

Investigation of the physical, functional and sensory properties of enzyme-modified gluten-free Fermi pasta

Armin Ghassemi¹, Zahra Emam-Djomeh^{2*}, Peyman Mahasti Shotorbani³,
Mohammad Jouki⁴, Homa Behmadi⁵

¹Ph.D. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Biological Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Islamic Republic of Iran

²Professor, Department of Food Science, Technology and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: emamj@ut.ac.ir

³Associate Professor, Department of Food Quality Control and Hygiene, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Islamic Republic of Iran

⁴Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Biological Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Islamic Republic of Iran.

⁵Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Engineering, Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran

Article Info

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2024-05-06

Revised: 2024-09-04

Accepted: 2024-09-11

Keywords:

Transglutaminase enzyme

Celiac disease

Pasta

Pseudocereals

Gluten-free

ABSTRACT

Background and objectives: The demand for gluten-free products has increased due to the increasing number of people with celiac disease and the tendency of consumers to remove allergenic proteins from their diet. Therefore, the aim of this research is to formulate, produce, and evaluate the quality characteristics of enzyme-modified gluten-free Fermi pasta based on rice flour and pseudocereals.

Materials and methods: A sample of gluten-free pasta was prepared from a mixture of 25 percent rice flour and 75 percent (w/w) semi-cereal flour (equal proportions of chia, teff, quinoa, amaranth, and buckwheat) with different weights of the transglutaminase enzyme (0, 500, 1000, 2000, and 4000 ppm). The commercial control sample was made from wheat flour. The color, texture, functional, and sensory characteristics of the enzyme-modified gluten-free Fermi pasta were investigated.

Results: The results showed that with the increase of the concentration of the enzyme, the color brightness index (L^*) in the cooked sample increased and the indices b^* and a^* remained unchanged ($p < 0.05$), resulting in an increase in the whiteness of the product and the final yellowness decreasing. Furthermore, the transglutaminase enzyme had a positive effect on increasing the hardness of the texture and baking number and decreasing the glaze number of the final product. Pasta with 2000 ppm of transglutaminase enzyme was selected as a sample for Fermi pasta without modified gluten.

Conclusion: The results show that the use of the transglutaminase enzyme can significantly improve the quality characteristics of gluten-free pasta.

Cite this article: Ghassemi, A., Emam-Djomeh, Z., Mahasti Shotorbani, P., Jouki, M., Behmadi, H. 2024. Investigation of the physical, functional and sensory properties of enzyme-modified gluten-free Fermi pasta. *Food Processing and Preservation Journal*, 16 (2), 41-52.



"Authors retain the copyright and full publishing rights"

DOI: 10.22069/fppj.2024.22410.1811

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید و ارزیابی ویژگی‌های رنگ، بافت، عملکردی و حسی پاستای فرمی فاقد گلوتن اصلاح شده آنزیمی

آرمین قاسمی^۱، زهرا امام‌جمعه^{۲*}، پیمان مهستی شتربانی^۳، محمد جوکی^۴، هما بهمدی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ استاد، گروه علوم، فناوری و مهندسی صنایع غذایی دانشکده فنی و مهندسی کشاورزی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: emamj@ut.ac.ir
^۳ دانشیار، گروه کنترل کیفی، دانشکده علوم پزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۴ استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۵ استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله:	مقاله کامل علمی-پژوهشی
سابقه و هدف:	افزایش تقاضا برای محصولات بدون گلوتن به دلیل افزایش تعداد مبتلایان به بیماری سلیاک و کاهش مصرف‌کنندگان برای حذف پروتئین‌های آلرژی‌زا از رژیم‌های غذایی، افزایش یافته است. ازاین‌رو هدف این تحقیق، بهبود فرمولاسیون، تولید و ارزیابی ویژگی‌های کیفی پاستای فرمی بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی بر پایه آرد برنج و شبه غلات است.
مواد و روش‌ها:	نمونه پاستای بدون گلوتن با استفاده از مخلوط ۲۵ درصد آرد برنج و ۷۵ درصد وزنی/وزنی آرد شبه غلات با نسبت برابر از چیا، تف، کینوا، آمارانت و باکویت و با استفاده از نسبت‌های وزنی مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام) تولید شدند. نمونه شاهد تجاری با استفاده از آرد گندم تولید شد. ویژگی‌های رنگ، بافت، عملکردی و حسی پاستاهای فرمی بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی بررسی شد.
یافته‌ها:	نتایج نشان دادند که با افزایش غلظت آنزیم، شاخص روشنایی رنگ (L^*) در نمونه پخته شده افزایش یافت و شاخص‌های b^* و a^* بدون تغییر معنی‌دار ($p < 0.05$) بودند که به تبع آن سفیدی محصول افزایش و زردی نهایی کاهش یافت. همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز اثر مثبت بر افزایش سفیدی بافت و عدد پخت و کاهش عدد لعاب محصول نهایی داشت. پاستای حاوی ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز به‌عنوان نمونه پاستای فرمی بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی مطلوب انتخاب شد.
واژه‌های کلیدی:	آنزیم ترانس گلوتامیناز بیماری سلیاک پاستا شبه غلات بدون گلوتن
نتیجه‌گیری:	نتایج نشان داد که استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز می‌تواند بهبودی قابل‌توجهی در ویژگی‌های کیفیتی پاستای بدون گلوتن ایجاد کند.

استناد: قاسمی، آرمین؛ امام‌جمعه، زهرا؛ مهستی شتربانی، پیمان؛ جوکی، محمد؛ بهمدی، هما. (۱۴۰۳). تولید و ارزیابی ویژگی‌های رنگ، بافت، عملکردی و حسی پاستای فرمی فاقد گلوتن اصلاح شده آنزیمی. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*. ۱۶ (۲)، ۴۱-۵۲.



DOI: 10.22069/fppj.2024.22410.1811

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

"حق نشر و حقوق کامل انتشار برای نویسندگان محفوظ است".

مقدمه

عدم تحمل افراد نسبت به غلات حاوی گلوتن که ترکیبی از دو پروتئین پرولامین و گلوتنین است و در برخی از غلات مانند گندم، جو، چاودار و جو دوسر وجود دارد، منجر به بروز بیماری سلیاک و یا حساسیت غیر سلیاکی به گلوتن یا حساسیت به سایر اجزا آرد گندم می‌شود (۱). حساسیت غیر سلیاکی به گلوتن در جوامع مختلف چند برابر فراوانی سلیاک و در حدود ۲ تا ۵ درصد است. تحمل افراد به مقادیر مختلف گلوتن موجود در مواد غذایی و شدت حساسیت و واکنش‌های ایمنی آن‌ها متفاوت است. ایران یکی از بالاترین میزان مصرف سرانه گندم در جهان را دارد بنابراین همه شرایط برای بروز این بیماری در کشور فراهم است (۲).

آرد گندم به عنوان مهم‌ترین ماده اولیه مورد نیاز برای تولید پاستا، حاوی پروتئین منحصراً به نام گلوتن است که مهم‌ترین پروتئین ساختار دهنده در آرد بوده و مسئول خواص ویسکوالاستیکی خمیر است. اما حضور این پروتئین ممکن است سبب بروز مشکلاتی در سلامتی برخی افراد، از جمله بیماران سلیاکی شود (۳، ۴).

بیماری سلیاک یک ناهنجاری مادام‌العمر روده‌ای است که به سبب خوردن گلوتن در افراد حساس ایجاد می‌شود. این بیماری یکی از رایج‌ترین ناهنجاری‌های ژنتیکی در جهان است. مصرف گلوتن توسط بیماران سلیاکی سبب التهاب و تورم روده کوچک شده که در نتیجه موجب جذب ناقص مواد ضروری از قبیل: آهن، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی و گاهی اوقات سبب کاهش وزن، اسهال، کم‌خونی، خستگی، نفخ شکم و کمبود فولات می‌شود (۵). زمانی که بیماران مبتلا به سلیاک، غذاهای حاوی گلوتن مصرف می‌کنند، سیستم ایمنی بدن آن‌ها پاسخی را به صورت تخریب روده کوچک صادر می‌کند و این

تخریب در پرزهای انگشتانه‌ای روده که مواد مغذی داخل آن‌ها جذب می‌شود، ایجاد می‌گردد (۶، ۷). به دنبال آسیب پرزهای روده‌ای فرد بدون توجه به مواد غذایی که می‌خورد دچار سوءتغذیه می‌شود. بیماری سلیاک به نام اسپروی سلیاک، اسپروی غیرحاره‌ای و آنتروپی حساس به گلوتن نیز نامیده می‌شود. سلیاک بیماری وراثتی است و از نسلی به نسل دیگر در خانواده منتقل می‌شود و افراد را به گونه‌ای متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهد و در گروهی از بیماران علائم از دوران کودکی و در تعدادی دیگر در بزرگسالی بروز می‌کند (۸). گلوتن ماده موجود در آرد گندم و نامحلول در آب است که بعد از شستشوی خمیر یک توده الاستیک را تشکیل می‌دهد (۹). هنگامی که آرد گندم به‌طور مکانیکی با آب مخلوط می‌شود، پروتئین‌های گندم ویژگی‌های بی‌نظیری برای توسعه ماتریکس ویسکوالاستیکی دارند که قادر است حباب‌های تولید شده را در خمیر نگه دارد. این امر منجر به ایجاد ساختار گازدار شده‌ای در مغز بافت فرآورده‌های نانوائی می‌گردد و همچنین عامل ایجاد ساختار و انسجام در قطعات پاستا است (۱۰). ماتریکس گلوتن تعیین‌کننده اصلی ویژگی‌های خمیر شامل کشش، مقاومت به کشش، مخلوط کردن و قابلیت گاز و خصوصیات بافتی مناسب در این گونه از محصولات می‌گردد. تنها راه درمان بیماری سلیاک استفاده از یک رژیم غذایی بدون پروتئین‌های گروه پرولامین یا اصطلاحاً بدون گلوتن در تمام طول عمر بیمار است (۱۱). به‌منظور تقلید خصوصیات ویسکوالاستیک گلوتن در خمیر گندم، تعداد زیادی از آردها و نشاسته‌ها (برنج، ذرت، کاساوا و سویا) (۱۲)، (۱۳) و موادی مثل صمغ‌ها (۱۴)، آنزیم‌ها (۱۵) و پروتئین‌های جایگزین (۱۶) استفاده شده‌اند.

آنزیم ترانس گلوتامیناز به عنوان یک آنزیم ترانس فرازاست که می‌تواند سبب ایجاد پیوندهای

مواد و روش‌ها

مواد: آرد برنج از شرکت گل‌ها، دانه تف از فروشگاه میگروس در استان‌بول ترکیه و دانه‌های آمارانت، کینوا، باکویت و چیا از شرکت کیان فود تهیه و تا زمان مصرف در سردخانه نگهداری شد. صمغ زانتان از شرکت فوفنگ^۱ (چین) و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی توسط شرکت آجینوموتو^۲ (آلمان) تهیه گردید. سایر مواد مورد نیاز در آزمایش‌ها از شرکت مرک^۳ (آلمان) خریداری شدند.

روش‌ها

تهیه پاستا: پاستای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی بر پایه ۲۵ درصد آرد برنج و ۷۵ درصد مخلوط آرد شبه غلات (نسبت مساوی از چیا، تف، کینوا، باکویت و آمارانت) با نسبت‌های وزنی مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ پی پی ام) تولید شدند. بر این اساس آرد برنج را با مخلوط آرد شبه غلات با درصدهای مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز به مدت حداقل ۳ دقیقه در داخل دستگاه همزن به همراه ۰/۵ درصد وزنی صمغ زانتان مخلوط کرده تا ضمن اختلاط مواد با یکدیگر، نمونه به‌طور کامل همگن شود. همچنین نمونه شاهد تجاری به‌وسیله آرد گندم تولید گردید. پس از تهیه تیمارها، به آرامی آب را افزوده تا زمانی که مواد به‌طور کامل و یکنواخت ترکیب شوند. در نهایت مخلوط تحت دمای ۴۵ درجه سلسیوس توسط قالب برنزی فرمی تحت فشار ۱۲۰ میلی‌متر جیوه اکستروژد شد. پاستاهای خارج شده از قالب ابتدا روی سینی‌های پلاستیکی ریخته شده و داخل خشک‌کن اتوماتیک خشک شد. در انتهای فرآیند خشک‌کردن و رسیدن به رطوبت حدود ۱۰ درصد، پاستاها پس از سرد شدن تا زمان

کووالانسی بین پروتئین‌ها شود. این آنزیم فرآیند آسیل ترانسفراز بین گروه گاما کربوکسی آمید گلوتامین و آمین نوع اول لیزین را کاتالیز می‌کند. در این واکنش زنجیره‌های جانبی گلوتامین به‌عنوان دهنده و گروه آمین به‌عنوان پذیرنده آسیل عمل می‌کند (۱۷). البته بسته به نوع سوبسترا (پروتئین یا پپتید) این واکنش ممکن است منجر به ایجاد اتصال عرضی بین پروتئین یا اتصال پپتید به پروتئین شود. زمانی که گروه آمین در دسترس نباشد، آب می‌تواند به‌عنوان پذیرنده گروه آسیل عمل نموده و موجب دآمیناسیون باقیمانده‌های گلوتامین و تبدیل گلوتامین به اسید گلوتامیک شود (۱۸). با توجه به افزایش گرایش مردم به مصرف پاستا و در نظر گرفتن اینکه گروه خاصی از مردم به پاستا حاوی گلوتن حساس می‌باشند بنابراین تولید پاستا بدون گلوتن برای مصرف این قشر آسیب‌پذیر (بیماران سلیاکی) ضرورت دارد (۱۹). با توجه به آن که افراد مبتلا به بیماری سلیاک قادر به استفاده از بسیاری فرآورده‌های موجود در فروشگاه‌ها نیستند و تولید فرآورده‌های بدون گلوتن در ایران محدود است و محصولات مشابه خارجی گران‌قیمت هستند، هدف از پژوهش حاضر، ارائه فرمولاسیون مناسب برای تولید پاستای فرمی بدون گلوتن باکیفیت مطلوب و حتی‌المقدور مشابه انواع پاستای تولید شده با آرد سمولینای گندم است. با توجه به نگرانی‌های موجود در خصوص حفظ و ارتقای سلامتی بیماران سلیاکی به خاطر محدودیت در مصرف فرآورده‌های تهیه شده از گندم، جو، چاودار و اختلال در جذب مواد معدنی و ویتامین‌ها، در این پژوهش از آنزیم ترانس گلوتامیناز برای تولید پاستای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی بر پایه آرد برنج و شبه غلات با خصوصیات بافتی و ارزش تغذیه‌ای بالا استفاده شد.

1. Fufeng
2. Ajinomoto
3. Merck

انجام آزمون‌ها در بسته‌های پلی‌پروپیلنی بسته‌بندی شدند.

آزمون‌ها

ارزیابی نمونه‌های آردها: ترکیبات شیمیایی آرد برنج و شبه غلات (چیا، تف، کینوا، باکویت و آمارانت) بر اساس روش‌های استاندارد انجمن شیمیدانان غلات آمریکا ۱ (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد. میزان گلوتن مرطوب طبق استاندارد شماره ۱۲-۳۸ توسط دستگاه گلوتن شور ساخت یوسباس ۲ ترکیه تعیین شد. اندازه‌گیری خاکستر طبق استاندارد شماره ۰۱-۰۸ توسط دستگاه کوره الکتریکی ساخت پاراگون ۳ آمریکا انجام شد. اندازه‌گیری رطوبت طبق استاندارد شماره ۴۴A-۱۵ توسط دستگاه آون مدل ساخت ممرت ۴ آلمان انجام شد. پروتئین کل طبق استاندارد شماره ۱۳-۴۶ توسط دستگاه کلیدال ساخت گرهارت ۵ آلمان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری چربی طبق استاندارد شماره ۱۰-۳۰ توسط دستگاه سوکسله کوئیک فیت ۶ انگلستان انجام گردید. اندازه‌گیری فیبر خام طبق استاندارد شماره ۱۰-۳۲ و با دستگاه ولپ ۷ ایتالیا انجام شد (۲۰).

ارزیابی ویژگی‌های کیفی نمونه‌های پاستا: اندازه‌گیری عدد لعاب با اندازه‌گیری درصد کل مواد جامد در آب پخت و عدد پخت به روش اندازه‌گیری وزن بعد از پخت بر طبق استاندارد سازمان ملی استاندارد ایران شماره ۲۱۳ انجام پذیرفت (۲۱).

برای ارزیابی نمونه‌های پخته شده پاستا در آزمون‌های بافت سنجی، رنگ سنجی و ارزیابی حسی، ابتدا نمونه‌های پاستا تا زمان بهینه پخت در ۲ لیتر آب

حاوی ۰/۵ درصد نمک پخته شده و سپس با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه آبکشی شدند.

بررسی بافت توسط دستگاه اینسترون هانسفیلد ۸ انگلستان و از طریق آزمون فشاری تک‌محوری عمودی انجام شد. این آزمون در دمای اتاق با پروب مخصوص آزمون فشاری، با کد P36، لود سل ۵ نیوتنی، نقطه پایانی ۷۵ درصد و سرعت دستگاه ۲ میلی‌متر بر ثانیه (۲۲) در سه تکرار انجام پذیرفت.

برای تعیین رنگ پاستاهای خام و پخته شده از سیستم CIELAB و رنگ‌سنج هانترلب مینولتا ۹ ژاپن استفاده شد. قبل از اندازه‌گیری رنگ پاستاها، دستگاه با استفاده از یک صفحه سفید استاندارد تنظیم شد. نمونه‌ها روی صفحه سفید استاندارد به‌عنوان پس‌زمینه قرار داده شده و اندازه‌گیری‌ها انجام پذیرفت. پارامترهایی که دستگاه نمایش می‌دهد عبارت‌اند از: روشنایی یا L^* (سفید=۱۰۰ و سیاه=۰) و پارامترهای رنگی a^* (سبز-قرمز) و b^* (آبی-زرد). این آزمون پنج مرتبه روی پاستاهای مختلف از یک فرمول، تکرار شد و در مورد هر پاستا سه نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب شد و میانگین این سه نقطه گزارش گردید (۲۳).

ویژگی‌های مورد بررسی در ارزیابی حسی نمونه‌های پاستای پخته شده شامل شکل ظاهری، رنگ، عطر، طعم و بافت بودند. بر این اساس از ۱۰ ارزیاب آموزش‌دیده خواسته شد امتیازهای ۵ (بسیار خوب)، ۴ (خوب)، ۳ (متوسط)، ۲ (بد) و ۱ (بسیار بد) را به نمونه‌ها اختصاص دهند. در نهایت از تقسیم میانگین مجموع امتیازات ۵ شاخص ارزیابی، عدد مطلوبیت کیفی بر مبنای ارزیابی حسی به دست می‌آید (۲۴).

1. American Association of Cereal Chemists (AACC)
2. Yucebas
3. Paragon
4. Memert
5. Gerhardt
6. Quickfit
7. Velp

8. Hounsfield
9. Color flex

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی آرد گندم و شبه غلات

Table 1. The results of chemical analysis of wheat flour and pseudo-cereal

	Moisture (%) رطوبت (درصد)	Fat (%) چربی (درصد)	Protein (%) پروتئین (درصد)	Ash (%) خاکستر (درصد)	pH
Wheat flour آرد گندم	14.46±0.73 ^a	0.09±0.02 ^g	11.32±0.40 ^d	0.45±0.04 ^d	6.03±0.05 ^{ef}
Rice flour آرد برنج	8.51±0.61 ^c	1.12±0.11 ^f	8.12±0.28 ^e	0.57±0.04 ^d	6.04±0.03 ^e
Chia flour آرد چیا	7.08±0.94 ^d	33.22±0.12 ^a	22.58±0.57 ^a	1.93±0.09 ^c	5.95±0.07 ^f
Teff flour آرد تف	10.09±0.81 ^b	2.05±0.08 ^e	13.41±0.44 ^c	4.72±0.07 ^a	6.79±0.03 ^b
Quinoa flour آرد کینوا	9.17±0.51 ^{bc}	5.47±0.14 ^c	16.83±0.64 ^b	1.80±0.16 ^c	6.66±0.06 ^c
Amaranth flour آرد آمارانت	9.58±0.49 ^{bc}	6.21±0.06 ^b	13.38±0.46 ^c	2.27±0.10 ^b	6.51±0.03 ^d
Buckwheat flour آرد باکویت	9.04±0.57 ^{bc}	2.62±0.12 ^d	13.81±0.44 ^c	1.96±0.06 ^c	6.94±0.05 ^a

* Data are mean ± standard deviation

** Means with different superscript(s) in each column are significantly different (p<0.05)

مقدار رطوبت (درصد ۱۴/۰±۶ درصد) در نمونه آرد گندم مشاهده شد.

ارزیابی نمونه‌های پاستا

ویژگی‌های رنگ سنجی: رنگ پاستا یکی از شاخص‌های کیفی مهم برای مصرف‌کنندگان است. رنگ در پاستای بدون گلوتن نقش بسیار حائز اهمیتی دارد و بر جذابیت بصری ادراک کیفیت و پذیرش مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد. (۲۵). دستیابی به یک رنگ جذاب در پاستای بدون گلوتن به دلیل عدم وجود گلوتن که به رنگ مشخصی در پاستای گندمی سنتی کمک می‌کند چالش قابل توجهی است. معمولاً مصرف‌کنندگان رنگ‌های زنده و طبیعی را با تازگی و کیفیت بالاتر در پاستا مرتبط می‌کنند. همچنین، رنگ به طور قابل توجهی بر ادراک مصرف‌کنندگان از طعم، بافت و لذت کلی پاستای بدون گلوتن تأثیر می‌گذارد (۲۶). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود شاخص روشنایی (L*) پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی با نمونه شاهد تجاری پخته شده در بین

آنالیز آماری

پژوهش بر اساس طرح آماری کاملاً تصادفی انجام شد و اختلاف بین تیمارهای مختلف، با استفاده از تحلیل واریانس^۱ (ANOVA) در سطح احتمال ۵ درصد تعیین شد. مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن^۲ با استفاده از نرم‌افزار SPSS^۳ نسخه ۱۹ و EXCEL نسخه ۲۰۱۳ (USA, Chicago) انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی آردها: در جدول ۱ ویژگی‌های شیمیایی آرد گندم و آردهای شبه غلات مورد استفاده برای تهیه پاستا نشان داده شده است. آرد چیا کمترین میزان pH (۷/۰±۰/۸/۹۴)، کمترین مقدار رطوبت (۵/۹۵±۰/۰/۷)، بیشترین مقدار پروتئین (۲۲/۰±۵/۵۷) درصد را داشت. کمترین مقدار چربی (۰/۰±۰/۹/۰۲) درصد، خاکستر (۰/۰±۴۵/۰/۴) درصد و بیشترین

1. Analysis of variance (ANOVA)
2. Duncan
3. Statistical Package for Social Sciences

که نشان از روشن شدن رنگ محصول تولیدی و تمایل رنگ محصول به رنگ زرد کم‌رنگ بود که با توجه به ماهیت شفاف آنزیم استفاده شده قابل انتظار است.

تشکیل شبکه پروتئینی توسط این آنزیم سبب کاهش مقدار اسیدهای آمینه به‌ویژه لیزین شده و در محصولاتی مانند نان که واکنش میلارد در آن‌ها به‌وضوح رخ می‌دهد این امر موجب کاهش واکنش میلارد شده و رنگ مغز نان سفیدتر شده و شاخص L^* افزایش می‌یابد (۲۷). پاستاهای بدون گلوتن در دماهای پایین‌تر از ۱۰۰ درجه سلسیوس تولید شده بودند و واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در دمای بالا (۱۰۰ درجه سلسیوس) و مقادیر رطوبت پایین رخ می‌دهد بنابراین می‌توان علت عدم تغییر رنگ در اثر افزودن این آنزیم را به دمای پایین خشک شدن نسبت داد (۲۸).

تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). میانگین شاخص روشنایی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی خام و پخته شده به ترتیب در محدوده ۵۳/۱-۵۴/۶ و ۵۲/۳-۳۹/۴ قرار داشت. با افزایش میزان آنزیم، شاخص رنگ L^* نمونه‌های پخته شده افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت. بالاترین میزان روشنایی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی خام و پخته شده مربوط به تیمار حاوی ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام آنزیم بود.

میانگین شاخص رنگ a^* و b^* پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی و نمونه شاهد تجاری پخته شده در بین تیمارهای مختلف تغییر معنی‌داری ($P < 0.05$) نداشت (جدول ۲).

به‌تبع افزایش شاخص L^* و عدم تغییر شاخص‌های a^* و b^* با افزایش میزان آنزیم در فرمولاسیون پاستاهای تولیدی، سفیدی افزایش یافت

جدول ۲- شاخص‌های رنگ سنجی پاستای تجاری و پاستای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی (خام/پخته)

Table 2. Colorimetric index of control and (uncooked/cooked) enzyme-modified gluten-free pasta		Transglutaminase enzyme (ppm)					
Index	Sample	آنزیم ترانس گلوتامیناز (پی پی ام)					
		Control شاهد تجاری	0	500	1000	2000	4000
L^*	Uncooked خام	73.09±2.61 ^a	54.67±3.05 ^b	53.5±2.52 ^b	55.53±4.14 ^b	54.43±2.21 ^b	53.10±2.09 ^b
	Cooked پخته	52.78±1.88 ^a	39.48±2.06 ^d	41.63±3.02 ^{cd}	45.40±2.90 ^{bc}	49.56±2.28 ^{ab}	52.30±2.87 ^a
a^*	Uncooked خام	3.25±0.16 ^b	5.70±0.20 ^a	5.30±0.18 ^a	5.62±0.28 ^a	5.57±0.28 ^a	5.32±0.25 ^a
	Cooked پخته	6.07±0.16 ^a	4.61±0.46 ^b	4.28±0.20 ^b	4.69±0.49 ^b	4.54±0.46 ^b	4.58±0.47 ^b
b^*	Uncooked خام	17.70±0.34 ^a	17.25±0.46 ^a	17.08±0.49 ^a	16.83±0.80 ^a	17.04±0.57 ^a	16.76±0.78 ^a
	Cooked پخته	29.50±0.59 ^a	9.83±0.35 ^b	9.75±0.31 ^b	9.80±0.22 ^b	9.47±0.30 ^b	9.71±0.29 ^b

* Data are mean ± standard deviation

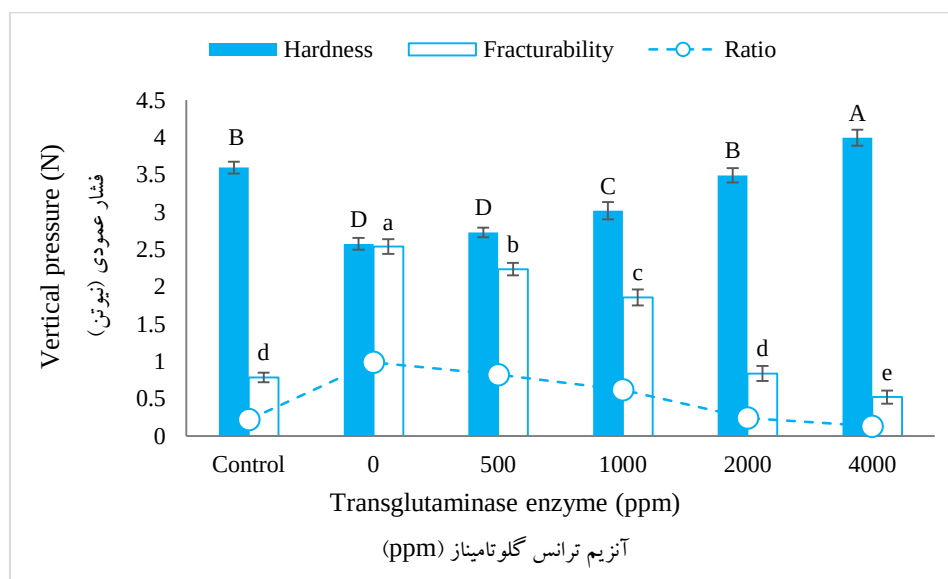
** Means with different superscript(s) in each row are significantly different ($p < 0.05$)

حاصل از فشار عمودی در بین تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت (شکل ۱). با

ویژگی‌های بافتی: ویژگی‌های بافتی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی با نمونه شاهد تجاری

بود. میانگین سفتی شکستگی و نسبت شکستگی به سفتی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی به ترتیب در محدوده ۲/۵-۳/۹ و ۰/۵-۰/۹ نیوتن قرار داشت.

افزایش میزان آنزیم سفتی و شکستگی نمونه‌ها به ترتیب افزایش و کاهش معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت. بیشترین میزان سفتی و شکستگی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی به ترتیب مربوط به تیمار حاوی ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام و بدون آنزیم (صفر پی‌پی‌ام)



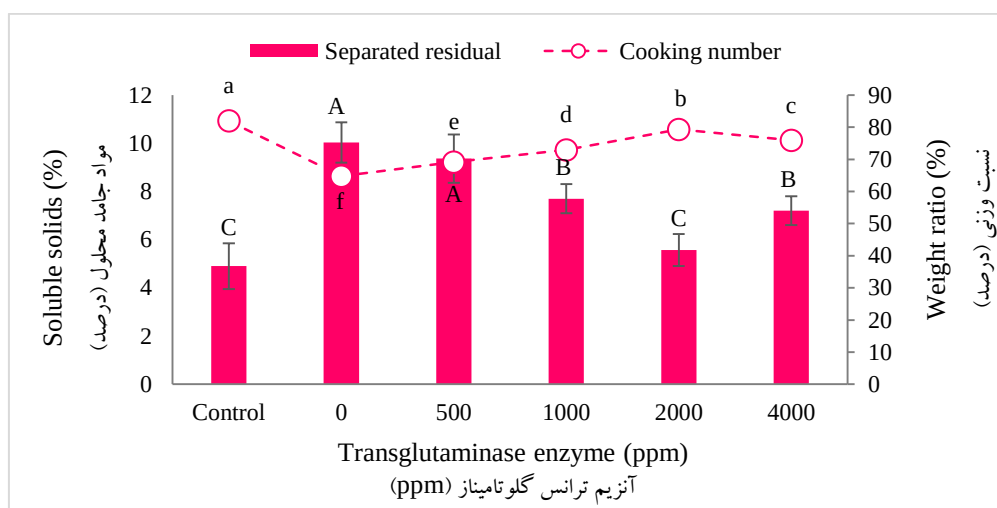
شکل ۱- ویژگی‌های بافتی پاستای تجاری و پاستای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی بر اساس فشار عمودی
Figure 1. Textural characteristics of commercial and enzyme-modified gluten-free pasta by vertical pressing

عملکرد گلوتن را در پاستا بدون گلوتن تقلید نمایند و استفاده از آنزیم موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی پاستا به نحو مطلوب‌تری نسبت به نمونه شاهد می‌شود (۳۰). افزایش در سفتی بافت محصول می‌تواند به عنوان بهبود در ساختمان، به علت نبود مغز پاستای مناسب در نمونه‌های شاهد در نظر گرفته شود. افزایش سفتی بافت محصول در نتیجه پیوند عرضی پروتئین توسط آنزیم ترانس گلوتامیناز است، که فاز پروتئینی را تقویت کرده و گسترش می‌دهد، و موجب تشکیل شبکه پروتئینی با منافذ ریزتر می‌شود که منجر به کاهش حجم پاستاهای تولیدی می‌شود. حجم ویژه با سفتی بافت رابطه دارد و معمولاً با کاهش حجم ویژه، سفتی بافت افزایش می‌یابد (۳۱).

بافت پاستا قبل از پخت باید کاملاً سفت و پایدار باشد تا طی بسته‌بندی و جابه‌جایی خرد نشود. استحکام بافت محصول پس از پخت نیز موجب کاهش به هم چسبیدگی و مانع نرمی محصول نهایی می‌شود. در تحقیق حاضر، با افزایش نسبت آنزیم در فرمولاسیون پاستای تولیدی، سفتی و استحکام بافت محصول افزایش پیدا کرد و در سطوح ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام به شاخص سفتی مربوط به تیمار شاهد تجاری رسید. در فرمولاسیون‌های تولیدی در تحقیق حاضر از گندم‌های دوروم استفاده نشده است به همین دلیل یک ساختمان فشرده به همراه یک شبکه پایدار ایجاد نشده است (۲۹) اما بر طبق نتایج Shokri و همکاران (۲۰۱۶) آنزیم ترانس گلوتامیناز به علت ایجاد خواصی مشابه گلوتن، می‌تواند تا حدودی

میزان عدد لعاب و عدد پخت پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی پخته شده به ترتیب مربوط به تیمار بدون آنزیم (صفر پی‌پی‌ام) و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام آنزیم بود (شکل ۲).

ویژگی‌های پخت: میانگین عدد لعاب و عدد پخت پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی به ترتیب در محدوده ۱۰/۵-۱۶ و ۷۹/۳-۶۴/۷ قرار داشت. با افزایش میزان آنزیم، عدد لعاب کاهش و عدد پخت نمونه‌ها افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) یافت. بیشترین



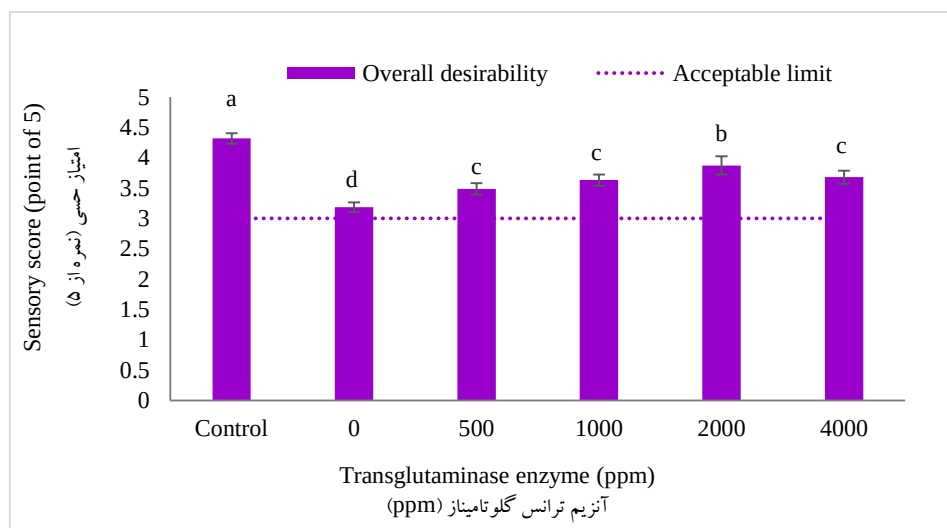
شکل ۲- ویژگی‌های پخت پاستای تجاری و پاستای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی
Figure 2. Cooking characteristics of commercial and enzyme-modified gluten-free pasta

برابر نشت نشاسته و پروتئین عمل کرده و در نهایت باعث کاهش چسبندگی می‌شود (۳۳).

همچنین بهبود ظرفیت نگهداری آب در ژل‌ها به علت فعالیت ترانس گلوتامیناز و همچنین سیستم‌های بدون گلوتن قبلاً گزارش شده است. پیشنهاد شده است که آمید زدایی از گلوتامین و ایجاد پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین می‌تواند در بهبود ظرفیت نگهداری آب مؤثر باشد.

ویژگی‌های حسی: همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، میانگین مطلوبیت کلی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی در محدوده ۳/۱-۳/۸ قرار داشت. همچنین بالاترین مطلوبیت کلی پاستاهای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی مربوط به تیمار حاوی ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام آنزیم بود.

عدد لعاب معیاری از حفظ ساختار پاستا در حین فرآیند پخت است. هرچه قدر کمیت و کیفیت پروتئین موجود در بافت پاستا بیشتر باشد، عدد لعاب کمتر می‌شود. گندم دوروم به علت مقدار پروتئین بیشتر و همچنین کیفیت پروتئینی بالاتر، قدرت بیشتری در تشکیل شبکه گلوتهی در هنگام اختلاط با آب دارد (۳۲). شبکه پروتئینی تشکیل شده توسط افزودن آنزیم گرانول‌های نشاسته را به دام می‌اندازد. با محدود شدن نشاسته در شبکه پروتئینی ایجاد شده، میزان افت پخت کاهش می‌یابد. همچنین کاهش کل مواد جامد در آب (لعاب) در نمونه‌های مورد بررسی این تحقیق را می‌توان به تقویت شبکه پروتئینی توسط آنزیم نسبت داد که به‌عنوان سدی در



شکل ۳- مطلوبیت کلی پاستای تجاری و پاستای بدون گلوتن اصلاح شده آنزیمی بر اساس ویژگی‌های حسی
Figure 3. Overall desirability of commercial and enzyme-modified gluten-free pasta by sensory characteristic

گلوتن اصلاح شده آنزیمی بر پایه مقادیر بهینه آرد شبه غلات محصولی با خصوصیات نزدیک به پاستای تجاری است. افزایش آنزیم ترانس گلوتامیناز در فرمولاسیون تأثیر مثبتی بر خواص شیمیایی-عملکردی، پخت و ویژگی‌های بافتی دارد گرچه موجب افت شاخص‌های رنگ سنجی و سفیدی بیشتر محصول می‌شود. با توجه به این‌که هیچ‌یک از تیمارها دربرگیرنده تمامی آثار مثبت مطلوب و مورد نظر نبود، درمجموع فرمولاسیون حاوی ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز، وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت.

اگرچه به نظر می‌رسد که مزه و بوی غذا مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پذیرش یک ماده غذایی باشند، اما باید توجه شود عوامل دیگری نیز وجود دارند که در ایجاد طعم یا احساسی که از مصرف یک ماده غذایی به انسان دست می‌دهد مؤثر هستند، اگرچه در اولویت کم‌تری قرار دارند. به‌عنوان مثال بافت ماده غذایی یعنی درجه و کیفیت سفتی، نرمی یا تردی آن، یکی از عوامل مؤثر در این رابطه است. بنابراین با افزایش میزان آنزیم ترانس گلوتامیناز پذیرش کلی پاستا به علت بهبود بافت آن افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش، پاستای بدون

References

1. Morvaridi, M., Sadeghi, N., Alavinejad, P., Sadeghian, M., Tahvilian, N., Behbahani, H.B. et al. 2024. Assessment of dietary patterns in celiac disease patients using factor analysis method and their relationship with dietary intakes and body mass index. BMC nutrition, 10(1):1-10.
2. Niknam, R., Motazedian, N., Sayadi, M., Zare, F., Khademian, F. 2023. Adherence to a Gluten-free Diet and Identification of Barriers in Adult Celiac Population in Shiraz, Iran. GOVARESH, 27(4): 243-9.
3. Culetu, A., Duta, D.E., Papageorgiou, M., Varzakas, T. 2021. The role of hydrocolloids in gluten-free bread and pasta; rheology, characteristics, staling and glycemic index. Foods. 10(12):3121.

4. Emam- Djomeh, Z., Ekrami, M., Ekrami, A. 2023. Overview of Types of Materials Used for Food Component Encapsulation. *Materials Science and Engineering in Food Product Development*, 73-92.
5. Larretxi, I., Txurruka, I., Navarro, V., Lasa, A., Bustamante, M.Á. Fernández-Gil, M.d.P. et al. 2019. Micronutrient analysis of gluten-free products: Their low content is not involved in gluten-free diet imbalance in a cohort of celiac children and adolescent. *Foods*, 8(8):321.
6. Sciarini, L., Palavecino, P.M., Ribotta, P.D. 2023. Use of additives in gluten-free formulations. *designing gluten free bakery and pasta products: Springer*,. p. 115-61.
7. Ekrami, M., Ekrami, A., Esmaeily, R., Emam-Djomeh, Z. 2022. Nanotechnology-based formulation for alternative medicines and natural products: an introduction with clinical studies.
8. Vetrani, C., Bozzetto, L., Giorgini, M., Cavagnuolo, L., Di Mattia, E., Cipriano, P. et al . 2019. Fibre-enriched buckwheat pasta modifies blood glucose response compared to corn pasta in individuals with type 1 diabetes and celiac disease: Acute randomized controlled trial. *Diabetes research and clinical practice*, 149:156-62.
9. Ekrami, M., Ekrami, A., Moghadam, R.H., Joolaei-Ahranjani, P., Emam-Djomeh, Z. 2022. Food-based polymers for encapsulation and delivery of bioactive compounds.
10. Dharmaraj, S., Choudhary, P. 2024. Biological Modification of Plant-Based Proteins. *Novel Plant Protein Processing: CRC Press*, p. 76-94.
11. Aljada, B., Zohni, A., El-Matary, W. 2021. The gluten-free diet for celiac disease and beyond. *Nutrients*. 13(11):39-93.
12. Cervini, M., Gruppi, A. Bassani, A., Spigno, G., Giuberti, G. 2021. Potential application of resistant starch sorghum in gluten-free pasta: Nutritional, structural and sensory evaluations. *Foods*, 10(5):908.
13. Romero, H.M., Zhang, Y. 2019. Physicochemical properties and rheological behavior of flours and starches from four bean varieties for gluten-free pasta formulation. *Journal of Agriculture and Food Research*. 1: 100001.
14. Ekrami, M., Shakouri, M., Nikkhou, S., Emam-Djomeh, Z. 2023. Extraction and physicochemical characterization of gum. *Handbook of Natural Polymers, Volume 1: Elsevier*, p. 597-630.
15. Mohammadi, M., Zoghi, A., Mirmahdi, R.S. 2022. Impact of enzymes in development of gluten- free cereal- based products. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46(5):e15295.
16. Rachman, A., Brennan, M.A., Morton, J., Brennan, C.S. 2020. Gluten- free pasta production from banana and cassava flours with egg white protein and soy protein addition. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(8):3053-60.
17. Gharibzadeh, S.M.T., Yousefi, S., Chronakis, I.S. 2019. Microbial transglutaminase in noodle and pasta processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(2):313-27.
18. Ceresino, E.B., Kuktaite, R., Hedenqvist, M.S., Sato, H.H., Johansson, E. 2020. Processing conditions and transglutaminase sources to “drive” the wheat gluten dough quality. *Innovative food science & emerging technologies*. 65:10243.
19. Suo, X., Dall’Asta, M., Giuberti, G., Minucciani, M., Wang, Z., Vittadini, E. 2024. Effect of “shape” on technological properties and nutritional quality of chickpea-corn-rice gluten free pasta. *LWT*, 192:115661.
20. AACC. 2000. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.
21. ISIRI. 2009. *Macaroni - Specifications and test methods*. Iranian national standard No 213. 4th edition.
22. El-Sohaimy, S.A., Brennan, M., Darwish, A.M., Brennan, C. 2020. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1):28-34.

23. Wood, J.A. 2009. Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *Journal of Cereal Science*, 49(1):128-33.
24. Szydłowska-Tutaj, M., Złotek, U., Wójtowicz, A., Combrzyński, M. 2022. The effect of the addition of various species of mushrooms on the physicochemical and sensory properties of semolina pasta. *Food & Function*, 13(16):8425-35.
25. Capriles, V.D., De Aguiar, E.V., Dos Santos, F.G., Fernández, M/E/A., De Melo, B.G. Tagliapietra, B.L et al. 2023. Current status and future prospects of sensory and consumer research approaches to gluten-free bakery and pasta products. *Food Research International*, 113-389.
26. Ertaş, N., Aslan, M., Çevik, A. 2023. Improvement of structural and nutritional quality of gluten free pasta. *Journal of Culinary Science & Technology*, 21(6):85-867.
27. Nguyen, S.N., Ngo, T.C.T., Tran, T.T.T., Ton, N.M.N. 2020. Pasta from cellulase-treated wheat bran and durum semolina: Effects of vital gluten addition and/or transglutaminase treatment. *Food Bioscience*. 38:100-782.
28. Messia, M.C., Cuomo, F., Quiquero, M., Verardo, V., Marconi, E. 2023. Assessment of nutritional value and Maillard reaction in different gluten-free pasta. *Foods*, 12(6):12-21.
29. Ungureanu-Iuga, M., Dimian, M., Mironeasa, S. 2020. Development and quality evaluation of gluten-free pasta with grape peels and whey powders. *Lwt*. 130:109-714.
30. Shokri, F., Salehi Far, M., Azizi, M.H. 2016. Effect of hydroxy propyl methyl cellulose and microbial transglutaminase enzyme on farinograph and quality characteristics of gluten-free pasta. *Journal of food science and technology (Iran)*. 13(59):123-32.
31. Wee, M.S.M., Jeyakumar, Henry, C. 2019. Effects of transglutaminase on the protein network and in vitro starch digestibility of Asian wheat noodles. *Foods*, 8(12):607.
32. Marconi, E., Carcea, M., Schiavone, M., Cubadda, R. 2002. Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. *Cereal Chem*. 79(5):634-9.
33. Weng, Z-J., Wang, B-J., Weng, Y-M. 2020. Preparation of white salted noodles using rice flour as the principal ingredient and the effects of transglutaminase on noodle qualities. *Food Bioscience*, 33:100-501.