

نوع مقاله: پژوهشی

## بررسی اثر انواع نشاسته و ایزوله پروتئین بر ویژگی های کیفی و بافت سنجی نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج

مریم محمدی<sup>۱\*</sup>، فرناز دستمالچی<sup>۲</sup>، غلامرضا عسگری<sup>۳</sup>، حسین کیانی<sup>۴</sup>

<sup>۱\*</sup> گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup> پژوهشکده علوم صنایع غذایی و محصولات کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران  
تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

### چکیده

نان های بدون گلوتن بر پایه آرد و نشاسته از نظر ویژگی های بافتی و حسی و نیز ارزش تغذیه ای، کیفیت پایینی دارند. با استفاده از دو نوع نشاسته (نشاسته ذرت و سیب زمینی) و سه نوع ایزوله پروتئین گیاهی (کنجد، سویا و نخود) بررسی هایی برای یافتن بهترین فرمول نان بدون گلوتن با کیفیت بافتی، حسی و تغذیه ای مناسب صورت گرفت. در مرحله اول در بین نشاسته ذرت و سیب زمینی، فرمول دارای نشاسته سیب زمینی حجم بالاتر، افت وزن و تخلخل کمتر داشت. در مرحله دوم در بین سه فرمول با ایزوله پروتئین مختلف، نان دارای ۷ درصد ایزوله پروتئین کنجد سختی و قابلیت جویدن کمتر و پیوستگی بالاتری را در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از پخت نشان داد. در همه فاکتورهای ارزیابی حسی با مقیاس هدونیک پنج امتیازی به جز رنگ ( $4/5 \pm 0/8$ ) نان دارای ایزوله کنجد با امتیاز بالاتری ارزیابی شد و نان دارای ایزوله پروتئین سویا تنها در امتیاز رنگ بالاتر بود ( $4/9 \pm 0/7$ ). ویژگی های رنگ سنجی، میزان پروتئین، کاهش افت وزن و رطوبت نان بدون گلوتن با افزودن ایزوله پروتئین، نسبت به فرمول های نان بدون ایزوله پروتئین، افزایش (بهبود) معنی داری ( $P < 0.05$ ) پیدا کرد.

واژه های کلیدی: نان بدون گلوتن، نشاسته، ایزوله پروتئین، بافت سنجی، فرمولاسیون

### مقدمه

خانواده ها جای خود را باز کرده اند (Aguiar et al., 2021;

Kurek et al., 2022).

ماده اصلی تولید نان های بدون گلوتن، آرد و نشاسته حاصل از غلاتی است مانند برنج (Gui et al., 2022) ذرت (Rostamian et al., 2014)، شبه غلاتی مانند کینوا (Franco et al., 2021) و دانه تاج خروس (Aguiar et al., 2022) و ساقه خوراکی همچون سیب زمینی (Ayo-Sanchez, 2020) و ریشه خوراکی مانند کاساوا (Sanchez and Osella, 2002). نشاسته ها از اجزای اصلی فرمولاسیون نان های بدون گلوتن هستند و در ساختار بافت نان، نقش

در سال های اخیر، نان های بدون گلوتن، علاوه بر تامین نیاز بیماران سلیاکی، بیش از پیش مورد توجه عموم مردم واقع شده اند (Aguiar et al., 2021) افزون بر بیماری سلیاک، که ناشی از نبود تحمل به گلوتن موجود در برخی غلات مانند گندم و جو است، بسیاری از بیماری ها و ناراحتی های گوارشی و حساسیت های مختلف را نیز به آن نسبت می دهند؛ امروزه مصرف محصولات بدون گلوتن با رشد و افزایش اقبال عمومی مواجه شده است و این گروه از محصولات بیشتر و بیشتر شناخته شده و در سبد غذایی

سیبزمینی به ترتیب از شرکت زر فروکتوز و شرکت آبا طعم پرشین تهیه شد. ایزوله پروتئین سویا و نخود از شرکت زرماکارون تهیه شد و ایزوله پروتئین کنجد از کنجاله کنجد به روش ساعتچی و همکاران (۲۰۱۹) تولید شد (Saatchi *et al.*, 2019) مونو گلیسرید، دی گلیسرید، زانتان و کربوکسی متیل سلولز از شرکت جهان شیمی و دیگر مواد شیمیایی از شرکت مرک<sup>۱</sup> تهیه شد.

### تهیه نان بدون گلوتن

انواع فرمولاسیون نان بدون گلوتن تهیه شده در این پروژه، در جدول ۱ آمده است. ابتدا نشاسته‌های سیبزمینی و ذرت در فرمول نان بدون گلوتن (مطابق فرمول های ۱ و ۲ در جدول ۱) استفاده شدند و ویژگی‌های هر دو فرمول بررسی شد. فرمول دارای نشاسته سیبزمینی، که ویژگی‌های آزمون شده مطلوب تری داشت، به عنوان پایه برای فرمولاسیون نان‌های بدون گلوتن دارای ایزوله پروتئین در نظر گرفته شد.

انواع ایزوله پروتئین به مقدار ۷ درصد به فرمول پایه افزوده شد. مواد در همزن Kenwood مدل Chef titanium روی دور ۳ (دور متوسط) به مدت ۵ دقیقه مخلوط و آب با دمای ۳۰ تا ۳۲ درجه سلسیوس به آن افزوده شد و پس از ۵ دقیقه هم‌زدن در دور ۳ همزن، خمیر آماده شد. صد گرم از خمیر در قالب‌های با قطر داخلی ۷۵ میلی‌متر و ارتفاع ۳۵ میلی‌متر ریخته شد. نمونه‌ها در دمای تخمیر ۳۳ تا ۳۵ درجه سلسیوس و به مدت ۵۰ دقیقه در گرمخانه (Memmert INE 400, Germany) تخمیر و پس از آن در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه در آون Memmert UF55 پخت شدند. نمونه‌ها پس از خنک‌شدن در کیسه‌های پلی‌پروپیلن بسته‌بندی و نگهداری شدند (Zorzi *et al.*, 2020).

آزمون‌ها در روز بعد از پخت روی نمونه‌ها اجرا و ویژگی‌های ظاهری، فیزیکی و شیمیایی آزمایش شدند و

مهمی دارند. انواع نشاسته‌ها با ویژگی‌های گوناگون مانند اندازه ذرات و سرعت آب‌گیری و غیره، تأثیر بسزایی بر ماندگاری و ویژگی‌های حسی و بافتی محصول نهایی دارند. درصد بالایی از فرمولاسیون نان‌های بدون گلوتن را نشاسته و آردهای کم پروتئین تشکیل می‌دهد، از این رو نان‌های بدون گلوتن، پروتئین و ارزش تغذیه‌ای کمتری نسبت به نان گندم دارند. میزان پروتئین در نان گندم نرم و سخت به ترتیب ۹٫۳۲ درصد و ۱۲٫۶ درصد محاسبه شده است (Siddiqi *et al.*, 2020). غنی‌سازی نان‌های بدون گلوتن، با پروتئین، روشی مناسب برای رفع این مشکل و نزدیک کردن ویژگی‌های این نوع فراورده‌ها به نان معمولی است.

ایزوله‌های پروتئین منابع تقریباً خالص پروتئین (خلوص بیش از ۹۰ درصد) و قابل استفاده در فرمولاسیون نان‌های فاقد گلوتن هستند. ایزوله پروتئین از فراورده‌های جانبی صنعت غذا، مانند کنجاله دانه‌های روغنی، استخراج و خالص‌سازی می‌شود. معمولاً کنجاله‌ها مقادیر زیادی فیبر انجلیل‌ناپذیر، لیگنین و نیز ترکیبات موثر در رنگ، طعم و بافت دارند و استفاده مستقیم آن‌ها تأثیر نامطلوبی در فراورده نهایی دارد. استخراج ایزوله‌های پروتئین از کنجاله‌ها و کاربرد آن‌ها در فرمول نان‌های بدون گلوتن به بهره‌وری بیشتر از منابع طبیعی و کاهش ضایعات صنایع غذایی کمک می‌کند (Aguiar *et al.*, 2021; Saatchi *et al.*, 2019).

هدف از اجرای این تحقیق، تعیین اثر استفاده از انواع نشاسته و ایزوله‌های پروتئینی بر ویژگی‌های نان بدون گلوتن و معرفی فرمول بهینه است.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

آرد برنج (ترخینه)، شکر (پردیس)، نمک (طلوع)، روغن آفتابگردان (لادن) و خمیرمایه (رضوی) از فروشگاه‌های محلی در کرج خریداری شد. نشاسته ذرت و نشاسته

بررسی اثر انواع نشاسته و ایزوله پروتئین بر ویژگی های کیفی و بافت سنجی نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج

ارزیابی حسی، آزمون بافت‌سنجی و رنگ‌سنجی بر روی (۱) نمونه‌های نان پخت‌شده صورت گرفت.  $x = \frac{A - B}{A} \times 100$  وزن چانه خمیر، و B وزن نان پخت شده است.

## روش های آزمون

### آزمون‌های نان بدون گلوتن

حجم نان با توزین اختلاف در جابه‌جایی حجم دانه‌های کلزا طبق رابطه (۲) اندازه‌گیری شد. ابتدا ظرف مناسب و به قطر بزرگ‌تر از قرص نان از دانه کلزا پر شد و با تخلیه دانه‌های کلزا در استوانه مدرج، حجم ظرف به دست آمد (A). نمونه نان در ظرف قرار گرفت و بقیه حجم ظرف از دانه کلزا پر شد. نان از ظرف خارج شد و دانه‌های کلزای ظرف به استوانه مدرج منتقل شد (B)؛ از اختلاف حجم اولیه ظرف و حجم دانه‌های کلزای مرحله دوم، حجم نان به دست آمد (Zorzi et al., 2020).

$$x = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (2)$$

A حجم اولیه ظرف، و B حجم ثانویه ظرف است.

### تخلخل و چگالی (دانسیته) سلولی

تخلخل و چگالی (دانسیته) سلولی نان‌های بدون گلوتن پس از گذشت ۲۴ ساعت از پخت با سیستم دوربین PenPix 2mg pixel و نرم افزار Porosity Visual Analyzer, ver.1.0, 2018 (Zorzi et al., 2020) اندازه‌گیری شد.

### رنگ سنجی بافت و پوسته (هانترلب)

درجه قرمزی، زردی و روشنی در رنگ بافت و مغز نان پس از گذشت ۲۴ ساعت از پخت با دستگاه رنگ‌سنج هانترلب<sup>۲</sup> (Color Flex Ez. Model No. 45/0, U.S.A.) برای فاکتورهای L\* (روشنی): درجه روشنائی<sup>۳</sup> نور از سفید تا سیاه)، a\* (+a: درجه قرمزی و -a: درجه سبزی) و b\* (+b: درجه زردی و -b: درجه آبی) تعیین شد (Sardabi et al., 2021).

آزمون‌های زیر روی نان‌های بدون گلوتن اجرا و نتایج خاکستر کل و پروتئین بر اساس درصد وزنی در ماده خشک محاسبه شد.

### آزمون رطوبت

پنج گرم از نمونه آسیاب‌شده مطابق با روش ISO 712 (2009)، با دستگاه رطوبت سنج Kett 600 برای آزمون درصد رطوبت نان استفاده شد.

### آزمون خاکستر کل

سه گرم از نمونه آسیاب شده، مطابق با روش ISO 2171 (2007)، ابتدا نمونه به طور کامل سوزانده و پس از آن در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شد. درصد خاکستر کل بر اساس مقدار خاکستر همراه با وزن کروزه منهای وزن کروزه خالی تقسیم بر وزن اولیه نمونه به دست آمد.

### آزمون پروتئین

درصد پروتئین کل در ۰/۵ تا ۱ گرم از نمونه آسیاب‌شده به روش کلدال (ISO 20483 (2006)، با محاسبه ضریب ۶/۲۵ آزمایش شد.

### افت وزن نان

درصد افت وزن نان از اختلاف وزن چانه خمیر به وزن نان پخت‌شده طبق رابطه (۱) به دست آمد. وزن نان پس از گذشت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (Zorzi et al., 2020).

4 - Lightness

2 - Hunter lab colorimeter

3 - Luminosity

بافت سنجی (TPA)<sup>۵</sup>

نرم‌افزار دستگاه به‌دست آمد (Haghighat-Kharazi and

Reza Kasaai, 2020)

نان‌های بدون گلوتن با دستگاه بافت‌سنج بروکفیلد (Brookfield CT3 -4500, MA. USA) بافت‌سنجی شدند.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نان بدون گلوتن پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان پخت نان‌ها توسط ۷ داور آموزش‌دیده و باتجربه (بین ۳۳ تا ۴۵ سال) دنبال شد. نان‌ها در ابعاد ۲۰ × ۲۰ × ۱۰ میلی‌متر برش خوردند و پس از کدگذاری، فاکتورهای کیفی شامل رنگ، بو، مزه، بافت و پذیرش کلی ارزیابی شدند. درجهٔ علاقه‌مندی برای هر ویژگی از نمونه‌ها بر اساس درجه‌بندی هدونیک پنج امتیازی<sup>۹</sup> بود (۱: کاملاً ناخوشایند، ۳: بدون هیچ گونه خوشایندی یا ناخوشایندی، ۵: کاملاً خوشایند) (Wójcik *et al.*, 2021).

نمونه‌ها از مرکز نان در ابعاد ۱۸ × ۱۸ × ۱۸ میلی‌متر پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت از زمان پخت، برای آزمون بافت‌سنجی برش داده شدند. نمونه‌ها تا ۵۰ درصد ارتفاع با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه در دو مرحله فشردن با پروب استوانه‌ای (TA-4 50 mm D, 20 mm L) فشرده شدند. فاکتورهای مورد بررسی شامل: الف) سختی<sup>۶</sup> که عبارت است از پیک اول حاصل از نیروی فشردن بر حسب نیوتن، ب) پیوستگی<sup>۷</sup> که نسبت نیروی مثبت ایجاد کنندهٔ پیک دوم در طول فشردن به نیروی مثبت فشردگی در پیک اول است و ج) فاکتور قابلیت جویده شدن<sup>۸</sup> که از ضرب کردن سه فاکتور سختی، فنریت و پیوستگی به دست می‌آید. فاکتورهای موردنظر به کمک

جدول ۱- فرمولاسیون نان بدون گلوتن

Table 1- Gluten free bread formulation

5	4	3	2	1	فرمول نان بدون گلوتن Gluten free bread formula
70	70	70	70	70	Rice flour
-	-	-	-	30	Corn starch
30	30	30	30	-	Potato starch
-	-	7	-	-	Soy PI
-	7	-	-	-	Sesame PI
7	-	-	-	-	Pea PI
2	2	2	2	2	Salt
2	2	2	2	2	Sugar
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	Yeast
5	5	5	5	5	Sunflower oil
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	Emulsifier
1	1	1	1	1	Stabilizer
110	110	110	100	100	<sup>۱</sup> Water

<sup>۱</sup> میزان آب افزوده شده بر اساس جذب آب در دستگاه میکسولب (Mixolab 1, Chopin Co.) برای رسیدن به ویسکوزیته ۱/۸ نیوتن. متر (+/- 0.05 Nm) محاسبه شده است.

<sup>۱</sup>Differences between water adsorption in dough was calculated by the Mixolab (Mixolab 1, Chopin Co.) to reach the goal viscosity: 1.1 Nm (+/- 0.05 Nm)

## تجزیه و تحلیل آماری

(ایزوله پروتئین سویا، کنجد و نخود) به فرمول نان های بدون گلوتن درصد پروتئین به طور معنی داری ( $p < 0.05$ ) افزایش پیدا می کند. از آن جا که محصولات بدون گلوتن از نظر مقدار پروتئین فقیر هستند، افزودن ایزوله های پروتئین می تواند در غنی سازی و افزایش ارزش غذایی آن ها روشی سودمند باشد. در زمینه اثر منابع پروتئینی و ایزوله های پروتئین در ارتقای ویژگی های تغذیه ای، کیفی، بافت و ارزیابی حسی نان های بدون گلوتن تحقیقات بسیاری شده است که از آن جمله افزودن آب پنیر (Korus, Komerowski *et al.*, 2021)، کلزا (Marchais *et al.*, 2021)، سویا (Bian *et al.*, 2022) (نخود (Marchais *et al.*, 2011) پروتئین سبوس برنج و اوالبومین تخم مرغ (Phongthai *et al.*, 2016) کارژین و آلومین (Storck *et al.*, 2013) و پروتئین جلبک های میکروسکوپی (Skendi *et al.*, 2021) را می توان نام برد که با نتایج به دست آمده از این پژوهش مطابقت دارند.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آنوای یک طرفه<sup>۱۱</sup> و مقایسه میانگین ها با آزمون توکی<sup>۱۱</sup> (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) در نرم افزار آماری مینی تب (Minitab v17.1) اجرا شد. شکلها به کمک نرم افزار اکسل (Microsoft Excel, 2013) رسم شدند.

## نتایج و بحث

### پروتئین و خاکستر فرمول های نان بدون گلوتن

نتایج به دست آمده از میزان پروتئین و خاکستر نان های بدون گلوتن حاصل از فرمول های مختلف در جدول ۲ آمده است. در این جدول مشخص است پروتئین فرمول های ۱ و ۲ با هم اختلاف معنی داری ندارند ولی اختلاف آن ها با دیگر فرمول ها معنی دار است، بر این اساس با افزودن پروتئین

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی، فرمول های مختلف از نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج

Table 2- Chemical composition, different formulas of gluten free bread base on rice flour

5	4	3	2	1	ویژگی specification
10.05 ± 0.07 <sup>a</sup>	10.18 ± 0.04 <sup>a</sup>	10.20 ± 0.03 <sup>a</sup>	4.32 ± 0.08 <sup>b</sup>	4.28 ± 0.05 <sup>b</sup>	(%)Protein
2.39 ± 0.05 <sup>b</sup>	2.62 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.58 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.55 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.50 ± 0.03 <sup>a</sup>	(%)Ash

مقادیر در هر ردیف با حروف متفاوت، دارای اختلاف آماری معنی دار است ( $p < 0.05$ ,  $n = 3$ )  
Different letters in each row means significant statistical difference ( $n = 3$ ,  $p < 0.05$ )

### افت وزن، حجم، تخلخل و دانسیته سلولی

فاقد ایزوله پروتئین، به طور معنی داری پایین تر بود که نشان دهنده قابلیت نگهداری بهتر رطوبت در این نان ها با افزودن ایزوله پروتئین است. بیشترین حجم نان را فرمول ۴ (نان دارای ایزوله پروتئین کنجد) داشت و کمترین آن نیز مربوط به فرمول ۱ است. بالا بودن حجم نان نشان دهنده تشکیل شبکه پروتئین- نشاسته و قابلیت نگهداری بهتر گازهای حاصل از تخمیر است. از آن جا که نان های بدون گلوتن فاقد شبکه گلوتنی موجود در نان گندم هستند، سعی

افت وزن نان های بدون گلوتن در فرمول های مختلف، دارای اختلاف آماری معنی دار است. بیشترین افت وزن در فرمول ۱ (نان دارای نشاسته ذرت) مشاهده شد و به دنبال آن فرمول ۲ (نان دارای سیب زمینی) بود. کمترین مقدار افت وزن مربوط به فرمول ۴ (نان دارای نشاسته سیب زمینی و ایزوله پروتئین کنجد) بود. البته افت وزن نان در نمونه های دارای ایزوله های پروتئین، نسبت به نان های

11 - Tukey's multiple range test

10 - One-way ANOVA

### بافت سنجی

نتایج آزمون بافت سنجی و مقادیر رطوبت در جدول ۴ آمده است. مشخص شد که افزودن پروتئین در مقادیری مشخص می‌تواند سختی نان را کاهش دهد که در تحقیق ما فرمول‌های نان حاوی ۷ درصد ایزوله پروتئین این نتیجه را به خوبی در پی داشته است. ظرفیت نگهداری آب پروتئین می‌تواند در کاهش سختی نان تأثیرگذار باشد و البته این تأثیر وابسته به میزان پروتئین افزوده شده است، زیرا در مقادیر دیگر ممکن است تأثیر معکوسی بر نتایج سختی بگذارد. پس از گذشت ۴۸ ساعت از زمان پخت، سختی در نان‌های با فرمول ۱ و ۲ افزایش معنی‌داری یافته است اما در نمونه‌های ایزوله پروتئین کنگد و نخود، به طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) پایین‌تر است. کمترین میزان سختی مربوط به نمونه نان فرمول ۴ پس از گذشت ۴۸ ساعت از زمان پخت است. سختی نان فرمول ۳ در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از پخت تغییر معنی‌داری ( $p > 0.05$ ) ندارد. فارلن و همکاران (Furlán *et al.*, 2015) مقادیر مختلفی از پروتئین پلاسمای گاوی را در فرمول نان آزمایش کردند و نشان دادند تیمارهای تا ۱٫۵ درصد با کاهش سختی و مقادیر بیشتر (۳٫۵ درصد) با افزایش سختی نان غنی‌شده همراه است. سریکانلایا و همکاران (Srikanlaya *et al.*, 2018) با افزودن ترکیبی از هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و کنسانتره آب‌پنیر یا ایزوله پروتئین سویا به نان بر پایه برنج مشاهده کردند که سختی به طور معنی‌داری از ۵٫۲۴ نیوتن به ۷٫۶۹ نیوتن افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل افزایش ظرفیت پیوند آبی و ویژگی‌های پایداری در خمیر نان برنج باشد. برای اندازه‌گیری میزان بیاتی نان می‌توان از بررسی سختی نان طی زمان استفاده کرد. سختی نان با حذف آب در هنگام بیاتی (رتروگراده شدن) نشاسته افزایش می‌یابد که نتیجه آن حذف آب از بافت داخلی نان و انتقال به پوسته نان است (Zorzi *et al.*, 2020)

می‌شود تا ساختاری مشابه را با استفاده از انواع هیدروکلئیدها و پروتئین‌ها در نان‌های بدون گلوتن ایجاد کنند تا افزون بر ویژگی‌های ظاهری مشابه نان گندم، بافتی نرم و ماکول پدید آید که جویده شدن بهتر و سختی کمتری داشته باشد. در این تحقیق، بهترین نمونه فرمول ۴ بود با ایزوله پروتئین کنگد بر پایه آرد برنج و نشاسته سیب‌زمینی. تخلخل را درصد حجم حفره به حجم نان و چگالی (دانسیته) سلولی را نسبت تعداد حفره‌ها در کل سطح برش بر حسب سانتی‌مترمربع تعریف کرده‌اند. بیشترین تخلخل مربوط به نان فرمول ۱ و کمترین آن مربوط به فرمول ۴ است. در همه نمونه‌های غنی‌شده با ایزوله پروتئین در مقادیر ۷ درصد وزنی، کاهش تخلخل و افزایش چگالی (دانسیته) سلولی نسبت به شاهد دیده می‌شود. این نتایج می‌تواند نشانگر یکنواختی بافت نان و کیفیت بهتر محصول تولیدی باشد که عوامل گوناگونی مانند پذیری، ظرفیت نگهداری آب، ساختار شیمیایی پروتئین و ظرفیت نگهداری گازهای حاصل از تخمیر در آن دخیل هستند (Zorzi *et al.*, 2020).

تحقیقات روی نان گندم نشان می‌دهد که با اصلاح ساختار پروتئین دو فاکتور تخلخل افزایش و دانسیته سلولی کاهش یافته است (Gu *et al.*, 2022). تحقیق دیگر بیانگر آن است که آرد با کیفیت پروتئین متوسط نسبت به کیفیت‌های پایین یا بالای پروتئین، موجب افزایش تخلخل در بافت نان می‌شود (Kamaliroosta *et al.*, 2016).

در تحقیق دیگری روی حجم مخصوص نان برنجی مشخص شد که در مقایسه با حجم مخصوص نان گندم (۳٫۶۶ میلی‌لیتر بر ۱۰۰ گرم)، نان برنجی حجم مخصوص بسیار پایین‌تر دارد (۱٫۶۵ میلی‌لیتر بر ۱۰۰ گرم). افزودن ترکیبی از هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، حجم مخصوص نان برنجی را بهبود نمی‌دهد و افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و ایزوله پروتئین سویا حجم مخصوص نان برنجی را کاهش می‌دهد (Srikanlaya *et al.*, 2018).

بررسی اثر انواع نشاسته و ایزوله پروتئین بر ویژگی های کیفی و بافت سنجی نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج

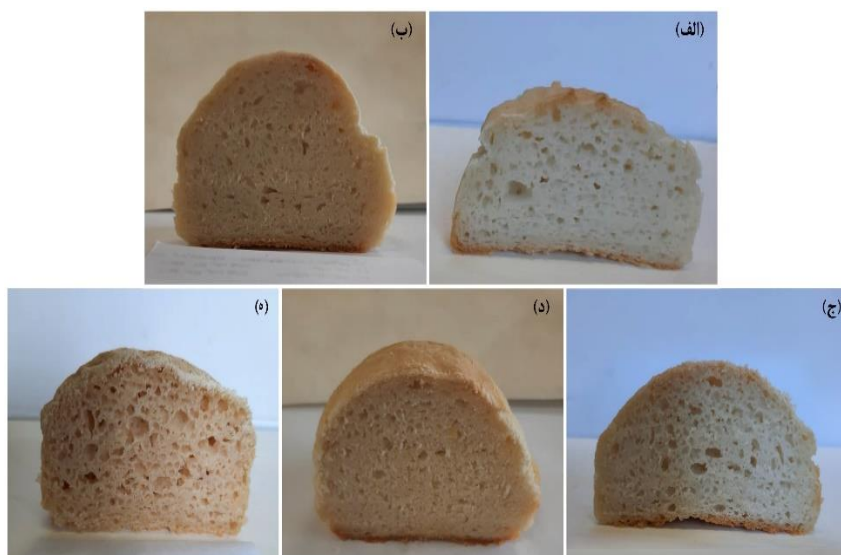
جدول ۳- افت وزن، حجم، تخلخل و چگالی (دانسیته) سلولی فرمول های مختلف نان بدون گلوتن

Table 3 - Weight loss, porosity and cell density gluten free bread formulas

دانسیتة سلولی Cell density (cell/cm <sup>2</sup> )	تخلخل Porosity (%)	حجم نان Bread volume (mg/100g)	افت وزن Weight loss (%)	تیمار Treatment
54.80 ± 0.37 <sup>e</sup>	45.20 ± 0.32 <sup>a</sup>	133.50 ± 2.3 <sup>e</sup>	16.69 ± 0.32 <sup>a</sup>	1
56.35 ± 0.35 <sup>d</sup>	43.65 ± 0.44 <sup>b</sup>	138.10 ± 3.4 <sup>d</sup>	±16.13 0.35 <sup>b</sup>	2
57.37 ± 0.65 <sup>c</sup>	42.63 ± 0.89 <sup>c</sup>	142.30 ± 2.7 <sup>c</sup>	±12.41 0.25 <sup>d</sup>	3
±58.89 0.79 <sup>a</sup>	41.11 ± 0.75 <sup>e</sup>	149.50 ± 2.5 <sup>a</sup>	±11.59 0.42 <sup>e</sup>	4
58.28 ± 0.77 <sup>b</sup>	41.72 ± 0.81 <sup>d</sup>	145.60 ± 4.2 <sup>b</sup>	12.80 ± 0.22 <sup>c</sup>	5

مقادیر هر ستون با حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار است (p<0.05, n=3).

Different letters in each column indicate the statistically significant difference (p<0.05, n=3).



شکل ۱- تصویرهای نان های بدون گلوتن با فرمول های مختلف. نان بدون گلوتن با نشاسته ذرت (الف)، نان بدون گلوتن با نشاسته سیب زمینی (ب)، نان بدون گلوتن با نشاسته سیب زمینی و ایزوله پروتئین سویا (ج)، نان بدون گلوتن با نشاسته سیب زمینی و ایزوله پروتئین کنجد (د)، نان بدون گلوتن با نشاسته سیب زمینی و ایزوله پروتئین نخود (ه)

Figure 1- Pictures of gluten-free breads with different formulas. Gluten-free bread with corn starch (a), gluten-free bread with potato starch (b), gluten-free bread with potato starch and soy protein isolate (c), gluten-free bread with potato starch and sesame protein isolate (d), gluten-free bread with potato starch and pea protein isolate (e)

قابلیت جویدن با گذشت ۲۴ و ۴۸ ساعت از پخت نان بدون گلوتن بررسی شد. قابلیت جویدن در نمونه های نان بدون ایزوله های پروتئین (فرمول ۱ و ۲) به طور معنی داری بالاتر است تا در فرمولاسیون های دارای ایزوله پروتئین، و بیشترین کار جویدن در نمونه با فرمول ۱ و پس از ۲۴ ساعت مشاهده شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت از پخت نان ها، در کلیه فرمول ها کاهش معنی داری در قابلیت جویدن نسبت به زمان ۲۴ ساعت مشاهده شد. پس از ۴۸ ساعت کمترین کار جویدن مربوط به فرمول ۴ بود و به دنبال آن نان فرمول ۵ جای داشت. طی ۲۴ ساعت از پخت نان ها، بیشترین پیوستگی در نمونه های نان بدون گلوتن دارای ۷ درصد ایزوله پروتئین کنجد مشاهده شد و پس از ۴۸ ساعت از پخت نیز بیشترین پیوستگی در نان بدون گلوتن دارای ۷ درصد ایزوله پروتئین کنجد دیده شد. کمترین پیوستگی مربوط به فرمول های ۱ و ۲ در زمان ۴۸ ساعت پس از پخت مشاهده شد. در تحقیق

زورزی و همکاران (Zorzi et al., 2020). نیز با گذشت زمان، است. این اختلاف در نمونه‌های نان پس از گذشت ۲۴ ساعت پیوستگی در نمونه‌های شاهد کاهش یافت و کاهشی اندک یا بدون کاهش در پیوستگی در نمونه‌های دیگر مشاهده شد. (Zorzi et al., 2020) نیز با افزودن کنسانتره پروتئین آفتابگردان به میزان ۱۰ درصد، افزایشی قابل توجه در رطوبت و میزان پروتئین مشاهده شد. ووچیک و همکاران Wójcik (et al., 2021) گزارش داده‌اند که افزایش پودر پروتئین نخودسبز از صفر تا ۲۵ درصد رطوبت نان را از ۵۳٫۴ درصد تا ۵۷٫۲ درصد افزایش می‌دهد. ( $p < 0.05$ )

جدول ۴- آنالیز TPA، میزان رطوبت در فرمول‌های مختلف نان‌های بدون گلوتن

Table 4 - TPA analysis, moisture content in gluten free bread formulas

رطوبت Moisture (%)	پیوستگی Cohesiveness	قابلیت جویدن Chewiness (mj)	سختی Hardness (N)	زمان ماندگاری Shelf life	تیمار Treatment
±44.02 0.11 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>d</sup>	±71.46 11.04 <sup>a</sup>	38/36 ± 5.24 <sup>c</sup>		1
44.07 ± 0.10 <sup>a</sup>	±0.33 0.02 <sup>d</sup>	67.95 ± 10.52 <sup>b</sup>	37.11 ± 2.64 <sup>d</sup>	24 h	2
±44.17 0.13 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.02 <sup>b</sup>	55.89 ± 12.35 <sup>e</sup>	34.59 ± 4.31 <sup>e</sup>	after	3
44.20 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.01 <sup>a</sup>	52.60 ± 12.73 <sup>g</sup>	33.47 ± 4.16 <sup>h</sup>	baking	4
44.22 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>ab</sup>	54.18 ± 9.78 <sup>f</sup>	±34.35 3.71 <sup>f</sup>		5
38.85 ± 0.16 <sup>e</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>e</sup>	57.40 ± 12.35 <sup>c</sup>	40.03 ± 4.17 <sup>a</sup>		1
38.92 ± 0.13 <sup>e</sup>	0.26 ± 0.02 <sup>e</sup>	56.19 ± 10.88 <sup>d</sup>	38.74 ± 5.06 <sup>b</sup>	48 h	2
41.62 ± 0.17 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>cd</sup>	49.43 ± 9.12 <sup>h</sup>	34.66 ± 4.50 <sup>e</sup>	after	3
41.78 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.03 <sup>c</sup>	48.25 ± 13.38 <sup>j</sup>	32.81 ± 3.69 <sup>i</sup>	baking	4
41.67 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>cd</sup>	48.63 ± 12.52 <sup>i</sup>	34.02 ± 3.48 <sup>g</sup>		5

مقادیر هر ستون با حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی دار است ( $p < 0.05$ ,  $n = 3$ ).

Different letters in each column indicate the statistically significant difference ( $p < 0.05$ ,  $n = 3$ ).

روشنایی ( $L^*$ ) نسبت به نان‌های فرمول ۱ و ۲ مشاهده شده است و نیز بیشترین افت روشنایی در نان حاوی ۷ درصد ایزوله پروتئین سویا و پس از آن ایزوله پروتئین نخود دیده شده است که به وضوح نشان‌دهنده افزایش رنگدانه‌ها در این دو فرمول (فرمول ۳ و ۵) است. در همه نمونه‌های نان، رنگ پوسته تمایلی به رنگ قرمز ( $a^*$ ) دارد و در مغز و پوسته نان، کاهش در فاکتور روشنایی دیده شده که به دلیل تولید ترکیبات تیره رنگ حاصل از واکنش میلارد در پخت نان است (Shen, et al., 2019, Nooshkam et al., 2020).

#### رنگ‌سنجی مغز و پوسته

نتایج رنگ‌سنجی مغز و پوسته نان بدون گلوتن با فرمول‌های متنوع در شکل ۲- الف و ۲- ب نشان داده شده است. بافت نان‌های فرمول ۱ و ۲ تمایل ضعیفی به رنگ سبز نشان داده‌اند ( $-a^*$ ) در حالی که با افزودن ایزوله پروتئین هم در مغز و هم پوسته نان‌ها تمایل به رنگ قرمز ( $+a^*$ ) است. در میان فرمول‌های نان بدون گلوتن، فرمول ۳ (دارای ایزوله پروتئین سویا) بالاترین میزان رنگ قرمز را ( $p < 0.05$ ) دارد. در پوسته و بافت نان‌های حاوی ایزوله‌های پروتئین، کاهش معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در میزان

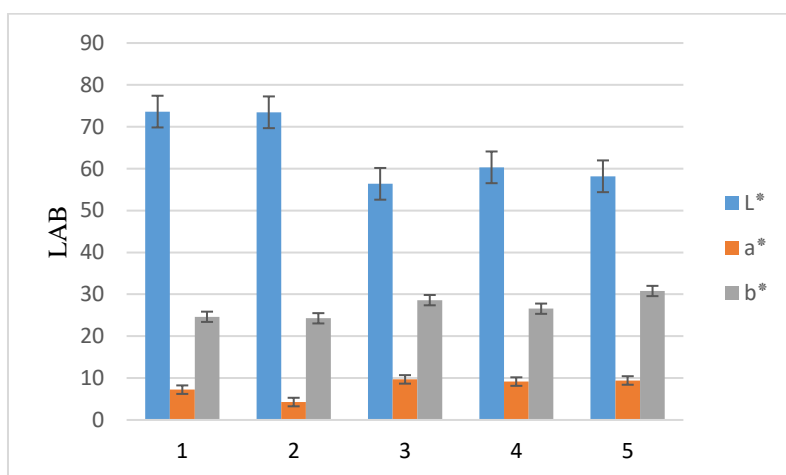
## بررسی اثر انواع نشاسته و ایزوله پروتئین بر ویژگی های کیفی و بافت سنجی نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج

وجود رنگدانه در ایزوله های پروتئین فرمول نان های بدون گلوتن تأثیر معنی داری بر ویژگی های رنگ محصول نهایی خواهد داشت زیرا علاوه بر اثر مستقیم این رنگدانه ها، به دلیل مشارکت پروتئین ها در واکنش های میلارد، موجب افزایش رنگ فرآورده نهایی می شوند. محققان دیگر نیز گزارش کرده اند که تیمارهای حاوی پروتئین آفتابگردان (Zorzi *et al.*, 2020) و جلبک های میکروسکوپی (Khemiri *et al.*, 2020) افزایش معنی داری در فاکتورهای قرمزی مغز نان و پوسته و کاهش معنی داری در روشنی مغز و پوسته نان

### ارزیابی حسی

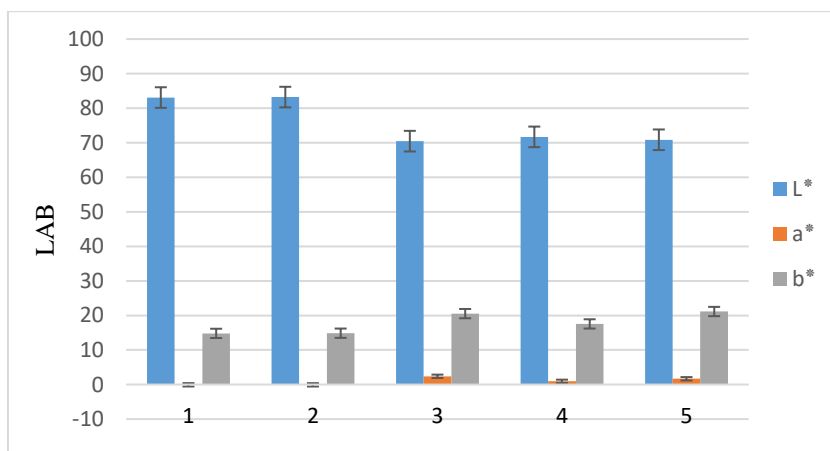
داشتند که به دلیل رنگ تیره کنسانتره پروتئین آفتابگردان و ترکیب جلبک بوده است. در ارزیابی حسی نمونه ها (شکل ۳)، بالاترین امتیاز رنگ را فرمول ۳ (دارای ایزوله پروتئین سویا) و بالاترین امتیاز مزه را فرمول ۴ (دارای ایزوله پروتئین کنجد) داشته اند. بالاترین امتیاز بو و بافت نیز متعلق به فرمولاسیون های ۳ و ۴ است.

وجود رنگدانه در ایزوله های پروتئین فرمول نان های بدون گلوتن تأثیر معنی داری بر ویژگی های رنگ محصول نهایی خواهد داشت زیرا علاوه بر اثر مستقیم این رنگدانه ها، به دلیل مشارکت پروتئین ها در واکنش های میلارد، موجب افزایش رنگ فرآورده نهایی می شوند. محققان دیگر نیز گزارش کرده اند که تیمارهای حاوی پروتئین آفتابگردان (Zorzi *et al.*, 2020) و جلبک های میکروسکوپی (Khemiri *et al.*, 2020) افزایش معنی داری در فاکتورهای قرمزی مغز نان و پوسته و کاهش معنی داری در روشنی مغز و پوسته نان



شکل ۱- الف ارزیابی رنگ پوسته در فرمول های مختلف از نان بدون گلوتن

Fig.1-a Crust color evaluation in different formulas of gluten-free bread

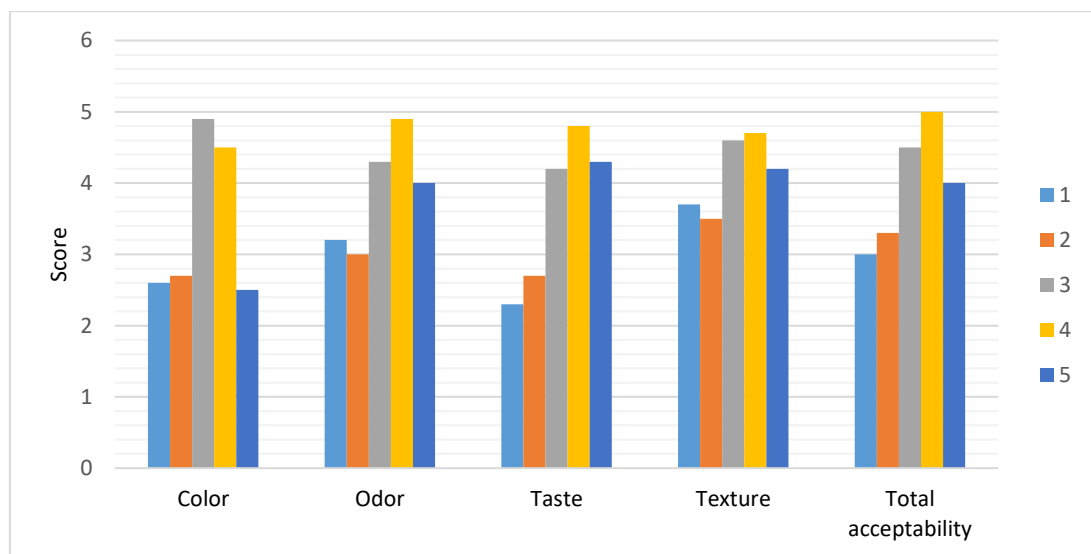


شکل ۱- ب ارزیابی رنگ بافت مغز نان در فرمول های مختلف از نان بدون گلوتن

Fig. 1-b Crumb color evaluation in different formulas of gluten-free bread

بیشترین امتیاز پذیرش کلی مربوط به نان حاوی ۷ درصد ایزوله پروتئین کنجد یا همان فرمول ۴ است ( $p < 0.05$ ). کمترین امتیاز پذیرش کلی از آن فرمول ۱ است. در دیگر ویژگی‌های ارزیابی حسی فرمول‌های ۱ و ۲، به جز ویژگی مزه امتیاز یکسانی دریافت کرده‌اند. ایزوله‌های پروتئین در فرمول نان‌های غنی‌شده موجب افزایش واکنش میلارد و در نتیجه افزایش رنگ نان شده است. بدین ترتیب که واکنش‌های میلارد ترکیبات

ملانوئیدین را در نان بوجود می‌آورد که رنگدانه‌های قهوه‌ای حاصل از ادغام ترکیبات میلارد هستند و این رنگدانه‌ها موجب افزایش رنگ پوسته و بافت می‌شوند (Shen *et al.*, 2019). بهبود طعم می‌تواند مستقیماً مربوط به افزودن ایزوله‌های پروتئین باشد که به‌هنگام پخت نان در واکنش استرکر وارد شده‌است و با تولید ترکیبات ویژه عطر و طعم ویژگی‌های طعم نان بدون گلوتن را بهبود داده‌اند (de Oliveira *et al.*, 2016, Shen *et al.*, 2019).



شکل ۲- ارزیابی حسی فرمول‌های مختلف نان بدون گلوتن

Fig. 2- Sensory evaluation of different formulas of gluten-free bread

گلوتن در نظر گرفته شد و نتایج این کار نشان داد که انتخاب نوع نشاسته در بهبود ویژگی‌های کیفی و بافتی نان‌های فاقد گلوتن تأثیرگذار است. افزودن ایزوله‌های پروتئین از منابع مختلف سویا، کنجد و نخود نیز علاوه بر غنی‌سازی نان بدون گلوتن در کاهش ویژگی‌های منفی و بهبود کیفیت بافت، ویژگی‌های حسی و ماندگاری نان‌های فاقد گلوتن اثرهای غیرقابل انکاری داشته‌اند. این تحقیق همچنین نشان داد که انتخاب نوع ایزوله پروتئین به‌کار رفته در فرمول نان‌های بدون گلوتن تأثیرات مثبت معنی‌داری بر ویژگی‌های کیفی نان بدون گلوتن خواهد گذاشت.

## نتیجه گیری

نان‌های بدون گلوتن، در مقایسه با نان گندم، رنگ کمتر، طعم ضعیف‌تر، بافت سفت و متراکم‌تر و نیز ماندگاری کوتاه‌تری دارند. حفظ آب در بافت و کاهش بیاتی (رتروگراداسیون) نشاسته موجب افزایش زمان ماندگاری می‌شود. ویژگی‌های رنگ، مزه و بو در نان‌های بدون گلوتن نیز با افزایش واکنش‌های میلارد قابل ارتقا است و همچنین ویژگی‌های بافت سنجی با انتخاب اجزای فرمولاسیون مناسب قابل اصلاح خواهد بود. در این تحقیق دو نوع نشاسته (نشاسته ذرت و نشاسته سیب‌زمینی) به‌عنوان یکی از ترکیبات پایه فرمول نان بدون

## تعارض منافع

نویسندگان در زمینه انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار جعل داده ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده اند و منافع تجاری در این راستا ندارند.

## مراجع

- Aguiar, E. V., Santos, F. G., Centeno, A. C. L. S., & Capriles, V. D. (2022). Defining amaranth, buckwheat and quinoa flour levels in gluten-free bread: A simultaneous improvement on physical properties, acceptability and nutrient composition through mixture design. *Foods*, 11(6), 848.
- Aguiar, E. V., Santos, F. G., Krupa-Kozak, U., & Capriles, V. D. (2023). Nutritional facts regarding commercially available gluten-free bread worldwide: Recent advances and future challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(5), 693-705.
- Ayo-Omogie, H. N. (2021). Gluten-reduced sweet potato-wheat bread: Influence of fermented sweet potato flour addition on bread quality and dough rheology. *Journal of Culinary Science & Technology*, 19(3), 187-213.
- Bian, X., Xing, T. L., Yang, Y., Fan, J., Ma, C. M., Liu, X. F., ... & Zhang, N. (2023). Effect of soy protein isolate on physical properties of quinoa dough and gluten-free bread quality characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(1), 118-124.
- De Oliveira, F. C., Coimbra, J. S. D. R., de Oliveira, E. B., Zuñiga, A. D. G., & Rojas, E. E. G. (2016). Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the Maillard reaction: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(7), 1108-1125.
- Franco, W., Evert, K., & Van Nieuwenhove, C. (2021). Quinoa flour, the germinated grain flour, and sourdough as alternative sources for gluten-free bread formulation: Impact on chemical, textural and sensorial characteristics. *Fermentation*, 7(3), 115.
- Furlán, L. T. R., Padilla, A. P., & Campderrós, M. E. (2015). Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*, 170, 257-264.
- Gu, M., Hong, T., Ma, Y., Xi, J., Zhao, Q., Xu, D., ... & Xu, X. (2022). Effects of a commercial peptidase on rheology, microstructure, gluten properties of wheat dough and bread quality. *Lwt*, 160, 113266.
- Gui, Y., Chen, G., Tian, W., Yang, S., Chen, J., Wang, F., & Li, Y. (2022). Normal rice flours perform better in gluten-free bread than glutinous rice flours. *Journal of Food Science*, 87(2), 554-566.
- Haghighat-Kharazi, S., Reza Kasai, M., Milani, J. M., & Khajeh, K. (2020). Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. *Food Science & Nutrition*, 8(11), 5888-5897.
- Kamaliroosta, L., Seyedian Ardebili, M., Asadi, G. H., Ghiassi Tarzi, B., & Azizinejad, R. (2016). Evaluation and comparison of qualitative properties of lavash bread types during storage by different techniques. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(1), 57-70.
- Khemiri, S., Khelifi, N., Nunes, M. C., Ferreira, A., Gouveia, L., Smaali, I., & Raymundo, A. (2020). Microalgae biomass as an additional ingredient of gluten-free bread: Dough rheology, texture quality and nutritional properties. *Algal Research*, 50, 101998.
- Komeroski, M. R., Homem, R. V., Schmidt, H. D. O., Rockett, F. C., de Lira, L., da Farias, D. V., ... & de Oliveira, V. R. (2021). Effect of whey protein and mixed flours on the quality parameters of gluten-free breads. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100361.
- Korus, J., Chmielewska, A., Witczak, M., Ziobro, R., & Juszczak, L. (2021). Rapeseed protein as a novel ingredient of gluten-free bread. *European Food Research and Technology*, 247(8), 2015-2025.
- Kurek, M. A., Onopiuk, A., Pogorzelska-Nowicka, E., Szpicer, A., Zalewska, M., & Póltorak, A. (2022). Novel protein sources for applications in meat-alternative products—Insight and challenges. *Foods*, 11(7), 957.

- Des Marchais, L. P., Foisy, M., Mercier, S., Villeneuve, S., & Mondor, M. (2011). Bread-making potential of pea protein isolate produced by a novel ultrafiltration/diafiltration process. *Procedia Food Science, 1*, 1425-1430.
- Nooshkam, M., Varidi, M., & Verma, D. K. (2020). Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: A review. *Food Research International, 131*, 109003.
- Phongthai, S., D'Amico, S., Schoenlechner, R., & Rawdkuen, S. (2016). Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science, 72*, 38-45.
- Rostamian, M., Milani, J. M., & Maleki, G. (2014). Physical properties of gluten-free bread made of corn and chickpea flour. *International Journal of Food Engineering, 10*(3), 467-472.
- Saatchi, A., Kiani, H., & Labbafi, M. (2019). A new functional protein-polysaccharide conjugate based on protein concentrate from sesame processing by-products: Functional and physico-chemical properties. *International journal of biological macromolecules, 122*, 659-666.
- Sanchez, H. D., Osella, C. A., & De La Torre, M. A. (2002). Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. *Journal of food science, 67*(1), 416-419.
- Sardabi, F., Azizi, M. H., Gavlighi, H. A., & Rashidinejad, A. (2021). The effect of Moringa peregrina seed husk on the in vitro starch digestibility, microstructure, and quality of white wheat bread. *LWT, 136*, 110332.
- Siddiqi, R. A., Singh, T. P., Rani, M., Sogi, D. S., & Bhat, M. A. (2020). Diversity in grain, flour, amino acid composition, protein profiling, and proportion of total flour proteins of different wheat cultivars of North India. *Frontiers in Nutrition, 7*, 141.
- Shen, Y., Tebben, L., Chen, G., & Li, Y. (2019). Effect of amino acids on Maillard reaction product formation and total antioxidant capacity in white pan bread. *International Journal of Food Science & Technology, 54*(4), 1372-1380.
- Skendi, A., Papageorgiou, M., & Varzakas, T. (2021). High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. *Foods, 10*(9), 1997.
- Srikanlaya, C., Therdthai, N., Ritthiruandej, P., & Zhou, W. (2018). Effect of hydroxypropyl methylcellulose, whey protein concentrate and soy protein isolate enrichment on characteristics of gluten-free rice dough and bread. *International Journal of Food Science & Technology, 53*(7), 1760-1770.
- Storck, C. R., da Rosa Zavareze, E., Gularte, M. A., Elias, M. C., Rosell, C. M., & Dias, A. R. G. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *LWT-Food Science and Technology, 53*(1), 346-354.
- Wójcik, M., Różyło, R., Schönlechner, R., & Berger, M. V. (2021). Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports, 11*(1), 14498.
- Zorzi, C. Z., Garske, R. P., Flôres, S. H., & Thys, R. C. S. (2020). Sunflower protein concentrate: A possible and beneficial ingredient for gluten-free bread. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 66*, 102539.



*Original Research*

## **Study on the effect of different types of starch and protein isolate on the quality characteristics and texture analysis of gluten-free rice flour- based bread**

**M. Mohammadi\* , F. Dastmalchi, Gh. Askari, H. Kiani**

**\*Corresponding Author:** Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

**Email:** maryam.mohamady@ut.ac.ir

**Received:** 5 November 2022 **Accepted:** 27 September 2022

**http://doi:** [10.22092/FOODER.2024.360144.1344](https://doi.org/10.22092/FOODER.2024.360144.1344)

### **Abstract**

Gluten-free breads based on flour and starch have low quality in terms of textural and sensory characteristics as well as nutritional value. Using two types of starch (corn and potato starch) and three types of plant protein isolate (sesame, soy and pea), studies were conducted to find the best gluten-free bread formulation with appropriate textural, sensory and nutritional quality. In the first stage, between corn and potato starch, the formula with potato starch had a higher volume, lower weight loss and higher porosity. In the second stage, among the three formulations with different protein isolates, the bread with 7% sesame protein isolate had lower hardness and chewiness and higher cohesiveness 24 and 48 hours after baking. For all sensory evaluation factors using a 5-point hedonic scale except color ( $4.5 \pm 0.8$ ), bread with sesame isolate had a higher rating, and only bread with soy protein isolate had a higher color rating ( $4.9 \pm 0.7$ ). The colorimetric characteristics, protein content, decrease in weight loss and moisture content of gluten-free bread increased significantly ( $P < 0.05$ ) with the addition of protein isolate compared to bread formulas without protein isolate.

**Keywords:** gluten-free bread, starch, protein isolate, texture analysis, formulation