



Effect of moist (Hydrothermal) and dry heating process on different particle size of waxy rice flour on the rheology of batter and staling of gluten-free bread

Seyed Ali Hashemi Shektai ¹, Jafar Mohammadzadeh Milani ², Ali Motamedzadegan ², Sepideh Haghghat-Kharazi ³

¹ MSc 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, Iran

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

✉ Corresponding author: jmilany@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: June 22, 2023

Accepted: September 27, 2023

Published: March 3, 2024

Keywords:

Moist heat, Dry heat, Orange, Gluten-free bread, Staling

ABSTRACT

Background: The staleness of gluten-free bread is one of the important factors in the waste of this product. Countless researches have been presented to modify and improve the preparation process and increase the shelf life of bread.

Aims: The purpose of this research was to investigate the extent of starch damage, rheological properties of batter and staleness of gluten-free bread made from waxy rice flour in different particle sizes and under the influence of different heat treatments.

Methods: For this purpose, waxy rice flour in different particle sizes (180, 150 and 125 microns) was prepared and subjected to dry heat treatment for 2 hours and wet heat treatment (25% humidity) for 5 hours at 110 degrees Celsius and with the samples control (without heating) were compared. **Results:** The results showed that particle size reduction and heat treatment led to an increase and decrease in starch damage, respectively. Viscous and elastic modulus of rice paste increased with decreasing particle size, and the highest viscous and elastic modulus was related to paste obtained from dry heat treatment flour with particle size less than 125 microns. The effect of particle size and dry heat treatment on water activity of brain and shell was not significant, while wet heat treatment had significantly more moisture and water activity of core, but had no effect on water activity of crust. According to the obtained results, changing the particle size and dry heat treatment did not affect the texture of the breads, while the use of flour obtained from wet heat treatment led to the improvement of the texture of the bread by reducing the hardness and chewability of the samples. The results of thermal analysis showed that the sample obtained with the particle size of 125 microns had the lowest enthalpy, but in general, the samples obtained from wet heat treatment with the lowest amount of enthalpy were the best samples in this research.

Conclusion: In general, the use of flour with a particle size of less than 125 microns and wet heat treatment with improving the rheological and stale properties of bread were the best examples.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Celiac disease is a type of immune disorder of the small intestine caused by gluten, and other non-wheat grains such as corn, rice, millet, etc. can be used to prevent the occurrence of disease symptoms in susceptible people (Torobika *et al* 2021). Waxy rice flour is a suitable and widely used raw material as a starch module to compare the effect of different types of honey and heat treatment on the rheological properties of flour gels (Seow *et al.* 2019). Among gluten-free products, bread is considered the most widely consumed food, because it is easy to eat and convenient for mass production. Due to the removal of gluten, many gluten-free breads are prone to becoming stale. Gluten, as a protein that inhibits the staleness of bread, leads to a decrease in the rate of moisture transfer from the core of the bread to the crust (Haghighat-Kharazi *et al* 2018). Therefore, research on delaying staleness and reducing bread waste is one of the concerns of researchers, and they try to delay staleness by adding additives, changing cooking and storage methods. Particle size distribution is the most widely used technique for classifying solid particles, which is effective in improving rheological properties by affecting the physicochemical properties of flour during hydration, such as water absorption, solvent retention, sedimentation, and adhesion properties. Heat treatments, depending on the intensity of temperature and storage time, by modifying starch granules, denaturing proteins, deactivating enzymes, reducing microbial load, and even modifying taste and aroma are suggested as a suitable method to change the performance of weak and gluten-free flour (Gomez and Martinez 2016). Due to the fact that the effect of rice flour particle size on the rheological properties of dough and gluten-free bread has not been studied so far, in this research, by dividing rice flour with different particle sizes (180, 150, 125 microns) and using heat treatment (moist and dry heat) were investigated to improve the functional characteristics of rice flour and improve the rheological characteristics of dough and gluten-free bread.

Material and methods: The content of moisture, pH, ash, protein of rice flour was measured using AACC standard method (2000) and the total amount of starch was measured by alkaline extraction method and the amount of starch damage was measured by non-enzymatic rapid method. In order 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. In order to produce gluten-free bread, the formulation used by Haghighat-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. The rheological parameters of the pastes included strain, frequency and temperature. In order to check the staleness of bread during the storage period, moisture tests of core and shell, blue activity of core to shell, analysis of bread texture and DSC were used. 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 discussion: The effect of particle size and heat treatment and their interaction showed a significant effect on the degree of starch damage ($p < 0.05$). The samples of dry heat treatment and wet heat treatment had less starch damage than the control sample. Changing the particle size and dry and wet heat treatment led to a change in the rheological behavior of the samples. By reducing the size of particles, the viscous and elastic modulus of the samples increased. Wet heat treatment samples had the lowest G^* modulus. The effect of particle size and dry heat treatment on tissue analysis was not significant ($p > 0.05$). While the wet heat treatment significantly had the lowest hardness and Chewiness during the storage period ($p < 0.05$). Although the amount of skin moisture and water activity increased during the storage time, the effect of particle size and heat treatment on the moisture level of the skin was not significant, while the wet heat treatment samples had more brain moisture and brain water activity during the storage time. were ($p < 0.05$). Wet heat treatment

samples compared to dry heat treatment and the change in particle size had the lowest enthalpy among the samples on the first day of cooking and during the storage period.

Conclusion: In general, the results of the present study showed that the degree of starch damage and the rheology of batters were affected by particle size and heat treatment. Changing the particle size and heat treatment led to an increase and decrease in starch damage, respectively. Rice flour with smaller particle size and wet heat treatment sample obtained with particle size less than 125 microns showed better rheological behavior. The results of the evaluations related to the staleness tests of bread in this research showed that during the storage time of the sample obtained with a particle size of less than 125 microns and samples of wet heat treatment due to the lower enthalpy of retrogradation and the high capacity of maintaining moisture, also The effect of wet heat treatment samples on the reduction of hardness and Chewiness led to the improvement of bread staleness. In total, the measured characteristics of using flour obtained from wet heat treatment compared to flour from dry heat treatment, as well as flour with a particle size of less than 125, led to the improvement of the rheological characteristics of gluten-free bread dough.

تأثیر فرایند حرارت دهی مرطوب (هیدروترمال) و خشک در اندازه ذرات مختلف آرد برنج واکسی بر رئولوژی خمیرآبه و بیاتی نان عاری از گلوتن

سید علی هاشمی شکتایی^۱، جعفر محمد زاده میلانی^۲ ✉، علی معتمدزادگان^۳، 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

✉ مسئول مکاتبه: jmilany@yahoo.com

چکیده

مشخصات مقاله

زمینه مطالعاتی: بیاتی نان بدون گلوتن از جمله عوامل مهم در امر ضایعات این محصول می باشد. تحقیقات بيشماری جهت اصلاح و بهبود در فرآیند آماده سازی و افزایش زمان ماندگاری نان ارائه شده است.

هدف: هدف از این پژوهش بررسی میزان آسیب دیدگی نشاسته، خواص رئولوژیکی خمیرآبه و بیاتی نان بدون گلوتن حاصل از آرد برنج واکسی در اندازه ذرات مختلف و تحت تأثیر تیمارهای حرارتی متفاوت بود.

روش کار: برای این منظور آرد برنج واکسی در اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰ و ۱۲۵ میکرون) تهیه و تحت تیمار حرارتی خشک به مدت ۲ ساعت و تیمار حرارتی مرطوب (رطوبت ۲۵٪) به مدت ۵ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و با نمونه های شاهد (بدون حرارت دهی) مقایسه شدند.

نتایج: نتایج نشان داد کاهش اندازه ذرات و تیمار حرارتی به ترتیب منجر به افزایش و کاهش میزان آسیب دیدگی نشاسته شدند. مدول ویسکوز و الاستیک خمیرآبه برنج با کاهش اندازه ذرات افزایش یافت و بالاترین مدول ویسکوز و الاستیک مربوط به خمیرآبه حاصل از آرد تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون بود. تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک بر فعالیت آبی مغز و پوسته معنی دار نبود، درحالیکه تیمار حرارتی مرطوب بطور معنی داری از رطوبت و فعالیت آبی مغز بیشتری برخوردار بود، اما تأثیری بر فعالیت آبی پوسته نداشت. طبق نتایج بدست آمده تغییر اندازه ذرات و تیمار حرارت خشک تأثیری بر بافت نان ها نداشت، در حالیکه بکارگیری آرد حاصل از تیمار حرارتی مرطوب با کاهش میزان سفتی و قابلیت جویدن نمونه ها منجر به بهبود ویژگی بافت نان حاصل گردید. نتایج حاصل از آنالیز حرارتی نشان داد نمونه حاصل از اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون کمترین آنتالپی را به خود اختصاص داد ولی بطور کلی نمونه های حاصل از تیمار حرارتی مرطوب با کمترین میزان آنتالپی در این پژوهش بهترین نمونه بودند.

نتیجه گیری: بطور کلی استفاده از آرد با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب با بهبود خواص رئولوژیکی و بیاتی نان بهترین نمونه بودند.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱

پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۵

انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

کلید واژه:

حرارت دهی مرطوب،

حرارت دهی خشک، نان

بدون گلوتن، بیاتی

مقدمه

بیماری سلیاک نوع اختلال ایمنی روده کوچک است که توسط گلوتن ایجاد می‌شود و برای پیشگیری از بروز علائم بیماری در افراد مستعد می‌توان از سایر غلات غیر گندمی مانند ذرت، برنج، ارزن و... استفاده نمود (توربیکا و همکاران ۲۰۲۱). برنج واکسی به دلیل محتوای آمیلوپکتین بالا، دارای انبساط کمتر، گرانروی بیشتر و طعم خوشمزه‌ای است که با سایر برنج‌ها مقایسه می‌شود (لو و همکاران ۲۰۲۰). برنج واکسی به دلیل طعم شیرین طبیعی و مطلوب معمولاً در تهیه تنقلات و دسرهای سنتی در آسیا استفاده می‌شود، از این رو این آرد برنج پر مصرف به عنوان مدول نشاسته‌ای برای مقایسه اثر انواع عسل و عملیات حرارتی بر خواص رئولوژیکی ژل‌های آرد انتخاب شد (سئو و همکاران ۲۰۱۹). در میان فراورده‌های غذایی بدون گلوتن نان به عنوان پر مصرف‌ترین غذا در نظر گرفته می‌شود. با توجه به حذف گلوتن، بسیاری از نان‌های فاقد گلوتن مستعد بیات شدن هستند. گلوتن به عنوان پروتئین مهارکننده بیات شدن نان منجر به کاهش سرعت انتقال رطوبت از مغز نان به پوسته می‌شود (حقیقت خرازی و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین تحقیقات در مورد به تأخیر انداختن بیاتی و کاهش ضایعات نان، یکی از دغدغه‌های پژوهشگران است و آنها با اضافه کردن مواد افزودنی، تغییر در روش پخت و نگهداری سعی در به تأخیر انداختن بیاتی دارند (یزدانی و همکاران ۱۳۹۴).

توزیع اندازه ذرات پرکاربردترین تکنیک برای طبقه‌بندی ذرات جامد که با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد در هیدراتاسیون مانند جذب آب، احتباس حلال، ته‌نشینی، و خواص چسبندگی در بهبود خواص رئولوژیکی موثر باشد. تیمارهای حرارتی، بسته به شدت دما و زمان نگهداری با اصلاح گرانول‌های نشاسته، دانتوراسیون پروتئین‌ها، غیرفعال کردن آنزیم‌ها، کاهش بار میکروبی و حتی اصلاح طعم و عطر روشی مناسب برای تغییر عملکرد آرد ضعیف و بدون گلوتن پیشنهاد شده است (گومز و مارتینز ۲۰۱۶). بطور کلی مطالعات کمتری بر تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی بر خواص رئولوژیکی خمیرآبه و بیاتی نان بدون گلوتن انجام گرفته است. به عنوان

مثال، دلاهره و همکاران (۲۰۱۴) طی بررسی تأثیر سطح هیدراتاسیون خمیرآبه (۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درصد سطح هیدراتاسیون) و توزیع اندازه ذرات آرد برنج بر کیفیت نان بدون گلوتن گزارش کردند، بافت مغز نان با افزایش هیدراتاسیون آرد بهبود یافت، و هیدراتاسیون بالاتر (۱۱۰-۹۰ درصد) کسر درشت آرد مناسب‌ترین ترکیب برای تولید نان برنج با توجه به در نظر گرفتن حجم و مغز نان بود. کیم و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر توزیع اندازه ذرات آرد برنج بر کیفیت کاپ کیک‌های برنجی فاقد گلوتن را مورد بررسی قرار دادند، آنها مشاهده کردند با کاهش اندازه ذرات، سفتی و حالت ارتجاعی و اندازه سلولهای هوا کاهش یافت. کین و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تأثیر اندازه ذرات بر خواص آرد و نان برنجی بدون گلوتن مشاهده کردند کاهش اندازه منجر به تفاوت معنی‌داری در ساختار کریستالی و تغییر آنتالپی آرد برنج نشد. علاوه بر این، مدول الاستیک و ویسکوز خمیرآبه برنج با کاهش اندازه ذرات به جز ذرات کمتر از ۲۰۰ میکرون افزایش یافت. کین و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر عملیات حرارتی خشک آرد برنج گلوتنی و نشاسته برنج گلوتنی بر روی خصوصیات رئولوژیکی، ژل‌نشاسته و آرد برنج گلوتنی مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند عملیات حرارتی خشک با تأثیر بیشتر بر برنج گلوتنی منجر به خاصیت الاستیسیته بالاتر در مقایسه با نشاسته گلوتنی شد. خوانچای و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر عملیات حرارتی خشک به مدت ۱، ۲ و ۳ ساعت توسط آون در دو درجه حرارت (۹۰ و ۱۲۰ درجه سانتیگراد) بر عملکرد آرد برنج شکسته شده در تولید نان جایگزینی جزئی با آرد گندم را مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند حرارت دادن آرد برنج شکسته در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت باعث افزایش حجم کلی، بهبود ساختار سلولی، بافت و پذیرش کلی مصرف‌کننده نان شد. بوروکا و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر تیمار هیدروترومال آرد برنج و ذرت را به عنوان بهبود دهنده‌های محصولات نانوائی بدون گلوتن مورد ارزیابی قرار دادند. آنها مشاهده کردند تیمار هیدروترومال آرد برنج یا ذرت بر خصوصیات نان حاصل تأثیر می‌گذارد که منجر به افزایش حجم مخصوص نان‌ها و کاهش سفتی و بهم پیوستگی هر دو نوع

تعیین ترکیبات شیمیایی آرد برنج

محتوای رطوبت، pH، خاکستر، پروتئین آرد برنج با استفاده از روش استاندارد (۲۰۰۰) AACC و جهت اندازه‌گیری آسیب‌دیدگی نشاسته از روش غیرآنزیمی سریع (مک درموت، ۱۹۸۰) استفاده شد، نشاسته به روش استخراج قلیایی اندازه‌گیری شد (لاوال و همکاران ۲۰۱۱).

عملیات حرارتی خشک و مرطوب آرد برنج

در این روش مقدار ۱۰۰ گرم آرد برنج الک شده در فلاسک حجمی شیشه‌ای (۵۰۰ میلی لیتر) ریخته شد و حرارت خشک به روش بانه و لی (۲۰۱۸) به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) گرم شدند. حرارت مرطوب نیز به روش روییز و همکاران (۲۰۱۸) با رطوبت ۲۵٪ که مقدار آب مورد نیاز برای تنظیم میزان رطوبت نمونه‌ها از اختلاف بین رطوبت نمونه و محتوای رطوبت مورد نظر محاسبه و اضافه شد، سپس نمونه‌ها در آن به مدت ۵ ساعت و دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد گرم شدند.

فرمولاسیون نان بدون گلوتن

نان‌های حجیم بدون گلوتن پخته شده در این پژوهش با استفاده از روش حقیقت و همکاران (۲۰۲۰) با کمی تغییر تهیه شدند. مواد لازم جهت نان بدون گلوتن شامل ۱۰۰ گرم آرد برنج، ۲ گرم صمغ زانتان، ۲ گرم نمک، ۳ گرم مخمر، ۴/۵ گرم شکر، ۶ گرم روغن گیاهی و ۱۲۵ میلی لیتر آب بود.

ارزیابی رئولوژی خمیرآبه‌های بدون گلوتن

پارامترهای رئولوژیکی خمیرآبه‌ها که شامل روبش کرنش در کرنش ۱۰۰-۰/۰۰۱ درصد و روبش فرکانس در فرکانس بین ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز و روبش دما از دمای ۲۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد با استفاده از رئومتر مدل MCR 301 (Paar GmbH Anton) ساخت آلمان در مرکز رشد و فناوری شهرستان ساری بررسی شدند.

نان می‌شود. لازاریدو و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر اندازه ذرات آرد و عملیات هیدروترمال بر رئولوژی خمیر و کیفیت سوخاری جو بررسی کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌های رئولوژیکی نشان داد که هیدروترمال آرد باعث افزایش مقاومت در برابر تغییر شکل و جریان، کشش و سختی خمیرهای جو می‌شود و این روند برای آردهای درشت‌تر بود. علاوه بر این، کاهش اندازه ذرات در آردهای شاهد، سختی سوخاری را کاهش داد. دینگ و همکاران (۲۰۲۱) پیش‌ژلاتینی شدن آرد برنج و تأثیر آن بر خواص نان برنجی بدون گلوتن و خمیر آن را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود آرد برنج پیش‌ژلاتینی شده به طور قابل توجهی خواص نان برنجی بدون گلوتن را با تأثیر بر خواص پخت، خواص بافتی، رنگ و ویژگی‌های مغز نان بهبود بخشید.

با توجه به اینکه تاکنون برهم‌کنش اندازه ذرات با حرارت دهی مرطوب آرد برنج واکسی بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرآبه و بیاتی نان بدون گلوتن مورد مطالعه قرار نگرفته است در این پژوهش با تقسیم بندی آرد برنج با اندازه ذرات مختلف (۱۵۰، ۱۸۰، ۱۲۵ میکرون) و استفاده از تیمار حرارتی (حرارتی مرطوب و خشک) جهت اصلاح ویژگی‌های عملکردی آرد برنج و بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرآبه و بیاتی نان بدون گلوتن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده جهت تهیه نان بدون گلوتن شامل آرد برنج زرک (بازار محلی در شهرستان ساری) صمغ زانتان (از شرکت فوفنگ چین)، روغن مایع گیاهی آفتابگردان (از شرکت لادن، ایران)، مخمر نانویی فوری (از شرکت رضوی، ایران) شکر، و نمک بود. جهت تعیین اندازه ذرات مقدار ۱۰۰ گرم آرد برنج بروی الک‌هایی 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 ۳ قسمت به ترتیب با اندازه ذرات ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون تقسیم شد.

ارزیابی بافت نان حجیم بدون گلوتن

ارزیابی بافت نمونه های نان بدون گلوتن در روز اول و سوم پخت بوسیله دستگاه بافت سنج (Brookfield, USA) انجام شد. جهت انجام این آزمون نمونه با ابعاد ۲۵×۲۵×۲۵ میلی متری از قسمت مرکزی نان برش داده شد، سپس پروب ۳۸/۱ میلی متری 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 توسط نرم افزار Texture Pro CTV 1.6 Build 26 محاسبه شد (دهلی و سمبوچچی ۱۹۸۷، لازاریدو و همکاران ۲۰۰۷).

اندازه گیری رطوبت مغز و پوسته

اندازه گیری رطوبت پوسته و مغز نان ها با روش (۲۰۰۰) AACC در روز اول، سوم و پنجم پس از پخت انجام گرفت. طبق این روش نمونه یک گرمی درون ظروف آلومینیومی به مدت ۲ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت سپس میزان رطوبت با توجه به کاهش وزن نمونه محاسبه شد.

اندازه گیری فعالیت آبی مغز و پوسته

فعالیت آبی مغز و پوسته نان بدون گلوتن با استفاده از دستگاه واتر اکتیویته متر در روز اول، سوم و پنجم پخت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد (AACC, ۲۰۰۰).

آنالیز حرارتی نان بدون گلوتن

آنالیز حرارتی نان بدون گلوتن توسط دستگاه مدل SANAF-S500 ساخت ایران در فاصل زمانی روز اول، سوم و پنجم پس از پخت انجام گرفت. طبق این آزمون نمونه ۱۵ میلی گرم از مغز نان جدا در پن دستگاه قرار گرفت. اسکن گرمایی با سرعت حرارت دهی ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه و با برنامه دمایی ۲۵-۱۵۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت (جی و همکاران ۲۰۰۷).

تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی اثرات اندازه ذرات و تیمار حرارتی آرد برنج نتایج کلیه آزمایشات با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً

تصادفی و با سه تکرار آنالیز شد. مقایسه میانگین آزمونها، بر اساس آنالیز واریانس دو طرفه در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت. در صورت معنی دار بودن، برای تعیین تفاوت میانگین ها، آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SPSS ورژن ۲۶ مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی آرد برنج

میزان پروتئین ۸/۷٪، خاکستر ۳۸٪، رطوبت ۱۱/۴۶٪، نشاسته ۷۸/۴۸٪ و pH ۶/۶ بر مبنای وزن مرطوب برای آرد برنج بود. نتایج مربوط به میزان آسیب دیدگی نشاسته در جدول ۱ نشان داده شده است. تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی و اثر متقابل آنها تاثیر معنی داری بر میزان آسیب دیدگی نشاسته نشان دادند ($p < 0/05$). کاهش اندازه ذرات منجر و تیمار حرارتی به ترتیب منجر به افزایش و کاهش میزان آسیب دیدگی نشاسته شد. نمونه های تیمار حرارتی مرطوب کاهش بیشتری را نسبت به تیمار حرارتی خشک به خود اختصاص دادند. محتوای رطوبت بیشتر نمونه های تیمار حرارت مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارت خشک منجر به نفوذ مولکول های آب به داخل گرانول های نشاسته می شود که در نهایت منجر به بازآرایی بیشتر و کاهش میزان آسیب دیدگی نشاسته در طول تیمار حرارتی مرطوب می شود. نتایج بدست آمده با گزارش لیو و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد، آنها طی بررسی خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته های آسیب دیده حاصل از آسیاب گلوله ای ماش، سیب زمینی، ذرت و ذرت مومی قبل و بعد از عملیات حرارتی مرطوب مشاهده کردند محتوای نشاسته آسیب دیده نشاسته های اصلاح شده با عملیات حرارتی مرطوب برای ماش، سیب زمینی، ذرت و نشاسته ذرت مومی کاهش یافت، علت این امر را بازآرایی بیشتر ناحیه آمورف در دانه های نشاسته آسیب دیده توسط فرآیند تیمار حرارتی مرطوب نسبت دادند.

خشک است. این نتایج با گزارش کین و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد، آنها در بررسی رفتار رئولوژیکی آرد و نشاسته برنج گلوته بعد از تیمار حرارتی خشک گزارش کردند مدول ویسکوز و الاستیک آرد و نشاسته برنج گلوته بعد از تیمار حرارتی افزایش یافت. اذعان داشتند تیمار حرارتی خشک بر مقادیر مدول ویسکوز و الاستیک آرد برنج گلوته تأثیر بیشتری می‌گذارد که علت این امر ناشی از برهمکنش نشاسته و پروتئین در طول عملیات حرارتی خشک می‌باشد. (کین و همکاران، ۲۰۱۶). تیمار حرارتی مرطوب بر اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون با کاهش قابل توجهی در مدول ویسکوز و الاستیک همراه بود. احتمالاً این اثر به دلیل اختلال در ساختار کریستالی دانه‌های نشاسته خصوصاً در ذرات درشت تر در طول تیمار حرارتی مرطوب باشد که منجر به رفتار چسبناک‌تر می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۱۶).

تأثیر دما بر ساختار خمیرآبه در این پژوهش به شکل مدول کمپلکس، G^* در برابر دما در شکل ۳ نشان داده شده است. نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب کمترین مدول G^* را به خود اختصاص دادند، کمتر بودن مدول G^* نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه‌های شاهد و حرارت خشک احتمالاً به دلیل تعویق در قدرت تورم مولکول‌های نشاسته حاصل از تیمار حرارتی مرطوب می‌باشد که علت این امر می‌تواند مربوط به فعل و انفعالات بین زنجیره‌های نشاسته در نتیجه بازآرایی آمیلوپکتین در طول تیمار حرارتی مرطوب باشد. این نتایج با گزارش چم و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. آنها خواص رئولوژیکی آرد برنج تیمار شده با هیدروترمال مورد مطالعه قرار دادند، سپس گزارش کردند مدول الاستیک آرد برنج شاهد بالاتر از آرد تیمار شده با هیدروترمال بود، آنها علت این امر را به دلیل اینکه تیمار هیدروترمال می‌تواند قدرت تورم دانه‌های نشاسته را به تعویق بیندازد تلقی دادند.

Table 1- The extent of starch damage

Starch damage(%)	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

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

رئولوژی خمیرآبه بدون گلوته

کرنش ۵/۰ درصد جهت انجام سایر تست‌های رئولوژی بر اساس تغییرات مدول ویسکوز (G'') و مدول الاستیک (G') به دست آمده بوسیله آزمون روبش کرنش که جهت تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی خمیرآبه‌های بدون گلوته است در این پژوهش انتخاب شد (کین و همکاران، ۲۰۱۶). تغییرات مربوط به مدول ویسکوز (G'') و مدول الاستیک (G') نمونه‌های خمیرآبه بدون گلوته به ترتیب در شکل ۱ و ۲ ارائه شده است. تغییر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک و مرطوب منجر به تغییر در رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها شد، بطوریکه با کاهش اندازه ذرات مدول ویسکوز و الاستیک نمونه‌ها افزایش یافت. عظیم و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند آرد برنج با اندازه ذرات بزرگ دارای ویسکوزیه نهایی پایین‌تری است، که به معنای میزان پایین‌تر رتروگراداسیون است و نمی‌تواند ساختار ژل سفت و سختی ایجاد کند. بطور کلی خمیرآبه تیمار حرارتی خشک مدول ویسکوز و الاستیک بالاتری نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب و شاهد نشان داد که نشان دهنده قوام بالاتر نمونه‌های خمیرآبه حاصل از تیمار حرارتی

تیمار حرارت خشک نسبت به هم تفاوت معنی داری نداشتند ($p > 0.05$). نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارت خشک بطور معنی داری کمترین سفتی را دارا بودند. احتمالاً ویسکوزیته مناسب خمیرآبه نمونه های تیمار حرارتی مرطوب با قابلیت بالا آمدن بهتر و نگهداری گاز حاصل از تخمیر ضمن افزایش حجم موجب نرم تر شدن نان حاصل شد. روز اول در بین نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نمونه HMT 80 و نمونه HMT 100 نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارتی خشک بطور معنی داری فنریت کمتری را نشان دادند. نمونه تیمار HMT 120 نسبت به نمونه شاهد و حرارت خشک تفاوت معنی داری نداشت ($p > 0.05$). 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. تیمار حرارتی مرطوب منجر به تفاوت معنی دار بر میزان ارتجاعیت و بهم پیوستگی نشد. نمونه های تیمار حرارتی مرطوب بطور معنی داری کمترین میزان قابلیت جویدن را به خود اختصاص دادند ($p < 0.05$). کاهش قابلیت جویدن نمونه تیمار حرارتی مرطوب احتمالاً می تواند به دلیل تاثیر این تیمار بر کاهش سفتی و رطوبت بیشتر نان های حاصل باشد.

در این پژوهش تاثیر زمان نگهداری فقط بر قابلیت جویدن نان برای تمام نمونه ها معنی دار بود و با افزایش زمان نگهداری قابلیت جویدن نمونه ها بطور معنی داری کاهش یافت ($p < 0.05$). بیلیاردیس و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند سفت شدن مغز نان یکی از پارامترهای مهمی است که به طور کلی برای ارزیابی نرخ بیاتی استفاده می شود.

بطوریکه سفت شدن مغز نان در طی دوره نگهداری می تواند در نتیجه پدیده واپسگرایی و کاهش رطوبت باشد. با توجه به مطلب فوق عدم اختلاف معنی دار در طی دوره نگهداری در اکثر پارامترهای اندازه گیری شده خصوصاً در میزان سفتی می تواند به علت عدم اختلاف معنی دار بین میزان رطوبت مغز نمونه ها در طی دوره نگهداری باشد که این امر با عدم اختلاف

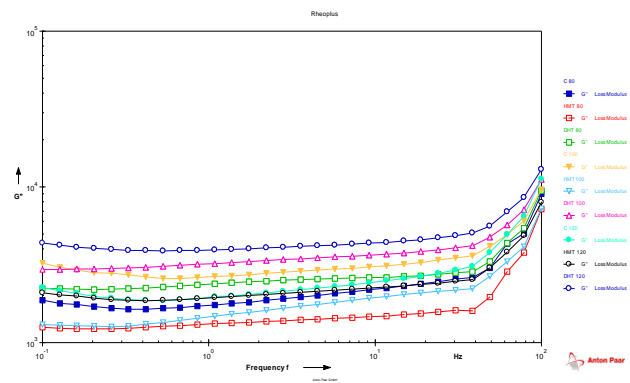


Figure 1- G' values of gluten-free batter as a function of frequency

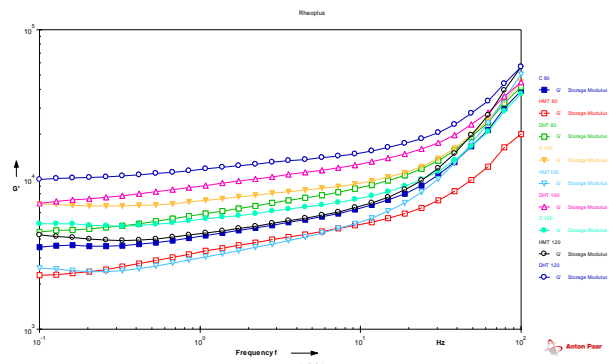


Figure 2- G'' values of gluten-free batter as a function of frequency

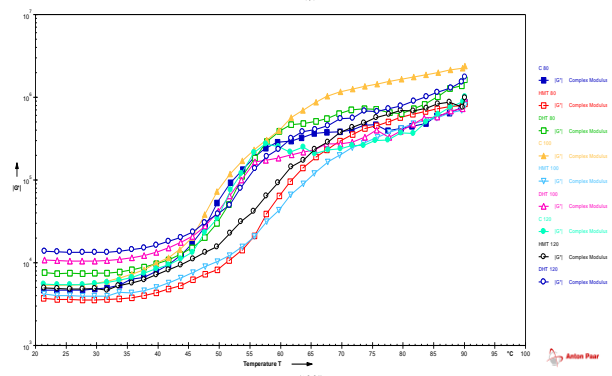


Figure 3- G* values of gluten-free abeh paste as a function of temperature

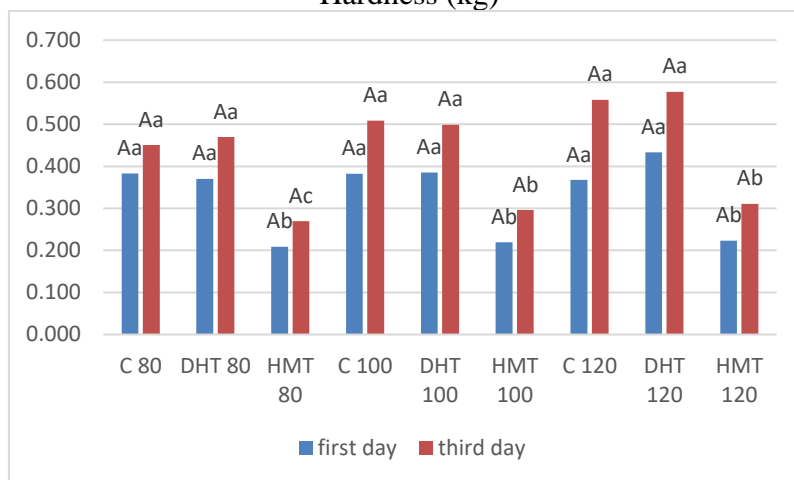
آنالیز پروفایل بافت نان بدون گلوتن

در شکل ۴ نتایج حاصل از آنالیز پروفایل نان بدون گلوتن در روز اول و سوم پس از پخت آورده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد در روز اول و سوم پخت تاثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک بر میزان سفتی، ارتجاعیت، فنریت، بهم پیوستگی و قابلیت جویدن معنی دار نبود و نمونه های شاهد و

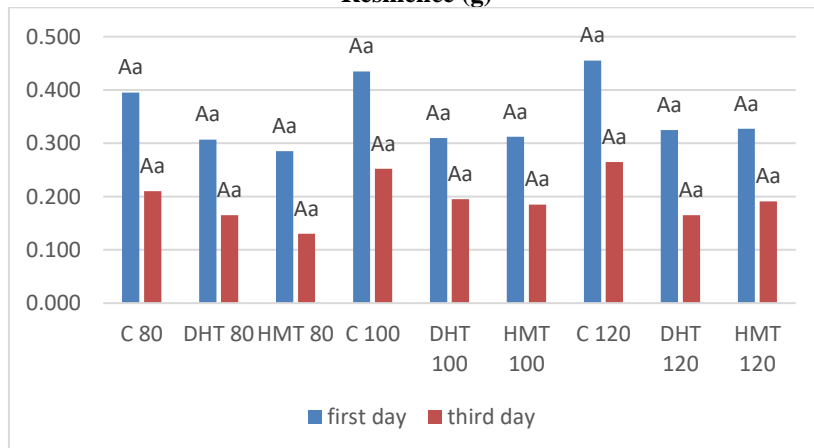
۷۵ میکرون بطور معنی داری نسبت به سایر نمونه ها کاهش یافت و در سایر نمونه ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد. کین و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه تاثیر اندازه ذرات بر خواص آرد و نان برنجی بدون گلوتن گزارش کردند استفاده از آرد برنج با اندازه ذرات ۷۵-۱۰۰ میکرون در تهیه نان برنج با سفتی کمتر مطلوب تر است. بورکا و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی که بر تاثیر تیمار هیدروترمال برنج و ذرت در کیفیت نان بدون گلوتن انجام دادند گزارش کردند تیمار هیدرو ترمال منجر به بهبود کیفیت نان بدون گلوتن شد، بطوریکه خصوصیات بافتی نان حاصل از نمونه تیمار شده برنج و ذرت قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نسبت به نمونه های شاهد نشان داد. کیم و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند کیک حاصل از آرد برنج تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد سفتی، فنریت، بهم پیوستگی، جویدن کمتری را نشان داد.

معنی دار میزان رطوبت مغز نمونه ها در طی دوره نگهداری (روز اول نسبت به روز سوم) در این پژوهش مطابقت دارد. فتیحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند تیمار حرارتی مرطوب آرد ارزن بر سفتی کیک بدون گلوتن موثر است، بطوریکه در روز اول و سوم پخت نمونه های حاصل از تیمار حرارتی مرطوب به استثناء کیک حاصل از آرد تیمار شده با رطوبت ۳۰ درصد و دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد کمترین سفتی را نسبت به نمونه شاهد داشتند. پیرز و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند بکارگیری آرد برنج تیمار حرارتی مرطوب حاصل از مایکروویو در تهیه نان برنجی بطور معنی داری منجر به کاهش سفتی شد، در حالیکه تاثیری بر میزان بهم پیوستگی نداشت. کیم و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود آرد برنج را با اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰، ۱۲۵، ۹۵ و ۷۵ میکرون تقسیم کردند و بر کیفیت کاپ کیک های برنجی فاقد گلوتن مورد بررسی قرار دادند، آنها مشاهده کردند سفتی نمونه حاصل از اندازه ذرات کمتر از

Hardness (kg)



Resilience (g)



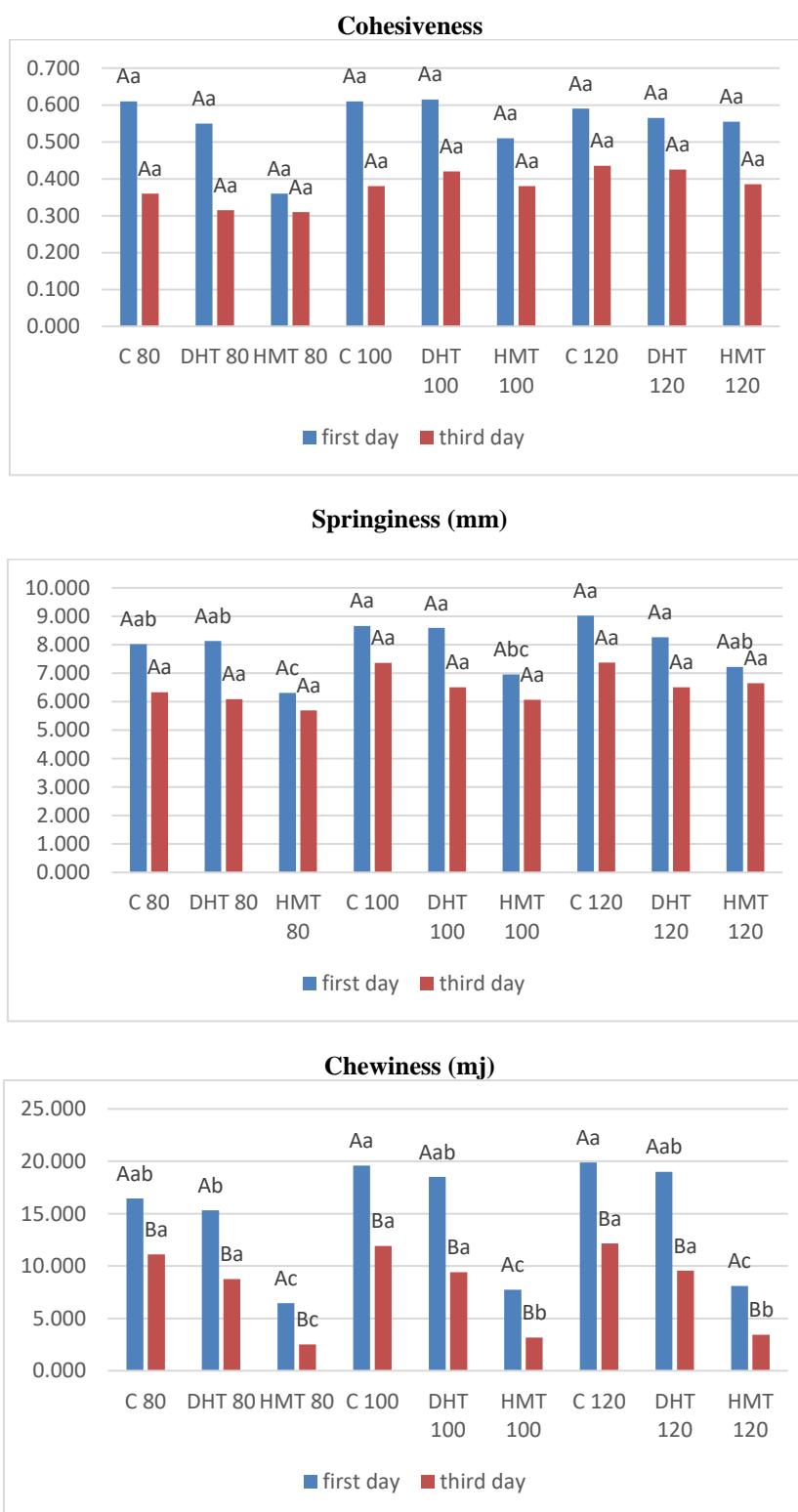


Figure 4- Results of texture profile analysis of gluten-free bread samples.

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

رطوبت پوسته و مغز نان بدون گلوتن

میزان رطوبت پوسته و مغز نان بدون گلوتن در روزهای مختلف نگهداری به ترتیب در شکل ۵ و ۶ ارائه شده است. تاثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی بر میزان رطوبت پوسته معنی دار نبود بطوریکه در روز اول و سوم پخت درصد رطوبت پوسته تمام نمونه های تیمار حرارتی مرطوب و حرارت خشک و شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی داری نسبت به هم نداشتند ($p > 0.05$). روز پنجم نگهداری نمونه تیمار DHT 120 نسبت به نمونه تیمار HMT 80 و HMT 100 بطور معنی داری از رطوبت پوسته کمتری برخوردار بود، سایر نمونه ها تفاوت معنی داری نسبت به هم نداشتند. تاثیر زمان نگهداری بر رطوبت پوسته نمونه های متفاوت در فواصل بین روز سوم و پنجم معنی دار نبود، اما درصد رطوبت پوسته نمونه های

تیمار حرارتی مرطوب بطور معنی داری افزایش یافت. میزان رطوبت مغز نمونه های حاصل از تیمار حرارت خشک نسبت به نمونه های شاهد تفاوت معنی داری نداشتند، در حالیکه تاثیر اندازه ذرات بر میزان رطوبت مغز نان معنی دار بود، بطوریکه در روز اول، سوم و پنجم پخت نمونه C 120 نسبت به نمونه C 80 بطور معنی داری رطوبت بیشتری داشت ($p < 0.05$). علت این امر ممکن است ناشی از حضور تعداد بالای گروه های آبدوست در مولکول های نشاسته درآرد با اندازه ذرات ریزتر باشد که منجر به افزایش جذب آب و رطوبت بیشتر محصول می گردد (لاپسیکوا و همکاران ۲۰۲۱). بطور کلی نمونه های تیمار حرارتی مرطوب در طول زمان نگهداری بطور معنی داری بیشترین میزان رطوبت مغز را به خود اختصاص دادند ($p < 0.05$).

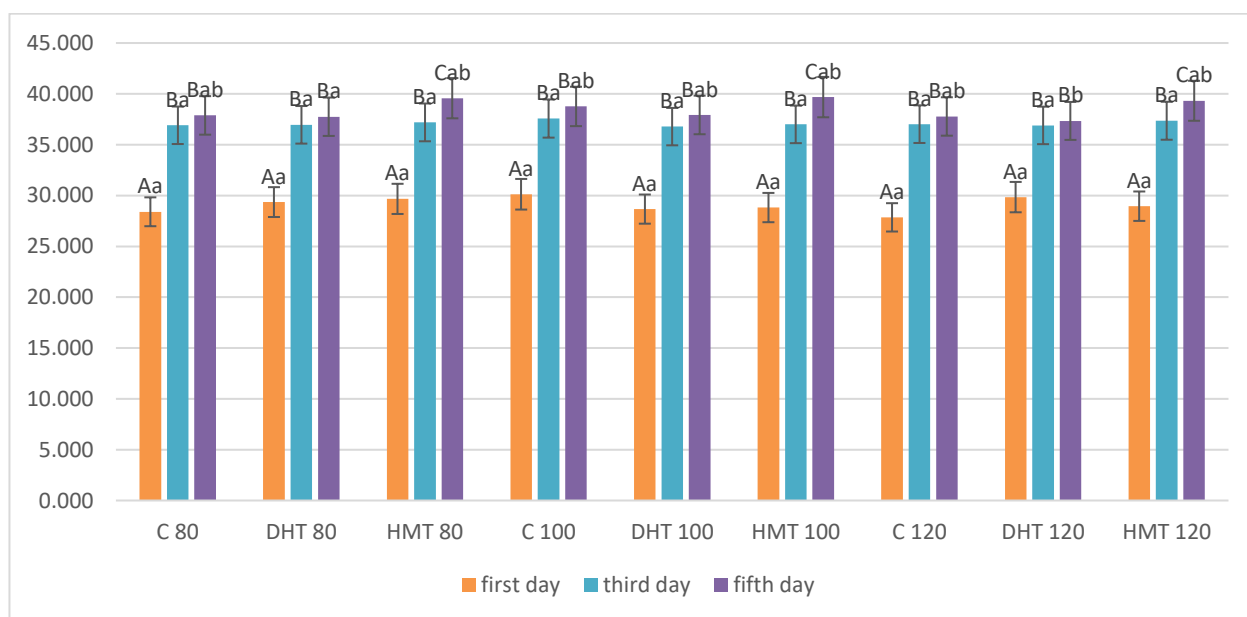


Figure 5- Moisture content of crust of different breads during different days of storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

افزایش نگهداشت آب نسبت به نمونه شاهد شد. پیرز و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند میزان رطوبت مغز نان تهیه شده حاصل از تیمار حرارت مرطوب آرد برنج با مایکروویو بطور معنی داری نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. هسو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند استفاده از نشاسته گندم و

این نتایج با پژوهش پورهاگن و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آنها در بررسی آرد جو تیمار نشده و نشاسته جو مومی و آرد جو تیمار شده حرارتی به عنوان عامل ضد بیاتی در فرمولاسیون نان گزارش کردند استفاده از آرد جو و نشاسته جو تیمار شده در روز اول، سوم و هفتم نگهداری بطور معنی داری منجر به

پیوند هیدروژنی به گروه‌های هیدروکسیل آمیلوپکتین اتصال برقرار می‌کند که این به نوبه خود باعث افزایش جذب آب و رطوبت محصول می‌گردد (کیم و همکاران ۲۰۲۱).

ذرت پیش ژلاتینه شده در فرمولاسیون کیک منجر به افزایش رطوبت مغز کیک حاصل شد. پس از عملیات حرارتی مرطوب ساختار کریستالی نشاسته برنج ممکن است به دلیل شکستن پیوند‌های هیدروژنی مختل شود، در نتیجه مولکول‌های آب با

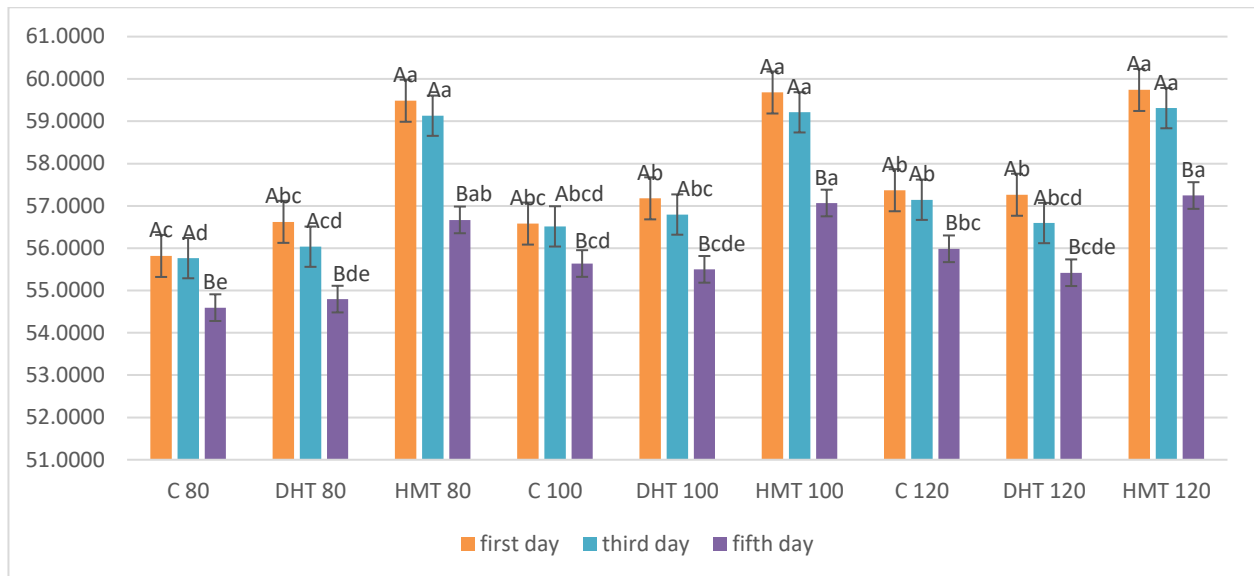


Figure 6- The amount of moisture in the Crumb of different breads during different days of storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

داد در طی مدت زمان نگهداری فعالیت آبی مغز نمونه‌ها بطور معنی‌دار کاهش یافت. نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب بدون تفاوت آماری نسبت به هم در کل مدت زمان نگهداری از میزان فعالیت آبی بیشتری برخوردار بودند که این امر به دلیل ظرفیت بالای آرد تیمار حرارت مرطوب در حفظ رطوبت و در نتیجه افزایش رطوبت محصول می‌باشد. این نتایج با گزارش مهاجر خراسانی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد، آنها در بررسی مقایسه اثر تیمار حرارتی مرطوب دانه ارزن و افزودن صمغ زانتان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک بدون گلوتن مشاهده کردند تیمار حرارتی مرطوب منجر به افزایش فعالیت آبی مغز کیک شد، همچنین عنوان کردند نمونه حاصل از تیمار حرارت مرطوب بیشترین میزان فعالیت آبی را در طی مدت ۷ روز نگهداری نسبت به نمونه شاهد داشت. رایولا و

فعالیت آبی پوسته و مغز نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از تغییرات فعالیت آبی پوسته و مغز نمونه نان های بدون گلوتن طی روزهای مختلف نگهداری به ترتیب در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است. روز اول، سوم و پنجم پخت میزان فعالیت آبی پوسته تمامی نمونه‌های تیمار حرارت خشک و تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد هیچ تفاوت معنی‌داری نداشتند ($p > 0.05$). نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد با افزایش مدت زمان نگهداری فعالیت آبی پوسته نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. بطور کلی تغییر در اندازه ذرات و تیمار حرارتی تاثیر بر فعالیت پوسته نمونه‌ها نداشت. نمونه‌های حاصل از تیمار حرارت مرطوب در روز اول، سوم و پنجم پخت نسبت به نمونه شاهد و حرارت خشک بطور معنی‌داری فعالیت آبی مغز بیشتری داشتند ($p < 0.05$). آنالیز آماری نشان

زمان ۳۰ دقیقه بر میزان فعالیت آبی پوسته و مغز نان حاصل نسبت به نمونه شاهد تأثیر معنی داری نداشت.

همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند تیمار حرارتی خشک آرد گندوم در دمای ۱۵۰ و ۱۲۵ درجه سانتیگراد به مدت

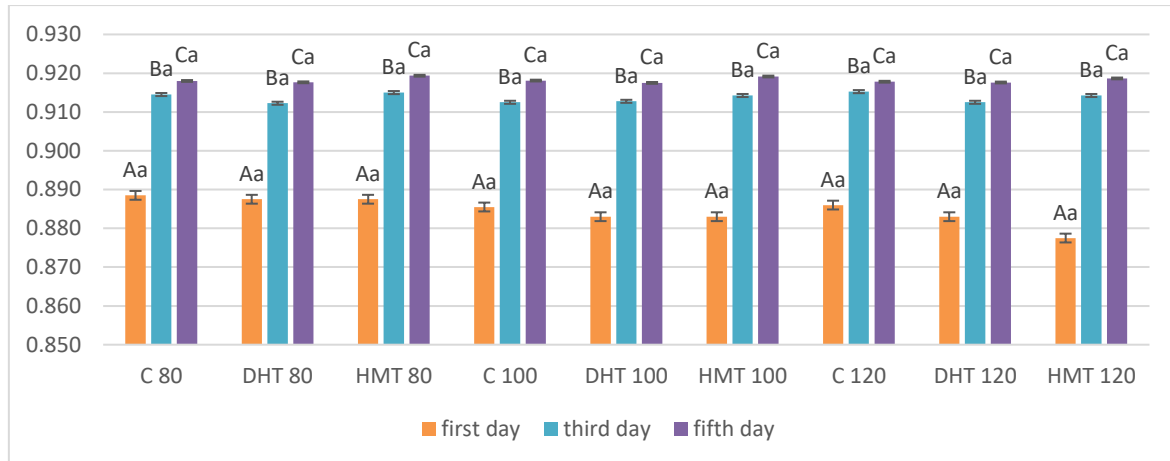


Figure 7- Water activity level of crust of different breads during different days of storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

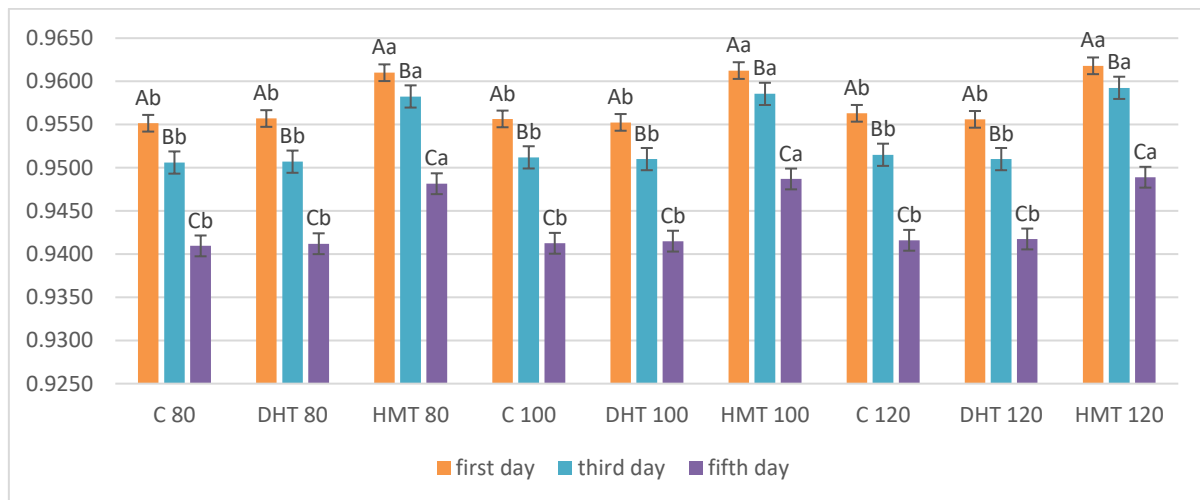


Figure 8- Brain activity level of different breads during different storage days

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

کمتر از ۱۲۵ میکرون کمترین مقدار آنتالپی در بین نمونه های شاهد را در تمام روزهای نگهداری داشت. علت این امر ممکن است به دلیل میزان نشاسته آسیب دیده بیشتر این ذرات باشد که مانع رترآگراسیون نشاسته و در نتیجه کاهش میزان آنتالپی شود. نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی

آنالیز حرارتی روبشی افتراقی

نتایج حاصل از آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی برای تیمارهای مختلف طی روزهای اول، سوم و پنجم نگهداری در جدول ۲ آورده شده است. تغییر در اندازه ذرات منجر به تغییر در میزان آنتالپی نمونه ها شد، بطوریکه نمونه با اندازه ذرات

های تیمار حرارتی مرطوب به ویژگی های کیفی آرد تیمار حرارتی مرطوب مرتبط است. علت آن ممکن است به دلیل ژلاتینه شدن جزئی مولکول های آمیلوپکتین باشد که در طول حرارت دادن پایداری کمتر دارند، (هورمدوک و نومهورم ۲۰۰۷).

خشک و شاهد کمترین میزان آنتالپی در بین نمونه ها در روز اول پخت و در طول مدت زمان نگهداری به خود اختصاص دادند. این نتایج با پژوهش های پورهاگن و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد، آنها دریافتند میزان واپسگرایی آمیلوپکتین نان های حاوی آرد جو نشاسته تیمار شده در طول مدت زمان نگهداری کمتر از نان شاهد بود. کمتر بودن میزان آنتالپی نمونه

Table 2- Endotherm parameters of retrogradation of types of gluten-free breads on the first, third and fifth days of storage

Enthalpy ΔH	Final temperature	peak temperature	starting temperature	Storage time (days)	Breads
434/04	114/6	92/1	42/3	1	
462/9	118/5	92/8	34/5	3	C 80
524/16	118/8	95/1	38/3	5	
445/92	117/7	92/6	40/4	1	
468/72	117/8	93/6	40/1	3	DHT 80
483/84	119/6	96/2	38/7	5	
374/7	112/7	91	40/5	1	
404/88	116/1	92/4	39/7	3	HMT 80
428/28	116/6	93/1	38/9	5	
409/5	112	89/1	44/6	1	
416/06	115	95	40	3	C 100
515/74	123/8	96/9	40/4	5	
409/8	113/4	90/4	40/6	1	
422/76	116/2	91	37/9	3	DHT 100
477/48	118/6	92/4	35/3	5	
363/42	113/5	91/2	43/5	1	
402/18	114/2	91/6	45/8	3	HMT 100
440/16	119/6	94/6	43/2	5	
391/26	115/5	92/6	39/9	1	
414/04	115/8	95/6	40/3	3	C 120
504/76	119/2	96/9	40/4	5	
412/92	119/3	93/4	39/3	1	
468/66	117/4	95/1	37	3	DHT 120
483/84	119/1	95/9	38/7	5	
304/32	110/2	90/4	41/8	1	
407/76	116/5	93/3	40/4	3	HMT 120
437/7	120/8	94	38/6	5	

نتیجه گیری

آنتالپی رتروگراداسیون کمتر و همچنین ظرفیت بالای حفظ رطوبت منجر به بهبود روند بیاتی نان شدند. تاثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک و مرطوب بر میزان فعالیت آبی پوسته معنی دار نبود، اما نمونه های تیمار حرارتی مرطوب در طول زمان نگهداری بطور معنی دار بیشترین فعالیت آبی مغز را به خود اختصاص دادند. بررسی نتایج آنالیز بافت نشان داد نمونه های حاصل از تیمار حرارتی مرطوب بطور معنی داری منجر به کاهش سفتی و قابلیت جویدن در روز اول و سوم نسبت نمونه شاهد و تیمار حرارت خشک شد. بطور کلی در مجموع ویژگی های اندازه گیری شده بکارگیری آرد حاصل از تیمار حرارتی مرطوب نسبت به آرد تیمار حرارت خشک همچنین

نتایج پژوهش حاضر نشان داد میزان آسیب دیدگی نشاسته و رئولوژی خمیرآبه ها تحت تاثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی قرار گرفتند. کوچک شدن اندازه ذرات و بکارگیری تیمار حرارتی به ترتیب منجر به افزایش و کاهش میزان آسیب دیدگی نشاسته شد. آرد برنج با اندازه ذرات ریزتر و نمونه تیمار حرارتی مرطوب حاصل از اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون رفتار رئولوژی بهتری را نشان دادند. نتایج حاصل از ارزیابی های انجام شده مربوط به آزمون های بیاتی نان در این پژوهش نشان داد در طول زمان نگهداری نمونه حاصل از اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب به دلیل میزان

آرد با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون منجر به بهبود ویژگی

تشکر و قدردانی

های رئولوژیکی خمیرآبه ها و بیاتی نان بدون گلوتن شد.

از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا
از این پژوهش، قدردانی می‌کنیم.

References

- مهاجر خراسانی س، اعلمی م، کاشانی نژاد م و شهیری طبرستانی ه، ۱۳۹۸، مقایسه اثر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن و افزودن صمغ زانتان بر ویژگی‌های خمیر و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک بدون گلوتن. مجله علوم و صنایع غذایی، ۱۶ (۹۰)، ۲۲۹-۲۴۳.
- یزدانی ب، میلانی ج و حسینی ا، ۱۳۹۴، مقایسه کیفیت و بیاتی نان تهیه شده با استفاده از مایکروویو، سیستم جابجایی و ترکیبی، پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۵ (۳)، ۴۷۷-۴۶۷.
- AACC 2000. American Association of cereal chemists. Approved methods of the AACC, 10th ed. American Association of cereal chemists, St Paul, USA.
- Azeem M, Mu TH & Zhang M, 2020. Influence of particle size distribution of orange-fleshed sweet potato flour on dough rheology and simulated gastrointestinal digestion of sweet potato-wheat bread. LWT 131:109690.
- Bae IY & Lee HG, 2018. Effect of dry heat treatment on physical property and in vitro starch digestibility of high amylose rice starch. International Journal of Biological Macromolecules 108: 568-575.
- Biliaderis CG, Izydorczyk MS & Rattan O, 1995. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. Food Chemistry 53(2): 165-171.
- Bourekoua H, Benatallah L, Zidoune MN & Rosell CM, 2016. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. LWT 73: 342-350.
- Cham S & Suwannaporn P, 2010. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. Journal of Cereal Science 51(3): 284-291.
- Dahle L & Sambucca N, 1987. Application of Devised Universal Testing Machine Procedures for Measuring the Texture of Bread and Jam Filled Cookies. American Association of Cereal Chemists 32(7): 466-470.
- De La Hera E, Rosell CM & Gomez M, 2014. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. Food Chemistry 151: 526-531.
- Ding XL, Wang LJ, Li TT, Wang F, Quan ZY, Zhou M & Qian JY, 2021. Pre-gelatinisation of rice flour and its effect on the properties of gluten free rice bread and its batter. Foods 10(11): 2648.
- Fathi B, Aalami M, Kashaninejad M & Sadeghi Mahoonak A, 2016. Utilization of heat-moisture treated proso millet flour in production of gluten-free pound cake. Journal of Food Quality 39(6): 611-619.
- Gomez M & Martinez MM, 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. Journal of Cereal Science 67: 68-74.
- Haghighat-Kharazi S, Reza Kasaii M, Milani JM & Khajeh K, 2020. Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. Food Science & Nutrition 8(11): 5888-5897.
- Haghighat-Kharazi S, Milani JM, Kasaii MR & Khajeh K, 2018. Microencapsulation of α -amylase in beeswax and its application in gluten-free bread as an anti-staling agent. LWT 92: 73-79.
- Hesso N, Loisel C, Chevallier S and Le-Bail A, 2014. Impact of pregelatinized starches on the texture and staling of conventional and degassed pound cake. Food and Bioprocess Technology 7: 2923-2930.
- Hormdok R & Noomhorm A, 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. LWT-Food science and Technology 40(10): 1723-1731.
- Ji Y, Zhu K, Qian H & Zhou H, 2007. Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. Food Chemistry 104(1): 53-58.
- Khwanhai, P & Fong-In S, 2022. Effect of Heat Treatment of Broken Rice Flour as Partial Substitution of Wheat Flour on the Qualities of Bread. Burapha Science Journal: 171-187.

- Kim AN, Rahman MS, Lee KY & Choi SG, 2021. Superheated steam pretreatment of rice flours: Gelatinization behavior and functional properties during thermal treatment. *Food Bioscience* 41: 101013.
- Kim MJ, Oh SG & Chung HJ, 2017. Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and Biotechnology* 26 (6): 1579-1586.
- Kim JM & Shin M, 2014. Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT-Food Science and Technology* 59(1): 526-532.
- Lapcikova B, Lapcik L, Valenta T, Majar P & Ondrouskova K, 2021. Effect of the rice flour particle size and variety type on water holding capacity and water diffusivity in aqueous dispersions. *LWT* 142: 111082.
- Lawal OS, Lapasin R, Bellich B, Olayiwola TO, Cesàro A, Yoshimura M & Nishinari K, 2011. Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. *Food Hydrocolloids* 25(7): 1785-1792.
- Lazaridou A, Marinopoulou A & Biliaderis CG, 2019. Impact of flour particle size and hydrothermal treatment on dough rheology and quality of barley rusks. *Food Hydrocolloids* 87: 561-569.
- Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N and Biliaderis CG, 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering* 79: 1033-1047.
- Liu C, Song M, Liu L, Hong J, Guan E, Bian K & Zheng X, 2020. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of ball mill damaged starches from different botanical sources. *International Journal of Biological Macromolecules* 156: 403-410.
- Liu YF, Laohasongkram K & Chaiwanichsiri S, 2016. Effects of heat-moisture treatment on molecular interactions and physicochemical properties of tapioca starch. *Food Process Technology* 3(3): 00072.
- Lu X, Xu R, Zhan J, Chen L, Jin Z & Tian Y, 2020. Pasting, rheology, and fine structure of starch for waxy rice powder with high-temperature baking. *International journal of biological macromolecules* 146: 620-626.
- McDermott EE, 1980. The rapid non-enzymic determination of damaged starch in - flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31(4): 405-413.
- Pérez-Quirce S, Ronda F, Lazaridou A and Biliaderis CG, 2017. Effect of microwave radiation pretreatment of rice flour on gluten-free breadmaking and molecular size of β -glucans in the fortified breads. *Food and Bioprocess Technology* 10: 1412-1421.
- Purhagen JK, Sjo ME and Eliasson AC, 2011. The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as antistaling agents in laboratory and industrial baking processes. *Journal of Food Engineering*, 104: 414-421.
- Qin W, Lin Z, Wang A, Chen Z, He Y, Wang L & Tong LT, 2021. Influence of particle size on the properties of rice flour and quality of gluten-free rice bread. *LWT* 151: 112236.
- QinY, Liu C, Jiang S, Cao J, Xiong L & Sun Q, 2016. Functional properties of glutinous rice flour by dry-heat treatment. *Plos One* 11(8): 0160371
- Raiola A, Romano A, Shanakhat H, Masi P & Cavella S, 2020. Impact of heat treatments on technological performance of re-milled semolina dough and bread. *LWT* 117: 108607.
- Ruiiz E, Srikaeo K & de la Revilla L S, 2018. Effects of heat moisture treatment on physicochemical properties and starch digestibility of rice flours differing in amylose content. *Food and Applied Bioscience Journal* 6(3): 140-153.
- Seow EK, Gan CY, Tan TC, Lee LK & Easa AM, 2019. Influence of honey types and heating treatment on the rheological properties of glutinous rice flour gels. *Journal of food science and technology* 56(4): 2105-2114.
- Torbica A, Belovic M, Popovic L & Cakarevic J, 2021. Heat and hydrothermal treatments of non-wheat flours. *Food Chemistry* 334: 127523.