تغییر در مقدار آنزیم لکاز تأثیری بر میزان سختی بافت نداشت.رنزتی و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر سطوح۰/۰۱ درصد آنزیم لاکاز و۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ درصد آنزیم پروتئاز در تهیه نان بدون گلوتن حاوی آرد جو دوسر را بررسی کردند و نتایج بیانگر کاهش سختی و قابلیت تغییر شکل‌پذیری نان‌های تولید شده بود. نتایج نشان داد تهیه نان با آنزیم لکاز به طور قابل‌توجهی عملکرد تهیه نان از آرد جو دوسر و کیفیت بافت نان جو را با افزایش حجم مخصوص و کاهش سختی بهبود می‌بخشد.

آن‌ها بیان نمودند که آنزیم لکاز قادر است با اتصال متقابل پروتئین‌ها و پروتئین‌ها با آرابینوگزیلان‌ها، ساختار خمیر را تثبیت کند و در نتیجه یک شبکه قوی آرابینوگزیلان به وسیله دیمر شدن اکسیداتیو استرهای فروولیل از طریق اسید فرولیک ایجاد نماید و در نهایت سبب کاهش سختی نان میگردد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

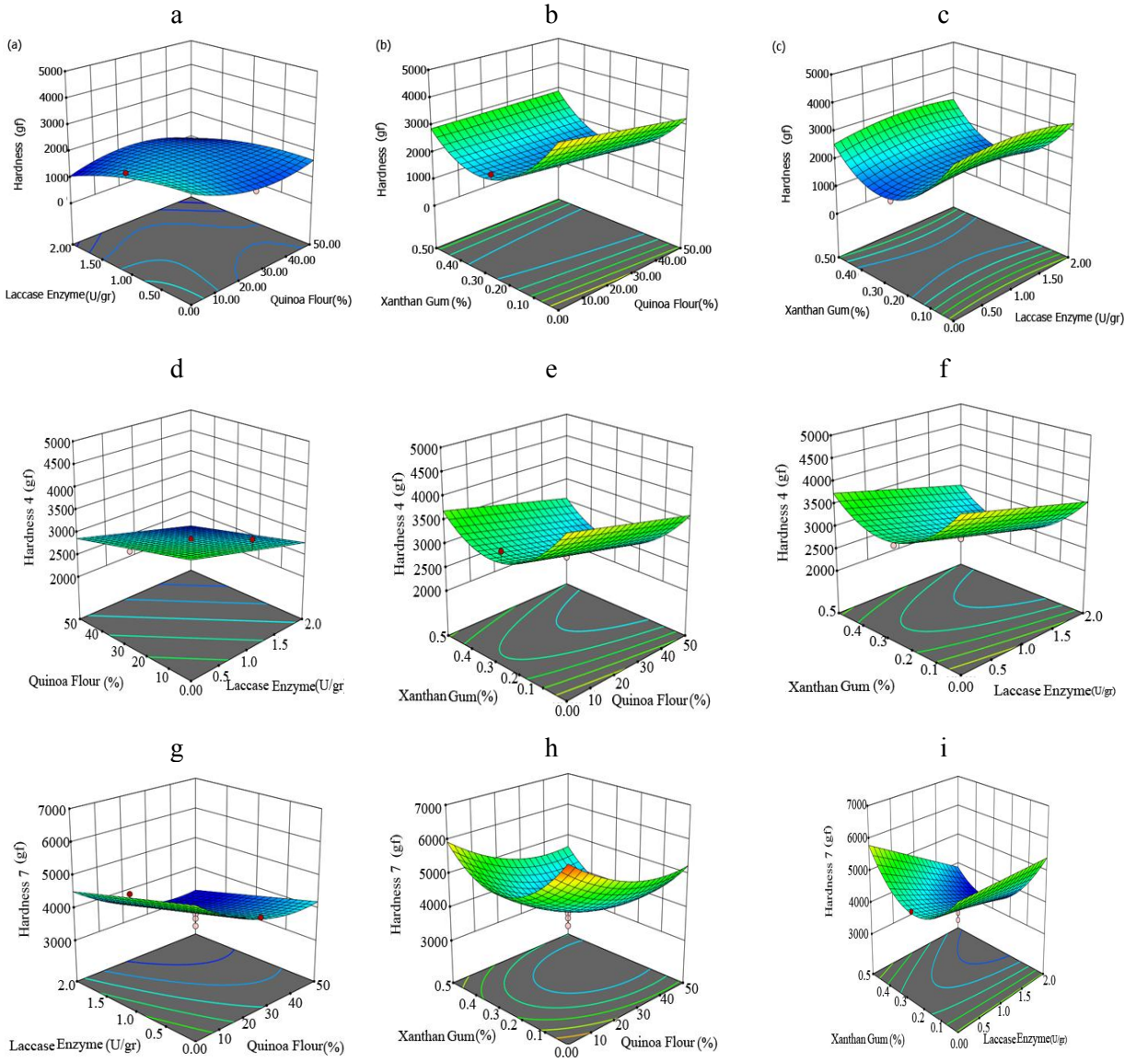

Fig 1 Response surface plots of the interaction of laccase and quinoa flour (a, d, and g), xanthan gum and quinoa flour (b, e, and h), and xanthan gum and laccase (c, f, and i) on the hardnessof breads during 1st, 4th, and 7th days of storagetime.

در تولید نان بر پایه آرد گندم، تیمارهای گلوکز اکسیداز و لکاز استحکام و پایداری خمیر و همچنین حجم نان را افزایش می‌دهند و ساختار و نرمی مغز نان را بهبود می‌بخشند [۲۰].

در تحقیقی الگتیو همکاران (۲۰۱٤) به بررسی بافت نان بدون گلوتن پرداختند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که با افزایش میزان آرد کامل کینوا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن نرمی بافت به صورت معنی‌داری افزایش یافت [۸].

در بررسی سلینمو و همکاران (۲۰۰۷) جهت تهیه نان گندم به کمک آنزیم، تأثیر افزودن آنزیم لکاز و زایلاناز در تشکیل ساختار خمیر آرد گندم به تنهایی و اثر ترکیبی دو آنزیم مقایسه شد. لکاز مقاومت خمیر را افزایش و قابلیت انعطاف‌پذیری خمیر را کاهش داد. در تیمارهای ترکیبی آنزیم‌های لکاز و زایلاناز، اثر آنزیم لکاز به خصوص در مقدار پائین آنزیم زایلاناز کم بود، اما وقتی زیلاناز در غلظت‌های بالا به خمیر آرد اضافه شد، اثر سخت کننده لکاز بر خمیر کاهش یافت. ضمناً نتایج نشان داد که اثر نرم

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

کننده به خصوص در مقادیر بالاتر لکاز رخ می‌دهد [۲۱]. داده‌های آزمایش در طرح سطح پاسخ مرتبط با پاسخ شاخص سختی نان بدون گلوتن در طی روزهای اول، چهارم و هفتم در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

Table 5 Experimental design and results of the 2^3 factorial designs augmented to central composite design (CCD) for measuring the hardness of the breads during 1st, 4th, and 7th days of storage time.

Hardness(gf) of breads						Coded levels			Std
7th day		4th day		1st day					
Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	X_3	X_2	X_1	
3435.03	3475.35	2665.52	2812.12	2084.28	2097.50	1.0	1.0	1.0	1
6303.46	6269.00	4546.68	4825.20	4629.72	4616.50	-1.0	-1.0	-1.0	2
4981.48	4451.25	3198.33	3273.30	2681.28	2694.50	-1.0	1.0	1.0	3
3653.34	3684.23	2776.37	2728.30	1631.17	1664.50	0.0	0.0	0.0	4
3653.34	3451.26	2776.37	2862.30	1631.17	1664.50	0.0	0.0	0.0	5
5365.54	5536.80	3385.26	3358.14	3075.28	3088.50	1.0	-1.0	1.0	6
6273.21	6632.23	3826.93	3639.40	2750.72	2737.50	-1.0	1.0	-1.0	7
4726.76	4515.23	3294.12	3329.20	2295.72	2282.50	1.0	1.0	-1.0	8
5011.73	5217.40	3918.08	3752.12	3214.28	3227.50	-1.0	-1.0	1.0	9
6657.27	6657.22	4013.86	3859.30	2848.72	2835.50	1.0	-1.0	-1.0	10
3653.34	3824.52	2776.37	2738.50	1631.17	1564.50	0.0	0.0	0.0	11
5266.06	5124.36	3192.11	3377.40	1981.43	2077.50	0.0	0.0	-1.0	12
4650.28	4452.36	3237.68	3125.20	1562.74	1423.00	0.0	-1.0	0.0	13
3335.69	3625.21	2272.58	2123.50	1133.10	1182.50	0.0	1.7	0.0	14
4375.26	4425.36	2349.22	2425.50	1488.74	1483.00	0.0	0.0	1.7	15

۳-۲-۲- بهینه‌یابی ارزیابی حسی

ارزیابی حسی اهمیت قضاوت مصرف‌کننده در مورد یک محصول تولیدی را آشکار می‌نماید. نتایج تجزیه واریانس تأثیر پارامترهای مختلف (سطوح مختلف آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان) بر تغییرات امتیاز حسی نان‌های بدون گلوتن شامل امتیاز نرمی بافت مغز نان، رنگ پوسته، میزان تخلخل، طعم و مزه، عطر و بو و پذیرش کلینشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر آرد کینوا و آنزیم لکاز بر تمام فاکتورها به‌جز رنگ پوسته معنی‌دار می‌باشد.همچنین اثر مثبت افزودن آرد کینوا به نان بدون گلوتن بر فاکتورهای حسی نمونه‌های نان از اثر آنزیم لکاز و صمغ زانتان بیشتر بود.

اثرات خطی و درجه دوم متغیر مستقل آرد کینوا بر امتیاز حسی ارزیابی رنگ پوسته نان معنی‌دار شد ($p<0.05$).در شکل۲ تأثیر هم‌زمان پارامترهای مختلف آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر امتیاز حسی ارزیابی رنگ پوسته ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود با افزایش میزان آرد کینوا، امتیاز رنگ پوسته نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که افزودن آرد کینوا به نان، رنگ نان بدون گلوتن را تیره‌تر می‌کند که علت آن بالا بودن مقدار خاکستر آرد کینوا و رنگدانه بتالانین[1]می‌باشد [۸]. از طرف دیگر در تهیه نان‌های بدون گلوتن، اغلب از نشاسته و آرد برنج استفاده می‌شود و رنگ نان‌های تولیدی در مقایسه با نان گندم روشن‌تر می‌باشد؛ بنابراین ایجاد رنگ تیره‌تر می‌تواند در این نان‌ها مطلوب باشد.این موضوع با نتایج به دست آمده از تحقیق ما همخوانی دارد، به‌طوری که ارزیاب‌ها به نان بدون گلوتن تا حدودی تیره‌رنگ امتیاز بالایی دادند. افزودن آرد کینوا، رنگ نان بدون گلوتن را تیره‌تر می‌کند و علت آن زیاد بودن مقدار خاکستر آرد کینوا و رنگدانه بتالانین می‌باشد. ارزش تغذیه‌ای و خواص حسی نان تهیه شده با آرد کینوا توسط رادمیلااستیک (۲۰۱۲) مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های حسی نان‌های غنی شده با ۱۵ درصد آرد کینوا بالاترین امتیاز را

1. Betalanine pigment

کسب کردند. نتایج نشان داد آرد کینوا علاوه بر افزایش ارزش تغذیه‌ای منجر به بهبود خواص عملکردی و حسی نمونه نان شد [۲۲].

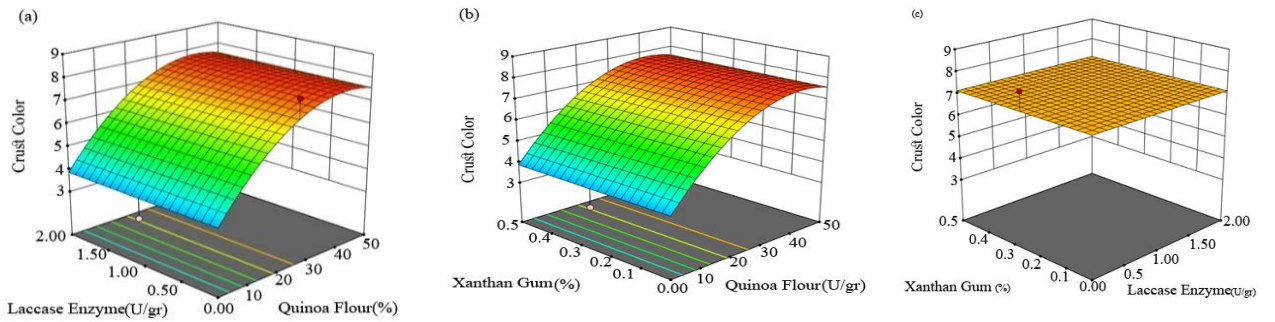

Fig 2 Response surface plots of the interaction oflaccase enzyme and quinoa flour (a), xanthan gum and quinoa flour (b), and xanthan gum and laccase enzyme (c) on the color attribute of bread samples.

آنالیز واریانس اثرات متغیرهای فرایند نشان داد که اثرات خطی و درجه دوم متغیر مستقل آرد کینوا و اثرات خطی آنزیم لکاز در بر امتیاز عطر و بو معنی‌دار شدند ($p<0.05$) .در شکل۳ برهمکنش متغیرهای آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر امتیاز عطر و بو نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش آرد کینوا امتیاز شاخص حسی عطر و بو افزایش پیدا کرده است که علت آن را می‌توان به عطر و بوی خاص آرد کینوا نسبت داد که از نظر ارزیاب‌ها متفاوت از نان‌های معمولیمی‌باشد. نتایج تحقیق بورسوا و همکاران (۲۰۱۷) در موردویژگی‌های حسی نان بدون گلوتن بر پایه برنج بیانگر کاهش امتیاز عطر و بوی نان بدون گلوتن بود؛ بنابراین آرد کینوا نسبت به آرد برنج جایگزین مناسب‌تری برای آرد گندم می‌باشد [۱۲].

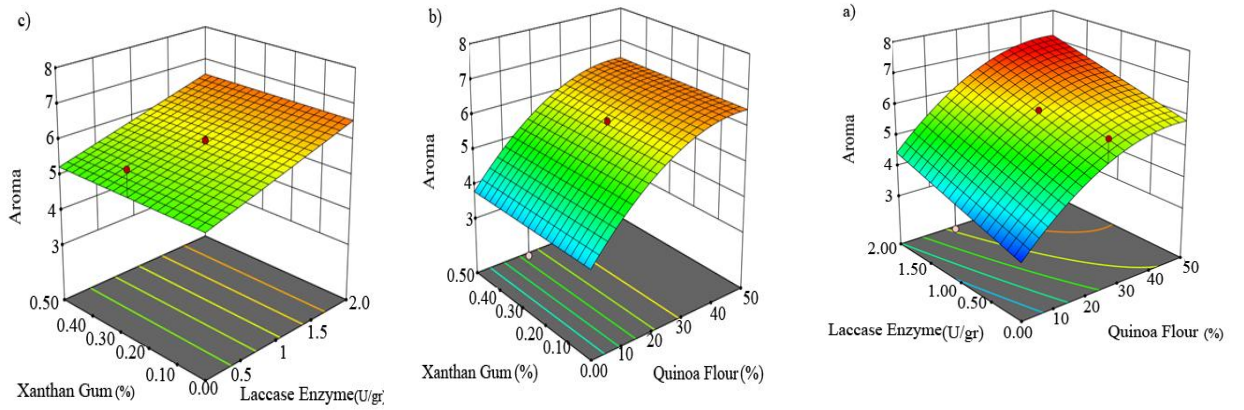

Fig 3 Response surface plots of the interaction ofoflaccase enzyme and quinoa flour (a), xanthan gum and quinoa flour (b), and xanthan gum and laccase enzyme (c) on thearoma attribute of bread samples

تخلخل اشاره به ساختار منافذ در مغز نان دارد و از عوامل تأثیرگذار در تعیین خواص کیفی بافت نان می‌باشد.آنالیز واریانس اثرات متغیرهانشان داد که اثرات خطی متغیرهای مستقل آرد کینوا و آنزیم لکاز بر امتیازتخلخلنان بدون گلوتن معنی‌دار شدند ($p<0.05$). برهم‌کنش متغیرهای آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر امتیاز تخلخلدر شکل٤ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که آرد کینوا تأثیرمعنی‌داری بر امتیاز تخلخل داشت. با افزایش میزان آرد کینوا امتیاز تخلخل افزایش یافت. یکی از علل این امر را می‌توان به میزان گلوکز بالاتر در آرد کینوا نسبت به آرد برنج نسبت داد [۸]. میزان گلوکز بالاتر شرایط مناسب‌تری را برای رشد مخمرها و تولید گاز و به دنبال آن توزیع حباب‌های گاز فراهم می‌آورد و در نتیجه باعث تخلخل بیشتر نان‌های بدون گلوتن می‌شود. دلیل دیگر می‌تواند به تأثیر آرد کینوا در کاهش سختی خمیر نسبت داده شود که در نتیجه منافذ اطراف خمیر به

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

صورت مؤثری بزرگ شده و تخلخل را در نان‌های بدون گلوتن افزایش می‌دهد [۱۲]. آلوارز جوبت و همکاران (۲۰۱۰) نیز تخلخل نان‌های بدون گلوتن بر پایه برنج را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از آرد کینوا به صورت معنی‌داری میزان تخلخل را افزایش می‌دهد. آنها علت این موضوع را به فاکتورهایی نظیر گرانروی خمیر، نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین، حضور مواد فعال سطحی یا وقوع تجمع پروتئین در طی حرارت دادن نسبت دادند [۲۳].

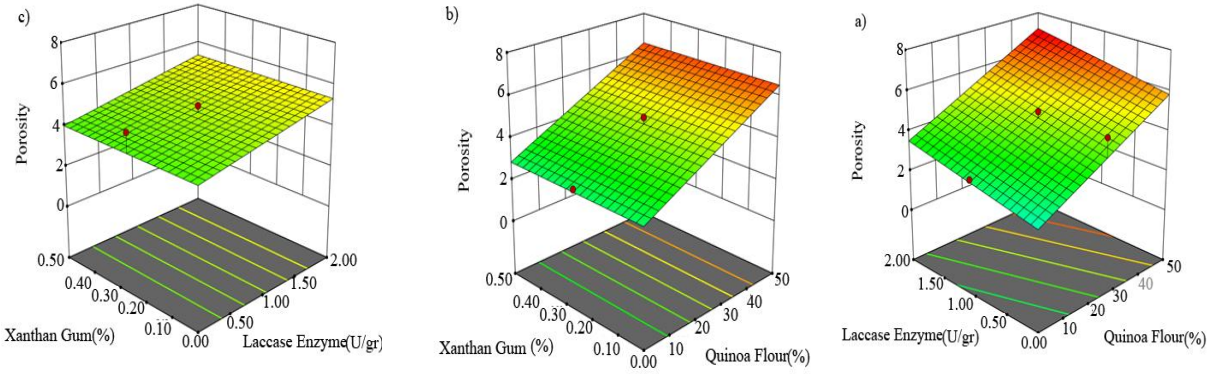

Fig 4 Response surface plots of the interaction ofoflaccase enzyme and quinoa flour (a), xanthan gum and quinoa flour (b), and xanthan gum and laccase enzyme (c) on the porosity attribute of bread samples

آنالیز واریانس اثرات متغیرهای فرآیند نشان داد اثرات خطی و درجه دوم متغیرمستقل آرد کینوا و اثرات خطی و برهم‌کنش آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر امتیاز سفتی نان بدون گلوتن معنی‌دار شدند ($p<0.05$). شکل۵ برهمکنش متغیرهای آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر امتیاز سفتی بافت مغز نان را نشان می‌دهد.نتایج نشان داد با افزایش درصد کینوا میزان سفتی بافت نان کاهش می‌یابد. فرمول نان با میزان آرد کینوای بیشتر، کمترین میزان سفتی را داشت که از نظر ارزیاب‌ها نمره بالاتری گرفت. دلیل آن را احتمالاً می‌توان به میزان بالای پروتئین آرد کینوا و افزایش جذب آب اشاره کرد که این امر باعث افزایش نرمی بافت مغز نان می‌شود. بر اساس پژوهش‌ها، محتوای پروتئین آرد یک فاکتور مهم تأثیرگذار بر میزان و روند سفتی و بیاتی نمونه‌های نان است [۲۴،۱۶]. از طرف دیگر این موضوع نشان می‌دهد که بافت نرم برای ارزیاب‌ها قابل قبول‌تراست. با افزایش میزان آنزیم لکاز و صمغ زانتان بافت نان‌ها نرم شده و اثرات متقابل صمغ زانتان و آنزیم لکاز بر نرمی بافت نان‌ها تشدید کننده می‌باشد (شکل۵).

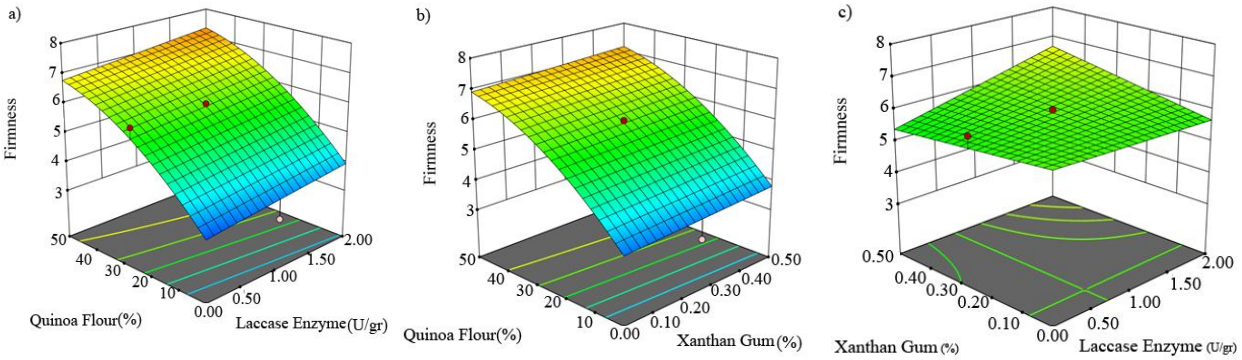

Fig 5 Response surface plots of the interaction oflaccase enzyme and quinoa flour (a), xanthan gum and quinoa flour (b), and xanthan gum and laccase enzyme (c) on the firmness attribute of bread samples

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس اثرات متغیرهای فرآیند نشان دهنده اثرات خطی متغیرهای مستقل آرد کینوا، صمغ زانتان و آنزیم لکاز و همچنین سطح درجه دوم آرد کینوا بر امتیاز طعم و مزه نان بدون گلوتن بود ($p<0.05$). برهم‌کنش اثر متغیرهای آنزیم لکاز و آرد کینوا بر امتیاز طعم و مزه در شکل ٦ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش میزان آرد کینوا

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

و آنزیم لکاز امتیاز ارزیابی طعم افزایش یافت. در مورد اثرات صمغ زانتان نیز می‌توان گفت که این صمغ در سطح ۰/۲۵ درصد بالاترین امتیاز را از سوی ارزیاب‌ها کسب کرد.یکی از کاربردهای آنزیم لکاز کنترل بو، افزایش طعم و همچنین کاهش ترکیبات نامطلوب در محصولات غذایی‌می‌باشد که ممکن است با اکسیژن‌زدایی ارتباط داشته باشد [۶]. شیتو و همکاران (۲۰۰۹) نیز اثرات صمغ زانتان بر ویژگی‌های حسی نان بدون گلوتن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد امتیاز طعم نمونه شاهد (بدون صمغ) و نمونه دارای ۱ درصد صمغ زانتان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی امتیاز نمونه دارای ۲ درصد صمغ زانتان به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرده بود [۲۵].

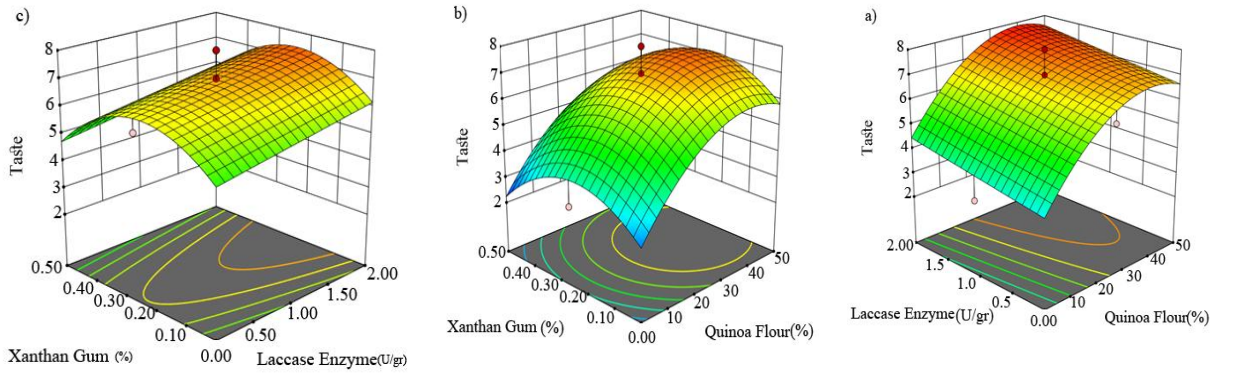

Fig 6 Response surface plots of the interaction oflaccase enzyme and quinoa flour (a), xanthan gum and quinoa flour (b), and xanthan gum and laccase enzyme (c) on the taste attribute of bread samples

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس اثرات متغیرهای فرآیند نشان دهنده اثرات خطی متغیرهای مستقل آرد کینوا، صمغ زانتان و آنزیم لکاز و همچنین سطح درجه دوم آرد کینوا بر امتیاز پذیرش کلین مونه‌های نان بدون گلوتن بود ($p<0.05$). برهم‌کنش متغیرهای آرد کینوا، صمغ زانتان و آنزیم لکاز بر امتیاز پذیرش کلی در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج حاصل از اثرات متقابل آرد کینوا و آنزیم لکاز نشان دهنده تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر امتیاز پذیرش کلی بود. در تحقیق بورسوا و همکاران (۲۰۱۷) در مورد فرمولاسیون نان بدون گلوتن مشخص شد که با افزایش میزان آرد کینوا در فرمولاسیون، پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش پیدا کرد [۱۲].

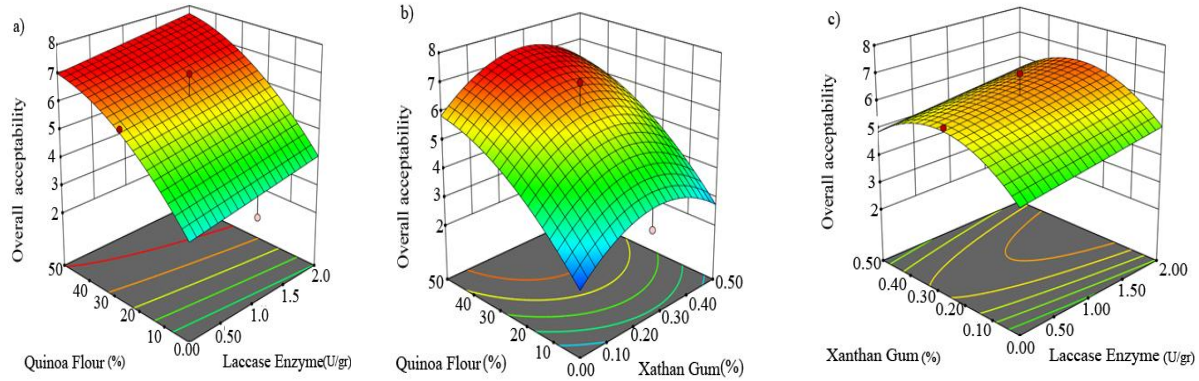

Fig 7 Response surface plots of the interaction oflaccase enzyme and quinoa flour (a), xanthan gum and quinoa flour (b), and xanthan gum and laccase enzyme (c) on the overall acceptibilityattribute of bread samples

داده‌های آزمایش در طرح سطح پاسخ مرتبط با پاسخ شاخص‌های ارزیابی حسی نان بدون گلوتن در جدول شماره ٦ نشان داده شده است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

Table 6 Experimental design and results of the 2^3 factorial designs augmented to central composite design (CCD) for measuring the sensory attributes of aroma, crust color, porosity, taste, firmness, and overall acceptability of the bread samples. (Obs. and Pred. are abbreviation of observed and predicted, respectively)

Sensory characteristics												Coded levels			Std
Overall acceptability		Firmness		Taste		Porosity		Crust color		Aroma					
Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	Pred.	Obs.	X_3	X_2	X_1	
7.09	7.00	7.81	7.60	6.14	6.00	7.42	7.60	7.06	7.20	6.74	6.60	1.0	1.0	1.0	1
2.56	2.40	3.83	4.00	2.76	3.00	2.00	1.80	3.48	4.00	2.91	2.80	-1.0	-1.0	-1.0	2
7.09	7.00	7.01	7.00	6.69	6.80	6.62	6.60	7.06	7.00	6.74	6.40	-1.0	1.0	1.0	3
6.61	7.00	6.08	6.00	7.27	7.40	5.31	5.00	6.55	7.00	5.72	6.20	0.0	0.0	0.0	4
6.61	7.00	6.08	5.60	7.27	7.60	5.31	5.40	6.55	6.80	5.72	5.60	0.0	0.0	0.0	5
6.18	6.00	6.50	7.00	5.69	5.80	6.70	6.40	7.06	6.60	5.55	5.60	1.0	-1.0	1.0	6
3.46	3.00	3.74	4.00	4.11	4.00	2.72	2.80	3.48	4.00	4.11	4.60	-1.0	1.0	-1.0	7
3.46	4.20	4.54	5.00	3.56	3.80	3.52	3.40	3.48	3.80	4.11	5.00	1.0	1.0	-1.0	8
6.18	6.00	7.10	7.00	6.24	6.00	5.90	6.20	7.06	6.80	5.55	5.80	-1.0	-1.0	1.0	9
2.56	2.80	3.23	2.80	2.21	2.00	2.80	3.20	3.48	3.00	2.91	2.60	1.0	-1.0	-1.0	10
6.61	6.00	6.08	6.00	7.27	6.80	5.31	5.20	6.55	5.60	5.72	4.60	0.0	0.0	0.0	11
3.50	3.00	3.41	3.00	3.19	3.00	2.93	2.80	4.05	3.00	3.62	2.60	0.0	0.0	-1.0	12
5.70	6.00	5.35	5.80	5.64	5.80	5.11	5.20	7.12	7.40	5.23	6.20	0.0	-1.0	0.0	13
6.04	6.00	6.16	6.20	6.84	6.80	6.09	6.20	7.12	7.60	6.84	6.80	0.0	1.7	0.0	14
5.96	6.20	6.68	6.60	4.73	4.80	7.07	7.00	6.52	6.80	5.51	5.60	0.0	0.0	1.7	15

۳-۲-۳- معادلات چند جمله‌ای به‌منظور پیش‌بینی میزان پارامترهای مورد اندازه‌گیری

به‌منظور پیش‌بینی میزان سختی نان در روزهای اول، چهارم و هفتم و همچنین برای پیش‌بینی مقادیر شاخص‌های ارزیابی حسینان بدون گلوتن، معادلات مرتبط در جدول۷ ارائه شده است.ضرایب ذکر شده در این معادلات به صورت آرد کینوا (A)، آنزیم لکاز (B)، صمغ زانتان (C)، اثر درجه دوم میزان آرد کینوا (A^2)، اثر درجه دوم میزان صمغ زانتان (C^2)، اثر درجه دوم میزان آنزیم لکاز (B^2)، اثر متقابل میزان آرد کینوا × آنزیم لکاز (AB)، اثر متقابل میزان آرد کینوا × صمغ زانتان (AC)، اثر متقابل میزان آنزیم لکاز× صمغ زانتان (BC)، اثر متقابل میزان آرد کینوا × آنزیم لکاز× صمغ زانتان (ABC)، اثر درجه دوم میزان آرد کینوا × آنزیم لکاز (A^2B) می‌باشند.

Table 7 The equations to predict the response for certain levels

(C.V %)	(Adj- R^2)	(R^2)	Equations
4.29%	0.9848	0.9953	Hardness (1^{st} day)= +1714.44-183.72 A-371.50 C+113.50 AB+187.50 AC+108.50 BC-234.98 B^2+1551.31 C^2- 223.00 ABC -494.50 A^2B
5.48%	0.9192	0.9440	Hardness (4^{th} day)=+2827.09-314.30 A-359.87 B-266.41 C+829.73 C^2
6.86%	0.9171	0.9554	Hardness ((7^{th} day))=+3906.71-645.87 A-490.19 B-298.16 C-475.07 BC+460.11 A^2+1230.86 C^2
10.20%	0.8898	0.9068	Crust color= +7.15-1.86A-1.4A2
9.74%	0.8692	0.89945	Aroma =+5.91+1.35A+0.6557B-0.7652A2
8.78	0.9394	0.9627	Taste= +6.96+1.56A+0.4660B-0.2500C-1.40A^2-1.51C^2
6.61	0.9450	0.9661	Firmness=+5.91+1.69A+0.2713B+0.1250C+0.3750BC-0.5502A2
18.06	0.8155	0.8439	Porosity= +4.69+1.82A+0.6593B
9.21	0.9306	0.9573	Overall acceptability= +6.23+1.81 A+0.3505 B+ 0.2500 C-0.6828 A2-1.23C2

٤-۲- بررسی تاثیر دوره نگهداری بر ویژگی‌های کیفی نان بهینه و نان شاهد

پس از انجام بهینه‌یابی با توجه به آزمون‌های کیفی انجام شده، نمونه نان بهینه با فرمولاسیون ٤٠ درصد آرد کینوا، ۰/۵ درصد صمغ زانتان و آنزیم لکاز به میزان ۲ فعالیت آنزیمی به ازای هر گرم آرد تهیه گردید و در طی دوره نگهداری ویژگی‌های کیفی (شامل رنگ، بافت، آزمون حرارتی و آزمون حسی) نمونه بهینه با نمونه نان شاهد (فاقد آرد کینوا، صمغ زانتان و آنزیم لکاز) مقایسه شدند.

٤-۲-۱-ارزیابی حرارتی نمونه‌ها در طی دوره نگهداری

بیاتی نان، مربوط به تغییراتی است که پس از پخت در نان رخ می‌دهد. این تغییرات در پوسته و بافت مغز نان صورت می‌گیرد. نشاسته ترکیب اصلی سیستم می‌باشد که نقش تعیین کننده‌ای در واگشتگی[1] نشاسته دارد [۹]. ارزیابی حرارتی نان یکی از فاکتورهای مهم جهت تشخیص بیاتی و کیفیت نان در طول مدت نگهداری آن می‌باشد. بیاتی نان نیز مربوط به تغییرات فیزیکوشیمیایی است و پس از پخت در آن رخ می‌دهد. این تغییرات در پوسته و بافت مغز نان صورت گرفته و به شدت ماندگاری نان را کاهش می‌دهد. نشاسته ترکیب اصلی سیستم می‌باشد و نقش تعیین کننده‌ای در واگشتگی نشاسته دارد. ساختار منظم و نیمه کریستالی نشاسته در حین پخت و در اثر ژلاتینه شدن آمورف می‌گردد، سپس در طی بیاتی درجاتی از بلوری شدن دوباره پدیدار می‌شود. اگر نان بیات شده تحت حرارت قرار گیرد، گرمای مورد نیاز برای ذوب بلورها به راحتی قابل محاسبه خواهد بود که می‌توان این گرما را به‌عنوان معیاری برای بیاتی نان در نظر گرفت [۹،۱٤].

شکل۸ نتایج ارزیابی حرارتی نمونه‌های نان شاهد و بهینه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نان‌هایی با فرمولاسیون بهینه، دمای پیک و آنتالپی کاهش یافته و هرچه این کاهش بیشتر باشد بیاتی نیز به صورت معنی‌داری کمتر می‌شود ($p<0.05$). علت این موضوع مرتبط با محتوای بالای پروتئین کینوا در نان بهینه است و شبکه‌های مشابه با گلوتن ایجاد می‌کند و آب بیشتری در خود نگه می‌دارد و باعث می‌شود آب آزاد کمتری در ساختار نان موجود باشد؛ در نتیجه بیاتی با تأخیر انجام می‌شود. در این راستا، کاتینا و همکاران (۲۰۰٦) اثر آنزیم‌ها را بر نگه‌داری نان بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که آنزیم‌ها موجب کاهش بلوری شدن و آنتالپی می‌شوند. آنزیم لکاز با جذب اکسیژن و تبدیل آن به آب بر ماندگاری محصول تأثیرگذار می‌باشد [۲٦]. کابالرو و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات در رئولوژی خمیر، کیفیت و ماندگاری نان به واسطه استفاده از آنزیم‌های ترانس گلوتامیناز، گلوکز اکسیداز و لکازو همچنین آنزیم‌های آلفا-آمیلاز، زایلاناز و پروتئاز را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که بیات شدن نان در طی دوره نگهداری در صورت استفاده از ترانس گلوتامیناز افزایش یافت، اما توسط آنزیم‌های آمیلاز، زایلاناز و پروتئاز مهار گردید [۲۷]. از طرفی عدم وجود پروتئین‌های گلوتن در فرمولاسیون نان‌های بدون گلوتن موجب می‌شود تا نان‌های فاقد گلوتن، سلول گاز ضعیف‌تری داشته و سریع‌تر بیات شوند، بطوری‌که در نمونه شاهد با حذف آرد کینوا و آنزیم در فرمولاسیون، دمای پیک و آنتالپی افزایش خواهد یافت [۲٦]. جیووانلی و همکاران (۱۹۹۷)، عوامل تأثیرگذار در بیاتی را بررسی کردند و واگشتگی نشاسته را به‌عنوان عامل کلیدی در بیاتی نان دانستند. آن‌ها آنتالپی را در آزمونDSC معادل مقدار انرژی لازم برای ذوب بلورهای نشاسته واگشته شده اعلام کردند [۲۸]. نتایج ما نشان داد که در طی۷ روز نگهداری نان، آنتالپی و دمای پیک افزایش معنی‌داری داشت که ناشی اثر زمان در افزایش روند بیاتی بود ($p<0.05$). با افزایش میزان پروتئین در فرمولاسیون نان بهینه، شبکه‌های مشابه با گلوتن ایجاد شده و آب بیشتری در ساختار شبکه به دام می‌افتد و باعث می‌شود آب آزاد کمتری در ساختار نان موجود باشد؛ در نتیجه موجب بهبود خواص مختلف نان از جمله نرمی، بهبود بافت و کاهش دمای پیک و آنتالپی شده که این آثار کاهش سفتی و به تأخیر انداختن بیاتی را در پی خواهد داشت [۲۹].

1. Retrogradation

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

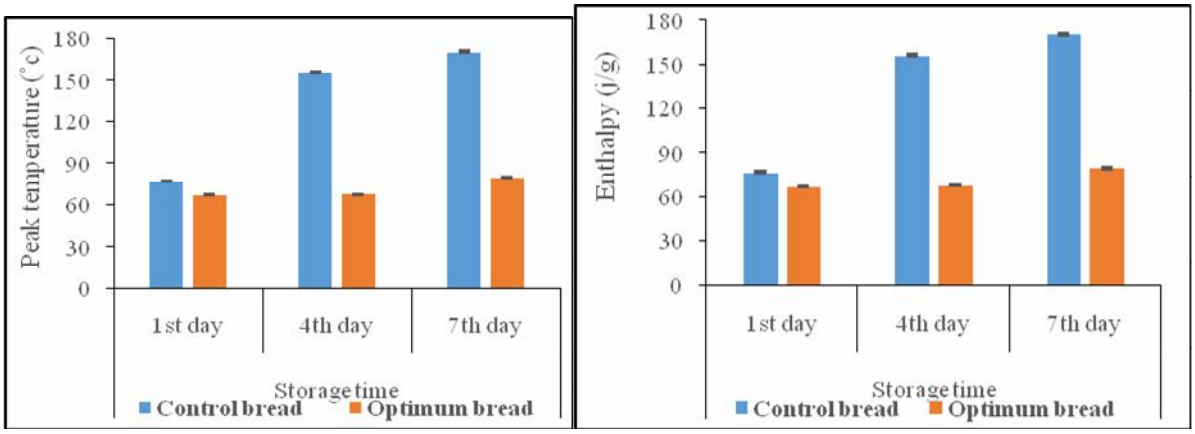

Fig 8 Comparison of enthalpy and peak temperature of optimal gluten free bread sample and control sampleduring storage for 7 days.

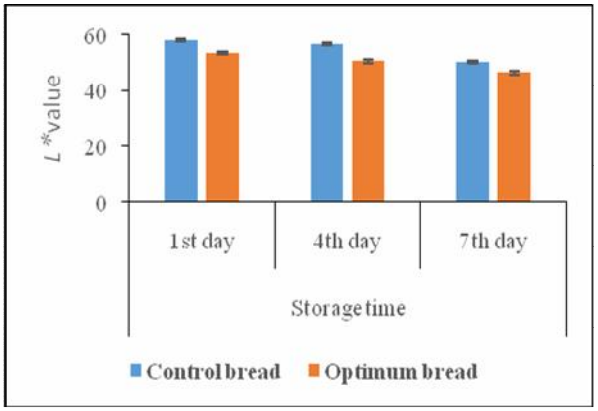

Fig 9 Comparison of L^* value of optimal and control bread samples during storage for 7 days.

٤-٢-٢- ارزیابی رنگ نمونه‌ها در طی دوره نگهداری

رنگ نان نتیجه واکنش‌های شیمیایی پیچیده‌ای است که بین پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها در طی فرآیند پخت ایجاد می‌شود. فرمولاسیون نان نیز در ایجاد رنگ نهایی محصول مؤثر می‌باشد. بر این اساس در این مطالعه تأثیر سطوح مختلف آرد کینوا، آنزیم لکاز و صمغ زانتان بر شاخص رنگ L^* نمونه نان بهینه و شاهد در سه بازه زمانی (روزهای اول، چهارم و هفتم) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج در شکل۹ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۹ در طی دوره نگهداری میزان L^* کاهش یافت. بیشترین میزان تغییر شاخص رنگ از روز چهارم به بعد ایجاد شد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر L^* نمونه‌های شاهد و بهینه در روزهای ۱ و ۷ و همچنین ٤ و ۷ مشاهده گردید ($p<0.05$). به طور کلی، در طی دوره نگهداری شاخص روشنایی در نمونه شاهد بیشتر بود که این موضوع به دلیل تأثیر رنگ آرد کینوا و حضور رنگدانه بتالانین در نمونه نان بهینه می‌باشد.علاوه بر آن وجود قندهای احیاء کننده نظیر گلوکز و اسیدآمینه‌هایی مانند لیزین در ترکیب آرد کینوا سبب می‌شود که در طی فرآیند پخت، واکنش میلارد رخ دهد که انجام این واکنش نقش مهمی در ایجاد رنگ قهوه‌ای پوسته نان‌ها دارد [۲۲]. به واسطه انجام واکنش میلارد مقدار L^* نمونه‌های نان مورد مطالعه کاهش می‌یابد. آنزیم لکاز به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌نماید و دارای ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد بالایی است و در نتیجه می‌تواند از تشدید رنگ پوسته نان جلوگیری کند [۲۰].

٤-٢-٣- ارزیابی بافت نمونه‌ها در طی دوره نگهداری

سختی نمونه نان‌های بدون گلوتن شاهد و بهینه در روزهای اول، چهارم و هفتم دوره نگهداری ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که با گذشت زمان نگهداری، سختی بافت تمام نمونه‌های مورد بررسی افزایش یافت (شکل۱۰). بالاترین میزان سختی بافت مربوط به نمونه شاهد بود و نمونه‌های حاوی ۵۰ درصد آرد کینوا کمترین میزان سختی بافت را داشتند. نمونه‌های شاهد به دلیل از دست دادن مقادیر بالاتر آب به میزان بیشتر کریستاله شدند و دلیل آن را می‌توان به عدم وجود هیدروکلوئید، آنزیم و آرد کینوا در فرمول خمیر نسبت داد. آلوارز جوبت و همکاران (۲۰۱۰) و الگاتی و همکاران (۲۰۱٤) گزارش نمودند که استفاده از آرد کینوا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن سبب کاهش معنی‌دار سختی نان می‌گردد. این پژوهشگران علت کاهش سختی نان را به میزان

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

بیشتر گلوکز موجود در آرد کینوا در مقایسه با آرد برنج نسبت دادند. بالا بودن میزان گلوکز باعث می‌شود که شرایط مناسب‌تری برای هوادهی خمیر با استفاده از مخمر فراهم گردد. در نتیجه حباب‌های گاز به طور همگن و ریز در سطح نان توزیع شده و باعث حجم بالا و نرمی مناسب نان بدون گلوتن می‌شود [۸،۲۳]. لازم به ذکر است که از شاخص‌های ارزیابی بیاتی نان، سنجش میزان سختی و سفتی بافت نان می‌باشد. در این راستا، ایرشاد و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده نمودند که افزودن هیدروکلوئیدها به نان باعث کاهش میزان سختی و نهایتاً کاهش بیاتی گردید [۳۰]. رنزتی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که آنزیم لکاز به طور قابل‌توجهی عملکرد نان حاصل از آرد جو دوسر و کیفیت بافت نان جو را بهبود می‌دهد که این موضوع ناشی از افزایش حجم مخصوص و کاهش سختی بافت نمونه‌ها بود. عملکرد بهبود یافته در تولید نان می‌تواند مرتبط با نقش آنزیم لکاز درافزایش نرمی، تغییر شکل‌پذیری و کشسانی خمیرهای جو دوسر باشد [۲۰]. همچنین راسل و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که افزودن هیدروکلوئیدها منجر به کاهش سفتی بافت نان می‌شود، زیرا پیوندهای هیدروژنی ایجادشده بین مولکول‌های آب و هیدروکلوئیدها منجر به افزایش محتوای آب نمونه‌های نان می‌گردد [۱۹].

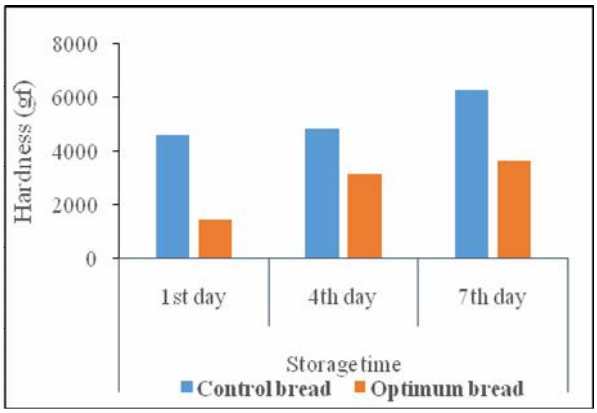

Fig 10 Comparison of the hardness of optimal and control bread samples during storage for 7 days.

٤-٢-٤- ارزیابی حسی نمونه‌ها در طی دوره نگهداری

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به آزمون حسی نمونه‌های نان بهینه و شاهد در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش زمان ماندگاری امتیاز ارزیابی حسی کاهش یافت. نتایج داده‌های حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان می‌دهد که نان‌های بدون گلوتن شاهد در مقایسه با نان بهینه پذیرش کمتری را داشتند. در طی دوره نگهداری ویژگی‌های کیفی از قبیل بافت، رنگ، تخلخل، عطر و بو، طعم و مزه و پذیرش کلی تغییر یافت. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که با افزایش زمان نگهداری، امتیازهای داده شده به انواع نان‌ها توسط ارزیابان کاهش معنی‌داری داشتند ($p<0.05$)، این موضوع به دلیل ایجاد تغییرات ظاهری، بافتی و طعم و مزه نمونه‌های نان از جمله افزایش سفتی، کاهش تخلخل و به طور کلی افزایش روند بیاتی در آن‌ها است.

یکی از روش‌های تعیین بروز بیاتی نان، مشخص نمودن سفتی بافت نان می‌باشد. در طی هفت روز نگهداری میزان سفتی نان به طور معنی‌داری ($p<0.05$) در نمونه شاهد افزایش یافت که این افزایش سفتی نان در طی دوره نگهداری می‌تواند در نتیجه کاهش رطوبت و همچنین پدیده کاهش کیفیت نشاسته باشد. نتایج حاصل از آزمون رنگ نان‌ها نشان داد که با افزایش زمان نگهداری و بیات شدن نان‌ها میزان روشنایی و زردی پوسته نان‌ها کاهش یافته و میزان تیرگی پوسته آن‌ها افزایش می‌یابد که در این مورد کاهش رطوبت در نان‌ها و افزایش تراکم بر رنگ تأثیرگذار است [۳۱].

فساس و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که نان‌هایی با محتوای پروتئین بالاتر در حین نگهداری سفتی کمتری داشته و همچنین یک همبستگی مثبت بین محتوای پروتئین و جذب آب وجود دارد و آردهایی با محتوای پروتئین بالاتر جذب آب بیشتری دارند که در نتیجه روند بیاتی و سفتی آن‌ها به تأخیر می‌افتد [۳۲]. با توجه به ارزیابی کیفی نمونه‌های نان توسط ارزیاب‌ها در طی زمان نگهداری مشاهده شد که روند بیاتی در نمونه نان شاهد به شکل مشخصی انجام گرفت و ارزیاب‌ها نمره کمتری به آن دادند.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

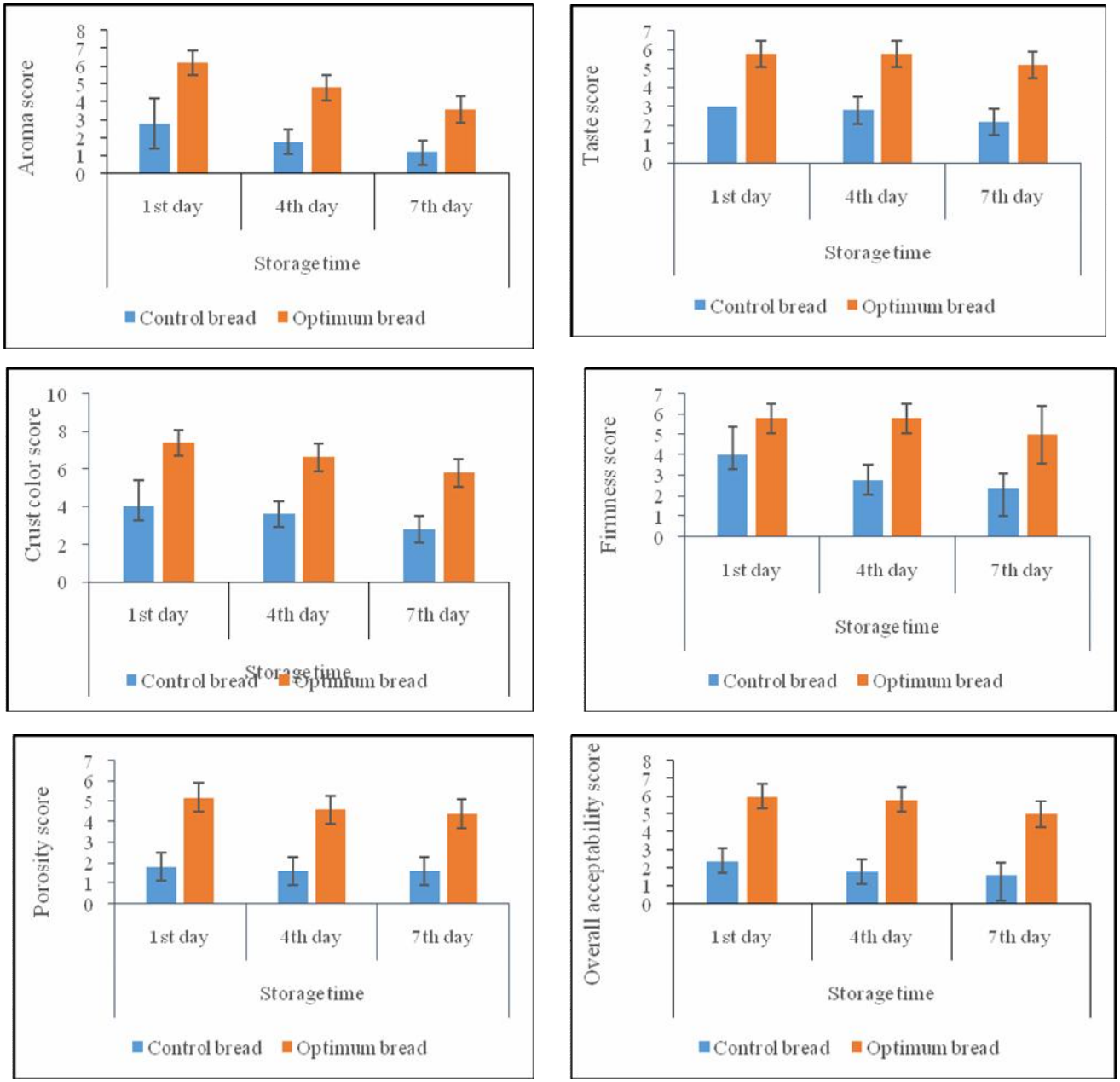

Fig 11 Comparison of sensory test indices of optimal bread sample and control sampleduring storage for 7 days.

٤- نتیجه گیری

در این پژوهش، بررسی ترکیبات شیمیایی و تغذیه‌ای آرد کینوا در مقایسه با آرد ذرت و برنج نشان داد که از نظر برخی از شاخص‌های تغذیه‌ای نظیر محتوای پروتئین، فیبر و مواد معدنی، نمونه آرد کینوا خصوصیات بهتری داشت که بیانگر پتانسیل مناسب آن برای استفاده در انواع مختلف فرآورده‌های بدون گلوتن بیماران سلیاکی است. پروتئین علاوه بر نقش تغذیه‌ای دارای اثرات عملکردی مهمی در ایجاد کیفیت مطلوب در نان‌های بدون گلوتن است.از نظر ارزیابی حسی، استفاده از آرد کینوا و آنزیم لکاز در فرمولاسیون نمونه‌های نان تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی نمونه‌ها نشان دادند و سبب کاهش شاخص رنگ L^* نمونه‌ها نیز شدند. نمونه نان بدون گلوتن بهینه (شامل ٣٤/٣٣ درصد آرد کینوا، ٠/٣٣ درصد صمغ زانتان و٢ واحد/گرم

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

آنزیم لکاز) از نظر شاخص‌های مرتبط با بافت و حسی و ارزیابی حرارتی ویژگی‌های بهتری نسبت به نمونه شاهد در طی دوره نگهداری داشت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که می‌توان از ۴۰ درصد آرد کینوا همراه با آرد برنج و آرد ذرت در ترکیب با آنزیم لکاز و صمغ زانتان به‌منظور تولید نان بدون گلوتن با ویژگی‌های کیفی مطلوب استفاده کرد. به طور کلی، نتایج این پژوهش می‌تواند در تأمین نیاز بیماران سلیاکی و صنایع مرتبط با تولید فرآورده‌های نانوایی بدون گلوتن کمک شایانی کند.

۵- تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد واحد شهرضا، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی کرمان و دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان به جهت پشتیبانی انجام این پژوهش قدردانی می‌گردد.

۶-منابع

[1] Comino,I,Bernardo, D, Bancel, E, Moreno, MdL, Sánchez, B, Barro, F.2016. Identification and molecular characterization of oat peptides implicated on coeliac immune response. Food &Nutrition Research,60(1):1-13.

[2] Giménez, MA, Drago, SR, Bassett, MN, Lobo, MO, Sammán, NC. 2016. Nutritional improvement of corn pasta-like product with broad bean (Vicia faba) and quinoa (Chenopodium quinoa). Food Chemistry,199:150-156.

[3] Villanueva, M., Harasym, J., Muñoz, JM., Ronda, F. 2019. Rice flour physically modified by microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making performance. Food Hydrocolloids,90:472-481.

[4] Ayala-Soto, FES-S, Sergio, O. Welti-Chanes, J. 2017. Effect of arabinoxylans and laccase on batter rheology and quality of yeast-leavened gluten-free breads. Journal of Cereal Science, 73:10-17.

[5] Calle, J., Benavent-Gil, Y., Rosell, CM. 2020. Development of gluten free breads from Colocasia esculenta flour blended with hydrocolloids and enzymes. Food Hydrocolloids,98:105243.

[6] Osma, JF., Toca-Herrera,, JL., Rodríguez-Couto, S. 2010. Uses of laccases in the food industry. Enzyme Research,2010: 1-8.

[7] Iglesias-Puig, E., Monedero, V., Haros, M. 2015. Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. LWT- Food Science and Technology,60(1):71-77.

[8] Elgeti, D., Nordlohne, SD., Föste, M., Besl, M., Linden, MH., Heinz, V.2014. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. Journal of Cereal Science,59(1):41-47

[9] Ribotta, PD., Le Bail, A. 2007. Thermo-physical assessment of bread during staling. LWT-Food Science and Technology,40(5):879-884.

[10] Gujral, HS., Haros, M., Rosell, CM.2004. Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and α-amylase. Journal of Food Engineering,65(1):89-94.

[11] AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. , Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, USA.

[12] Burešová, I., Tokár, M., Mareček, J., Hřivna, L., Faměra, O., Šottníková, V, 2017. The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. Journal of Cereal Science,75:158-164.

[13] Mancebo, C. M., Merino, C., Martínez, M. M., Gómez, M. 2015. Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. Journal of Food Science and Technology, 52(10), 6323–6333.

[14] Fan, Z.2016.Staling of Chinese steamed bread: Quantification and control.Trends in Food Science & Technology,55: 18-127.

[15] Moore, M., M., Schober, T., J., Dockery, P., Arendt, E., K. 2004. Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads.Cereal Chemistry, 81(5): 567-575.

[16] Storck, CR., Zavareze, E.D., Gularte, M.A., Elias, M.C., Rosell, C.M., Dias, A.R.G. 2013. Protein enrichment and its effects on gluten-

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

free bread characteristics. LWT- Food Science and Technology, 53(1): 346-354.
[17] Rai, K., Gowda, C., Reddy, B., Sehgal, S. 2008. Adaptation and potential uses of sorghum and pearl millet in alternative and health foods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,7(4):320-396.
[18] Emire, SA., Tiruneh, DD. 2012. Optimization of formulation and process conditions of gluten-free bread from sorghum using response surface methodology. Journal of Food Processing & Technology,3(5): 1-14.
[19] Rosell, CM., Rojas, JA., De Barber, CB. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Food Hydrocolloids.15(1):75-81
[20] Renzetti, S., Courtin, C.M., Delcour, J.A., Arendt, E.K. 2010. Oxidative and proteolytic enzyme preparations as promising improvers for oat bread formulations: rheological, biochemical and microstructural background. Journal of Food Chemistry, 119(4):1465-1473.
[21] Selinheimo, E., Autio, K., Kruus, K., Buchert, J.2007. Elucidating the mechanism of laccase and tyrosinase in wheat bread making. Journal of Agricultural and Food Chemistry.55(15):6357-6365.
[22] Stikic, R.., Glamoclija,D., Demin,M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica,D., Jacobsen, S., Milovanovic, M., 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.) as an ingredient in bread formulations, Journal of Cereal Science, 55:132-138.
[23] Alvarez-Jubete, LA., Mark, A., Elke, K., Gallagher, E. 2010. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. European Food Research and Technology, 230(3):437-445.
[24] Gerrard, JA. 2002. Protein–protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. Trends in Food Science & Technology, 13(12):391-399.
[25] Shittu, TA., Aminu, RA., Abulude, EO. 2009. Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. Food Hydrocolloids.23(8):2254-2260.
[26] Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P,. Autio, K, 2006. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. LWT - Food Science and Technology,39(5):479-91.
[27] Caballero, PA., Gómez, M., Rosell, CM. 2007. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. Journal of Food Engineering, 81(1):42-53.
[28] Giovanelli, G., Peri, C., Borri, V., 1997. Effects of baking temperature on crumb‐staling kinetics. Cereal Chemistry, 74(6):710-714.
[29] Sabanis, D., Tzia,C. 2011. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread, Food Science and Technology International, 17: 279.
[30] Irshad, M., S, Shalini K. G., Laxmi, A. 2007. Staling of chapatti (Indian unleavened flat bread). Food Chemistryy, 101: 113–119.
[31] Biliaderis, CG., Izydorczyk, MS., Rattan, O. 1996. Effect of arabinoxylans on bread making quality of wheat flours. Food Chemistry, 53: 165-171.
[32] Fessas, D., Schiraldi, A. 1998. Texture and staling of bread crumb:effect of water extractable proteins and pentosans.Therm Ochemica Acta; 323:17-26.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Optimization and evaluation of qualitycharacteristics of gluten-free bread based on quinoa flour containing xanthan gum and laccase enzyme during storage

Alizadehbahaabadi, Gh. [1], Lakzadeh, L. [2*], Forootanfar, H. [3,4*], Akhavan, H. R. [5]

1. PhD. student,Department of Food Science and Technology, Shahreza Branch, Islamic Azad University,Shahreza, Iran.
2. Assistant Professor,Department of Food Science and Technology,Shahreza Branch, Islamic Azad University,Shahreza, Iran.
3. Professor,Department of Food Science and Technology,Shahreza Branch, Islamic Azad University, Shahreza, Iran
4. Professor,Pharmaceutical Sciences and Cosmetic Products Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.
5. Associate Professor,Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/ 12/ 02
Accepted 2022/ 03/ 14

Keywords:

Gluten-free bread,
Optimization,
Laccase enzyme,
Quinoa flour,
Shelf life.

DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1
*Corresponding Author E-Mail:
lakzadeh@iaush.ac.ir
h_forootanfar@kmu.ac.ir

ABSTRACT

Celiac disease is the most common disease caused by gluten consumption and the only way to prevent it is to use gluten-free foods. The aim of this study was to optimization the formulation of gluten-free bread based on quinoa flour, laccase enzyme, and xanthan gum. For this purpose, the sensory properties and texture of bread under the influence of independent variables including quinoa flour (0-50%), xanthan gum (0-0.5%), and laccase enzyme (0-2 units of enzyme activity per gram of flour (U/g) were evaluated using the response level method based on the central composite design. Then some qualitative characteristics of gluten-free bread sample in optimal conditions were compared with the control sample (gluten-free bread containing rice and corn flours without quinoa flour, laccase enzyme, and xanthan gum) for 7 days of storage. The results showed that quinoa flour and laccase enzyme had a significant effect on sensory properties including crust color, porosity, taste, aroma, firmness, and overall acceptibility($p<0.05$) of breads. While the effect of quadratic level of gum on overall acceptibilityas well as the interaction of laccase enzyme and xanthan gum on bread firmness was significant ($p<0.05$). The optimal bread formulation consisted of 40% quinoa flour, 0.46% xanthan gum, and 2 U/g laccase enzyme. Comparison of the gluten-free optimal sample with the control gluten-free sample showed that the enthalpy and peak temperature of the control bread was higher than the optimal bread, which indicates more staleness. In terms of textural properties and sensory evaluation, the optimal sample was significantly better than the control sample. However, in terms of L* color indice, the control sample showed higher values ($p<0.05$).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-20]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.12.1]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.125.205]