



مقاله علمی-پژوهشی

تولید و ارزیابی ویژگی‌های بافت، رنگ، حسی و پخت در پاستای فرمی بدون گلوتن بر پایه آردهای جایگزین گندم

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

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲- گروه علوم، فناوری و مهندسی صنایع غذایی دانشکده فنی و مهندسی کشاورزی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- گروه کنترل کیفی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. کرج، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله : تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۸	بیماری سلپاک، نوعی بیماری گوارشی است که به علت عدم تحمل دائمی به بعضی پرولامین‌های غلات با توالی الیگوپپتیدی ویژه است و به صورت عدم تحمل گلوتن بروز می‌کند. از این رو هدف این تحقیق، فرمولاسیون، تولید و ارزیابی ویژگی‌های کیفی پاستای فرمی فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج و ترکیب آردهای بدون گلوتن است. نمونه‌های مختلف پاستای بدون گلوتن با استفاده از مخلوط آرد برنج و آردهای بدون گلوتن با نسبت برابر (چیا، تف، کینوا، آمارانت و باکویت) با نسبت‌های وزنی مختلف تولید شدند. همچنین نمونه شاهد، پاستای تجاری موجود در بازار بود. ویژگی‌های رنگی، بافتی، پخت و حسی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش ترکیب آردهای بدون گلوتن شاخص روشنایی رنگ (L^*) کاهش و شاخص‌های a^* و b^* افزایش می‌یابد که به تبع آن شاخص سفیدی کاهش و شاخص زردی و تغییرات کلی رنگ افزایش یافت. همچنین ترکیب آردهای بدون گلوتن اثر مثبت بر افزایش سفتی بافت و عدد پخت و کاهش عدد لعاب محصول نهایی داشتند. نمونه پاستای حاوی ۷۵ درصد ترکیب آردهای بدون گلوتن و ۲۵ درصد آرد برنج به عنوان نمونه پاستای فرمی بدون گلوتن از نظر مطلوبیت کلی در ارزیابی حسی انتخاب شد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب آردهای بدون گلوتن می‌تواند بهبودی قابل توجهی در ویژگی‌های کیفی پاستای بدون گلوتن ایجاد کند.
کلمات کلیدی: بیماری سلپاک، پاستا، فاقد گلوتن، ویژگی‌های بافتی، ویژگی‌های حسی	
DOI:10.22034/FSCT.21.151.1. * مسئول مکاتبات: emamj@ut.ac.ir	

۱- مقدمه

در حال حاضر غذاهای با منشأ گیاهی جایگاه ویژه‌ای در بین مصرف‌کنندگان دارند. در این گروه، فرآورده‌های غلات اهمیت خاصی در توصیه‌های تغذیه‌ای دارند. در اکثر کشورها، مردم دیدگاه مثبتی به استفاده از غذاهای غله‌ای داشته و آنها را به عنوان غذاهای سالم شناخته و مصرف می‌کنند [۱]. فرآورده‌های پاستا از جمله غذاهای ساده بر پایه غلات هستند که انواع آن از سمولینای گندم دوروم و آب تشکیل می‌شود [۲]. پاستا جز اولین محصولات اعلام شده در سال ۱۹۹۴ از سوی سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا برای غنی‌سازی با آهن و ویتامین‌ها بوده و سازمان بهداشت جهانی، پاستا را حامل مناسبی برای مواد مغذی معرفی کرده است [۳]. علاوه بر عوامل تولید، تعداد محدود مواد اولیه مورد استفاده، پاستا را بستر مناسبی برای بررسی پتانسیل تغذیه‌ای و تکنولوژیکی افزودن مواد اولیه‌ای کرده است که ارزش غذایی بالاتری دارند [۴]. استفاده از ترکیباتی مانند طعم‌دهنده‌ها، رنگ‌ها، ویتامین‌ها، مواد پروتئینی، امولسیفایرها و به طور کلی مواد با ارزش تغذیه‌ای بالاتر برای بهبود رنگ، طعم، ارزش غذایی، بافت، ویژگی‌های حسی و ... محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵-۷]. ماده اولیه غالب در تهیه انواع پاستا آرد گندم است. این در حالی است که پروتئین گلوتمن موجود در آرد گندم می‌تواند برای بیماران مبتلا به سلیاک حساسیت یا عدم تحمل ایجاد کند.

بیماری سلیاک، نوعی بیماری گوارشی است که به علت عدم تحمل دائمی به بعضی پروتئین‌های غلات با توالی الیگوپپتیدی ویژه است. این ترکیبات به پرزهای روده کوچک آسیب می‌رساند و باعث اختلال در مواد مغذی می‌شود. این بیماری به صورت عدم تحمل گلوتمن بروز می‌کند. گلوتمن پروتئینی است که در گندم، چاودار، جو و بعضاً جو دوسر وجود دارد [۸]. زمانی که بیماران مبتلا به

سلیاک، غذاهای حاوی گلوتمن 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 [۹]. به دنبال آسیب پرزهای روده‌ای فرد بدون توجه به مواد غذایی که می‌خورد دچار سوءتغذیه می‌شود. بیماری سلیاک به نام اسپروی سلیاک^۱، اسپروی غیرحاره‌ای و آنتروپی حساس به گلوتمن 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 [۱۰]. گلوتمن ماده موجود در آرد گندم و نامحلول در آب است که بعد از شستشوی خمیر یک توده الاستیک را تشکیل می‌دهد. هنگامی که آرد گندم به طور 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 [۱۱]. ماتریکس گلوتمن تعیین‌کننده اصلی ویژگی‌های خمیر کشش، مقاومت به کشش، مخلوط کردن و قابلیت گاز و خصوصیات بافتی مناسب در این گونه از محصولات می‌گردد. از صمغ‌ها و برخی آنزیم‌ها به عنوان بهبود دهنده‌های بافت در محصولات نانوائی بدون گلوتمن می‌توان نام برد [۱۲، ۱۳].

با توجه به آنکه افراد مبتلا به بیماری سلیاک قادر به استفاده از بسیاری فرآورده‌های موجود در فروشگاه‌ها نیستند و تولید فرآورده‌های بدون گلوتمن محدود است، پژوهشگران مختلف به ارائه فرمولاسیون مناسب برای تولید پاستای بدون گلوتمن باکیفیت مطلوب پرداختند. در این راستا Marengo و همکاران (۲۰۱۵) از آرد تخمیر شده و جوانه زده سورگوم

1. Celiac sprue

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 شده و تا زمان مصرف در سردخانه نگهداری گردید. صمغ زانتان از شرکت فوفنگ^۲ (چین) تهیه گردید. سایر مواد مورد نیاز در آزمایش‌ها از شرکت مرک^۳ (آلمان) خریداری شدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱ تهیه پاستا

ابتدا جهت حذف ناخالصی‌ها تمامی دانه‌ها شسته و در آون ممرت^۴ آلمان با دمای $3 \pm 27^\circ\text{C}$ درجه سلسیوس خشک گردیدند. سپس توسط آسیاب نیمه صنعتی سیلورکرس^۵ آلمان با توان ۲۰۰ وات، آرد و اندازه ذرات آنها آنالیز گردید. نمونه‌های مختلف پاستا بر مبنای آرد برنج تولید شد و سپس از نسبت آرد برنج کاسته و جایگزین آن به ترتیب از نسبت‌های وزنی ۵:۹۵، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۵:۹۵ (برحسب درصد کل آرد مصرفی) مخلوط آردهای جایگزین بدون گلوتن (چیا، تف، کینوا، باکویت و آمارانت) استفاده گردید. بر این اساس آرد برنج را بسته به فرمولاسیون هر تیمار با مخلوط آردهای جایگزین با درصدهای مختلف به مدت حداقل ۳ دقیقه در داخل دستگاه همزن ووسپید^۶ آلمان به همراه ۰/۵ درصد وزنی صمغ زانتان (بر طبق نتایج Milde و همکاران (۲۰۲۰) [۲۲]) مخلوط کرده تا ضمن اختلاط مواد با یکدیگر، نمونه به طور کامل همگن شود. پس از تهیه تیمارها، به آرامی آب را به نسبت ۲۰ درصد وزنی آرد افزوده تا زمانی که مواد به طور کامل و یکنواخت ترکیب شوند. در نهایت مخلوط تحت دمای ۴۵ درجه سلسیوس توسط قالب برنزی فرمی و تحت فشار ۱۲۰ میلی‌متر جیوه اکستروژد شد. پاستاهای خارج شده از قالب ابتدا روی سینی‌های پلاستیکی ریخته شده و داخل آون اتوماتیک ممرت آلمان خشک شد. فرایند خشک کردن در دو مرحله ابتدا با دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت و سپس با دمای ۷۵ درجه

برای تولید پاستای بدون گلوتن استفاده نمودند [۱۴]. Foschia and Beraldo (۲۰۱۶) به بررسی خواص فیزیکوشیمیایی پاستا بدون گلوتن غنی شده با نشاسته مقاوم پرداختند [۱۵]. Menga و همکاران (۲۰۱۷) تولید و بررسی پاستای بدون گلوتن با ترکیب کردن دانه چیا به عنوان یک عامل پرکننده و بهبوددهنده تغذیه‌ای در مقیاس آزمایشگاهی را انجام دادند و قابلیت هضم پذیری کربوهیدرات‌ها را مورد بررسی قرار دادند [۱۶]. Makdoud و همکاران (۲۰۱۷) سنجش و توسعه پاستای بدون گلوتن تولید شده بر پایه آرد برنج، کینوا و آمارانت مورد بررسی قرار دادند [۱۷]. Lorusso و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از آرد کینوای تخمیر شده برای ساخت پاستا استفاده نمودند [۱۸]. De Arcangelis و همکاران (۲۰۲۰) شرایط ژلاتینه سازی و ماکارونی برای پاستاهای بدون گلوتن بر پایه باکویت را مورد بررسی قرار دادند [۱۹]. Alinovi و همکاران (۲۰۲۳) تاثیر غنی سازی آرد شاه بلوط بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماکارونی تازه بدون گلوتن بررسی نمودند [۲۰]. Zhao و همکاران (۲۰۲۴) اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا، اوالبومین و پروتئین آب پنیر را بر ویژگی‌های پخت ماکارونی بدون گلوتن برپایه برنج، ذرت و سیب‌زمینی بررسی کردند [۲۱]. 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 ترکیب آردهای بدون گلوتن حاصل از دانه‌های کینوا، باکویت، آمارانت، چیا، تف، به همراه آرد برنج برای تولید پاستای فرمی بدون گلوتن با خصوصیات بافتی و حسی مشابه انواع پاستای تولید شده با آرد سمولینای گندم موجود در بازار مصرف استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

^۵. Silver crest

^۶. Vospeed

^۲. Fufeng

^۳. Merck

^۴. Memmert

وزن بعد از پخت بر طبق استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به شماره ۲۱۳ انجام پذیرفت [۲۴]. جهت ارزیابی نمونه های پخته شده پاستا در آزمون های بافت سنجی، رنگ سنجی و ارزیابی حسی، ابتدا نمونه های پاستا تا زمان بهینه پخت در ۲ لیتر آب حاوی ۰/۵ درصد نمک پخته شده و سپس با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه آبکشی می شوند.

بررسی بافت توسط دستگاه اینسترون هانسفیلد^{۱۴} انگلستان و از طریق آزمون فشاری تک محوری 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 میلی متر بر ثانیه [۲۵] در سه تکرار انجام پذیرفت.

برای تعیین رنگ پاستاهای خام و پخته شده از رنگ سنج هانتربل مینولتا^{۱۵} ژاپن استفاده گردید. قبل از اندازه گیری رنگ پاستاها، دستگاه با استفاده از یک صفحه سفید استاندارد تنظیم شد. نمونه ها روی صفحه سفید استاندارد به عنوان پس زمینه قرار داده شده و اندازه گیری ها انجام پذیرفت. پارامترهایی که دستگاه نمایش می دهد عبارت اند 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 به صورت تصادفی انتخاب شد و میانگین این سه نقطه گزارش گردید [۲۶].

ویژگی های مورد بررسی در ارزیابی حسی نمونه های پاستای پخته شده شامل شکل ظاهری، رنگ، عطر، طعم، بافت بودند. بر این اساس از ۱۰ ارزیاب آموزش دیده خواسته شد در سیستم هدونیک پنج امتیازی، امتیازهای ۵ (بسیار خوب)، ۴ (خوب)، ۳ (متوسط)، ۲ (بد) و ۱ (بسیار بد) را به نمونه ها اختصاص دهند. در نهایت از تقسیم میانگین مجموع

سلسیوس انجام شد. در انتهای فرآیند خشک کردن و رسیدن به رطوبت حدود ۱۰ درصد، پاستاها پس از سرد شدن تا زمان انجام آزمون ها در بسته های پلی پروپیلنی بسته بندی شدند.

۲-۳-۳- آزمون ها

۲-۳-۳-۱- ارزیابی نمونه های آردها

اندازه ذرات مخلوط آردهای تهیه شده طبق استاندارد انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا^۷ توسط الک با اندازه های ۴۷۵، ۱۸۰، ۱۲۵ و ۱۰۶ میکرون انجام شد. عملیات الک کردن با استفاده از ۱۰۰ گرم آرد و به مدت ۱۰ دقیقه صورت پذیرفت. اجزاء باقیمانده روی هر الک و زیر الک ۱۰۶ میکرون به صورت جداگانه توزین شدند

همچنین ترکیبات شیمیایی آرد برنج و آردهای جایگزین (چیا، تف، کینوا، باکویت و آمارانت) بر اساس روش های استاندارد انجمن شیمیدانان غلات آمریکا^۸ (۲۰۰۰) اندازه گیری شد. بر این اساس pH طبق استاندارد شماره ۰۲-۵۲/۰۱ توسط دستگاه pH متر دیجیتال ساخت آیکا^۹ آلمان تعیین شد. اندازه گیری خاکستر طبق استاندارد شماره ۰۸-۰۱ توسط دستگاه کوره الکتریکی ساخت پاراگون^{۱۰} آمریکا انجام شد. اندازه گیری رطوبت طبق استاندارد شماره ۴۴-۱۵A توسط دستگاه آون مدل ساخت ممرت^{۱۱} آلمان انجام شد. پروتئین کل طبق استاندارد شماره ۴۶-۱۳ توسط دستگاه کدال ساخت گرهارت^{۱۲} آلمان اندازه گیری شد. اندازه گیری چربی طبق استاندارد شماره ۱۰-۳۰ توسط دستگاه سوکسله کوئیک فیت^{۱۳} انگلستان انجام گردید [۲۳].

۲-۳-۳-۲- ارزیابی ویژگی های کیفی نمونه های پاستا

اندازه گیری عدد لعاب به روش اندازه گیری درصد کل مواد جامد در آب پخت و عدد پخت به روش اندازه گیری

¹². Gerhardt

¹³. Quickfit

¹⁴. Hounsfield

¹⁵. Color flex

⁷. American Society of Agricultural Engineers (ASAE)

⁸. American Association of Cereal Chemists (AACC)

⁹. IKA

¹⁰. Paragon

¹¹. Memert

امتیازات ۵ شاخص ارزیابی، عدد مطلوبیت کیفی بر مبنای ارزیابی حسی به دست آمد [۲۷].

استفاده از نرم افزار SPSS^{۱۸} نسخه ۱۹ و EXCEL نسخه ۲۰۱۳ (Chicago, USA) انجام گرفت.

۲-۴- آنالیز آماری

پژوهش بر اساس طرح آماری کاملاً تصادفی انجام شد و اختلاف بین تیمارهای مختلف، با استفاده از تحلیل واریانس^{۱۶} (ANOVA) در سطح احتمال ۵ درصد تعیین شد. مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن^{۱۷} با

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی آردها

نتایج مربوط به ویژگی‌های شیمیایی آردهای مورد استفاده برای تهیه پاستا به شرح جدول ۱ است.

Table 1- The results of chemical analysis of flours

	Moisture (%)	Fat (%)	Protein (%)	Ash (%)	pH
Rice flour	8.51±0.61 _b	1.12±0.11 _f	8.12±0.28 _d	0.57±0.0 _{4^d}	6.04±0.0 _{3^e}
Chia flour	7.08±0.94 _c	33.22±0.1 _{2^a}	22.58±0.5 _{7^a}	1.93±0.0 _{9^c}	5.95±0.0 _{7^f}
Teff flour	10.09±0.8 _{1^a}	2.05±0.08 _e	13.41±0.4 _{4^c}	4.72±0.0 _{7^a}	6.79±0.0 _{3^b}
Quinoa flour	9.17±0.51 _a	5.47±0.14 _c	16.83±0.6 _{4^b}	1.80±0.1 _{6^c}	6.66±0.0 _{6^c}
Amaranth flour	9.58±0.49 _a	6.21±0.06 _b	13.38±0.4 _{6^c}	2.27±0.1 _{0^b}	6.51±0.0 _{3^d}
Buckwhe at flour	9.04±0.57 _a	2.62±0.12 _d	13.81±0.4 _{4^c}	1.96±0.0 _{6^c}	6.94±0.0 _{5^a}

* Data are mean ± standard deviation

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

قرار داشت. بالاترین و کمترین میزان پروتئین به ترتیب مربوط به آرد چیا و برنج بود. میانگین خاکستر آردهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در محدوده ۴/۷۲-۵/۵۷ درصد قرار داشت. بالاترین و کمترین میزان خاکستر به ترتیب مربوط به آرد تف و برنج بود. میانگین pH آردها در محدوده ۶/۹۴-۵/۹۵ قرار داشت. بالاترین و کمترین میزان pH به ترتیب مربوط به آرد باکویت و چیا بود.

نتایج مربوط به نتایج آنالیز اندازه ذرات آردهای مورد استفاده برای تهیه پاستا به شرح جدول ۲ است.

نتیجه حاصل از مقایسه میانگین آنالیز شیمیایی آردهای مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$). میانگین رطوبت آردهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در محدوده ۷/۱۰-۸/۰۹ درصد قرار داشت. بالاترین و کمترین میزان رطوبت به ترتیب مربوط به آرد تف و چیا بود. میانگین چربی آردهای مورد استفاده در تحقیق در محدوده ۱/۱۲-۳۳/۲۲ درصد قرار داشت. بالاترین و کمترین میزان چربی به ترتیب مربوط به آرد چیا و برنج بود. میانگین پروتئین آردهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در محدوده ۱۳/۳۸-۲۲/۵۸ درصد

Table 2. The results of particle size analysis used

Substitutiti on of pseudo-cereal flour (%)	Sieve greater than 475 microns	Top of 180 micron sieve	Top of 125 micron sieve	Top of 106 micron sieve	Sieve smaller than 106 microns
--	--------------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------------

¹⁸. Statistical Package for Social Sciences

¹⁶. Analysis of variance (ANOVA)

¹⁷. Duncan

5	0.93±0.1 8 ^d	10.09±0.9 5 ^{bc}	36.55±1.8 8 ^a	7.33±0.9 2 ^a	44.53±2.1 4 ^a
25	1.67±0.4 8 ^{cd}	9.20±0.72 ^c	35.93±2.4 2 ^a	7.52±0.6 5 ^a	37.17±1.3 8 ^{ab}
50	2.20±0.2 6 ^c	11.75±0.6 6 ^b	36.26±2.5 6 ^a	6.81±0.3 8 ^b	32.92±1.8 2 ^b
75	2.94±0.5 9 ^b	11.66±0.8 1 ^b	34.08±1.3 9 ^a	7.82±0.4 2 ^a	28.83±1.0 5 ^c
95	3.28±0.4 9 ^a	16.84±0.8 6 ^a	34.62±2.0 6 ^a	6.79±0.4 9 ^b	23.41±1.6 2 ^d

* Data are mean ± standard deviation

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

مختلف تغییرات معنی‌داری نشان داده است (P<0/05)

(جدول ۳). میانگین شاخص رنگ L* پاستای خام و پخته شده به ترتیب در محدوده ۸۳/۴-۴۷/۹ و ۵۷/۶-۳۰/۵ قرار داشت که گستره قابل ملاحظه‌ای است. بر طبق نتایج با افزایش نسبت آردهای جایگزین، شاخص رنگ L* نمونه‌ها کاهش معنی‌داری (P<0/05) نشان می‌دهد که مربوط به رنگ مواد اولیه است. بالاترین شاخص رنگ L* پاستای بدون گلوتن خام و پخته شده مربوط به تیمار با ۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین بود.

همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود با افزایش درصد آردهای جایگزین ذرات باقیمانده روی الک ۴۷۵ میکرون بیشتر شد. همچنین درصد ذرات جمع شده در زیر الک ۱۰۶ میکرون کمتر شد.

۳-۲- ارزیابی نمونه‌های پاستا

۳-۳- ویژگی‌های رنگ سنجی

میانگین شاخص رنگ L* پاستاهای بدون گلوتن با نمونه شاهد تجاری قبل و بعد از پخت در بین تیمارهای

Table 3- Colorimetric L* index of control and uncooked/cooked gluten-free pasta

Sample	Substitution of pseudo-cereal flour (%)					
	Control	5	25	50	75	95
Uncooked	73.09± 2.61 ^c	83.43± 2.40 ^a	78.10± 2.23 ^b	65.72± 2.64 ^d	54.67± 3.05 ^e	47.90± 3.40 ^f
Cooked	52.78± 1.88 ^b	57.65± 1.96 ^a	51.84± 1.49 ^b	44.33± 1.50 ^c	39.48± 2.06 ^d	30.52± 2.37 ^e

* Data are mean ± standard deviation

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

۷/۲ و ۴/۹-۴/۵ قرار داشت. بر طبق نتایج با افزایش نسبت آردهای جایگزین، شاخص رنگ a* نمونه‌های خام افزایش معنی‌داری (P<0/05) نشان می‌دهد. بالاترین شاخص رنگ a* پاستای بدون گلوتن خام و پخته شده مربوط به تیمار با ۹۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین بود.

نتیجه حاصل از مقایسه میانگین شاخص رنگ a* پاستاهای بدون گلوتن با نمونه شاهد تجاری تنها در نمونه‌های خام در بین تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری نشان داده است (P<0/05) (جدول ۴). میانگین شاخص رنگ a* پاستای خام و پخته شده به ترتیب در محدوده ۱/۶-

Table 4- Colorimetric a* index of control and uncooked /cooked gluten-free pasta

Sample	Substitution of pseudo-cereal flour (%)					
	Control	5	25	50	75	95
Uncooked	3.25±0. 16 ^d	1.62±0. 17 ^f	2.46±0. 34 ^e	4.25±0. 19 ^c	5.70±0. 20 ^b	7.28±0. 16 ^a
Cooked	6.07±0. 16 ^a	4.91±0. 68 ^b	4.88±0. 53 ^b	4.54±0. 55 ^b	4.61±0. 46 ^b	4.56±0. 45 ^b

* Data are mean $\pm$ standard deviation

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

با افزایش نسبت آردهای جایگزین، شاخص رنگ b^* نمونه‌های خام افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) نشان می‌دهد. بالاترین شاخص رنگ b^* پاستای بدون گلوتن خام و پخته شده مربوط به تیمار با ۹۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین بود.

نتیجه حاصل از مقایسه میانگین شاخص رنگ b^* پاستاهای بدون گلوتن با نمونه شاهد تجاری در نمونه‌های خام و پخته شده در بین تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری نشان داده است ($P < 0.05$) (جدول ۵). میانگین شاخص رنگ b^* پاستای خام و پخته شده به ترتیب در محدوده ۱۰/۷-۱۹/۴ و ۹/۶-۹/۹ قرار داشت. بر طبق نتایج

Table 5- Colorimetric b^* index of control and uncooked/cooked gluten-free pasta

Sample	Substitution of pseudo-cereal flour (%)					
	Control	5	25	50	75	95
Uncooked	17.70 $\pm$ 0.34 ^b	10.77 $\pm$ 0.33 ^e	12.46 $\pm$ 0.36 ^d	14.33 $\pm$ 0.35 ^c	17.25 $\pm$ 0.46 ^b	19.47 $\pm$ 0.43 ^a
Cooked	29.50 $\pm$ 0.59 ^a	9.93 $\pm$ 0.76 ^b	9.81 $\pm$ 0.47 ^b	9.67 $\pm$ 0.64 ^b	9.83 $\pm$ 0.35 ^b	9.65 $\pm$ 0.36 ^b

* Data are mean $\pm$ standard deviation

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

تغییرات کلی رنگ افزایشی اما قابل چشم‌پوشی است، اما در سطح ۹۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین تغییرات رنگ نسبت به نمونه تجاری بسیار زیاد است.

۴-۳- ویژگی‌های بافتی

نتیجه حاصل از مقایسه میانگین سفتی، شکستگی و نسبت شکستگی به سفتی پاستاهای بدون گلوتن با نمونه شاهد تجاری حاصل از فشار عمودی در بین تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری نشان داده است ($P < 0.05$) (شکل ۱). میانگین سفتی، شکستگی و نسبت شکستگی به سفتی پاستا به ترتیب در محدوده ۲/۹-۱/۳، ۱/۱-۲/۶ و ۰/۸-۰/۹ نیوتن قرار داشت. بر طبق نتایج با افزایش نسبت آردهای جایگزین، سفتی و شکستگی نمونه‌ها افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) پیدا می‌کند. بالاترین میزان سفتی و شکستگی پاستای بدون گلوتن مربوط به تیمار با ۹۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین بود.

رنگ پاستای یکی از شاخص‌های کیفی مهم برای مصرف‌کنندگان است [۲۸]. با مقایسه ویژگی‌های ظاهری محصول، مشاهده می‌گردد با افزایش میزان آردهای جایگزین در فرمولاسیون پاستاهای تولیدی، شاخص رنگ L^* کاهش و شاخص رنگ b^* و a^* افزایش می‌یابد که به تبع آن سفیدی کاهش و زردی رنگ افزایش می‌یابد که نشان از تیره‌تر شدن رنگ محصول تولیدی و تمایل رنگ محصول به رنگ نارنجی می‌باشد که با توجه به ماهیت رنگی آردهای جایگزین استفاده شده قابل انتظار است.

میزان کل نور انعکاس یافته از سطح نمونه با اندازه ذرات نسبت معکوس دارد. بنابراین با افزایش درصد آردهای جایگزین استفاده شده در فرمولاسیون، در میزان روشنایی و شاخص L^* روندی کاهشی صورت گرفته است. رنگ قهوه‌ای تیره مخلوط آردهای جایگزین غلات نیز عامل دیگر مؤثر در کاهش روشنایی محصول نهایی می‌تواند باشد. چنانچه سایر محققان اثری مشابه برای نشاسته مقاوم را مطرح نمودند [۲۹]. بر همین اساس، روند کاهشی در شاخص b^* و a^* نیز قابل توجیه است [۳۰]. همچنین تا سطح ۷۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین،

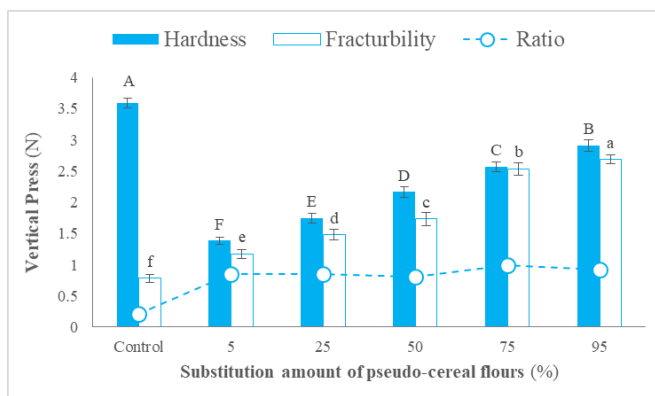


Fig 1. Textural characteristics of commercial and gluten-free pasta by vertical pressing

می‌گردد. مطالعات پیشین نشان داده که حضور فیبرهای گیاهی به عنوان پری‌بیوتیک در محصولات ماکارونی، تأثیر نامطلوبی بر روی شاخص‌های بافتی دارند [۳۲-۳۴].

۳-۵- ویژگی‌های پخت

نتیجه حاصل از مقایسه میانگین عدد لعاب و عدد پخت پاستاهای بدون گلوتن با نمونه شاهد تجاری در نمونه‌های پخته شده در بین تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری نشان داده است ($P < 0.05$) (شکل ۲). میانگین عدد لعاب و عدد پخت پاستا به ترتیب در محدوده ۹/۳-۱۹/۳ و ۶۸/۴-۵۴/۲ درصد قرار داشت. بر طبق نتایج با افزایش نسبت آردهای جایگزین، عدد لعاب کاهش و عدد پخت نمونه‌ها افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) پیدا می‌کند. بالاترین میزان عدد لعاب و عدد پخت پاستای بدون گلوتن پخته شده به ترتیب مربوط به تیمار با ۵ و ۹۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین بود.

بافت پاستا قبل از پخت باید کاملاً سفت و پایدار باشد تا طی بسته‌بندی و جابه‌جایی خرد نشود. همچنین استحکام بافت محصول پس از پخت نیز موجب کاهش به هم چسبیدگی و مانع نرمی محصول نهایی می‌گردد. در تحقیق حاضر، با افزایش نسبت آردهای جایگزین در فرمولاسیون پاستای تولیدی، سفتی و استحکام بافت محصول افزایش پیدا کرد اما در هیچ‌کدام از سطوح به بالاترین شاخص سفتی مربوط به تیمار شاهد تجاری بود نرسید. 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 [۳۱] اما از آنجایی که میزان پروتئین تأثیر مهمی بر قدرت گلوته‌نی ندارد ولی بر کیفیت بافتی محصول نهایی تأثیر دارد از این رو به دلیل افزایش میزان پروتئین با افزایش نسبت آردهای جایگزین، کمپلکس نشاسته-پروتئین محصول نهایی تقویت شده و موجب افزایش استحکام بافت محصول نهایی

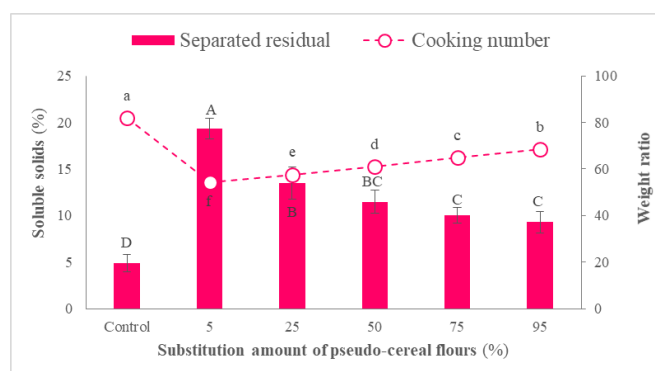


Fig 2. Cooking characteristics of commercial and gluten-free pasta by vertical pressing

پروتئین در ساختار محصول شبیه پوشش عمل کرده و از خروج نشاسته از بافت پاستا جلوگیری کند و در نهایت سبب سفتی بیشتر بافت پاستا می‌شود. کالگوس اینفنت و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثر آرد لوبیای مکزیکی بر خواص اسپاگتی گزارش نمودند که هر چه میزان پروتئین آرد اولیه کاهش یابد، افت پخت بیشتر می‌شود [۳۸] که این موضوع با نتایج به دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی دارد.

۶-۳- ویژگی‌های حسی

نتیجه حاصل از مقایسه میانگین مطلوبیت کلی پاستاهای بدون گلوتن با نمونه شاهد تجاری در بین تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری داشته است ($P < 0.05$) (شکل ۳). میانگین مطلوبیت کلی پاستا در محدوده ۱/۹ - ۳/۱ قرار داشت. همچنین بالاترین مطلوبیت کلی پاستا مربوط به تیمار حاوی ۷۵ درصد جایگزینی آردهای جایگزین بود.

عدد لعاب معیاری از حفظ ساختار ماکارونی در حین فرآیند پخت است. هرچه قدر کمیت و کیفیت پروتئین موجود در بافت ماکارونی بیشتر باشد، عدد لعاب کمتر می‌شود. گندم دوروم به علت مقدار پروتئین بیشتر، و همچنین کیفیت پروتئینی بالاتر، قدرت بیشتری در تشکیل شبکه گلوتنی در هنگام اختلاط با آب دارد [۳۵]. بررسی تأثیر ایزوله پروتئین سویا بر ویژگی‌های ماکارونی توسط ناصری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد مقدار پروتئین در ماکارونی بر کاهش افت پخت و آبگیری محصول حین پخت، تأثیر مثبت دارد که این مورد در این پژوهش نیز مشاهده شد [۳۶].

همچنین کاهش کل مواد جامد در آب (لعاب) در نمونه‌های مورد بررسی این تحقیق می‌توانند ناشی از بالا رفتن میزان پروتئین و در نتیجه افزایش پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و پروتئین در بافت محصول باشد. میزان پروتئین بالا نیز به علت خاصیت امولسیون کنندگی، عامل مؤثری در ایجاد این امر خواهد بود [۳۷].

میزان شکنندگی پاستا، بیشتر به مقدار پروتئین آن بستگی دارد و به میزان کمتری به نشاسته وابسته است.

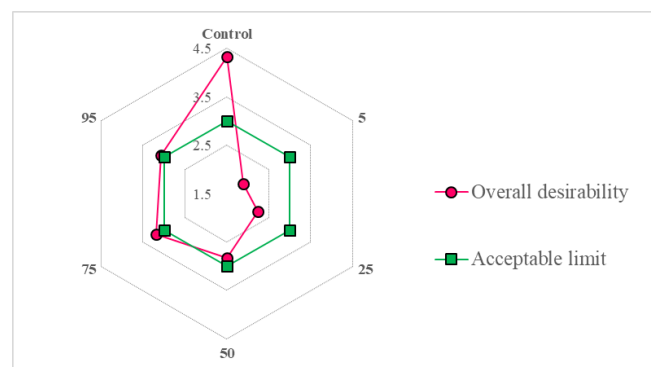


Fig 2. Overall desirability of commercial and gluten-free pasta by sensory characteristic

طور نامحسوسی افزایش و امتیاز ارزیابی حسی کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

بر طبق نتایج این تحقیق تولید پاستای بدون گلوتن بر پایه آردهای جایگزین منجر به محصولی با خصوصیات نزدیک به پاستای تجاری می‌گردد. افزایش آردهای جایگزین در فرمولاسیون تأثیر مثبتی بر خواص شیمیایی-عملکردی

با توجه به اینکه بالا رفتن میزان پروتئین پاستا از ورود نشاسته موجود در آن به آب پخت جلوگیری می‌نماید، مشاهده شد که با افزایش مقدار جایگزینی آردهای جایگزین تا ۷۵ درصد از میزان چسبندگی محصول به دندان کاسته شده ولی در مقادیر ۹۵ درصد، به دلیل سفت شدن زیاد محصول و افزایش میزان جذب آب، چسبندگی به دندان به

درصد آردهای جایگزین، وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت.

۵- منابع

- [1] Palavecino, P.M., et al., *Sorghum Pasta and Noodles: Technological and Nutritional Aspects*. Plant Foods for Human Nutrition, 2020. **75**: p. 326-336.
- [2] Dendy, D.A. and B.J. Dobraszczyk, *Cereals and cereal products: chemistry and technology*. 2001: Aspen publishers.
- [3] Alireza Sadeghi, M. and S. Bhagya, *Quality characterization of pasta enriched with mustard protein isolate*. Journal of food science, 2008. **73**(5): p. S229-S237.
- [4] Ajila, C., et al., *Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010. **11**(1): p. 219-224.
- [5] Lucisano, M., E. Casiraghi, and R. Barbieri, *Use of defatted corn germ flour in pasta products*. Journal of Food Science, 1984. **49**(2): p. 482-484.
- [6] Prabhasankar, P., *Prebiotics: Application in Bakery and Pasta Products*. Critical reviews in food science and nutrition, 2014. **54**(4).
- [7] Ekrami, M., et al., *Extraction and physicochemical characterization of gum*, in *Handbook of Natural Polymers, Volume 1*. 2023, Elsevier. p. 597-630.
- [8] Ruh, T., et al., *Microbial transglutaminase treatment in pasta-production does not affect the immunoreactivity of gliadin with celiac disease patients' sera*. Journal of agricultural and food chemistry, 2014. **62** (30): p. 7604-7611.
- [9] Bacchetti, T., et al., *The postprandial glucose response to some varieties of commercially available gluten-free pasta: a comparison between healthy and celiac subjects*. Food & function, 2014. **5**(11): p. 3014-3017.
- [10] Vetrani, C., et al., *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, 2019. **149**: p. 156-162.
- [11] Zandonadi, R.P., et al., *Green banana pasta: an alternative for gluten-free diets*. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2012. **112**(7): p. 1068-1072.
- [12] Ekrami, M. and Z. Emam-Djomeh, *Water vapor permeability, optical and mechanical properties of salep-based edible film*. Journal of Food Processing and Preservation, 2014. **38**(4): p. 1812-1820.
- [13] Padalino, L., A. Conte, and M.A. Del Nobile, *Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread*. Foods, 2016. **5**(4): p. 87.
- [14] Marengo, M., et al., *Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitability as components of enriched gluten-free pasta*. LWT-Food Science and Technology, 2015. **63**(1): p. 511-518.
- [15] Foschia, M., P. Beraldo, and D. Peressini, *Evaluation of the physicochemical properties of gluten-free pasta enriched with resistant starch*. Journal of the science of food and agriculture, 2016.
- [16] Menga, V., et al., *Gluten-free pasta incorporating chia (Salvia hispanica L.) as thickening agent: An approach to naturally improve the nutritional profile and the in vitro carbohydrate digestibility*. Food chemistry, 2017. **221**: p. 1954-1961.
- [17] Makdoud, S. and K.A. Rosentrater, *Development and testing of gluten-free pasta based on rice, quinoa and amaranth flours*. Journal of food Research, 2017. **6**(4): p. 91-110.
- [18] Lorusso, A., et al., *Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features*. LWT, 2017. **78**: p. 215-221.
- [19] De Arcangelis, E., et al., *Gelatinization and pasta making conditions for buckwheat gluten-free pasta*. Journal of Cereal Science, 2020. **95**: p. 103073.
- [20] Alinovi, M., et al., *Effect of chestnut flour fortification on physico-chemical characteristics of gluten-free fresh pasta*. International Journal of Food Science & Technology, 2023.
- [21] Zhao, R., et al., *Improvement effect of different protein powder on cooking characteristics of gluten-free pasta and the establishment of quality evaluation based on principal component analysis*. International Journal of Food Science & Technology, 2024. **59**(2): p. 1138-1149.

- [22] Milde, L.B., et al., *Incorporation of xanthan gum to gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes*. LWT, 2020. **131**: p. 109674.
- [23] AACC, *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN., 2000.
- [24] ISIRI, *Macaroni - Specifications and test methods*. Iranian national standard No. 213, 2009. **4th edition**.
- [25] El-Sohaimy, S.A., et al., *Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate*. Annals of Agricultural Sciences, 2020. **65**(1): p. 28-34.
- [26] Wood, J.A., *Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality*. Journal of Cereal Science, 2009. **49**(1): p. 128-133.
- [27] Szydłowska-Tutaj, M., et al., *The effect of the addition of various species of mushrooms on the physicochemical and sensory properties of semolina pasta*. Food & Function, 2022. **13**(16): p. 8425-8435.
- [28] Rayas-Duarte, P., C. Mock, and L. Satterlee, *Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours*. Cereal Chemistry, 1996. **73**(3): p. 381-387.
- [29] Ovando-Martinez, M., et al., *Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta*. Food Chemistry, 2009. **113**(1): p. 121-126.
- [30] Agama-Acevedo, E., et al., *Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour*. LWT-Food Science and Technology, 2012. **46**(1): p. 177-182.
- [31] Ungureanu-Iuga, M., M. Dimian, and S. Mironeasa, *Development and quality evaluation of gluten-free pasta with grape peels and whey powders*. Lwt, 2020. **130**: p. 109714.
- [32] Bustos, M.C., G.T. Perez, and A.E. León, *Sensory and nutritional attributes of fibre-enriched pasta*. LWT-Food Science and Technology, 2011. **44**(6): p. 1429-1434.
- [33] Vernaza, M.G., et al., *Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures*. International Journal of Food Science & Technology, 2012. **47**(6): p. 1302-1312.
- [34] Mishra, S., J. Monro, and D. Hedderley, *Effect of processing on slowly digestible starch and resistant starch in potato*. Starch-Stärke, 2008. **60**(9): p. 500-507.
- [35] Marconi, E., et al., *Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions*. Cereal chemistry, 2002. **79**(5): p. 634-639.
- [36] Naseri, A.R., et al., *Study of the effect of soy protein isolate on macaroni characteristics*. Iranian journal of food science and technology, 2009. **6**(2): p. 1-11.
- [37] Fradinho, P., et al., *Edible brown seaweed in gluten-free pasta: Technological and nutritional evaluation*. Foods, 2019. **8**(12): p. 622.
- [38] Gallegos-Infante, J., et al., *Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.)*. Food Chemistry, 2010. **119**(4): p. 1544-1549.



Scientific Research

Production and evaluation of texture, color, sensory properties and cooking characteristics of pasta based on wheat alternative flours

Armin Ghassemi ¹, Zahra Emam-djomeh ^{1,2*}, Peyman Mahasti Shotorbani ³, Mohammad Jouki ¹, Homa Behmadi ^{4*}

1- Department of Food Science and Technology, Faculty of Biological Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Islamic Republic of Iran

2- Department of Food Science, Technology and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

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

4- Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Engineering, Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received:2023/10/7 Accepted:2024/4/27	Celiac disease is a digestive disorder caused by a permanent intolerance to certain cereal prolamines with a specific oligopeptide sequence and manifests as gluten intolerance. The aim of this study is therefore to formulate and produce gluten-free pasta based on rice flour and wheat alternative flours and to evaluate their qualitative properties. Different samples of gluten-free pasta were produced from a mixture of rice flour and wheat alternative flours (chia, teff, quinoa, amaranth and buckwheat) with different weight ratios. A commercial pasta was used as the control sample. The color, texture, cooking properties and sensory characteristics of the samples were then investigated. The results showed that as the proportion of alternative flours increased, the color lightness index (L*) decreased and the b* and a* values increased, resulting in a decrease in the whiteness index and an increase in the yellowness index and overall color changes. In addition, the wheat alternative flours had a positive effect on the texture firmness and reduced the baking index, and reduced the glaze index of the final product. The pasta sample with 75% wheat alternative flours and 25% rice flour was selected as the ideal gluten-free pasta sample in terms of overall sensory evaluation. The results show that the use of alternative flours can significantly improve the quality characteristics of gluten-free pasta.
Keywords: Pasta, Celiac disease, Gluten-free, Texture properties, Sensory properties	
DOI: 10.22034/FSCT.21.151.1. *Corresponding Author E-Mail: emamj@ut.ac.ir	