

(مقاله پژوهشی)

## فرمولاسیون نان بدون گلوتن با استفاده از آرد خلر، کینوآ و شاه‌بلوط بر پایه آرد برنج به روش سطح پاسخ

آزاده شاهسون تبریزی<sup>۱</sup>، اسماعیل عطای صالحی<sup>۲\*</sup>، اکرم آریان فر<sup>۳</sup>، زهرا شیخ‌الاسلامی<sup>۳</sup>

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

۲-گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

۳-بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

DOI: [10.30495/jfst.2021.1927126.1712](https://doi.org/10.30495/jfst.2021.1927126.1712)

### چکیده

بیماری سلیاک یک اختلال مزمن و ناهنجاری ژنتیکی مادام‌العمر بوده‌ای است که به واسطه مصرف غلات حاوی گلوتن بروز می‌کند و تنها راه درمان آن مصرف مواد غذایی فاقد گلوتن است. تحقیق حاضر با هدف بهینه‌یابی فرمولاسیون نان بدون گلوتن با استفاده از آرد برنج (۱۰۰ درصد در نمونه شاهد) و آرد کینوآ در سه سطح (۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد) و آرد خلر در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) و آرد شاه‌بلوط در سه سطح (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) به عنوان جایگزین آرد برنج انجام شد. برای طراحی آزمایش‌ها به روش مخلوط از نرم افزار DX7 استفاده شد. پس از تهیه نمونه‌ها خواص فیزیکی شیمیایی (رطوبت و خاکستر)، بافتی (حجم مخصوص، تخلخل و سفتی)، رنگ و خواص حسی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای پاسخ‌ها معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) بود و با کاهش درصد آرد کینوآ و افزایش درصد آرد خلر و آرد شاه‌بلوط مقدار بیشینه رطوبت (۳۰/۶۶) و مقدار بیشینه حجم مخصوص و تخلخل به ترتیب ۳/۵۸ و ۲۵/۱۲ بدست آمد، و با کاهش درصد آرد خلر و افزایش درصد آرد شاه‌بلوط مقدار کمیته سفتی نان (۵/۹۳ نیوتن) که با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب آردهای کینوآ، خلر و شاه‌بلوط برای تولید نان بدون گلوتن امکان‌پذیر است و فرمول بهینه دارای ۲۷/۶۹ درصد آرد کینوآ و ۳۰ درصد آرد خلر و ۴۲/۳۱ درصد آرد شاه‌بلوط بود.

**واژه‌های کلیدی:** سلیاک، نان بدون گلوتن، آرد کینوآ، آرد خلر و آرد شاه‌بلوط.

## ۱-مقدمه

بیماری سلیاک یک مشکل مهم بهداشت عمومی و ناهنجاری ژنتیکی مادام‌العمر بوده‌ای است که حدود ۲٪ از جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، این بیماری یک بیماری التهابی در روده کوچک است (۵۲). رژیم غذایی بدون گلوتن برای افرادی که از بیماری سلیاک رنج می‌برند توصیه می‌شود، با این حال، محصولات فاقد گلوتن اغلب از نظر تغذیه‌ای با ارزش ولی از نظر بافت و احساس دهان به دلیل عدم وجود گلوتن ضعیف هستند (۱۷). به منظور حل این مشکلات در محصولات فاقد گلوتن، از محصولات شبه‌غلات استفاده شده و محبوبیت آن‌ها در حال افزایش است (۱۲). کینوآ<sup>۱</sup> به عنوان یکی از شبه غلات بومی کوه‌های آند در آمریکای جنوبی است (۴۳). امروزه علاوه بر اروپا، در آفریقا، آمریکای شمالی و آسیا از جمله کشور ایران امکان کشت گیاه کینوآ وجود دارد (۲). این گیاه به دلیل سطح پروتئین بالاتر (٪ ۱۶/۵ - ۱۲/۹) نسبت به سایر غلات به ویژه در میان شبه غلات به عنوان یک ماده غذایی بالقوه مغذی شناخته می‌شود (۱۵ و ۳۸). آیسلی و همکاران معتقدند که افزودن آرد کینوآ می‌تواند باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، حرارتی و حسی محصولات نانوائی شود (۱۲). مخلوط آردسورگوم و آرد کینوآ باعث بهبود کیفیت پروتئین و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در داخل بدن می‌شود (۳۷). خلر یا سنگینک (*Grasspea*)<sup>۲</sup> گیاهی است یکساله از خانواده بقولات و پائیزه که در برخی از کشورهای آسیایی و آفریقایی مثل هند و ایتوپی مصرف می‌شود. در هند از خلر به‌عنوان غذا، خوراک دام و کود سبز استفاده می‌شود (۱۴). خلر حدوداً ۳/۵ - ۲/۸ درصد خاکستر، ۵/۹ - ۵/۳ درصد فیبر، ۲۵/۶ - ۳۵/۹ درصد پروتئین و ۱/۷ - ۰/۷ درصد چربی دارد. آرد این دانه در مناطقی از ایران مانند کرمان نیز جهت تهیه نان ترکیبی بکار می‌رود (۴۷ و ۵۰). جایگزینی ۲۰ درصد آرد سنگینک با آرد گندم باعث بهبود خواص رئولوژی، حجم مخصوص و خواص حسی نان می‌شود (۵). شاه‌بلوط<sup>۳</sup> یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در مناطق معتدل است

که ارزش غذایی بالایی دارد. ترکیبات اصلی دانه آسیاب شده میوه شاه‌بلوط شامل نشاسته (حدود ۵۰-۶۰ درصد بر اساس ماده خشک)، قند عمدتاً ساکارز، حدود ۲۰-۳۲ درصد، چربی حدود ۰/۴-۰/۲ درصد، پروتئین‌های حاوی مقادیر بالای اسید آمینه‌های ضروری (۰/۷ - ۰/۴ درصد) و فیبر رژیمی حدود (۱۲-۰/۷ درصد) می‌باشد (۳۲ و ۵۱). میوه درخت شاه‌بلوط برای بیماران روماتیسمی و بیماران سلیاک نیز بسیار مفید است (۲۰). بالا بودن مقدار فیبر در این آرد بر خواص امولسیفایری<sup>۴</sup>، پایدارکنندگی و بافت‌دهندگی خمیر نان تأثیر بسزایی دارد (۱۰ و ۵۳). مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از آرد شاه‌بلوط موجب بهبود رنگ، عطر و طعم محصولات پخت فاقد گلوتن شد (۲۰). بدلیل سطح بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در آرد شاه‌بلوط، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در محصولات غنی شده با این آرد مشاهده شده است (۳۶). جایگزینی بخشی از نشاسته با آرد شاه‌بلوط در فرمولاسیون نان فاقد گلوتن به صورت چشمگیری بر خواص رئولوژیکی خمیر نان تأثیرگذار بود (۳۴). بررسی تأثیر استفاده از آرد شاه‌بلوط بر ویژگی‌های کیفی بیسکوئیت فاقد گلوتن نشان داد که افزودن این آرد به مقدار مشخصی (۴۰ درصد جایگزین آرد برنج) موجب بهبود ویژگی‌های کیفی محصول شد (۲۲). با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه نان که یکی از ارزان‌ترین و مهم‌ترین و ضروری‌ترین مواد غذایی مورد استفاده انسان‌ها و قوت غالب آن‌ها می‌باشد و از طرفی افراد مبتلا به بیماری سلیاک قادر به استفاده از نان‌گندم نمی‌باشند ضرورت کارهای تحقیقاتی پیرامون فرمولاسیون نان‌های فاقد گلوتن محسوس می‌گردد. لذا هدف از این پژوهش ارائه فرمولاسیون مناسب برای تولید نان بدون گلوتن جهت مصرف بیماران سلیاک می‌باشد.

## ۲-مواد و روش‌ها

برای بدست آوردن ترکیب بهینه، با توجه به اهداف تحقیق، شاخص‌های نان تولیدشده از جمله تخلخل، حجم مخصوص، سفتی بافت، کشش‌پذیری بافت، رنگ نان، بیاتی و پذیرش

1- *Chenopodium quinoa willd*2- *Latirus Sativus*3- *Castanea*

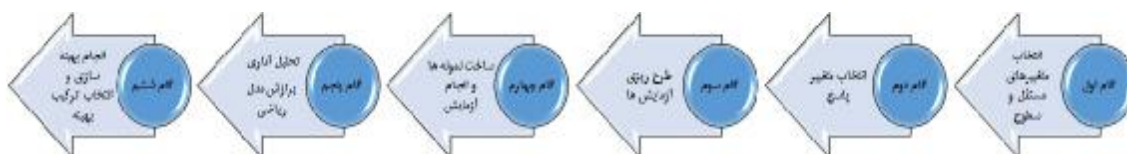
4-Emulsifying

نان تولیدی و همچنین ماهیت متغیرهای مورد مطالعه، از طراحی آزمایش مخلوط استفاده شد (۲۶ و ۴۰). مراحل تعیین ترکیب بهینه بر اساس الگوریتم طراحی آزمایش مخلوط در شکل ۱ خلاصه شده است. در این طراحی مجموع اعضاء برابر با ۱۰۰ است (رابطه ۱). در جدول ۱ محدوده تغییرات متغیرهای آزمایش که بر اساس نتایج مطالعات می‌باشد، ارائه شده است.

$$A+B+C=100$$

رابطه (۱)

کلی به عنوان معیارهای عملکردی مد نظر قرار گرفت. برای بدست آوردن ترکیب بهینه نان تولیدی بر مبنای ترکیب مختلف آردهای کینوآ، آرد شاه بلوط و آرد خلر و معیارهای ذکر شده در نرم افزار<sup>۱</sup> DX7 بر اساس روش طراحی آزمایش‌ها مخلوط تهیه شد. بدین منظور برای تعیین نمونه‌های آزمایشگاهی، جهت بدست آوردن ترکیب بهینه نان مخصوص بیماران سلیاکی، از میان روش‌های موجود طراحی آزمایش‌ها، با در نظر گرفتن مجموع ۱۰۰ برای درصد اجزاء



شکل ۱. روند تعیین ترکیب بهینه بر اساس الگوریتم طراحی آزمایش

جدول ۱- متغیرهای آزمایش و محدوده تغییرات آنها (درصد وزنی)

Variable	Symbol	Range (%)
Quinoa Flour	QF	$20 \leq QF \leq 60$
Grass Pea Flour	GPF	$10 \leq GPF \leq 30$
Chestnut Flour	CF	$30 \leq CF \leq 50$

دهنده

تشکیا.

جدول ۲- آزمایش طراحی شده توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت

Design number	Std	QF (%)	GPF (%)	CF (%)
۱	۵	۶۰	۱۰	۳۰
۲	۱۱	۵۰	۱۵	۳۵
۳	۹	۴۰	۲۰	۴۰
۴	۶	۴۰	۳۰	۳۰
۵	۱۲	۴۰	۱۰	۵۰
۶	۳	۳۰	۳۰	۴۰
۷	۱۶	۳۰	۲۰	۵۰
۸	۴	۳۰	۲۰	۵۰
۹	۸	۵۰	۱۰	۴۰
۱۰	۲	۲۰	۳۰	۵۰
۱۱	۱۳	۲۰	۳۰	۵۰
۱۲	۱۰	۴۰	۲۵	۳۵
۱۳	۱	۴۰	۱۰	۵۰
۱۴	۱۴	۶۰	۱۰	۳۰
۱۵	۱۵	۴۰	۳۰	۳۰
۱۶	۷	۵۰	۲۰	۳۰

با توجه به اینکه محدوده تغییرات معیارها کوچک و دامنه تغییرات آن‌ها باهم برابر نیست، در الگوریتم طراحی مخلوط از روش *D-Optimal* استفاده شد. جدول ۲ آزمایش‌های طراحی شده توسط نرم افزار DX7 را نشان می‌دهد.

#### ۲-۱- تهیه نمونه و انجام آزمایش

برای انجام آزمایش‌های اشاره شده در جدول ۲ مواد اولیه مورد نیاز از جمله آرد برنج (درجه استخراج ۸۲ درصد) از شرکت اطمینان هدف توس (ضامن) (مشهد، ایران)، آرد شاه بلوط از شرکت فارینا ایتالیا<sup>۱</sup> (سایت آمازون<sup>۲</sup>)، آرد کینوا از شرکت آرد قدس رضوی (دانه کینوا کشت شده در مزارع نمونه آستان قدس رضوی) (مشهد- ایران)، دانه خلر از بازار محلی تهیه گردید و پس از آرد کردن توسط آسیاب (Perten مدل 3100) از الک‌های ۰/۴ میلی‌متر عبور داده شد. مخمر ساکارومایسس سرویسیا<sup>۳</sup> به شکل پودر مخمر خشک فعال و بصورت بسته بندی و کیوم از شرکت خمیر مایه رضوی (مشهد، ایران) و صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز<sup>۴</sup> (شرکت رز شیمی، خراسان رضوی) تهیه شد.

#### ۲-۱-۱- ویژگی‌های کیفی آردها

ترکیبات شیمیایی آرد برنج، آرد کینوا، آرد خلر و آرد شاه‌بلوط بر اساس روش‌های استاندارد AACC اندازه‌گیری شد. آزمون رطوبت مطابق با استاندارد شماره ۱۶-۴۴، آزمون خاکستر شماره ۰۱-۰۸، آزمون پروتئین شماره ۱۲-۴۶، آزمون چربی شماره ۱۰-۳۰ تعیین شد (۱۱). محاسبه کربوهیدرات از روش تفریقی و مقدار فیبر کل با استفاده از دستگاه (Fiber analyser-Iran) مدل FA-100 انجام شد (۴۶ و ۵۴).

#### ۲-۱-۲- روش تهیه خمیر و پخت نان

نان مورد بررسی در این تحقیق نان حجیم که در یکی از فناوری‌های صنعتی شهر مشهد تهیه شد، بدین منظور از آرد برنج ۱۰٪ در نمونه شاهد، آرد کینوا، آرد خلر و آرد شاه‌بلوط بر اساس طرح آزمایشات میکسچر ارائه شده توسط

نرم افزار آماری دیزاین اکسپرت، مخمر نانویی خشک فعال یک درصد، صمغ HPMC یک درصد، نمک ۲ درصد وزنی آرد با هم مخلوط شدند، سپس آب به مقدار لازم (با توجه به جذب آب فارینوگراف) اضافه و مواد با استفاده از همزن (مدل GOSONIC ساخت کشور ترکیه) به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط شد، پس از تهیه ی خمیر، مرحله تخمیر اولیه (۱۰ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، سپس خمیر به قطعات ۸۰ گرمی تقسیم و پس از عمل چانه‌گیری داخل قالب چرب شده مخصوص قرار گرفت و تخمیر میانی (۱۰ دقیقه و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و تخمیر نهایی در گرمخانه (دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد و زمان ۶۰ دقیقه) انجام شد. مرحله پخت با دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در فر گردان (صنایع پخت مشهد، ایران) پخته شد. نان‌ها پس از سرد شدن (به مدت ۲۰ دقیقه در محیط اتاق)، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و تا زمان انجام آزمایشات در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند (۱۸ و ۴۲).

#### ۲-۲- ارزیابی خصوصیات فیزیکی شیمیایی، بافت و

##### ارگانولپتیکی نمونه‌های نان

##### ۲-۲-۱- رطوبت

اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌ها طبق روش AACC16-44 انجام پذیرفت (۱۱).

##### ۲-۲-۲- خاکستر

اندازه‌گیری خاکستر نمونه‌ها با استفاده از روش استاندارد ملی ایران به شماره ۰۱-۰۸ انجام شد (۱۱).

##### ۲-۲-۳- حجم مخصوص<sup>۴</sup>

حجم مخصوص طبق روش جایگزینی حجم با دانه کلزا (AACC 72-10) دو ساعت پس از پخت اندازه‌گیری شد (۱۱).

##### ۲-۲-۴- تخلخل

برای ارزیابی تخلخل نمونه‌ها از روش پردازش تصاویر توسط عکس‌برداری با دوربین دیجیتال کانن مدل EOS 800D

1- Molino Zanone Farina di Castagne  
2- Malltina Amazon  
3- S. cerevisiae

4- Specific Gravity

استفاده شد. بدین منظور ۱۰ داور از بین افراد آموزش دیده مطابق با آزمون مثلثی و روش گاسولا و همکاران (۱۹۸۴) انتخاب گردیدند و سپس خصوصیات حسی نان از نظر ظاهر عمومی، ظاهر و رنگ پوسته و مغز، آروما و طعم، بافت، بیاتی و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار گرفتند (۲۴ و ۵۵). همچنین جهت آزمایش بیاتی از ارزیابی حسی مطابق روش ۱۱-۳۸ AACC انجام گرفت و داوران نمونه‌ها را در فاصله زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از پخت بدین صورت که به تازه‌ترین امتیاز ۵ و به بیات‌ترین امتیاز ۱ تعلق گیرد، ارزیابی کردند (۱۱).

### ۳-۲- تحلیل آماری و انجام بهینه‌سازی و انتخاب ترکیب بهینه

در این تحقیق به منظور مقایسه آماری نتایج آزمایش‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS، تجزیه واریانس یک طرفه و آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفته است. همچنین برازش مدل ریاضی، در نرم افزار DX7 از مدل مرتبه دوم به همراه استراتژی برازش حذف پس رونده<sup>۳</sup> استفاده شد. بعد از اینکه تاثیر عوامل و برهم کنش‌های موجود بر روی هر یک از پاسخ‌ها بررسی شد، از روش بهینه‌سازی عددی با استفاده از توابع مطلوبیت برای پیدا کردن طرح بهینه استفاده گردید (۲۶ و ۴۰). برای بهینه کردن ترکیب نان که بیشترین رطوبت، تخلخل، حجم مخصوص، رنگ \*L پوسته و مغز، کشش‌پذیری و کمترین سفتی از مجموع پاسخ‌ها را در برداشته باشد ارائه و فرایند بهینه‌سازی اهمیت تمامی پاسخ‌ها یکسان در نظر گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج آزمون‌های شیمیایی آرد در آزمایشات

مطابق با نتایج جدول ۳ آزمون‌های شیمیایی آرد برنج، آرد کینوآ، آرد خلر، آرد شاه بلوط با نتایج ارائه شده در استانداردهای ملی در ایران مطابقت داشت (۱۱).

دارای لنز ۱۸-۵۵ میلی‌متر و آنالیز با نرم‌افزار Image J انجام شد (۲۹).

#### ۲-۲-۵- رنگ سنجی

برای ارزیابی تغییرات رنگ نمونه‌ها از روش پردازش تصاویر توسط عکس برداری بادیورین دیجیتال کانن مدل 800DEOS دارای لنز ۱۸-۵۵ میلی‌متر و آنالیز با نرم‌افزار Image J<sup>۱</sup> انجام شد و با فعال کردن قسمت تبدیل رنگ، تصاویر حالت RGB به حالت LAB تغییر یافتند و هر یک از پارامترهای \*L، \*a و \*b در تصویر یک تصویر مجزا مشخص شد. در ادامه با فعال کردن قسمت آنالیز نرم افزار، میزان \*L، \*a و \*b اندازه‌گیری شد (۲۹ و ۵۵).

#### ۲-۲-۶- بافت سنجی

برای این منظور از روش استاندارد AACC شماره ۷۴۰۹ استفاده شد. آزمون ارزیابی بافت نان در فاصله زمانی ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت با استفاده از دستگاه بافت سنج<sup>۲</sup> (مدل TVT 6700، Perten، سوئد) بر اساس روش پورفرزاد و همکاران (۲۰۱۱) انجام گرفت (۴۴). بدین منظور نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۵ × ۵ × ۵ زیر پروب استوانه‌ای با قطر ۲۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۳ میلی‌متر بر روی یک صفحه دارای سوراخی به قطر کمی بیشتر از قطر پروب قرار گرفت و با استفاده از آزمون فشردن با سرعت ۳۰ میلی‌متر در دقیقه مقدار نیروی مورد نیاز برای برش خوردن نان به عنوان شاخص سفتی (Hardness) ثبت شد. نقطه شروع (Trigger Point) و نقطه هدف (Target Value) به ترتیب ۰/۰۵ نیوتن و ۳۰ میلی‌متر بود (۱۱ و ۴۴).

#### ۲-۲-۷- ارزیابی حسی نان

جهت ارزیابی حسی از روش امتیازدهی هدونیک ۵ نقطه‌ای

جدول ۳ - ویژگی های شیمیایی آردهای مورد استفاده برای تهیه نان

نوع آرد	رطوبت (%)	خاکستر (%)	کربوهیدرات (%)	چربی (%)	پروتئین (%)	فیبر	pH
آرد برنج	۹/۴۴	۰/۸۶	۶۹/۸۱	۴/۰۲	۷/۵	۲/۳۱	۶/۵
آرد کینوآ	۱۰/۳۴	۱/۵۸	۷۰/۰۳	۷/۰۸	۱۶/۱۲	۶/۱۲	۳/۷۱
آرد خلر	۱۰/۱۶	۲/۸۴	۶۱/۰۴	۰/۹۳	۱۱/۰۷	۴/۵	۷/۴
آرد شاه بلوط	۱۲/۵۶	۲/۰۶	۷۲/۰۶	۳/۸۴	۵/۰۹	۹/۲۶	۵/۴۹

\* اعداد میانگین سه تکرار هستند.

### ۲-۳- برآزش مدل و بررسی تاثیر آردهای مختلف در نان بر پاسخ آزمایشها

نان و ویژگی های حسی از جمله رنگ پوسته نان، بافت و بیاتی ۴۸ ساعت پس از پخت و مدل خطی برای ویژگی حسی ظاهر عمومی به خوبی روند موجود در پاسخها را نشان می دهد (جدول ۴). همانطور که مشاهده می شود مقادیر P-Value برای تمامی مدل های برآزش شده کمتر از ۰/۰۵ می باشد، لذا بر مبنای علم آمار مدل های انتخاب شده از نظر آماری معنادار هستند.

بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ های مربوط به آزمایشات نشان داد که مدل مکعب مخصوص برای رطوبت، خاکستر، سفتی بافت، کشش پذیری،  $a^*$  پوسته و  $b^*$  مغز نان و ویژگی های حسی از جمله رنگ مغز نان، آروما و طعم، بیاتی ۷۲ ساعت پس از پخت و پذیرش کلی و مدل مکعب درجه سوم برای حجم مخصوص، تخلخل،  $L^*$  و  $b^*$  پوسته و  $L^*$  و  $a^*$  مغز

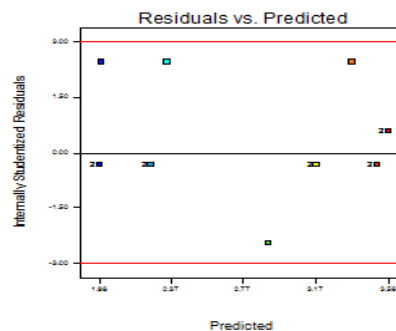
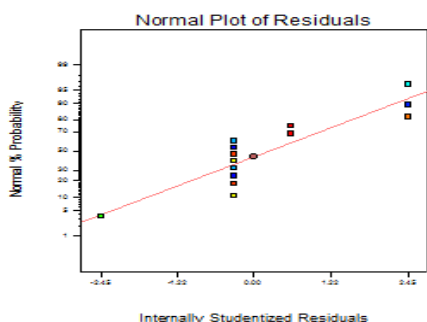
جدول ۴- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) برای مدل های انتخاب شده برای پاسخها

Response	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Moisture	Special Cubic	58/57	۶	9/76	31/16	<0/0001
Ash	Special Cubic	2/39	۶	0/40	1981/91	<0/0001
Specific Volume	Cubic	5/98	۹	0/66	421/51	<0/0001
Porosity	Cubic	42/96	۹	4/77	211/85	<0/0001
Stiffness (N) 2h after baking	Special Cubic	52/23	۶	8/70	96/48	<0/0001
Stiffness (N) 72h after baking	Special Cubic	45/05	۶	7/51	50/47	<0/0001
Extensibility (mm) 2h after baking	Special Cubic	214/55	۶	35/76	11/03	0/0010
Extensibility (mm) 72h after baking	Special Cubic	265/09	۶	44/18	11/90	0/0008
L* Crust	Cubic	184/66	۹	20/52	4274/48	<0/0001
a* Crust	Special Cubic	38/51	۶	6/42	454/39	<0/0001
b* Crust	Cubic	39/46	۹	38/4	1768/04	<0/0001
L* Crumb	Cubic	186/36	۹	20/71	99390/00	<0/0001
a* Crumb	Cubic	18/54	۹	2/06	420/28	<0/0001
b* Crumb	Special Cubic	37/90	۶	6/32	4142/55	<0/0001
General Appearance	Linear	6/13	۲	3/06	79/10	<0/0001
Crust appearance and color	Cubic	5/23	۹	0/58	309/70	<0/0001
Crumb appearance and color	Special Cubic	7/03	۶	1/17	64/22	<0/0001
Texture	Cubic	5/53	۹	0/61	737/67	<0/0001
Aroma and taste	Special Cubic	8/22	۶	1/37	14/04	0/0004
Stalling 48h after baking	Cubic	6/25	۶	1/04	87/45	<0/0001
Stalling 72h after baking	Special Cubic	5/80	۶	0/97	44/05	<0/0001
Overall acceptability	Special Cubic	5/08	۶	0/85	28/60	<0/0001

### ۳-۳- نتایج آزمون تشخیص کفایت

نمودار نقطه‌ای نرمال باقیمانده‌ها برای تمامی پاسخ‌ها شبیه یک خط مستقیم بوده لذا مدل‌های ارائه شده برای ویژگی‌های

فیزیکی شیمیایی، رنگ‌سنجی و سفتی بافت و کشش‌پذیری (۲ و ۷ ساعت پس از پخت) و ویژگی‌های حسی و ارگانولپتیکی از کفایت لازم برخوردار هستند (شکل ۲).



شکل ۲- آزمون تشخیص کفایت، (راست) نمودار پراکنش خطای مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده (چپ) نمودار نقطه‌ای احتمال نرمال باقیمانده‌ها برای یک نمونه متغیر پاسخ.

در نان طی مرحله پخت می‌باشد (۲). این نتایج با یافته‌های استیکیک و همکاران (۲۰۱۲) در خصوص جایگزینی آرد کینوآ با آرد گندم و نتایج قاسمی زاده و همکاران (۱۳۹۶) بر روی بهینه‌سازی فرمول نان بدون گلوتن حاصل از آرد کینوآ، ذرت و برنج مطابقت دارد (۶ و ۵۴). با افزایش آرد خلر و آرد شاه‌بلوط درصد رطوبت افزایش یافت که البته تاثیر آرد خلر بیشتر از آرد شاه‌بلوط می‌باشد (شکل ۳ الف)، که علت افزایش رطوبت در نمونه‌های حاوی آرد خلر و شاه‌بلوط به دلیل حضور میزان بالای فیبر است که سبب جذب آب بیشتر در نمونه‌ها می‌شود، چرا که فیبر موجود در این آردها با ایجاد باندهای هیدروژنی با آب پیوند داده و باعث افزایش ظرفیت نگهداری خمیر برای حفظ رطوبت و در نهایت رطوبت محصول نهایی را افزایش می‌دهد که با نتایج روشنی و نقی پور (۱۳۹۷) در خصوص تولید کیک فنجانی حاوی آرد شاه‌بلوط و سدیم استئاروئیل-2 لاکتیلات مطابقت داشت (۴ و ۲۱). بنابر تحقیقات صورت گرفته نتایج حاصله بالا بودن محتوای فیبر آرد شاه‌بلوط، به دلیل تشکیل توده‌ای با خاصیت هیدروفیلیکی<sup>۳</sup> بالا، موجب کاهش آب آزاد در دسترس در خمیر بیسکوئیت شد (۴۱).

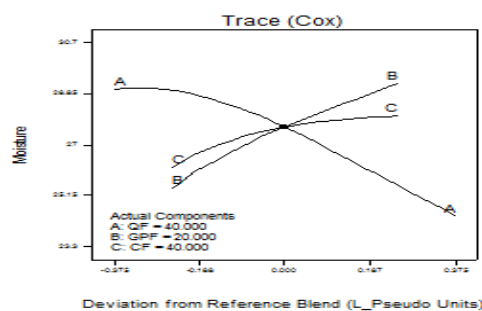
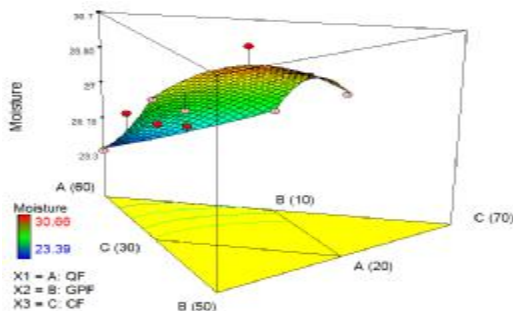
### ۳-۴- تحلیل نمودارهای اثر<sup>۱</sup> و نمودارهای سطح پاسخ

منحنی اثر نشان می‌دهد که در یک مدل پیش‌بینی کننده، پاسخ آزمایش چگونه با کاهش و افزایش یک جزء نسبت به مقدار آن در ترکیب مرجع<sup>۲</sup> تغییر می‌کند. در نرم‌افزار DX7 به‌طور پیش‌فرض فرض ترکیب مرجع نقطه مرکز طراحی آزمایش‌ها است. نمودار سطح پاسخ نیز برای هر معیار به صورت تابعی پیوسته از اجزاء تشکیل دهنده آزمایش‌ها می‌باشد. برای مشاهده تغییرات پاسخ نسبت به اجزاء تشکیل دهنده و همچنین انجام بهینه‌سازی پاسخ‌ها با اجزاء ترکیب مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۶ و ۲۷).

#### ۳-۴-۱- رطوبت

مطابق شکل ۳ الف آرد کینوآ و آرد شاه‌بلوط رابطه غیر خطی و آرد خلر رابطه خطی نسبت به رطوبت نان دارند. با افزایش درصد آرد کینوآ و کاهش درصد آرد خلر و آرد شاه‌بلوط مقدار کمینه رطوبت و با کاهش آرد کینوآ و افزایش درصد آرد خلر و آرد شاه‌بلوط مقدار بیشینه رطوبت بدست می‌آید (شکل ۳ ب). افزایش میزان رطوبت نمونه‌ها با افزایش درصد آرد کینوآ به دلیل شمار زیاد گروه‌های هیدروکسل در ساختار کینوآست که سبب جذب و حفظ مولکول‌های آب

1- Trace plot  
2- Reference Blend

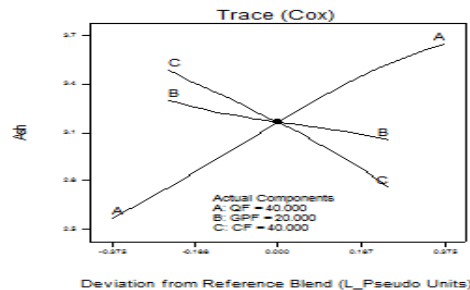
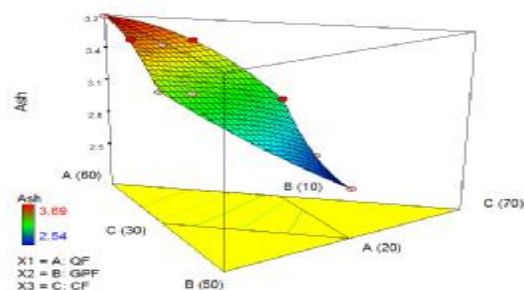


شکل ۳- الف: نمودار اثر آردهای مورد استفاده بر رطوبت. ب: نمودار سطح پاسخ رطوبت نان.

حاوی آرد کامل کینوآ بدلیل درصد بالاتر سبوس این آرد در مقایسه با سایر آردهای مورد استفاده است. نتایج پژوهش قاسمی زاده و همکاران (۱۳۹۶) با عنوان بهینه سازی فرمول نان بدون گلوتن حاصل از آرد کینوآ، ذرت و برنج نشان داد که با افزایش درصد کینوآ در فرمولاسیون میزان خاکستر و مواد معدنی نان بدون گلوتن افزایش یافت (۶).

### ۳-۴-۲- خاکستر

مطابق شکل ۴ الف با افزایش آرد شاه بلوط و آرد خلر درصد خاکستر نان کاهش یافت و با افزایش آرد کینوآ درصد خاکستر نان افزایش یافت. در نمودار سطح پاسخ سه بعدی (نمودار ۴ ب) مقدار بیشینه خاکستر نان با افزایش درصد آرد کینوآ بدست آمد و با افزایش آرد خلر و آرد شاه بلوط خاکستر نان کاهش یافت. افزایش میزان خاکستر در نمونه های



شکل ۴- نمودار اثر و سطح پاسخ الف: نمودار اثر آردهای مورد استفاده بر خاکستر. ب: نمودار سطح پاسخ خاکستر نان.

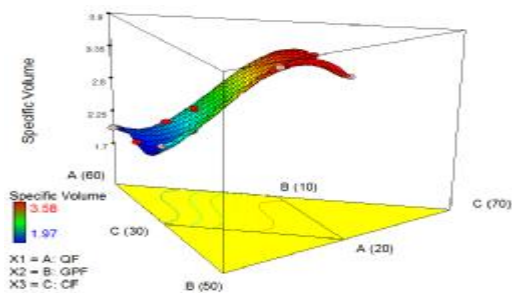
در آرد کینوآ حین پخت محصول و حضور آنزیم آلفا آمیلاز با تبدیل نشاسته آسیب دیده به دکسترین و ایجاد اندکی چسبندگی که برای محصولات بدون گلوتن مطلوب است و باعث افزایش حجم محصول نهایی می گردد (۴۹). با افزایش جایگزینی آرد کینوآ در نان، میزان حجم مخصوص و تخلخل کاهش می یابد (۳۱). به دلیل کاهش درصد گلوتن در آرد خلر و تضعیف شبکه گلوتنی و توانایی کم آن در حفظ و نگهداری گاز حین فرآیندی تخمیر، منجر به کاهش حجم مخصوص در اثر افزایش درصد آرد خلر در تیمارها می شود (۵). حضور چربی و فیبر به مقدار بالا و مقدار چربی و نوع پروتئین در آرد شاه بلوط باعث افزایش پیوند این آرد با آب در ترکیبات خمیر می شود که نتیجه ی آن محدود شدن ژلاتینه شدن نشاسته و کاهش حجم و تخلخل

### ۳-۴-۳- حجم مخصوص و تخلخل

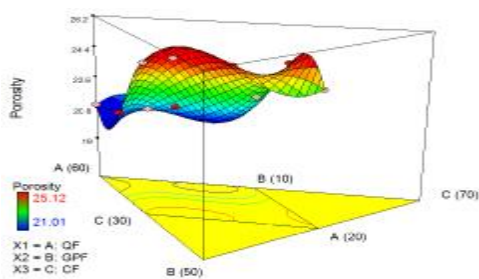
شکل ۵ الف و ج نشان می دهد که برای بدست آوردن بیشترین حجم مخصوص و تخلخل هر سه جزء دارای مقدار بهینه می باشند (رابطه غیر خطی). همان طور که در نمودار سطح پاسخ (شکل ۵ ب و د) مشخص است، با کاهش درصد آرد کینوآ و افزایش درصد آرد خلر و درصد آرد شاه بلوط مقدار بیشینه و با افزایش درصد آرد کینوآ و کاهش درصد آرد خلر و درصد آرد شاه بلوط مقدار کمینه حجم مخصوص و تخلخل بدست می آید. افزایش حجم نان های حاوی آرد کینوآ ناشی از ایجاد ویسکوزیته بیشتر توسط آرد کینوآ به دلیل بهبود توزیع آب و توزیع گاز در خمیر و به دام انداختن مقدار بیشتری حباب گاز است (۲۳). باقی ماندن میزان بیشتر سلول های گازی به دلیل حضور بیشتر پروتئین



شبکه گلوتن توسط آرد کینوآ و نگهداری مناسب گاز، میزان تخلخل در محصول نهایی کاهش می‌یابد (۱۹). افزودن آمارانت و کینوآ به نان سبب کاهش تعداد حفرات و میزان تخلخل نمونه‌ها می‌شود، که می‌تواند به علت وجود سبوس و دخالت آن در تشکیل شبکه نان و نگهداری صحیح گاز باشد (۲۳ و ۲۸).

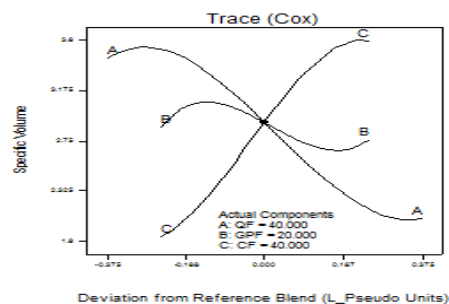


ب

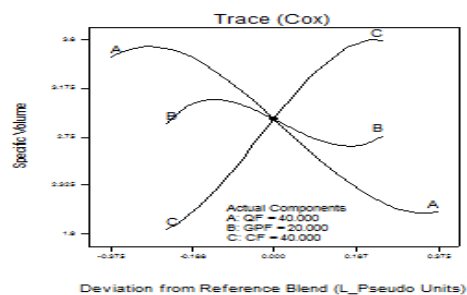


د

نمونه‌هاست (۱۰). نتایج این پژوهش با نتایج روشنی و نقی‌پور (۱۳۹۷) و مختاری و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد (۴ و ۷). دادور (۲۰۱۴) اعلام کرد که با افزایش میزان آرد شاه‌بلوط در فرمولاسیون کیک روغنی بدون گلوتن بر میزان تخلخل افزایش یافت. کاهش درصد تخلخل در نمونه‌های با درصد بالاتر از آرد کینوآ به دلیل عدم توانایی در تشکیل



الف



ج

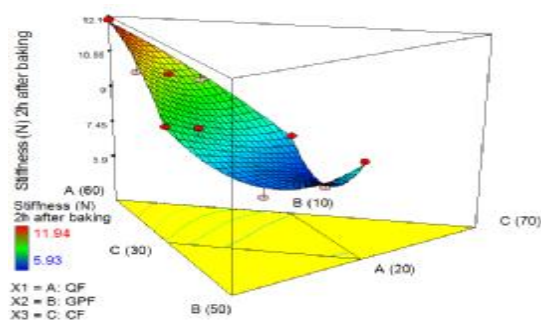
شکل ۵- نمودار اثر و سطح پاسخ الف: نمودار اثر آردهای مورد استفاده بر حجم مخصوص. ب: نمودار سطح پاسخ حجم مخصوص نان. ج: نمودار اثر آردهای مورد استفاده بر تخلخل. د: نمودار سطح پاسخ تخلخل نان.

شاه‌بلوط و میزان آرد خلر در حالت میانگین بدست می‌آید. مقدار بیشینه سفتی نان در زمان ۲ ساعت بلافاصله پس از پخت با افزایش درصد آرد کینوآ بدست می‌آید. با کاهش درصد آرد خلر و افزایش درصد آرد شاه‌بلوط مقدار کمیته سفتی نان (۷۲ ساعت پس از پخت) و با افزایش آرد کینوآ و کاهش درصد آرد شاه بلوط مقدار بیشینه سفتی نان (۷۲ ساعت پس از پخت) بدست می‌آید. به دلیل افزودن فیبرهای خوراکی، افزایش سفتی فرآورده‌های غلات اتفاق می‌افتد (۳۵). افزایش سفتی فرآورده‌های غلات حاوی آردهای بدون گلوتن به دلیل سست شدن شبکه گلوتنی و عدم نگهداری گازی می‌باشد (۳۳). عواملی مانند رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش میزان رطوبت و یا توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی

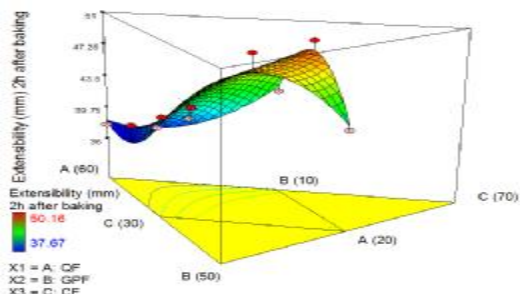
### ۳-۴-۴- بافت

نمودار اثر در شکل ۶ الف نشان می‌دهد که هر سه جزء رابطه غیر خطی نسبت به سفتی نان دارند و با افزایش آرد خلر و آرد شاه‌بلوط سفتی نان (۲ ساعت پس از پخت) کاهش و با افزایش آرد کینوآ سفتی نان افزایش یافت. با افزایش آرد خلر و آرد کینوآ سفتی نان افزایش و با افزایش آرد شاه‌بلوط سفتی نان در ۷۲ ساعت پس از پخت کاهش یافت، که کاهش میزان سفتی در اثر افزایش آرد شاه‌بلوط از یک سو بدلیل مقادیر بالای فیبر است که منجر به نگهداری و حفظ رطوبت می‌شود و از سوی دیگر تعدیل شبکه گلوتن و ایجاد بافت متخلخل و پوک می‌باشد (۴ و ۳۰). در شکل ۶ ب مقدار کمیته سفتی نان در زمان ۲ ساعت بلافاصله پس از پخت با کاهش درصد آرد کینوآ و افزایش درصد آرد

شاه‌بلوط و مقدار کمیته آن با افزایش آرد کینوآ بدست می‌آید. بررسی تأثیر جایگزینی آرد سیب زمینی-برنج با آرد کینوآی جوانه زده نشان داد که نمونه حاوی ۱۰ درصد آرد کینوآی جوانه زده از نرم‌ترین بافت برخوردار بود (۳). آرد کامل کینوآ به طور معنی‌داری سبب افزایش سفتی تیمارها می‌شود (۲). نتایج حاصل از مطالعه جایگزینی آرد شاه‌بلوط با آرد برنج در نان فاقد گلوتن موجب کاهش سفتی بافت و افزایش حجم در محصولات پختی شد که این امر به محتوای بالای فیبر آرد شاه‌بلوط نسبت داده شد (۲۱).

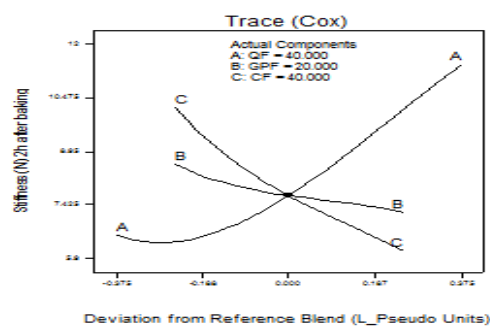


ب

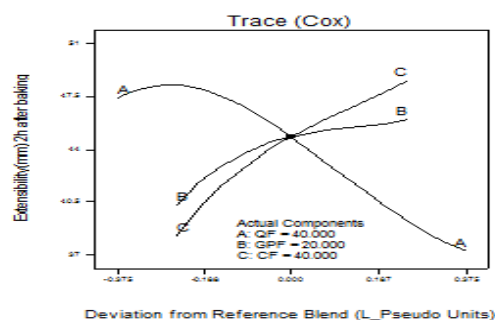


د

را می‌توان از دلایل تأثیرگذار بر سفتی بافت قلمداد کرد (۹). روشنی و همکاران (۱۳۹۷) و همتیان سورکی و همکاران (۲۰۱۳) به نتایج مشابهی دست یافتند که با افزایش سطح آرد بلوط در سطوح بالاتر بدلیل جذب بیش از حد آب و ایجاد بافت خمیری و متراکم، میزان سفتی بافت نمونه‌های تولیدی افزایش یافت (۴ و ۳۰). مطابق شکل ۶ ج افزایش درصد آرد کینوآ کاهش کشش‌پذیری و افزایش درصد آرد خلر و آرد شاه‌بلوط افزایش کشش‌پذیری را به دنبال داشت. شکل ۶د نشان می‌دهد مقدار بیشینه کشش‌پذیری در زمان ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت با افزایش درصد آرد



الف



ج

شکل ۶- نمودار اثر و سطح پاسخ : الف: نمودار اثر آردهای مورد استفاده بر بافت. ب: نمودار سطح پاسخ بافت نان. ج: نمودار اثر آردهای مورد استفاده بر کشش‌پذیری. د: نمودار سطح پاسخ کشش‌پذیری نان.

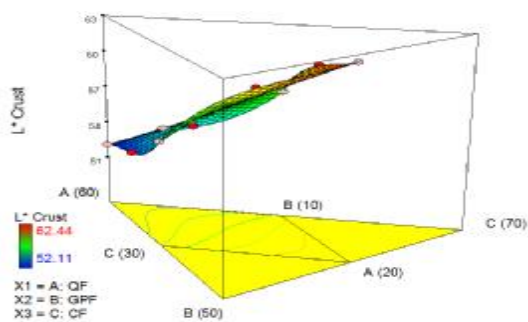
شاه‌بلوط  $a^*$  پوسته نان کاهش یافت (رابطه خطی). از طرفی نیز با افزایش درصد آرد کینوآ رنگ  $a^*$  پوسته نان افزایش یافت (رابطه غیرخطی) و مطابق نتایج برای بدست آوردن بیشترین میزان رنگ  $a^*$  مغز نان هر سه جزء باید دارای مقدار بهینه باشند. همان‌طور که در شکل ۷ د مشخص می‌باشد مقدار کمیته  $a^*$  پوسته با کاهش درصد آرد کینوآ و افزایش درصد خلر و کاهش درصد آرد شاه‌بلوط و مقدار بیشینه آن با افزایش درصد آرد کینوآ بدست می‌آید. با افزایش درصد آرد کینوآ

### ۳-۴-۵- ویژگی‌های رنگ‌سنجی

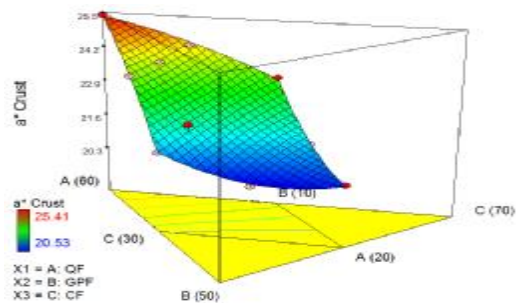
افزایش آرد کینوآ باعث کاهش و افزایش آرد خلر و آرد شاه‌بلوط باعث افزایش شاخص  $L^*$  پوسته و مغز نان شد (رابطه غیر خطی) که تأثیر آرد شاه‌بلوط بیشتر از آرد خلر بود (شکل ۷ و ۸). از طرفی با کاهش درصد آرد کینوآ و تاحدودی افزایش درصد آرد شاه‌بلوط مقدار بیشینه و با افزایش آرد کینوآ مقدار کمیته  $L^*$  پوسته بدست می‌آید (رابطه خطی) (شکل ۷ الف و ب). مطابق شکل ۷ ج با افزایش درصد آرد خلر و آرد

نهایت تیرگی رنگ نمونه‌ها شود (۲). نتایج این پژوهش با نتایج قاسمی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، ابراهیم‌زاده (۱۳۹۴) و مودنی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد (۶، ۱ و ۸). بهبود رنگ در نمونه‌های حاوی آرد خلر بدلیل وجود آنزیم لیپوکسیژناز است (۱۶). با افزایش میزان آرد شاه‌بلوط شاخص  $L^*$  پوسته افزایش یافت که بدلیل حضور ترکیبات فیبری که باعث حفظ رطوبت و ممانعت از خروج آب در حین فرآیند پخت می‌شوند، سبب کاهش تغییرات پوسته محصول نهایی و ایجاد سطحی یکنواخت و هموار می‌گردند که این امر در افزایش مولفه  $L^*$  موثر است که با نتایج پورلیس و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد (۴۵).

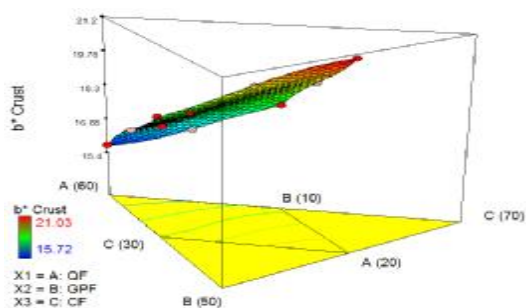
$b^*$  پوسته نان کاهش و با افزایش درصد آرد خلر و آرد شاه‌بلوط این شاخص افزایش یافت که نشان می‌دهد هر سه جزء رابطه غیرخطی با رنگ  $b^*$  پوسته نان داشتند (شکل ۷ه). همچنین مقدار بیشینه  $b^*$  پوسته نان با کاهش درصد آرد کینوآ و میزان کمیته  $b^*$  پوسته با افزایش درصد آرد کینوآ همراه است (شکل ۷و). بنابراین به دلیل حضور سبوس و رنگدانه بتالاین در آرد کینوآ، این آرد تیره است که زمینه کاهش روشنایی تیمارها را فراهم می‌کند. همچنین وجود قند احیا کننده نظیر گلوکز و اسیدآمین‌هایی مانند لیزین در کینوآ باعث می‌شود در طی فرایند پخت، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی میلارد رخ دهد که این مورد نیز می‌تواند باعث افزایش شدت قرمزی پوسته نان‌ها و در



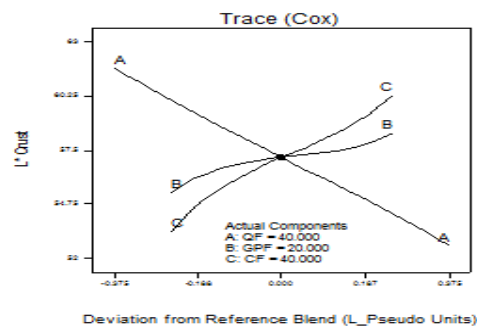
ب



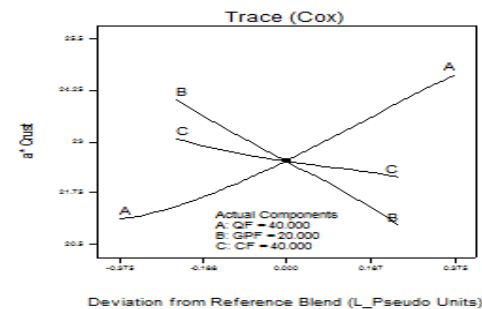
د



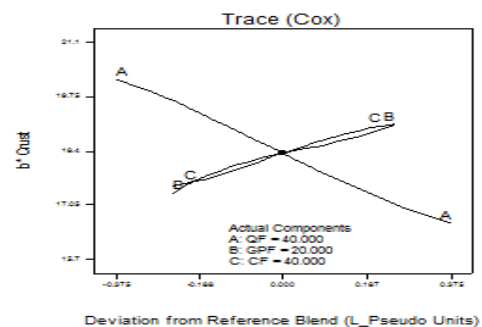
و



الف

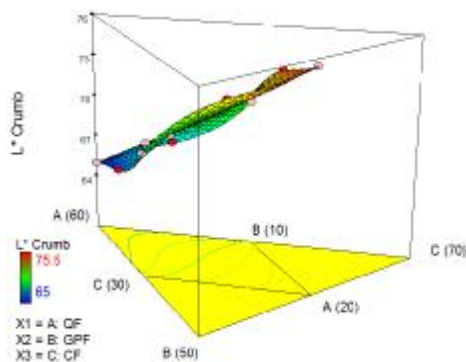


ج

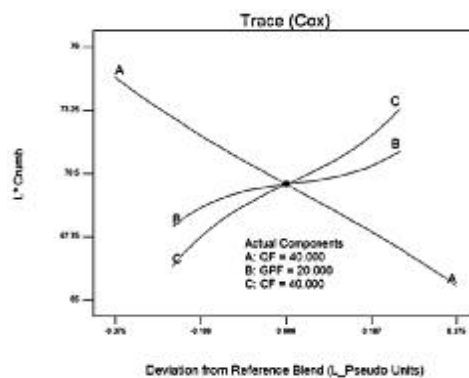


ه

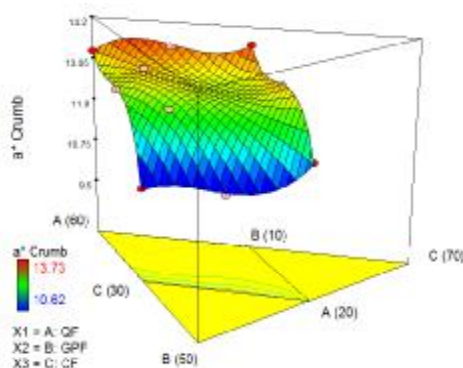
شکل ۷- نمودار اثر و سطح پاسخ: الف: نمودار اثر مربوط به شاخص  $L^*$  پوسته نان. ب: نمودار سطح پاسخ شاخص  $L^*$  پوسته نان. ج: نمودار اثر مربوط به شاخص  $a^*$  پوسته. د: نمودار سطح پاسخ شاخص  $a^*$  پوسته. ه: نمودار اثر مربوط به شاخص  $b^*$  پوسته. و: نمودار سطح پاسخ شاخص  $b^*$  پوسته.



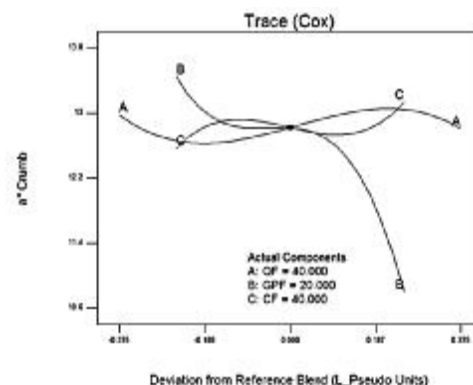
ب



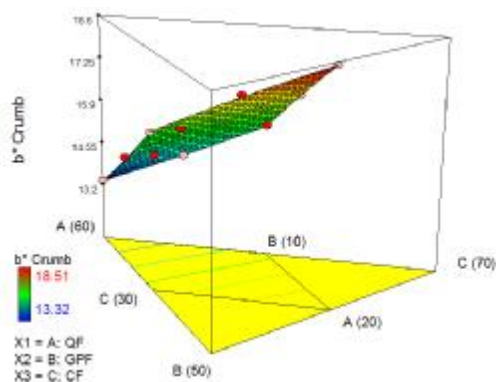
الف



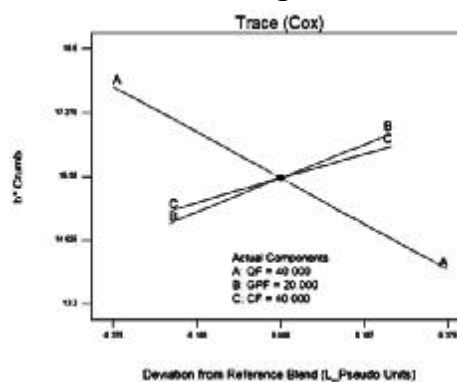
د



ج



و



ه

شکل ۸- نمودار اثر و سطح پاسخ : الف: نمودار اثر مربوط به شاخص  $L^*$  مغز نان. ب: نمودار سطح پاسخ شاخص  $L^*$  مغز نان. ج: نمودار اثر مربوط به شاخص  $a^*$  مغز نان. د: نمودار سطح پاسخ شاخص  $a^*$  مغز نان. ه: نمودار اثر مربوط به شاخص  $b^*$  مغز نان. و: نمودار سطح پاسخ شاخص  $b^*$  مغز نان.

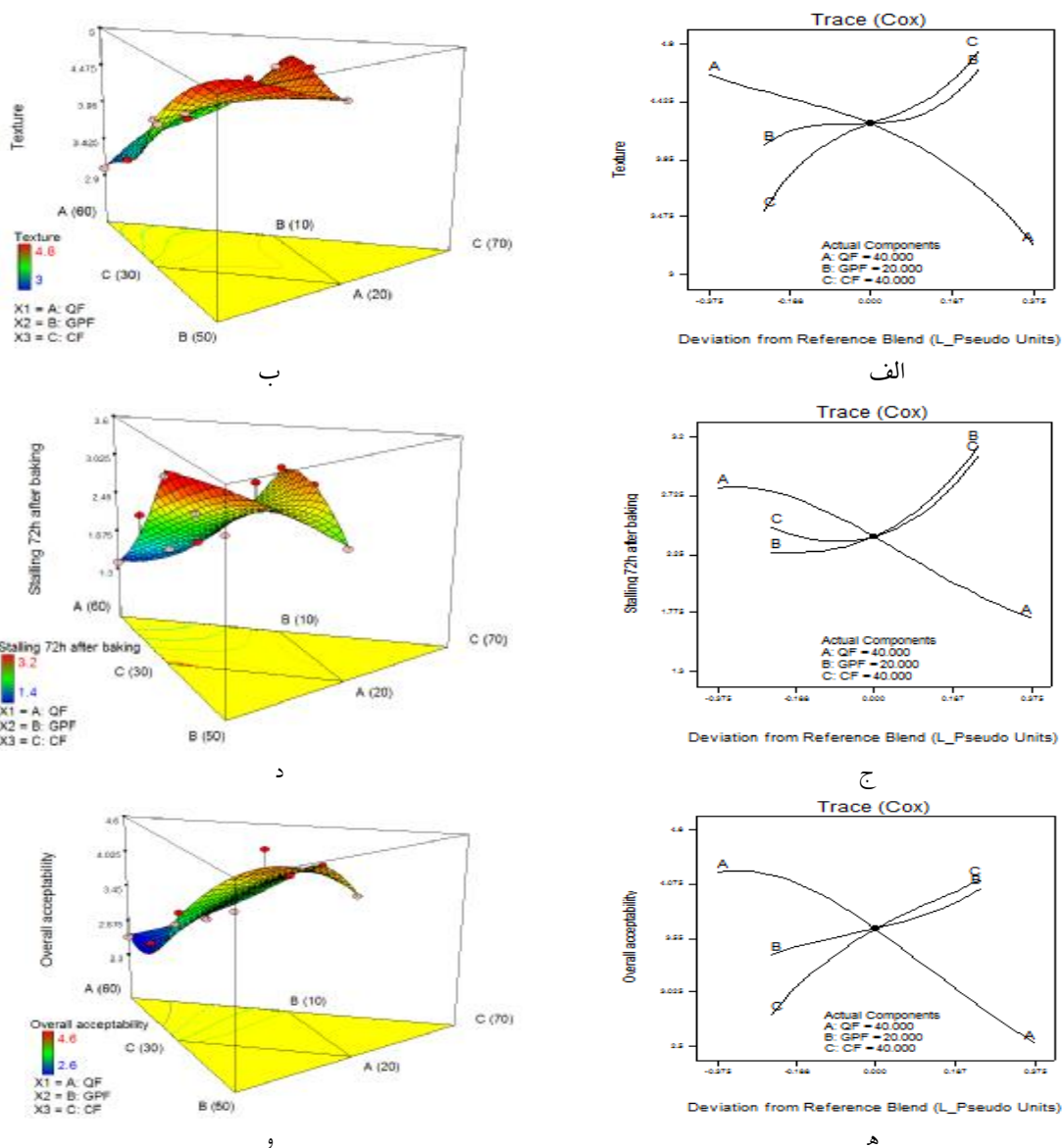
دارد. با توجه به نتایج افزایش آرد شاهبلوط باعث بهبود ظاهر و رنگ پوسته نان، افزایش درصد آرد خلر و آرد شاهبلوط باعث بهبود ظاهر و رنگ مغز نان می‌شود، در خصوص بافت، طعم و آروما و ظاهر عمومی آرد کینوآ رابطه عکس و آرد خلر و آرد شاهبلوط رابطه مستقیم با این سه پارامتر داشت. مقدار بیشینه ویژگی حسی بافت نان با بیشترین و

### ۳-۴-۶- ویژگی‌های حسی و ارگانولپتیکی

مطابق نتایج آزمون حسی نمونه‌ها هر سه جزء رابطه غیر خطی با ظاهر و رنگ پوسته، بافت، طعم و آروما، بیاتی نان ۷۲ ساعت پس از پخت و پذیرش کلی نان دارند. در خصوص بیاتی (۴۸ ساعت پس از پخت) آرد کینوآ و آرد خلر رابطه غیرخطی و آرد شاهبلوط رابطه خطی با این پارامتر

کمترین درصد آرد خلر و بیشترین درصد آرد شاه‌بلوط و همچنین با کاهش درصد آرد شاه‌بلوط و افزایش درصد آرد کینوآ (تا یک حد مشخص) مقدار کمینه ویژگی حسی آروما و طعم نان بدست می‌آید. نمودار اثر مربوط به بیاتی نان ۷۲ ساعت پس از پخت نان (شکل ۹ الف) نشان می‌دهد که هر سه جزء رابطه غیر خطی با بیاتی نان ۷۲ ساعت پس از پخت نان دارد. در این میان با توجه به شیب خطوط و شکل نمودارها آرد کینوآ رابطه عکس و آرد خلر و آرد شاه‌بلوط رابطه مستقیم با بیاتی نان ۷۲ ساعت پس از پخت نان دارد که آرد خلر نسبت به آرد شاه‌بلوط تاثیر بیشتری دارد. همان طور که در شکل ۹ ب نیز مشخص است مقدار بیشینه ویژگی حسی بیاتی نان با بیشترین درصد آرد خلر و کمترین درصد آرد شاه‌بلوط و بالعکس و همچنین با افزایش درصد آرد کینوآ مقدار کمینه بیاتی نان (۷۲ ساعت پس از پخت) بدست می‌آید. شکل ۹ ج نمودار اثر نشان می‌دهد که همه اجزاء رابطه غیر خطی با پذیرش کلی نان دارند. شکل ۹ د مقدار بیشینه ویژگی حسی پذیرش کلی نان با افزایش درصد آرد خلر و مقدار کمینه با افزایش درصد آرد کینوآ را نشان می‌دهد. آرد کینوآ به دلیل ظرفیت اتصال آب و اثرات تغلیظ کنندگی باعث اصلاح و بهبود بافت، خواص حسی و ماندگاری می‌شود (۲۵). همچنین افزایش بیاتی در نمونه‌ها همزمان با افزایش درصد آرد خلر می‌تواند به دلیل کاهش میزان گلوتن و تسهیل انتقال رطوبت از مغز به پوسته و در

نتیجه ایجاد پدیده بیاتی در نان شود (۹). بهبود ویژگی‌های بافت نمونه‌های دارای درصد کمتری از آرد شاه‌بلوط را می‌توان به علت توانایی بالای ترکیبات فیبری موجود در حفظ رطوبت و کمک به افزایش ماندگاری دانست که با نتایج دمیرکسن و همکاران (۲۰۱۰)، دادور و همکاران (۲۰۱۴) و مودنی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت داشت (۸، ۱۹ و ۲۰). نتایج پژوهش ایگلسیاس و همکاران (۲۰۱۵) در مورد ارزیابی حسی نان دارای ۲۵ درصد کینوآ تفاوت معنی‌داری را با نمونه شاهد نشان نداد، اما در سطح جایگزینی ۵۰ درصد ویژگی‌های حسی کاهش معنی‌داری پیدا کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (۳۱). تاثیر استفاده از آرد شاه‌بلوط بر ویژگی‌های کیفی بیسکوئیت فاقد گلوتن نشان داد که افزودن این آرد به مقدار مشخصی (۴۰ درصد جایگزین آرد برنج) موجب بهبود ویژگی‌های ارگانولپتیکی محصول شد (۲۲). استفاده از آرد شاه‌بلوط در مقادیر بالا در محصولات غلاتی موجب سفت شدن بافت، کم شدن حجم، تیره شدن رنگ و ایجاد طعم تلخ در محصول شد (۴۸). استفاده از آرد شاه‌بلوط در فرمولاسیون کیک سبب تیرگی مغز گردید که از نظر مصرف کنندگان قابل پذیرش بود (۳۰). افزایش پیوندهای هیدروژنی بین فیبر و نشاسته در خمیر نان فاقد گلوتن حاوی آرد شاه‌بلوط موجب به تاخیر افتادن رتر و گراداسیون<sup>۱</sup> نشاسته و در نتیجه افزایش ویژگی‌های کیفی محصول گردید (۲۱).



شکل ۹- نمودار اثر و سطح پاسخ الف: نمودار اثر مربوط به بافت. ب: نمودار سطح پاسخ بافت نان. ج: نمودار اثر مربوط به بیاتی د: نمودار سطح پاسخ بیاتی نان. ه: نمودار اثر مربوط به پذیرش کلی و: نمودار سطح پاسخ پذیرش کلی نان.

### ۳-۵- بهینه یابی عددی ترکیب نان

بهینه یابی برای فرمول نان مخصوص بیماران سلیاکی با استفاده از متغیرهای آرد خلر، آرد شاه بلوط و آرد کینوا بر روی پارامترهای مورد اندازه گیری با استفاده از بهینه یابی عددی نرم افزار دیزاین اکسپرت انجام شد (۳۹). بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه یابی مشخص و سپس پاسخ ها و متغیرهای مستقل تنظیم شد که شامل بیشینه رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل، کشش پذیری، پارامترهای رنگ سنجی  $L^*$  و  $b^*$ ، ویژگی های حسی، و وضعیت کمینه برای خاکستر،

سفتی و پارامتر رنگ سنجی  $a^*$  تعیین شدند. نتایج حاصله از بهینه یابی (ترکیب درصد بهینه پارامترها) به صورت خلاصه در جدول ۵ ارائه شده است. با بررسی ترکیب های بهینه ارائه شده در جدول ۹ برای هر کدام از معیارهای بهینه سازی مشاهده می شود که، مقدار درصد آرد شاه بلوط در بیشینه سازی درصد رطوبت، درصد حجم مخصوص، درصد تخلخل، کشش پذیری و رنگ نان در ۵ معیار بیشتر می باشد. نتایج جدول ۵ نشان می دهد که نان بهینه تیماری بود که دارای

۲۷/۶۹ درصد آرد کینوآ و ۳۰ درصد آرد خلر و ۴۲/۳۱ درصد آرد شاه‌بلوط بود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش که با هدف رسیدن به فرمولاسیون محصول بدون گلوتن با استفاده از سه نوع آرد از جمله آرد کینوآ، خلر و شاه‌بلوط دارای بیشترین درصد رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل، شاخص‌های رنگی  $L^*$  و  $b^*$  و بیاتی و کمترین سفتی در محصول نهایی بود، با استفاده از روش طراحی آزمایش مخلوط و استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت

بهینه‌سازی عددی انجام شد. در نتیجه با بررسی ترکیب‌های بهینه برای هر کدام از معیارهای بهینه‌سازی مشاهده شد که مقدار درصد آرد شاه‌بلوط در بیشینه‌سازی درصد رطوبت، درصد حجم مخصوص، درصد تخلخل، کشش‌پذیری و رنگ نان در ۵ معیار بیشتر بود. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر یعنی محصولی با بیشترین درصد رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل، شاخص‌های رنگی  $b^*$  و  $L^*$  و بیاتی و کمترین سفتی بایستی آرد کینوآ ۲۷/۶۹ درصد و آرد خلر ۳۰ درصد و آرد شاه‌بلوط ۴۲/۳۱ باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۸۶۱ حاصل گردید.

جدول ۵- توابع هدف و محدودیت های آنها

مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم (%)			مقادیر بهینه توابع هدف																						
آرد	آرد	آرد	رطوبت	خاکس	حجم	تخلخل	سفتی	سفتی	کشش پذیری	کشش پذیری	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ظاهر	ظاهر	ظاهر	بافت	آروما	بیاتی	بیاتی	پذیرش	
آرد	آرد	آرد	رطوبت	خاکس	حجم	تخلخل	سفتی	سفتی	کشش پذیری	کشش پذیری	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ظاهر	ظاهر	ظاهر	بافت	آروما	بیاتی	بیاتی	پذیرش	
کینوا	خلر	شاه بلوط		تر	مخصوص		(۲ ساعت)	(۷۲ ساعت)	(۲ ساعت)	(۷۲ ساعت)	پوسته	پوسته	پوسته	مغز	مغز	مغز	عمومی	و	و	و	طعم	پس از	پس از	کلی	
(A)	(B)	(C)					پس از	پس از	پس از	پس از								رنگ	رنگ	مغز	پوسته	ته			
۲۷/۶۹	۳۰/۰۰	۴۲/۳۱	۲۹/۸۰	۲/۷۸	۳/۵۸	۲۴/۳۸	۶/۵۳	۱۲/۶۳	۴۷/۶۱	۴۱/۸۹	۶۰/۶۶	۲۰/۵۸	۲۰/۲۰	۷۳/۴۹	۱۰/۷۲	۱۷/۶۹	۴/۸۵	۴/۸۹	۴/۸۹	۴/۷۴	۴/۴۸	۴/۴۴	۲/۸۴	۴/۳۷	
۲۸/۴۱	۲۱/۵۸	۵۰/۰۰	۲۸/۸۰	۲/۶۲	۳/۵۲	۲۵/۱۲	۶/۱۳	۱۱/۵۳	۴۸/۸۸	۴۴/۴۵	۶۱/۲۱	۲۱/۴۵	۱۹/۷۱	۷۴/۳۳	۱۳/۱۸	۱۷/۳۱	۴/۸۵	۴/۷۶	۴/۹۹	۴/۷۴	۴/۱۸	۴/۲۵	۲/۹۴	۴/۲۰	
۳۰/۰۰	۲۰/۰۰	۵۰/۰۰	۲۸/۶۲	۲/۶۶	۳/۵۶	۲۴/۶۷	۶/۰۵	۱۱/۲۶	۴۹/۰۹	۴۴/۹۶	۶۰/۹۸	۲۱/۶۴	۱۹/۵۱	۷۳/۹۹	۱۳/۱۸	۱۷/۰۸	۴/۷۷	۴/۷۸	۴/۹۷	۴/۷۸	۴/۱۳	۴/۲۷	۲/۹۹	۴/۱۹	
۳۲/۵۰	۱۷/۵۰	۵۰/۰۰	۲۸/۲۲	۲/۷۲	۳/۵۹	۲۳/۸۳	۶/۰۷	۱۰/۹۹	۴۸/۸۱	۴۵/۱۳	۶۰/۴۹	۲۱/۹۹	۱۹/۱۸	۷۳/۵۰	۱۳/۱۳	۱۶/۷۰	۴/۶۴	۴/۷۹	۴/۸۹	۴/۸۳	۳/۹۹	۴/۳۱	۳/۰۴	۴/۱۴	
۳۳/۷۵	۱۶/۸۷	۴۹/۳۷۵	۲۸/۰۴	۲/۷۸	۳/۵۹	۲۳/۲۳	۶/۲۲	۱۱/۰۴	۴۸/۳۰	۴۴/۸۲	۶۰/۰۰	۲۲/۱۵	۱۹/۰۵	۷۲/۹۸	۱۳/۰۳	۱۶/۵۳	۴/۵۸	۴/۷۷	۴/۸۴	۴/۷۷	۳/۹۲	۴/۲۷	۲/۹۸	۴/۰۹	

Solutions														
Number	QF	GPF	CF	Moisture	Ash	Specific Volum	Porosity	Stiffness (N)	2 Stiffness (N)	7:Extensibility (n	Extensibility (n	L* Crust	a* Crust	b* Crust
1	27.689	30.000	42.311	29.8026	2.78333	3.58	24.381	6.53725	12.6347	47.6132	41.8965	60.6625	20.585	20.2007
2	28.420	21.580	50.000	28.8076	2.62638	3.52552	25.12	6.13502	11.536	48.8832	44.4585	61.2177	21.4582	19.7127
3	30.000	20.000	50.000	28.6251	2.66091	3.56281	24.675	6.05442	11.263	49.0924	44.9689	60.98	21.6505	19.5116
4	32.500	17.500	50.000	28.2216	2.72771	3.59493	23.832	6.0795	10.9901	48.8165	45.1383	60.498	21.9989	19.1853
5	33.750	16.875	49.375	28.0431	2.78448	3.59977	23.2311	6.22328	11.0464	48.3091	44.8258	60.0044	22.1579	19.0513
L* Crumb a* Crumb b* Crumb General AppeaCrust appearaCrumb appear. Texture Aroma and tas Stalling 48h aft Stalling 72h aftOverall accept: Desirability														
1	73.4982	10.7263	17.6926	4.85638	4.89303	4.89343	4.73544	4.48358	4.44534	2.84581	4.37098	0.861	Selected	
2	74.2305	13.1823	17.3136	4.85258	4.7678	4.99949	4.74189	4.18725	4.25055	2.94657	4.20843	0.833		
3	73.9937	13.1803	17.0804	4.77283	4.78125	4.97402	4.78749	4.13064	4.27973	2.99681	4.19516	0.827		
4	73.51	13.1384	16.7067	4.64664	4.7916	4.89689	4.83867	3.99019	4.31376	3.04652	4.14405	0.796		
5	72.9819	13.0382	16.5388	4.58085	4.77147	4.84584	4.77483	3.92513	4.27703	2.98622	4.09082	0.767		



۵-منابع

۱. ابراهیم‌زاده، آ. ۱۳۹۴. مطالعه ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و رئولوژیکی نان بربری غنی‌شده با آرد کینوا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس.
۲. جلدانی، ش.، ناصحی، ب.، برزگر، م. و سپهوند، ن. ۱۳۹۶. بررسی اثر افزودن آرد کامل کینوا و صمغ زانتان بر خصوصیات شیمیایی و حسی نان بربری به‌روش سطح پاسخ. *مجله علوم و صنایع غذایی*، دوره ۱۴، شماره ۷۰، ۷۹-۸۹.
۳. حقایق، غ. و زاوه زاد، ن. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر جایگزینی آرد سیب زمینی-برنج با آرد کینوای جوانه زده بر ویژگی‌های بافتی و پذیرش کلی نان قالبی بدون گلوتن. *مجله علوم و صنایع غذایی*، دوره ۱۶، شماره ۸۸، ۳۱۵-۳۲۵.
۴. روشنی، ش و نقی‌پور، ف. ۱۳۹۷. بررسی ویژگی‌های بافتی، تصویری و حسی کیک فنجانی حاوی آرد شاه‌بلوط و سدیم استئاروئیل-۲-لاکتیلات. *مجله علوم و صنایع غذایی*، دوره ۱۵، شماره ۷۹، ۱۱۱-۱۲۰.
۵. صفا، ر.، شیخ‌الاسلامی، ز و عطای صالحی، ا. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر افزودن آرد سنگینک (*latirus sativus*) بر ویژگی‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و بیاتی نان بربری. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۱۳، شماره ۵۱، ۲۲۴-۲۱۳.
۶. قاسمی‌زاده، س.، ناصحی، ب. و نوشاد، م. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی فرمول نان بدون گلوتن حاصل از آرد کینوا، ذرت و برنج، *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، دوره ۱، شماره ۱۲، ۵۹-۶۸.
۷. مختاری، ز.، ضیائی‌فر، ا. م.، اعلمی، م.، کاشانی‌نژاد، م. و آقاچان‌زاده سورکی، س. ۱۳۹۷. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی خمیر حاصل از آرد بلوط و اینولین.
۸. موذنی، م.، زرین قلمی، س. و گنجلو، ع. ۱۳۹۷. تأثیر غنی‌سازی خمیر بربری با آرد کامل کینوا بر ویژگی‌های فارینوگرافی و کیفیت نان. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۲۸، شماره ۴، ۱۱۲-۱۰۳.
9. Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B, Hess, W. M. and Huber, C. S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. *Cereal Chemistry*. 82: 328-335.
10. Ahmad Mir, S., John Don Bosco, S. and Ahmad Shah, A. 2019. Technological and nutritional properties of gluten-free snacks based on brown rice and chestnut flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18: 89-94.
11. American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. American Association of Cereal Chemists of Approved Methods.
12. Ayseli, M. T., Yilmaz, M. T., Cebi, N., Sagdic, O., Ozmen, D. and Capanoglu, E. 2020. Physicochemical, rheological, molecular, thermal and sensory evaluation of newly developed complementary infant (6-24 months old) foods prepared with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flour. *Food Chemistry*, 315: 126-208.
13. Bahmanyar, F., Hosseini, S. M., Mirmoghtadaie, L. and Shojaee-Aliabadi, S. 2021. Effects of replacing soy protein and bread crumb with quinoa and buckwheat flour in functional beef burger formulation. *Meat Science*, 172: 108-305.
14. Bala, M., Handa, S., Mridula, D. and Singh, R. K. 2020. Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size. *Heliyon*, 6:1-10.
15. Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A. D., Massanés, T. and Gomis, R. 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An

25. Gelroth, J. and Ranhotra, G. R. M. L.2001. Dreher, editors. *Handbook of dietary fiber*, newyork: marcel Dekker Inc.
26. Ghafari, E., Costa, H. and Júlio, E. 2015. Statistical mixture design approach for eco-efficient UHPC. *Cement and Concrete Composites*, 55: 17-25.
27. Gharib, S. H., Bastani, S., Roustaaazad, R. and Jalili, M. 2009. Optimization of water based flexography inks for printing on polyethylene films. *Journal of Color Science and Technology*,3(3): 131-143 (in Persian).
28. Ghasemzadeh, S., Nasehi, B. and Noshad, M. 2017. Optimization the properties of gluten free bread produced from quinoa, corn and rice flours. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 12(1): 59-68.
29. Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE, American Society of Agricultural Engineers*. 45(6):1995-2005.
30. Hematiyan sorki, A., Mazaheri Tehrani, M. and Mohebbi, M. 2013. Effect of soy and chestnut flour on physicochemical and sensory properties of gluten free cake. *21th National Congress of Food Science and Technology*, Shiraz, Iran [in Persian].
31. Iglesias-Puig, E., Monedero, V. and Haros, M. 2015. Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. *LWT-Food Science and Technology*, 60: 71-77.
32. Jung, M. J., Heo, S. I. and Wang, M. H. 2007. Comparative Studies for Component Analysis in Acorn Powders from Korea and China. *Korean Journal of Pharmacognosy*, 38(1): 90-94.
33. Koletta, P., Irakli, M., Papageorgiou, M. and Skendi, A. 2014. Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours. *J Cereal Sci*, 60(3): 561-568.
- integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 6(3).
16. Baysal, T. and Demirdouen, A. 2006. Lipoxigenase in fruit and vegetable: A Review. *Enzyme and microbial Technology*.
17. Bazaz, R., Baba, W. N. and Masoodi, F. A. 2016. Development and quality evaluation of hypoallergic complementary foods from rice incorporated with sprouted green gram flour. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1).
18. Caballero, P. A, Go'mez, M. and Rosell, C. M. 2007. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. *Journal of Food Engineering* 81: 42-53.
19. Dadvar, P. 2014. Gluten free cake formulation by chestnut and corn flour and xanthan gum. M.Sc. Thesis, Azad University, Quchan branch [in Persian].
20. Demirkesen, I., Mert, B., Summu, G. and Sahin, S. 2010. Utilization of chest nut flour in gluten – free bread formulation. *Journal of Food Engineering*, 101: 329-336.
21. Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G. and Sahin, S. 2010a. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. 96: 295-303.
22. Dokić, L., Nikolic. I., Soronja Simovic. D., Pajin. B. and Juul. N., 2014. Sensory Characterization of Cookies with Chestnut Flour. World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering.*, 8(5): 416-419.
23. Elgeti, D., Nordlohne, S. D, Föste, M., Besl, M., Linden, M. H., Heinz, V., Jekle, M. and Becker, T. 2014. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *J Cereal Sci*, 59(1): 41-7.
24. Gacula, J. and Singh, R. 1984. Statistical methods in food and consumer research. *Academic press Inc. USA*

- Department of Food Science, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan. [In Persian].
43. Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernandez-Lopez, J., Perez Alvarez, J. A. and Viuda Martos, M. 2018. Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, 111: 38–46.
  44. Pourfarzad. A., Khodaparast, M. H., Karimi, M., Mortazavi, S. A., Ghiafeh Davoodi, M., Hematian Sourki, A. and Razavizadegan Jahromi, S. H. 2011. Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, 34:1435-1445.
  45. Purlis, E. and Salvadori, V. 2009. Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42: 865-870.
  46. Rizzello, C. G., Lorusso, A., Montemurro, M. and Gobetti, M. 2016. Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread. *Food Microbiology*, 56: 1–13.
  47. Romano, A., Giosafatto, C. V. L., Al-Asmar, A., Masi, P., Aponte, M. and Mariniello, L. 2019. Grass pea (*Lathyrus sativus*) flour: microstructure, physico-chemical properties and in vitro digestion. *Eur. Food Res. Technol*, 245 (1): 191–198.
  48. Sacchetti, G., Pinnavaia, G., Guidolin, E. and Dalla Rosa, M. 2004. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*, 37: 527-534.
  49. Sahraiyani, B. 2016. Production of sorghum malt powder by using microwaves and its evaluation as a sugar replacer in gluten free cup cake. Ph.D. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Department of Food Science and Technology. [In Persian].
  34. Korus, J., Witeczak, M., Ziobro, R. and Juszcak, L. 2015. The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, 240: 1135-1143.
  35. Ktenioudaki, A. and Gallagher, E. 2012. Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends Food Sci Tech*, 28 (1): 4-14.
  36. Littardi, P., Paciulli, M., Eleonora Carini, E., Massimiliano Rinaldi, M., Margherita Rodolfi, M. and Chiavaro, E. 2020. Quality evaluation of chestnut flour addition on fresh pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 126: 109303.
  37. Martineza, O. D. M., Toledob, R. C. L., Queirozc, V.A.V., Pirozia, M. R., Martinob, H.S.D. and Barros, F.A.R. 2020. Mixed sorghum and quinoa flour improves protein quality and increases antioxidant capacity in vivo. *LWT- Food Science and Technology*, 129: 109.
  38. McGorin, R. 2019. Key aroma compounds in oats and oat cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
  39. Mirabedini, S. M., Jamali, S. S., Haghayegh, M., Sharifi, M., Mirabedini, A. S. and Hashemi-Nasab, R. 2012. Application of mixture experimental design to optimize formulation and performance of thermoplastic road markings. *Progress in Organic Coatings*, 75(4): 549-559.
  40. Montgomery, D. C. 2017. Design and analysis of experiments. *John wiley and sons*.
  41. Paciulli, M., Rinaldi, M., Cavazza, A., Ganino, T., Rodolfi, M., Chiancone, B. and Chiavaro, E. 2018. Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and oxidative stability of gluten-free biscuits during storage. *LWT- Food Science and Technology*.
  42. Payedar, Z., Nasehi, B., Barzegar, H. and Hojati, M. 2013. Study of the effect of adding fenugreek seed flour on properties of flour, dough and barbari bread. Master Thesis,

2020. Effect of chestnut flour and probiotic microorganism on the functionality of dry-cured meat sausages. *LWT-Food Science and Technology*, 134:110-119.
54. Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S. E. and 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.
55. Zheng, C., Sun, D.W. and Zheng, L. 2006. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection-a review. *Trends of Food Science & Technology*, 17(12):642-655.
50. Shahraki, F., Mortazavi, A., Hadadkhdaparast, M. H. and Milani, E. 2013. Evaluate the quality and purity of the proteins extracted from the seeds of *Lathyrus sativus* *Lathyrus sativus* plant and optimize the response surface method RSM. *Second National Seminar on Food Security, Free University savad kooch Branch*.
51. Shukla, R., and Cheryan, M. 2001. Zein; The industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products*, 13:171-192.
52. Singh, P., Arora, A. and Strand, T.A. 2018. Global prevalence of celiac disease: system-atic review and meta-analysis. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 16:823-36 e2.
53. Sirini, N., Rold'an, A., Lucas-Gonz'alez, R., Fern'andez-L'opez, J., Viuda-Martos, M., P'erez- 'Alvarez, J. A., Frizzo, L. S. and Rosmini, M. R.

(Original Research Paper)

# Gluten-free bread Formulation Using Grass Pea, Quinoa, and Chestnut Flour Based on Rice Flour by Response Surface Methodology

Azadeh Shahsavan Tabrizi<sup>1</sup>, Esmail Ataye Salehi<sup>2\*</sup>, Akram Ariyanfar<sup>2</sup>, Zahra Sheikholesalami<sup>3</sup>

1-Ph.D Student of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

2-Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

3-Department of Technical Researces and Agricultural Engineering, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extention Organization, Mashhad, Iran.

Received:04/04/2021

Accepted:30/05/2021

## Abstract

Celiac disease is a chronic disorder and Intestinal lifelong genetic abnormality of the gut that results from eating gluten-containing cereals, and the only cure is gluten-free foods. This study aimed at Formulation optimization of gluten free bread using rice flour (100% control) and quinoa flour at three levels (20, 40 and 60%) and flour grass pea flour in three levels (10, 20 and 30 percent) Chestnut flour was used in three levels (30, 40 and 50%) was done as a substitute for rice flour. Design the experiments was done Mixed method using DX7 software. After sample preparation was performed physicochemical properties, porosity, hardness and extensibility using the Texture Analyzer, sensory evaluation and shelf-life, colorimetry was conducted by image processing. The results showed significant quadratic model fitted to answer ( $p < 0/05$ ) and the maximum amount of moisture (66/30 percent) and maximum specific volume and porosity are respectively 3/58 and 25/12, was obtained with decreasing of the quinoa flour and increasing of the grass pea flour and chestnut flour. The minimum amount of bread hardness (5/93n) was obtained with decreasing the of grass pea flour and increasing the of chestnut flour and maximum amount of general acceptance of bread increasing the of grass pea flour and the minimum value of this parameter happened with increases with the of quinoa flour, which was significantly different from the control sample and the model was approved for fitting information. The results showed that quinoa, chestnut and grass pea flours usable for improving the quality of gluten-free bread. The formulation was optimized at 27/69% quinoa flour, 30% grass pea flour and 42/31% chestnut flour.

**Keywords:** Celiac Disease, Gluten-Free Bread, Quinoa Flour, Grass Pea Flour and Chestnut Flour.

---

\*Corresponding Author: [eatayesalehi@yahoo.com](mailto:eatayesalehi@yahoo.com)

