

Effect of hydrothermal/dry heating and particle sizes of rice flour on quality of gluten-free bread

Ali Hashemi Shektai¹, Jafar Mohammadzadeh Milani², Ali Motamedzadegan², Sepideh Haghghat- Kharazi³

1. M.Sc. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran.

3. Ph.D. of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Email: jmilany@yahoo.com

Introduction

Due to the low amount of prolamin, rice flour is the most suitable raw material for preparing food for patients with celiac disease. Particle size classification and thermal treatments are among the physical methods to improve the functional characteristics of gluten-free flours and as a result, improve the quality of the products obtained from them. Particle size can increase the quality of gluten-free products by affecting the physicochemical properties of flour during hydration. Dry heat treatment and moist heat treatment are common techniques for physical modification which, depending on the intensity of temperature and storage time, lead to the improvement of gluten-free products by modifying starch grains, aroma, and flavor, and reducing microbial load. Considering that the effect of rice flour particle size on the quality of gluten-free bread has not been studied so far, in the current research, by dividing rice flour into particles with sizes of 180, 150, and 125 microns and using moist and dry heat treatment, it is possible to improve the functional characteristics of rice flour and improve the quality characteristics of gluten-free bread were investigated.

Materials and Methods

The content of moisture, pH, ash, and protein of rice flour was measured using AACC standard method (2000) and the total amount of starch was measured by the alkaline extraction method and the amount of starch damage was measured by non-enzymatic rapid method. To classify the size of the particles, waxy rice flour was divided by a shaker sieve with different sizes of 180, 150, and 125 microns, then under the influence of dry heat treatment for 2 hours and moist heat treatment with humidity, 25% for 5 hours at a temperature of 110 degrees Celsius was placed. To produce gluten-free bread, the formulation used by Haghghat- Kharazi in 2020 was used with a slight change. Ingredients for gluten-free bread formulation for

100 grams of rice flour included 125 ml of water, 4.5 grams of sugar, 2 grams of salt, 6 grams of vegetable oil, 3 grams of yeast, and 2 grams of xanthan gum. Bread tests, which include weight loss, specific volume, oven spring, Crumb crust ratio Shape index, porosity, crust and Crumb color, and bread texture analysis were studied to evaluate the quality of bread. Finally, the factorial test was used to investigate the effects of particle size and heat treatment of rice flour, and Duncan's multiple range test was used to compare the means at the 5% probability level.

Results and Discussions

The results showed that the effect of particle size on weight loss, specific volume, oven spring, Crumb to crust ratio, crust, and Crumb color parameters, and bread texture was not significant ($p>0.05$). Regarding the sample volume index, C80 and DHT120 significantly had the lowest volume index ($p<0.05$). The HMT80-treated sample significantly increased the weight loss, and the moist heat-treated samples significantly increased the specific volume and the core to shell Crumb ($p<0.05$). In this study, the sample treated with HMT 120 had the highest volume index. moist heat treatment and dry heat significantly led to a decrease in brightness and an increase in the yellowness of the crust and Crumb of the bread compared to the control sample, but there was no change in the amount of redness ($p<0.05$). Moist heat treatment samples had the lowest hardness and Chewiness in this research compared to the control sample and the dry heat treatment sample. In general, the sample obtained from 125-micron particles and moist heat treatment led to the improvement of gluten-free bread quality.

Keywords: Waxy rice, Gluten-free bread, Celiac disease, Physical modification

تأثیر حرارت دهی خشک و مرطوب و اندازه ذرات آرد برنج بر کیفیت نان بدون گلوتن

علی هاشمی شکتایی^۱، جعفر محمد زاده میلانی^۲، علی معتمدزادگان^۲، سپیده حقیقت خرازی^۳

۱- دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳- دانش آموخته مقطع دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

چکیده

تیمار حرارتی (خشک و مرطوب) از جمله روش های فیزیکی جهت اصلاح ویژگی های عملکردی آرد های بدون گلوتن و بهبود کیفیت محصولات حاصل از آن ها می باشد. طبیعتاً تأثیر حرارت متاثر از اندازه ذرات حرارت دهی شده است. در این پژوهش، آرد برنج واکسی در اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰ و ۱۲۵) میکرون تحت تأثیر تیمار حرارتی خشک به مدت ۲ ساعت و تیمار حرارتی مرطوب (رطوبت، %۲۵) به مدت ۵ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی میزان آسیب دیدگی نشاسته آرد برنج و خصوصیات کیفی نان بدون گلوتن از قبیل درصد افت وزنی، حجم مخصوص نان، اندیس های شکل، آون اسپرینگ، رنگ مغز و پوسته و بافت نان مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تیمارهای حرارتی خشک و مرطوب بطور معنی دار منجر به کاهش میزان آسیب دیدگی نشاسته شدند. تأثیر اندازه ذرات بر افت وزنی، اندیس تقارن و یکنواختی، آون اسپرینگ و رنگ مغز و پوسته معنی دار نبود، اما تیمار حرارتی مرطوب نمونه حاصل از اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون افت وزنی را در طی پخت افزایش داد. تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج منجر به افزایش حجم مخصوص، نسبت مغز به پوسته، اندیس حجم، تیرگی و زردی پوسته و مغز نان حاصل شد، در حالیکه میزان سفتی و قابلیت جویدن نمونه ها را کاهش داد. بطور کلی نمونه حاصل از ذرات ۱۲۵ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب منجر به بهبود کیفیت نان بدون گلوتن شد.

کلمات کلیدی: برنج واکسی، اصلاح فیزیکی، نان بدون گلوتن، بیماری سلیاک

مقدمه

آرد برنج یکی از مناسب ترین آردهای غلات برای تهیه غذای بیماران مبتلا به بیماری سلیاک است. مناسب بودن آرد برنج به دلیل سطح پایین پرولامین آن در مقایسه با آرد گندم است (Kim, 2013). برنج واکسی برخلاف سایر انواع برنج دارای بافتی نرم، چسبناک و احساس دهانی بهتر است. آرد برنج واکسی در صنایع غذایی به عنوان عامل غلیظ کننده سس ها، پودینگ ها استفاده می شود و هنگامی که این محصولات منجمد،

ذخیره و متعاقباً ذوب می‌شوند، می‌تواند از سینرزیس جلوگیری کند. (Bao and Bergman, 2018; Seow *et al.*, 2019). محصولات بدون گلوتن به دلیل عدم حضور گلوتن از کیفیت خوبی برخوردار نیستند. رویکرد های اعمال شده برای بهبود خواص نان بدون گلوتن را می‌توان به دو روش متفاوت نخست، از دیدگاه علمی با تغییرات در فرمول یا از دیدگاه تکنولوژیکی یا فناوری طبقه بندی کرد (Ramos *et al.*, 2021). تغییر در اندازه ذرات از جمله روش ساده های تیمار فیزیکی با تاثیر بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی آرد مانند جذب آب، احتباس حلال، ته نشینی و خواص چسبندگی در بهبود خواص رئولوژیکی آرد موثر می باشد که سبب افزایش کیفیت محصولات بدون گلوتن می‌شود (Kurek and Sokolova, 2019; Pang *et al.*, 2021).

تیمار های حرارتی معمولاً در آردهای با محتوای چربی بالا، مانند یولاف (جو دو سر) یا آردهای غلات کامل، به ویژه آرد برنج، با هدف غیرفعال کردن آنزیم های متابولیزه کننده چربی مانند لیپازها و لیپوکسیژنازها ضروری هستند، همچنین بسته به شدت دما و زمان نگهداری با اصلاح دانه های نشاسته، عطر و طعم و کاهش بار میکروبی منجر به بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن می گردد. تیمار حرارتی مرطوب یکی از روش هایی است که در دمای بالاتر از نقطه ژلاتینه شدن (۹۰-۱۲۰ درجه سانتیگراد)، در رطوبت کم معمولاً کمتر از ۳۵٪ به مدت مشخص (۱۵ دقیقه تا ۱۶ ساعت) خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته را بدون از بین بردن ساختار گرانول آن تغییر می‌دهند، و سبب افزایش دمای ژلاتینه شدن، ظرفیت اتصال آب و در بیشتر موارد حساسیت گرانول به هیدرولیز آنزیمی می‌شود که برای نان و سایر اقلام نانوائی بدون گلوتن، ژلاتینه شدن تأخیری ممکن است دوره انبساط نان را طولانی کند و سبب افزایش حجم نان ها و بهبود ویژگی بافتی و کیفیت آنها می‌شود (Gomez and Martinez, 2016).

مطالعات انجام شده جهت بهبود خصوصیات نان بدون گلوتن بیشتر به تغییرات در فرمول پرداخته است و تحقیقات معدودی مبتنی بر تکنولوژی یا فناوری صورت گرفته است، به عنوان مثال De la Hera و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه ای تأثیر نوع برنج، اندازه ذرات آرد و محتوای آب خمیر را در تهیه نان بدون گلوتن گزارش کردند نان های دارای ۱۱۰ گرم آب به ازای هر ۱۰۰ گرم آرد، نوع برنج مورد استفاده بیشتر از حجم مخصوص بر روی بافت نان ها اثر داشت (De la Hera *et al.*, 2013). Qin و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه ای تأثیر اندازه ذرات بر خواص آرد و نان برنجی بدون گلوتن مشاهده کردند با کاهش اندازه ذرات، دمای ژلاتینه شدن کاهش، ویسکوزیته چسبندگی و هیدراتاسیون آرد برنج افزایش یافت، همچنین نان برنج ساخته شده از ذرات بزرگتر دارای حجم قابل توجهی کمتر، بافت سفت تر نسبت به نان تهیه شده از اندازه ذرات کوچکتر بود (Qin *et al.*, 2021). Renzetti و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند آرد لوبیا چشم بلبلی تحت عملیات حرارتی خشک در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت، نانی با بالاترین نرمی، انسجام و انعطاف پذیری به همراه داشت (Renzetti *et al.*, 2022). and Fong-In و Khwanchai (۲۰۲۲) گزارش کردند جایگزینی جزئی آرد برنج شکسته در تولید نان گندم تحت فرآیند حرارتی خشک در دمای ۱۲۰ درجه

سانتیگراد به مدت ۲ ساعت، نانی با بیشترین حجم مخصوص (۲/۸ سانتی متر مکعب بر گرم) تولید کرد و در مقایسه با نان آرد گندم تفاوت معنی داری در فنریت نداشت و بیشترین نمره پذیرش کلی را به خود اختصاص داد (Khwanchai and Fong-In, 2022). استفاده از برنج و آرد ذرت تیمار شده با هیدروترمال جهت تولید نان های مبتنی بر برنج و بلغور نشان داد، حجم ویژه نان های بدون گلوتن بهبود یافت، علت آن ویسکوزیته اولیه بالاتر آردهای تیمار شده می باشد که این امر می تواند امکان به دام افتادن حباب های حاصل از تخمیر را افزایش دهد (Naqash *et al.*, 2017).

با توجه به اینکه تاکنون تاثیر اندازه ذرات آرد برنج بر ویژگی کیفی نان بدون گلوتن مورد مطالعه قرار نگرفته است در این پژوهش با تقسیم بندی آرد برنج به ذرات با اندازه های ۱۸۰، ۱۵۰ و ۱۲۵ میکرون و استفاده از تیمار حرارتی مرطوب و خشک امکان اصلاح ویژگی های عملکردی آرد برنج و بهبود ویژگی های کیفی نان بدون گلوتن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

مواد مورد استفاده جهت تهیه نان بدون گلوتن شامل آرد برنج زerk (بازار محلی در شهرستان ساری) بود که جهت تعیین اندازه ذرات مقدار ۱۰۰ گرم آرد برنج بروی الک هایی با مش ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ که به ترتیب از بزرگ به کوچک روی شیکر الک قرار گرفته بود ریخته شد، بعد از ۱۰ دقیقه لرزش آرد حاصل به سه قسمت به ترتیب با اندازه ذرات ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون تقسیم شد. سایر مواد شامل صمغ زانتان (از شرکت فونگ چین)، روغن مایع گیاهی آفتابگردان (از شرکت لادن، ایران)، مخمر نانوائی فوری (از شرکت رضوی، ایران) شکر، و نمک بود.

تعیین ترکیبات شیمیایی آرد برنج

محتوای رطوبت، pH، خاکستر، پروتئین آرد برنج با استفاده از روش استاندارد (۲۰۰۰) AACC و مقدار کل نشاسته به روش استخراج قلیایی اندازه گیری شد (Lawal *et al.*, 2011).

عملیات حرارتی خشک

نمونه های آرد برنج الک شده به میزان ۱۰۰ گرم در فلاسک حجمی شیشه ای (۵۰۰ میلی لیتر) به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد جهت انجام عملیات حرارتی خشک در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) گرم شدند (Bae and Lee, 2018).

عملیات حرارتی مرطوب

جهت تنظیم رطوبت آرد برنج زرک به ۲۵ درصد مقدار آب مورد نیاز از اختلاف بین رطوبت نمونه و محتوای رطوبت مورد نظر محاسبه شد، سپس آب روی ۱۰۰ گرم نمونه در فلاسک حجمی شیشه ای (۵۰۰ میلی لیتر) ریخته و مخلوط شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. تیمار حرارتی در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) انجام شد (Ruiiz *et al.*, 2018).

تعیین نشاسته آسیب دیده

جهت اندازه گیری آسیب دیدگی نشاسته از روش غیر آنزیمی سریع استفاده گردید. محلول استخراج کننده در این روش شامل ۱/۶۷ درصد اسید تری کلرواستیک ۰/۵ درصد تیوسیانات پتاسیم، محلول رنگ کننده شامل ۰/۲ درصد کریستال ید و ۲ درصد یدور پتاسیم بود. به ۰/۵ گرم آرد، ۲۰ میلی لیتر محلول استخراج کننده اضافه گردید و عمل استخراج طی ۱۵ دقیقه انجام شد. صاف کردن محلول با کاغذ واتمن شماره یک انجام شد و مقدار ۲ میلی لیتر محلول صاف شده به بالن ۲۵ میلی لیتر منتقل شد و ۱ میلی لیتر محلول رنگ کننده به آن اضافه گردید، سپس بالن به حجم رسانیده شد و پس از ۱۰ دقیقه سکون مقدار جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر خوانده شد و با فرمول زیر مقدار آسیب دیدگی نشاسته برحسب واحد فارند به دست آمد (McDermott, 1980).

$$\text{آسیب دیدگی نشاسته} = ۲/۱ + ۰/۹۷ \times (۱۰ \times \text{میزان جذب}) \quad (۱)$$

فرمول نان بدون گلوتن

نان های بدون گلوتن پخته شده در این پژوهش با استفاده از روش Haghigat و همکاران (۲۰۲۰) با کمی تغییر تهیه شدند. جهت تولید خمیر ابتدا آرد برنج (۱۰۰ گرم)، شکر (۴/۵ گرم)، نمک (۲ گرم)، مخمر (۳ گرم) و صمغ زانتان (۲ گرم) با هم مخلوط شدند، سپس آب (۱۲۵ میلی لیتر) و روغن (۶ گرم) اضافه شد و با استفاده از همزن مخلوط شدند. خمیرآبه در قالب پخت ریخته شد و به مدت ۲۵ دقیقه با رطوبت ۸۵٪ استراحت داده شد، سپس به مدت ۱۵ دقیقه در یک آون برقی نیمه صنعتی (صنایع پخت مشهد، ساخت ایران) با درجه حرارت (بالای فر ۱۹۰، پایین فر ۲۳۰ درجه سانتیگراد) پخته شد. نمونه ها پس از پخت، تا دمای محیط خنک و در کیسه های پلی اتیلن جهت انجام آزمایشات بعدی نگهداری شدند (Haghigat- Kharazi *et al.*, 2020).

درصد افت وزنی

افت وزنی با وزن کردن نان طی ۲۴ ساعت پس از پخت با استفاده از رابطه فرمول زیر محاسبه شد (De la Hera *et al.*, 2013).

$$\text{درصد افت وزنی} = \frac{\text{وزن نان-وزن خمیرآبه}}{\text{وزن خمیرآبه}} \times 100 \quad (۲)$$

حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نان (cm^3/g) با تقسیم کردن حجم نمونه به وزن آن تعیین شد. حجم نمونه با روش جابجایی دانه کلزا و وزن نمونه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم دیجیتال اندازه گیری شد (AACC, 2000).

آون اسپرینگ

آون اسپرینگ از اختلاف ارتفاع خمیرآبه تخمیر شده و نان بلافاصله پس از پخت محاسبه شد (Shittu *et al.*, 2008).

نسبت مغز به پوسته

جهت ارزیابی نسبت مغز به پوسته با استفاده از تیغ تیز پوسته از مغز جدا شد، سپس هر قسمت بصورت جداگانه وزن شده و نسبت وزنی آنها بر پایه وزن خشک محاسبه شد (Haghighat- Kharazi *et al.*, 2020).

اندیس های حجم، تقارن و یکنواختی

اندیس های حجم، تقارن و یکنواختی نان با استفاده از روش مرجع ۹۰-۱۰ AACC محاسبه شد.

ارزیابی رنگ مغز و پوسته

جهت آنالیز رنگ مغز و پوسته تصاویر تهیه شده توسط نرم افزار Image J مورد پردازش قرار گرفت. سه پارامتری که در آنالیز رنگ مورد ارزیابی قرار گرفت شامل مقادیر روشنایی (L)، قرمزی-سبزی (a) و آبی-زردی (b) بود.

ارزیابی بافت نان

ارزیابی بافت نمونه های نان بدون گلوتن بوسیله دستگاه بافت سنج (Brookfield, USA) انجام شد. جهت انجام این آزمون نمونه با ابعاد $25 \times 25 \times 25$ میلی متری از قسمت مرکزی نان برش داده شد، سپس پروپ با سرعت ۱ میلیمتر بر ثانیه تا ۴۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتورهای مورد ارزیابی شامل سفتی، ارتجاعیت، بهم پیوستگی، فنریت و قابلیت جویدن بود (Lazaridou *et al.*, 2007).

ارزیابی حسی نان های بدون گلوتن

ارزیابی حسی نان های بدون گلوتن توسط ۷ نفر افراد نیمه آموزش دیده که به بیماری سلیاک مبتلا نبودن با استفاده از روش هدونیک ۵ نقطه ای که از امتیاز ۱ (نامطلوب) تا ۵ (مطلوب) انجام گرفت. ویژگی هایی نظیر فرم و شکل، خصوصیات پوسته و سطح رویی و زیرین، تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن و طعم (بو و مزه) نان بدون گلوتن در این پژوهش مورد بررسی ارزیاب ها قرار گرفتند.

آنالیز آماری

تمام داده های پارامترهای آرد برنج و نان حاصل با استفاده از آزمون فاکتوریل، جهت بررسی اثرات اندازه ذرات (سه سطح: ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون) و تیمار حرارتی آرد برنج (سه سطح: حرارت خشک، حرارت مرطوب، حرارت دهی نشده یا شاهد) بوسیله نرم افزار spss ورژن ۲۶ حداقل در دو تکرار تجزیه و تحلیل شدند. جهت مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردیده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی آرد برنج

میزان پروتئین ۸/۷٪، خاکستر ۰/۳۸٪، رطوبت ۱۱/۴۶٪، نشاسته ۷۸/۴۸٪ بر مبنای وزن مرطوب آرد برنج با pH برابر با ۶/۶ بود. در مطالعه حاضر مقدار نشاسته کمتر و مقدار پروتئین و رطوبت آرد برنج بیشتر از نتایج بدست آمده توسط Qin و همکاران (۲۰۱۶) بود این تفاوت می تواند به علت پارامترهایی نظیر موقعیت های جغرافیایی، آب، خاک، هوا و واریته باشد (Qin *et al.*, 2016).

میزان آسیب دیدگی نشاسته

نتایج مربوط به میزان آسیب دیدگی نشاسته در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمار حرارتی و اندازه ذرات آرد برنج و اثر متقابل آنها تاثیر معنی داری بر میزان آسیب دیدگی نشاسته نشان دادند ($p < 0.05$). نمونه های تیمار حرارتی خشک و تیمار حرارتی مرطوب از میزان آسیب دیدگی

نشاسته کمتری نسبت نمونه شاهد برخوردار بودند. نمونه های تیمار حرارتی مرطوب کاهش بیشتری را نسبت به تیمار حرارتی خشک نشان دادند که این امر به دلیل بازآرایی بیشتر ناحیه آمورف در دانه های نشاسته آسیب دیده توسط فرآیند تیمار حرارتی مرطوب نسبت داده می شود (Hong *et al.*, 2019). نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون کمترین میزان سطح آسیب دیدگی نشاسته را به خود اختصاص داد. در طول تیمار حرارتی مرطوب تجمع و همجوشی قابل توجهی گرانول های نشاسته رخ می دهد که میزان آن به نوع کریستالیت نشاسته مرتبط است. علت بازآرایی بیشتر نمونه های حاصل از تیمار حرارت مرطوب به شکل، اندازه ذرات، دمای ژلاتینه شدن و محتوای رطوبت وابسته است (Liu *et al.*, 2020). محتوای رطوبت بیشتر نمونه های تیمار حرارت مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارت خشک همچنین نشاسته ریزتر اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون سبب نفوذ بیشتر مولکول های آب به داخل گرانول های نشاسته می شود، این امر در نهایت منجر به بازآرایی بیشتر و کاهش میزان آسیب دیدگی نشاسته در طول تیمار حرارتی مرطوب می شود. Liu و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی مورفولوژی، ساختار و خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته آسیب دیده ماش، سیب زمینی، ذرت و ذرت مومی قبل و بعد از عملیات حرارتی گزارش کردند محتوای نشاسته آسیب دیده نمونه ها پس از عملیات حرارتی کاهش یافت (Liu *et al.*, 2020).

جدول ۱- میزان آسیب دیدگی نشاسته در تیمارهای مختلف آرد برنج واکسی
Table 1- The extent of starch damage in different treatments of waxy rice flour

درصد آسیب دیدگی نشاسته Starch damage(%)	تیمارها Treatments
3.98± 0.01 ^c	C 80
3.77± 0.01 ^c	DHT 80
2.86± 0.02 ^e	HMT 80
4.69± 0.09 ^a	C 100
4.25± 0.07 ^b	DHT 100
2.64± 0.01 ^f	HTT 100
4.77± 0.04 ^a	C 120
3.52± 0.02 ^d	DHT 120
2.30± 0.02 ^g	HTT 120

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه ها است (p<0.05).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

درصد افت وزنی

نتایج حاصل از درصد افت وزنی در جدول ۲ ارائه شده است. تاثیر اندازه ذرات و حرارت خشک بر افت وزنی معنی دار نبود (p>0.05). تیمار حرارتی مرطوب منجر به تفاوت معنی داری شد، بطوریکه در بین نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نمونه HMT 80 بطور معنی داری نسبت به تمام نمونه ها افت وزنی بیشتری را نشان داد. هرچه اندازه ذرات درشت تر باشد به دلیل کمتر بودن نسبت سطح به حجم گروه های عاملی موجود

در سطح که بتوانند وارد واکنش با آب و هیدراته شدن شوند کمتر و جذب آب کمتر است در نتیجه منجر به کاهش وزن بالا می شود (De La Hera et al., 2014). احتمالاً توسعه بیشتر خمیرآبه ذرات درشت حاصل از آرد تیمار حرارتی مرطوب و دمای چسباندن دیر هنگام این خمیرآبه منجر می شود مدت زمان طولانی تری در معرض کم آبی در فر قرار بگیرد و افت وزنی بیشتر شود (Villanueva et al., 2019).

حجم مخصوص

نتایج مربوط به حجم مخصوص نان های بدون گلوتن مختلف در جدول ۲ آورده شده است. تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج تاثیر معنی داری بر حجم مخصوص نان بدون گلوتن داشت ($p < 0.05$). نمونه های تیمار حرارتی مرطوب بدون تفاوت معنی داری نسبت به هم بیشترین حجم مخصوص را به خود اختصاص دادند. تغییر در اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک آرد برنج تفاوت معنی داری بر حجم مخصوص نمونه ها نداشتند. بنابراین تیمار حرارتی مرطوب آرد نسبت به تغییر اندازه ذرات و حرارت خشک بر حجم مخصوص نان مؤثرتر بود. Villanueva و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند نان حاصل از آرد برنج اصلاح شده تیمار حرارتی مرطوب توسط مایکروویو تاثیر معنی داری بر حجم مخصوص نان دارد بطوریکه منجر به نان با بالاترین حجم مخصوص می شود (Villanueva et al., 2019).

آون اسپرینگ

نتایج حاصل از اندازه گیری آون اسپرینگ نمونه های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که نتایج نشان می دهد تاثیر اندازه ذرات بر افت وزنی معنی دار نبود نمونه تیمار HMT 120 نسبت به نمونه DHT 120 بطور معنی داری از آون اسپرینگ بیشتری برخوردار بود ($p < 0.05$). احتمالاً ویسکوزیته بیش از حد خمیرآبه حاصل تیمار حرارت خشک با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون مانع ور آمدن خمیرآبه شده است، همچنین تاثیر اندازه ذرات بر میزان آون اسپرینگ معنی دار نبود ($p > 0.05$). Ramzy و نارو پوترا (۲۰۲۱) در پژوهشی که بر خصوصیات فیزیکی نان سفید جایگزین آرد لوبیا قرمز با اندازه ذرات مختلف داشتند مشاهده کردند، اندازه ذرات متفاوت لوبیا قرمز منجر به تغییر معنی داری در آون اسپرینگ نمونه ها نشد (Ramzy et al., 2021).

نسبت مغز به پوسته

نتایج مربوط به نسبت مغز به پوسته در جدول ۲ ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده نمونه های تیمار حرارتی مرطوب بطور معنی داری بیشترین نسبت مغز به پوسته را به خود اختصاص دادند ($p < 0.05$). نمونه های تیمار حرارتی خشک و نمونه های شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی داری نداشتند، همچنین تاثیر اندازه ذرات بر نسبت مغز به پوسته معنی دار نبود ($p > 0.05$). بیشترین نسبت مغز به پوسته مربوط به نمونه نان حاصل از

تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون بود. احتمالاً تیمار حرارتی مرطوب با کاهش میزان پیش سازهای واکنش مایلارد منجر به ایجاد پوسته با ضخامت کمتر می‌شود و سبب افزایش نسبت مغز به پوسته می‌گردد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکیوشیمیایی نان های بدون گلوتن
Table 2- Physicochemical characteristics of gluten-free breads

نسبت مغز به پوسته Crumb/crust ratio	اُون اسپرینگ Oven Spring (mm)	حجم مخصوص نان Loaf specific volume (cm ³ /gr)	افت وزنی Weight loss (%)	انواع نان Breads
1.63± 0.01 ^b	0.45± 0.05 ^{ab}	2.14± 0.01 ^{bc}	25.19± 0.63 ^a	C 80
1.67± 0.03 ^b	0.45± 0.05 ^{ab}	2.13± 0.00 ^{bc}	24.90± 0.14 ^a	DHT 80
1.82± 0.07 ^a	0.5± 0.14 ^{ab}	2.56± 0.03 ^a	28.91± 0.10 ^b	HMT 80
1.64± 0.01 ^b	0.5± 0.00 ^{ab}	2.17± 0.03 ^b	25.43± 0.47 ^a	C 100
1.68± 0.01 ^b	0.45± 0.05 ^{ab}	2.17± 0.04 ^b	24.11± 0.25 ^a	DHT 100
1.84± 0.01 ^a	0.55± 0.07 ^{ab}	2.59± 0.02 ^a	26.16± 0.50 ^a	HMT 100
1.67± 0.01 ^b	0.5± 0.14 ^{ab}	2.19± 0.01 ^b	24.56± 0.13 ^a	C 120
1.70± 0.01 ^b	0.4± 0.00 ^b	2.07± 0.03 ^c	24.08± 0.48 ^a	DHT 120
1.87± 0.05 ^a	0.6± 0.00 ^a	2.61± 0.03 ^a	24.99± 0.51 ^a	HMT 120

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه ها است (p<0.05).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

اندیس های حجم، تقارن و یکنواختی

نتایج حاصل از اندازه گیری اندیس های شکل نان در جدول ۳ ارائه شده است. تاثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی بر اندیس حجم نمونه ها معنی دار بود، بطوریکه نمونه C 80 بطور معنی داری نسبت به نمونه C 100 و C 120 از اندیس حجم کمتری برخوردار بود، همچنین بین نمونه های تیمار حرارت مرطوب نمونه HMT 80 نسبت به نمونه HMT 100 و HMT 120 اندیس حجم کمتری داشت، بطور کلی تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تغییر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک اثر مطلوب تری بر اندیس حجم نمونه ها داشت، زیرا تمام نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد از اندیس حجم بیشتری برخوردار بودند. تاثیر تیمار حرارتی مرطوب بر آرد برنج احتمالاً با ژلاتینه جزیی مولکول نشاسته و ایجاد قوام مناسب منجر به حفظ گاز تولید شده در طول تخمیر شده و از ادغام و از بین رفتن آن در حین تخمیر و پخت جلوگیری می کند و منجر به افزایش حجم نان می شود (Villanueva et al., 2019). Fathi و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تأثیر تیمار حرارتی مرطوب در آرد ارزن پرپوسو بر حجم کیک گزارش کردند کیک های حاوی آرد تیمار شده در رطوبت ۳۰درصد و دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد همچنین با رطوبت ۲۰درصد و دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد دارای حجم بیشتر بودند (Fathi et al., 2016).

جدول ۳- اندیس های شکل نان های بدون گلوتن
Table 3- Shape indexes of gluten-free breads

اندیس Index			انواع نان Breads
تقارن Symmetry	یکنواختی Uniformity	حجم Volume	
0.13± 0.05 ^a	0.16± 0.05 ^a	9.50± 0.00 ^c	C 80
0.20± 0.10 ^a	0.10± 0.00 ^a	9.60± 0.30 ^c	DHT 80
0.16± 0.05 ^a	0.13± 0.05 ^a	9.90± 0.10 ^b	HMT 80
0.23± 0.05 ^a	0.16± 0.05 ^a	9.85± 0.20 ^b	C 100
0.26± 0.05 ^a	0.10± 0.05 ^a	9.70± 0.00 ^{bc}	DHT 100
0.33± 0.11 ^a	0.06± 0.05 ^a	10.35± 0.15 ^a	HMT 100
0.20± 0.10 ^a	0.13± 0.05 ^a	9.95± 0.15 ^b	C 120
0.16± 0.05 ^a	0.10± 0.00 ^a	9.50± 0.10 ^c	DHT 120
0.40± 0.26 ^a	0.13± 0.15 ^a	10.65± 0.26 ^a	HMT 120

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه ها است ($p < 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between samples ($p < 0.05$).

نمونه های تیمار حرارت خشک نسبت به هم تفاوت معنی داری نداشتند، اما تاثیر تیمار حرارتی بر اندازه ذرات کمتر ۱۲۵ میکرون منجر به کاهش حجم نان شد. گولتین جزء اصلی پروتئین در آرد برنج است که توسط پیوند دی سولفیدی زیر واحدهای کوچک به هم متصل می شود که به حجم خوبی از نان کمک می کند. در طول عملیات حرارت خشک گروه های سولفیدریل گولتین احتمالاً در معرض قرار می گیرند که منجر به آبریزی سطح پروتئین ها در نتیجه تغییر پروتئین ها از حالت آب دوست به آبریز می شود که این امر در اندازه ذرات ریزتر به دلیل محتوای پروتئین بالا بیشتر مشهودتر است (Tabara *et al.*, 2015). Nakagawa و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تیمار حرارت خشک آرد برنج در تولید نان برنج مخلوط با گلوتن، شاهد کاهش حجم نان بودند. آنها اذعان داشتند گروه های سولفیدریل جدید در سطح گولتین آرد برنج تیمار حرارت خشک می تواند پیوند دی سولفیدی گولتین را کاهش دهند که این امر نمی تواند اجازه به دام افتادن گاز CO₂ و جلوگیری از خروج گاز شود و حجم نان کاهش می یابد (Nakagawa *et al.*, 2016).

رنگ پوسته و مغز نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از شاخص های رنگ (L, a و b) برای پوسته و مغز نان بدون گلوتن در جدول ۴ و ۵ آورده شده است. تاثیر اندازه ذرات بر شاخص های رنگ مغز و پوسته نان بدون گلوتن معنی دار نبود ($p > 0.05$). تیمار حرارتی مرطوب و حرارت خشک بطور معنی دار منجر به کاهش روشنی و افزایش زردی پوسته و مغز نان نسبت به نمونه شاهد شدند، اما تغییری بر میزان قرمزی نداشتند ($p < 0.05$). میزان روشنی پوسته نان حاصل از تیمار حرارت خشک بطور معنی دار نسبت به نمونه تیمار حرارت مرطوب کمتر بود. کمترین میزان روشنی (L) را نمونه های حاصل از تیمار حرارت

خشک در این پژوهش به خود اختصاص دادند، در سایر شاخص ها تفاوتی با نمونه تیمار حرارت مرطوب نداشتند. عوامل مختلفی بر رنگ پوسته مؤثر می باشد که می توان به رطوبت پوسته و شدت واکنش مایلارد اشاره کرد (Hoseney, 1994). احتمالاً تیمار حرارتی مرطوب با حفظ متناسب رطوبت پوسته در طول پخت و کاهش نشاسته آسیب دیده منجر به کاهش واکنش مایلارد در سطح پوسته می شود که در نتیجه موجب بهبود رنگ پوسته نان می شود. در مورد شاخص رنگ مغز کمترین میزان روشنی و بیشترین میزان زردی مربوط به نمونه های حاصل از تیمار حرارتی مرطوب بود، احتمالاً فرآیند شدیدتر تیمار حرارتی مرطوب بروی آرد منجر به چنین تغییرات شده است. زردی بیشتر نمونه های تیمار حرارتی نسبت به نمونه شاهد به دلیل تغییرات رنگ آرد در طول تیمار حرارتی است و رنگ مغز نان عمدتاً به رنگ مواد تشکیل دهنده مواد مرتبط است (Villanueva *et al.*, 2019).

جدول ۴- پارامترهای رنگ پوسته نان های بدون گلوتن
Table 4- Crust color parameters of gluten-free breads

انواع نان Breads	L	a	b
C 80	69.25± 0.39 ^a	10.35± 0.28 ^a	36.97± 0.60 ^d
DHT 80	66.06± 0.48 ^c	10.10± 0.32 ^a	40.22± 0.60 ^{abc}
HMT 80	67.10± 0.20 ^b	9.83± 0.16 ^a	41.01± 0.48 ^a
C 100	69.50± 0.21 ^a	10.29± 0.55 ^a	36.83± 0.38 ^d
DHT 100	66.20± 0.50 ^c	9.90± 0.21 ^a	40.02± 0.16 ^{bc}
HMT 100	67.34± 0.01 ^b	9.71± 0.18 ^a	40.74± 0.31 ^{ab}
C 120	69.98± 0.31 ^a	10.12± 0.37 ^a	36.24± 0.42 ^d
DHT 120	66.30± 0.10 ^c	9.98± 0.16 ^a	39.69± 0.18 ^c
HMT 120	67.47± 0.38 ^b	9.62± 0.16 ^a	40.52± 0.21 ^{abc}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه ها است ($p < 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between samples ($p < 0.05$).

جدول ۵- پارامترهای رنگ مغز نان های بدون گلوتن
Table 5- Crumb color parameters of gluten-free breads

انواع نان Breads	L	a	b
C 80	88.07± 0.20 ^a	1.74± 0.40 ^a	13.32± 0.11 ^c
DHT 80	86.06± 0.06 ^c	2.02± 0.25 ^a	15.15± 0.35 ^b
HMT 80	81.45± 0.32 ^d	2.03± 0.25 ^a	17.31± 0.52 ^a
C 100	88.96± 0.83 ^a	1.95± 0.21 ^a	12.85± 0.50 ^c
DHT 100	86.13± 0.68 ^b	1.97± 0.18 ^a	15.12± 0.37 ^b
HMT 100	82.04± 0.25 ^{cd}	2.40± 0.14 ^a	16.80± 0.42 ^a
C 120	89.16± 0.87 ^a	2.25± 0.07 ^a	12.37± 0.39 ^c
DHT 120	85.38± 0.01 ^b	2.20± 0.57 ^a	14.65± 0.78 ^b
HMT 120	82.70± 0.05 ^c	2.17± 0.39 ^a	16.43± 0.18 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه ها است ($p < 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between samples ($p < 0.05$).

آنالیز پروفایل بافت نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از آنالیز پروفایل نان بدون گلوتن در جدول ۶ آورده شده است. تاثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک منجر به تغییر در سفتی، ارتجاعیت، بهم پیوستگی، فنریت و قابلیت جویدن نمونه ها نگردید ($p > 0.05$). نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارت خشک بطور معنی داری کمترین میزان سفتی و قابلیت جویدن را دارا بودند ($p < 0.05$). مقادیر سفتی و قابلیت جویدن کمتر برای نمونه های تیمار حرارتی مرطوب می تواند به بازاریابی ساختاری نشاسته آرد در طول تیمار حرارتی مرطوب همراه باشد. نمونه حاصل از تیمارهای HMT 80 و HMT 100 نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارتی خشک بطور معنی داری فنریت کمتری را داشتند ($p < 0.05$). کاهش فنریت نمونه های تیمار حرارتی مرطوب می تواند به علت قدرت کم پیوند های داخلی و ساختار ضعیف بافت مغز نان نمونه های تیمار شده حاصل از ذرات درشت باشد، که نمی تواند الاستیسیته بالاتر نان برنج را القا کند. Bourekoua و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی که بر تاثیر تیمار هیدروترمال برنج و ذرت در کیفیت نان بدون گلوتن انجام دادند گزارش کردند تیمار هیدرو ترمال برنج و ذرت منجر به بهبود کیفیت نان بدون گلوتن شد، بطوریکه از نظر خصوصیات بافتی نان حاصل قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نسبت به نمونه های شاهد نشان داد، درحالیکه تیمار هیدرو ترمال برنج و ذرت منجر به کاهش فنریت نان شد و در مورد به هم پیوستگی، اثر منفی نشان داد (Bourekoua *et al.*, 2016). Kim و همکاران (۲۰۱۷) اثر تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج قهوه ای را بر کیفیت کیک برنجی مورد بررسی قرار دادند، آنها گزارش کردند کیک حاصل از آرد برنج تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد سفتی، فنریت، بهم پیوستگی، جویدن کمتری را نشان داد (Kim *et al.*, 2017).

جدول ۶ - نتایج آنالیز پروفایل بافت نان های بدون گلوتن

Table 6- Results of texture profile analysis of gluten-free breads

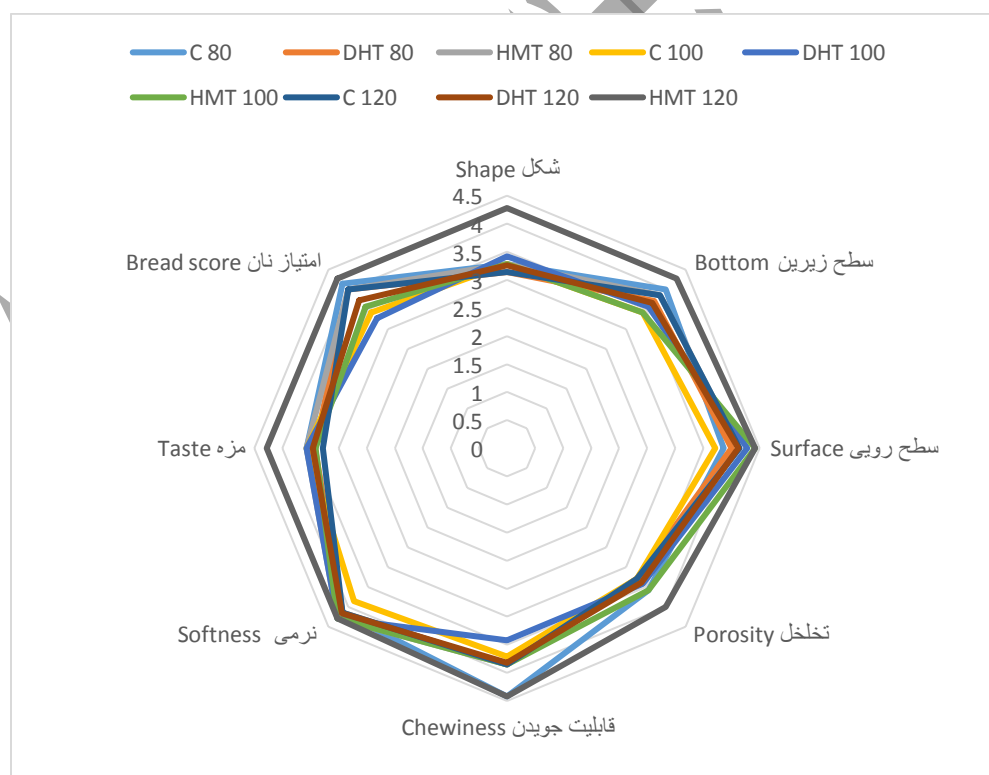
انواع نان Breads	سفتی (کیلوگرم) Hardness (kg)	ارتجاعیت (گرم) Resilience (g)	بهم پیوستگی Cohesiveness	فنریت (میلی متر) Springiness (mm)	قابلیت جویدن (میلی ژول) Chewiness (mj)
C 80	0.383± 0.39 ^b	0.395± 0.03 ^a	0.610± 0.04 ^a	8.025± 0.17 ^{ab}	16.450± 1.76 ^{ab}
DHT 80	0.371± 0.08 ^b	0.307± 0.05 ^a	0.435± 0.03 ^a	8.125± 0.38 ^a	16.125± 0.36 ^{ab}
HMT 80	0.209± 0.03 ^a	0.285± 0.07 ^a	0.360± 0.15 ^a	6.315± 0.50 ^c	6.650± 1.27 ^c
C 100	0.385± 0.07 ^b	0.380± 0.11 ^a	0.605± 0.07 ^a	8.615± 0.65 ^a	19.635± 0.40 ^a
DHT 100	0.390± 0.42 ^b	0.310± 0.05 ^a	0.615± 0.19 ^a	8.585± 0.44 ^a	18.540± 1.07 ^{ab}
HMT 100	0.216± 0.05 ^a	0.320± 0.03 ^a	0.510± 0.98 ^a	6.955± 0.80 ^{bc}	7.750± 2.05 ^c
C 120	0.377± 0.30 ^b	0.410± 0.50 ^a	0.590± 0.06 ^a	8.730± 0.22 ^a	19.900± 0.42 ^a
DHT 120	0.435± 0.09 ^b	0.325± 0.02 ^a	0.565± 0.09 ^a	8.265± 0.29 ^a	19.500± 0.98 ^{ab}
HMT 120	0.225± 0.07 ^a	0.328± 0.06 ^a	0.55± 0.12 ^a	7.745± 0.14 ^{ab}	8.100± 1.06 ^c

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه ها است ($p < 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between samples ($p < 0.05$).

ارزیابی حسی نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نان های بدون گلوتن در شکل ۱ آورده شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از آرد برنج حاصل از تیمار حرارتی در تولید نان بدون گلوتن منجر به بهبود کیفیت نمونه ها حاصل نسبت به نمونه شاهد شد که امتیاز نهایی نان بدون گلوتن را افزایش داد. بیشترین امتیاز مربوط به نمونه های تیمار حرارتی مرطوب البته بدون تفاوت آماری نسبت به هم بود ($p > 0.05$). تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته موجود در آرد سبب حفظ رطوبت بیشتر و نرم تر شدن محصول نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک و شاهد شد که این امر سبب شده تا بافت محصول نیز سفتی کمتری را نشان دهد و قابلیت جویدن آسان تر ایجاد کند، همچنین رنگ ظاهری مطلوبتر، وجود حفرات و ترک خوردگی کمتر در سطح نان و طعم مطلوب این نمونه ها سبب شد تا بالاترین امتیاز را در این پژوهش به خود اختصاص دهند. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تاثیر تیمار حرارتی مرطوب آرد ارزن بر کیفیت کیک گزارش کردند تیمار حرارتی مرطوب تاثیر مثبتی بر پذیرش کلی نمونه حاصل نسبت به نمونه شاهد داشت (Fathi et al., 2016)



شکل ۱- نتایج ارزیابی حسی تیمارهای مختلف نان بدون گلوتن

Fig. 1.Sensory evaluation results of different gluten-free bread treatments

نسخه چاپی
انتشار

نتیجه گیری

۱

۲ نتایج نشان داد تغییر اندازه ذرات تأثیری بر افت وزنی، اندیس تقارن و یکنواختی، آون اسپرینگ، رنگ مغز و پوسته، نسبت مغز به پوسته
۳ و آنالیز بافت نمونه ها نداشت ($p > 0.05$). تغییر اندازه ذرات و تیمار حرارتی به ترتیب منجر به افزایش و کاهش میزان آسیب دیدگی
۴ نشاسته شد و نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون کمترین میزان آسیب دیدگی نشاسته را به خود اختصاص
۵ داد. استفاده از آرد با اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون و آرد تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون به ترتیب منجر به
۶ کاهش اندیس حجم و افزایش افت وزنی نان شد، بنابراین در صفت افت وزنی تیمار حرارتی خشک بهترین تیمار بود. تاثیر تیمار حرارتی
۷ خشک و مرطوب بر آون اسپرینگ نمونه های حاصل از اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون معنی دار بود، بنابراین تیمار حرارتی مرطوب در این
۸ صفت بهترین تیمار بود ($p < 0.05$). تیمار حرارتی مرطوب و حرارت خشک بطور معنی دار منجر به کاهش روشنی و افزایش زردی پوسته
۹ و مغز نان شدند، بطوریکه نمونه تیمار حرارتی مرطوب با روشنی بیشتر رنگ پوسته و زردی بیشتر رنگ مغز نسبت به تیمار حرارت خشک
۱۰ بهترین تیمار بود ($p < 0.05$). نمونه های تیمار حرارتی مرطوب به دلیل افزایش نسبت مغز به پوسته نان بهترین تیمار بودند از طرفی آرد
۱۱ تیمار حرارتی مرطوب به دلیل تعویق در قدرت تورم مولکول های نشاسته و ژلاتینه شدن تأخیری، سبب طولانی شدن دوره انبساط و
۱۲ توسعه بیشتر خمیرآبه در حین پخت گردد، که این امر سبب افزایش اندیس حجم و حجم مخصوص نان شد و با کاهش سفتی و قابلیت
۱۳ جویدن منجر به بهبود ویژگی بافتی و کیفیت نان گردید، همچنین از نظر ویژگی های حسی تیمار حرارتی مرطوب بهترین نمونه بود. بطور
۱۴ کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد در مجموع صفات اندازه گیری شده بکارگیری آرد حاصل از تیمار حرارتی مرطوب نسبت به آرد تیمار
۱۵ حرارت خشک همچنین آرد با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ منجر به بهبود ویژگی های کیفی نان بدون گلوتن شد.

۱۶

منابع

- ۱۷ AACC (2000). American Association of cereal chemists. Approved methods of the AACC, 10th ed.
۱۸ American Association of cereal chemists, St Paul, USA.
- ۱۹ Bae, I. Y., & Lee, H. G. (2018). Effect of dry heat treatment on physical property and in vitro starch
۲۰ digestibility of high amylose rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108,
۲۱ 568-575. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.180>
- ۲۲ Bao, J., & Bergman, C. J. (2018). Rice flour and starch functionality. In *Starch in food* (pp. 373-
۲۳ 419). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00010-X>
- ۲۴ Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M. N., & Rosell, C. M. (2016). Developing gluten free
۲۵ bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *Lwt*, 73, 342-350.
۲۶ <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032>

- 27 De la Hera, E., Martinez, M., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of
 28 gluten-free rice bread. *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 199-206.
 29 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.019>
- 30 De La Hera, E., Rosell, C. M., & Gomez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size
 31 on gluten-free bread quality and digestibility. *Food chemistry*, 151, 526-531.
 32 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115>
- 33 Fathi, B., M. Aalami, M. Kashaninejad, and A. S. Mahoonak. 2016. Utilization of heat-moisture
 34 treated proso millet flour in production of gluten-free poung cake. *Journal of Food Quality* 39
 35 (6):611–9. <https://doi.org/10.1111/jfq.12249>
- 36 Gomez, M., & Martinez, M. M. (2016). Changing flour functionality through physical treatments
 37 for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*, 67, 68-74.
 38 <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.009>
- 39 Haghghat- Kharazi, S., Reza Kasaaai, M., Milani, J. M., & Khajeh, K. (2020). Antistaling
 40 properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten- free bread. *Food Science & Nutrition*,
 41 8(11), 5888-5897. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1865>
- 42 Hong, J., Li, L., Li, C., Liu, C., Zheng, X., & Bian, K. (2019). Effect of Heat–Moisture Treatment
 43 on Physicochemical, Thermal, Morphological, and Structural Properties of Mechanically Activated
 44 Large A- and Small B- Wheat Starch Granules. *Journal of food science*, 84(10), 2795-2804.
 45 <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14745>
- 46 Hosenev, R. C. (1994). *Principles of cereal science and technology* (No. Ed. 2). American
 47 Association of Cereal Chemists (AACC).
- 48 Khwanchai, P., & Fong-In, S. (2022). Effect of Heat Treatment of Broken Rice Flour as Partial
 49 Substitution of Wheat Flour on the Qualities of Bread. *Burapha Science Journal* 27(1), 171-187.
- 50 Kim, M. J., Oh, S. G., & Chung, H. J. (2017). Impact of heat-moisture treatment applied to brown
 51 rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and*
 52 *Biotechnology*, 26(6),1579-1586. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0151-x>
- 53 Kim, M. H. (2013). Review on rice flour manufacturing and utilization. *Journal of Biosystems*
 54 *Engineering*, 38(2), 103-112. <http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2013.38.2.103>
- 55 Kurek, M. A., & Sokolova, N. (2019). Optimization of bread quality with quinoa flour of different
 56 particle size and degree of wheat flour replacement. *Food Science and Technology*, 40, 307-
 57 314. <https://doi.org/10.1590/fst.38318>
- 58 Lawal, O.S.; Lapasin, R.; Bellich, B.; Olayiwola, T.O.; Cesaro, A.; Yoshimura, M.; Nishinari, K.
 59 (2021). Rheology and Functional Properties of Starches Isolated from Five Improved Rice Varieties
 60 from West Africa. *Food Hydrocolloids* 2011, 25, 1785–1792.
 61 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.010>
- 62 Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N and Biliaderis CG, (2007). Effects of hydrocolloids
 63 on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of food*
 64 *Engineering* 79: 1033- 1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

- 70 Liu, C., Song, M., Liu, L., Hong, J., Guan, E., Bian, K., & Zheng, X. (2020). Effect of heat-
71 moisture treatment on the structure and physicochemical properties of ball mill damaged starches
72 from different botanical sources. *International journal of biological macromolecules*, 156, 403-410.
73 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.043>
- 74 McDermott, E. E. (1980). The rapid non- enzymic determination of damaged starch in - flour.
75 *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(4), 405-413.
76 <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310411>
- 77 Nakagawa, M., Tabara, A., Ushijima, Y., Matsunaga, K., & Seguchi, M. (2016). Hydrophobicity of
78 stored (15, 35° C), or dry-heated (120° C) rice flour and deteriorated breadmaking properties baked
79 with these treated rice flour/fresh gluten flour. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 80(5),
80 983-990. <https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1136875>
- 81 Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the
82 challenges-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98-107.
- 83 Pang, J., Guan, E., Yang, Y., Li, M., & Bian, K. (2021). Effects of wheat flour particle size on flour
84 physicochemical properties and steamed bread quality. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 4691-4700.
85 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>
- 86 Qin, W., Lin, Z., Wang, A., Chen, Z., He, Y., Wang, L., & Tong, L. T. (2021). Influence of particle
87 size on the properties of rice flour and quality of gluten-free rice bread. *LWT*, 151, 112236.
88 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112236>
- 89 Qin, Y., Liu, C., Jiang, S., Cao, J., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Functional properties of glutinous
90 rice flour by dry-heat treatment. *Plos One*, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160371>
- 91 Ramos, L., Alonso-Hernando, A., Martinez-Castro, M., Moran-Perez, J. A., Cabrero-Lobato, P.,
92 Pascual-Mate, A. & Mujico, J. R. (2021). Sourdough biotechnology applied to gluten-free baked
93 goods: Rescuing the tradition. *Foods*, 10(7), 1498. <https://doi.org/10.3390/foods10071498>
- 94 Ramzy, R. A., & Putra, A. B. N. (2021). Evaluation of white bread physical characteristics
95 substituted by red kidney bean flour with different particle sizes and concentrations. *Journal of*
96 *Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 610-615.
97 <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019/20.9.3.610-615>
- 98 Renzetti, S., Heetesonne, I., Ngadze, R. T., & Linnemann, A. R. (2022). Dry Heating of Cowpea
99 Flour below Biopolymer Melting Temperatures Improves the Physical Properties of Bread Made
100 from Climate-Resilient Crops. *Foods*, 11(11), 1554. <https://doi.org/10.3390/foods11111554>
- 101 Ruiiz, E., Srikaeo, K., & de la Revilla, L. S. (2018). Effects of heat moisture treatment on
102 physicochemical properties and starch digestibility of rice flours differing in amylose content. *Food*
103 *and Applied Bioscience Journal*, 6(3), 140-153. <https://doi.org/10.14456/fabj.2018.13>
- 104 Seow, E. K., Gan, C. Y., Tan, T. C., Lee, L. K., & Easa, A. M. (2019). Influence of honey types and
105 heating treatment on the rheological properties of glutinous rice flour gels. *Journal of food science*
106 *and technology*, 56(4), 2105-2114. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03691-z>

- 102 Shittu, T. A., Dixon, A., Awonorin, S. O., Sanni, L. O., & Maziya-Dixon, B. (2008). Bread from
103 composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread
104 quality. *Food Research International*, 41(6), 569-578. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.03.008>
- 105 Tabara, A., Nakagawa, M., Ushijima, Y., Matsunaga, K., & Seguchi, M. (2015). Effects of heat
106 treatment on oil-binding ability of rice flour. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 79(10),
107 1629-1634. <https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1039479>
- 108 Villanueva, M., Harasym, J., Munoz, J. M., & Ronda, F. (2019). Rice flour physically modified by
109 microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making
110 performance. *Food hydrocolloids*, 90, 472-481. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.048>
- 111

