

اثر افزودن مقادیر مختلف آب بر ویژگی‌های رئولوژیکی، تکنولوژیکی و حسی نان بدون گلوتن بر پایه نشاسته ذرت غنی شده با آرد گندم سیاه

اصغر فرهادی^۱، سید هادی پیغمبردوست^{۲*}، کاظم علیرضالو^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- استاد تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۴)

چکیده

آب نقش کلیدی در فرمولاسیون خمیر و کیفیت نان دارد. بخصوص در خمیرهای بدون گلوتن که حاوی هیدروکلوئیدها هستند آب در تنظیم حلالیت اجزاء حائز اهمیت زیادی بوده و نیز در سیالیت و قوام خمیر و در بافت نان حاصله و کیفیت آن نقش مهمی دارد. از این رو بافت و کیفیت خوراکی نان‌های بدون گلوتن به شدت تحت تأثیر انتخاب مواد تشکیل دهنده آن بخصوص مقدار آب است. هدف از این پژوهش بررسی اثر افزودن مقادیر مختلف آب در ۶ سطح (۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰ و ۱۳۰ درصد) بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر (اکستروژن خمیر و قابلیت تخمیر)، خواص تکنولوژیکی (حجم ویژه، افت پخت، تخلخل، سفتی و ماندگاری) و حسی نان بدون گلوتن بود. نتایج بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر نشان داد که با افزایش مقدار آب از ۸۰ تا ۱۳۰ درصد قوام خمیر کاهش و قابلیت تخمیر خمیر بهبود یافت. افزایش مقدار آب تا ۱۳۰ درصد باعث افزایش در مقدار حجم ویژه از ۱/۸۶ mL/g تا ۳/۱۴ شد. از نظر ریز ساختار مغز نان نیز، افزایش در مقدار آب تا ۱۳۰ درصد باعث افزایش در مقدار تخلخل شد. مقدار سفتی نان (۲۴ ساعت بعد از پخت) با افزایش مقدار آب تا ۱۳۰ درصد از ۰/۳۲۵N به ۰/۲۷۳N کاهش یافت. نتایج بدست آمده نشان داد نمونه های حاوی مقادیر بالای آب (۱۲۰ و ۱۳۰ درصد) در مقایسه با نمونه‌هایی با مقادیر کم آب (۸۰ و ۹۰ درصد) زودتر دچار کپک زدگی شدند. نتایج ارزیابی حسی نمونه‌ها نیز نشان داد که افزایش در مقدار آب از ۸۰ تا ۱۳۰ درصد با بهبود ویژگی‌های حسی نظیر حجم، تخلخل و سفتی باعث افزایش پذیرش کلی نمونه‌ها گردید. به طوریکه نمونه‌های ۱۲۰ و ۱۳۰ درصد بالاترین امتیاز پذیرش کلی را از دید پانلیست‌ها داشتند.

کلید واژگان: آب، خمیر، نان، بدون گلوتن، کیفیت، رئولوژی، ماندگاری

* مسئول مکاتبات: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های گذشته به موازات افزایش تقاضا برای محصولات بدون گلوتن، فرمولاسیون‌های گوناگونی برای محصولات بدون گلوتن ارائه شده است [۱]. بنابراین یکی از مسائل اساسی برای محققان علوم غذایی تولید نان بدون گلوتن است زیرا فقدان گلوتن تأثیر شگرفی بر بسیاری از شاخص‌های نان بدون گلوتن مانند حجم و سفتی بافت بر جا می‌گذارد. در مقایسه با نان گندم، نان‌های بدون گلوتن دارای بافت خشک‌تر و سفت‌تری بوده و سریعتر از نان گندم بیات می‌شوند [۲]. به طور کل ماتریکس پروتئینی گلوتن در صنایع پخت عامل اصلی خواص مهم خمیر نظیر کشش پذیری، مقاومت در برابر کشش، قابلیت اتساع، تحمل در حین اختلاط و توانایی نگهداری گاز می‌باشد [۳]. در واقع از گلوتن تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید نان، کیک، کلوچه و بیسکوئیت‌پاکی می‌شود و فقدان آن در محصولات بدون گلوتن سبب تولید فرآورده‌ای با بافت شکننده، رنگ ضعیف، حجم و تخلخل کم می‌شود [۳]. بنابراین محصولات بدون گلوتن به یک سوبسترای پلیمری مانند نشاسته و هیدروکلوئیدها نیاز دارند که خصوصیات ویسکوالاستیک گلوتن در خمیر را ایجاد کنند. به طور معمول در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن از آرد برنج و ذرت به دلیل طعم ملایم، مقدار پرولامین کم و نیز غیر آلرژن بودن به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود [۴]. همچنین شبه‌غلات (گندم سیاه، کینوا، آمارنت) به دلیل دارا بودن پروفایل‌های تغذیه‌ای مناسب در سال‌های گذشته به عنوان ترکیب فراسودمند به فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن افزوده شده‌اند [۵-۶]. تحقیقات گسترده‌ای به منظور بهبود ویژگی‌های کیفی نان‌های بدون گلوتن انجام گرفته است [۷-۹]. آب نقش کلیدی در تهیه خمیر دارد. در حقیقت آب به عنوان یکحلال برای سایر ترکیبات خمیر عمل می‌کند. نقش آب در یکنواختی و قوام خمیر، تنظیم درجه حرارت خمیر و بالاخره چگونگی بافت و حجم نان مربوط می‌گردد. همچنین در طی پخت نان، آب دارای نقش مهمی است، بدین مفهوم که آب به‌صورت بخار اسپری شده و بر روی چانه می‌نشیند و به عنوان حمل‌کننده گرما عمل می‌کند و ویژگی‌های محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۰]. مطالعات کمی در خصوص تأثیر سطوح مختلف آب در

محصولات بدون گلوتن انجام گرفته است. انسینا زیلدا و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر همزمان مقادیر مختلف آب و صمغ زانتان در فرمولاسیون خمیر بدون گلوتن پرداختند. نویسندگان بیان کردند که افزایش مقدار آب باعث افزایش در حجم و افت پخت نان‌های بدون گلوتن شد [۱۱]. لاهیرا و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر همزمان اندازه ذرات و مقدار آب بر خواص کیفی نان بدون گلوتن را بررسی و مشاهده کردند که افزایش مقدار آب در فرمولاسیون نان باعث بهبود حجم و کاهش مقدار سفتی نان بدون گلوتن شد [۱۲]. فراتلی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر مقادیر مختلف آب و اسفرزه را به منظور بهبود خواص کیفی و تغذیه‌ای نان بدون گلوتن بررسی و بیان کردند که افزایش در مقدار آب و اسفرزه باعث بهبود ویژگی‌های ظاهری و حسی نان‌ها شد [۱۳]. طبق اطلاعات موجود در زمینه تأثیر مقادیر مختلف آب بر خمیر نان بدون گلوتن و نیز اثر همزمان اثر آب و افزودن آرد گندم سیاه در فرمول نان بدون گلوتن، تاکنون تحقیقی در ایران انجام نشده است. با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان با بررسی مقادیر مختلف آب در فرمولاسیون نان‌های بدون گلوتن، ویژگی‌های کیفی نان بدون گلوتن را بررسی و مقادیر مناسب را به منظور تولید نان بدون گلوتن با کیفیت ارائه داد. لذا هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب بر ویژگی‌های کیفی نان و ارائه فرمولاسیونی مناسب برای تولید نان بدون گلوتن بر پایه نشاسته ذرت می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

نشاسته ذرت (رطوبت ۱۱/۵، خاکستر ۰/۲ درصد)، آرد سویا (با پروتئین ۴۹/۵۰، چربی ۶/۲۶، خاکستر ۰/۷۳ درصد) و آرد برنج (با پروتئین ۸/۷۰، چربی ۱/۱۱، خاکستر ۰/۷۳ درصد) از شرکت گلها (تهران) و دانه‌گندم سیاه از شرکت ساغلام (تبریز) خریداری شد. صمغ زانتان از شرکت رودیا (فرانسه) خریداری شد. مخمر مورد استفاده (ساکارومایسس سرویسیه) به شکل پودر مخمر خشک فعال و به صورت بسته بندی وکیوم از شرکت Dr.Oetker (ترکیه) و نمک، شکر و روغن مایع از بازار محلی خریداری شد. مواد شیمیایی مورد نیاز با خلوص تجزیه‌ای از شرکت مرک (آلمان) تهیه شد.

۲-۲- پخت نان

فرمولاسیون نان بدون گلوتن مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. جهت تهیه نان از روش پخت نان حجیم کوچک استفاده شد. بدین ترتیب که در ابتدا تمامیت ترکیبات خشک پس از وزن شدن الک گردید تا به خوبی باهم مخلوط گردند. سپس آب شهری (با سختی حدود ۲۰۰ ppm) بسته به مقدار تعیین شده برای هر تیمار (بر اساس فرمولاسیون جدول ۱) افزوده شد. خمیر بدون گلوتن در مخلوطکن خانگی ۲ کیلوگرمی Clatronic مدل KM3067 (اسپیرال، آلمان) تهیه شد. تمامیت ترکیبات با سرعت ۴ مخلوطکن (۱۲۰ rpm) به مدت ۶ دقیقه مخلوط شدند. سپس خمیر به مقدار ۶۰ گرم وزن شده و در قالب‌های کوچک به ابعاد ۸۰×۴۰×۳۵ میلی‌متر که دیواره آن‌ها چرب شده بود، ریخته شد. قالب‌ها در محفظه تخمیر در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت ۴۰ دقیقه قرار داده شد. سپس خمیرها در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه در دستگاه فر پخت شدند. برای پخت نان از دستگاه فر پخت نان کارگاهی (ساخت شرکت Voss آلمان) مجهز به محفظه‌های جداگانه تخمیر و پخت با قابلیت‌تثریق بخار فشرده استفاده شد. پس از سپری شدن مدت فوق، نان‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت نیم ساعت خنک شدند. سپس نمونه‌های نان در کیسه‌های پلی اتیلنی پلاستیکی بسته بندی و در دمای اتاق نگهداری شدند.

Table 1 Gluten free formulations containing corn starch, rice flour and soy flour.

Ingredients	Weight(g)
Corn starch	700
Buckwheat flour	200
Rice flour	100
Soy flour	100
Xanthan gum	18
CMC	2
Salt	15
Sugar	60
Yeast	20
Water	80-130

۳-۲- آزمون‌های مواد آردی

رطوبت آردهای مورد استفاده (آرد گندم سیاه، آرد برنج و آرد سویا) با روش ۱۶-۴۴ AACC، پروتئین با روش ۱-۴۶ AACC، چربی با روش ۱۰-۳۰ AACC، خاکستر با روش ۷-۸ AACC اندازه‌گیری گردید [۱۴].

۲-۴- آزمون‌های رئولوژیکی خمیر

۲-۴-۱- آزمون اکستروژن خمیر

هدف از انجام آزمون اکستروژن، محاسبه حداکثر نیروی وارده به خمیر جهت خروج حجم مشخصی از خمیر از روزنه‌ای با ابعاد مشخص است. با توجه به اهمیت ویژگی قوام خمیر در فرآورده‌های بدون گلوتن به‌ویژه نان، می‌توان از داده‌های بدست آمده از آزمون اکستروژن برای بررسی قوام و نیز برای پیش‌بینی قابلیت تخمیر این فرآورده‌ها استفاده کرد. آزمون اکستروژن نمونه‌های خمیر با روش روندا و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از ماشین آزمون عمومی (اینستران) (مدل ۱۱۴۰، ساخت آمریکا) با پروب استوانه‌ای استیل به قطر ۳۶ میلی‌متر متصل شده به کراس هد (پیشانی) دستگاه مجهز به لود سل ۵۰ الی ۵۰۰ نیوتنی با سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و سرعت حرکت چارت نسبت به پیشانی ۱ به ۲ انجام شد [۱۵]. ۳۰ گرم از خمیر (بدون افزودن مخمر) در ظرف استوانه‌ای پلی پروپیلنی به ارتفاع ۷۰ میلی‌متر، با قطر دهانه بالایی ۵۰ میلی‌متر و قطر قاعده تحتانی ۳۸ میلی‌متر که در کف خود دارای روزنه‌ای به قطر ۱۰ میلی‌متر بود، توزین شد. این آزمون در واقع ماگزیم نیروی (F_{max}) مورد نیاز (بر حسب نیوتن) جهت اکستروژن شدن خمیر از یک دریچه با سایز مشخص را نشان می‌دهد که معیاری از قوام یا سفتی خمیر تلقی می‌گردد [۱۵].

۲-۴-۲- ارزیابی قابلیت تخمیر

در فرآورده‌هایی نظیر نان که در آن‌ها فرایند تخمیر و هوادهی وجود دارد، ایجاد حباب‌های هوا در خمیر در طول مرحله مخلوط کردن و نیز ظرفیت سیستم برای حفظ و تثبیت این حباب‌ها در طول فرایندهای بعدی، جزء عوامل بسیار مهم در

اندازه‌گیری شده و از طریق فرمول زیر، افت پخت نان محاسبه شد [۲۰].

= درصد افزایش حجم

$\times 100$ وزن نان بعد از پخت - وزن اولیه خمیر

وزن اولیه خمیر

۲-۵-۳- ارزیابی تخلخل و ریز ساختار مغز نان

برای بررسی تخلخل و ریز ساختار مغز نان از روش کوته و همکاران (۲۰۱۸) با کمی تغییرات به وسیله پردازش تصویر نرم‌افزار ImageJ استفاده شد [۱۶]. بدین منظور قطعه ۳×۳ سانتی‌متر از قسمت میانی مغز نان بریده شد، درون محفظه عکس بردار شبیه ساز هانتربل با دیواره سفید (۵۰×۵۰×۶۰) که دو لامپ فلورسنت مخصوص با نور سفید درون آن قرار گرفته بود و توزیع نور کاملاً یکنواختی در آن وجود داشت، قرار گرفتند. عکسبرداری توسط دوربین دیجیتالی شرکت IXY930IS Canon (با رزولوشن ۱۲ مگاپیکسل) که در موقعیت عمود بر نمونه (با فاصله ۳۰ سانتی‌متر) قرار داشت، انجام گرفت. سپس عکس‌ها در کامپیوتر ذخیره و با فعال کردن قسمت ۸ بیت، به صورت تصاویر خاکستری (۸ بیتی) درآمد و سپس با فعال کردن گزینه دودویی نرم افزار تصویر به صورت نقاط تیره و روشن درآمد که محاسبه نسبت نقاط تیره به نقاط روشن به عنوان شاخص مقدار تخلخل نان برآورد شد [۱۵]. همچنین میانگین اندازه سلول‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ محاسبه شد.

۲-۵-۴- ارزیابی شاخص سفتی

بررسی سفتی بافت مغز نان با استفاده از ماشین آزمون عمومی (اینستران) (مدل ۱۱۴۰، ساخت آمریکا) با پروب استوانه‌ای استیل به قطر ۳۸ میلی‌متر متصل شده به کراس هد (پیشانی) دستگاه مجهز به لود سل ۵۰ الی ۵۰۰ نیوتنی با سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و سرعت حرکت چارت نسبت به پیشانی ۱ به ۲ انجام شد [۱۹]. برش‌هایی با ضخامت ۲۵ میلی‌متر از مغز نان تهیه و تا ۴۰ درصد ارتفاع اولیه فشرده گردید. این آزمون ۲۴ ساعت بعد از پخت نان انجام گرفت.

تعیین بافت و ظاهر محصول نهایی است [۱۶]. در فرآورده‌های بدون گلوتن، ناپایداری و عدم ثبات حباب‌های هوای تولید شده در حین عملیات تخمیر و مخلوط کردن یکی از مشکلات اساسی در تولید این محصولات می‌باشد [۱۷]. برای ارزیابی قابلیت تخمیر از روش نزاوا و همکاران (۲۰۱۶) با تغییراتی جزئی به شرح ذیل استفاده شد. مقدار ۳۰ گرم از هر تیمار خمیر اندازه‌گیری و به استوانه مدرج (۲۰۰ میلی‌لیتری) انتقال یافت. سپس استوانه مدرج در داخل محفظه تخمیر دستگاه پخت نان (شرکت Voss آلمان) با دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰٪ به مدت ۴۰ دقیقه قرار گرفت. درصد افزایش حجم خمیر با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۱۸]:

$\times 100$ حجم بعد از تخمیر - حجم قبل تخمیر = درصد افزایش حجم

حجم قبل تخمیر

۲-۵-۵- آزمون‌های فیزیکی نان بدون گلوتن

۲-۵-۵-۱- حجم، حجم ویژه و ارتفاع نان

جهت اندازه‌گیری حجم از روش جابه‌جایی دانه کلزا استفاده شد [۱۹]. در این روش دانه کلزا تا خط نشانه در محفظه فلزی ریخته و حجم آن یادداشت شد. سپس هر یک از نمونه‌های نان قالبی داخل محفظه خالی قرار داده شد و با سرعتی یکنواخت دانه کلزا درون آن ریخته و تا خط نشانه پر گردید. باقیمانده دانه‌ها که نشان دهنده اختلاف حجم است، درون استوانه مدرج ریخته و حجم نان بر حسب میلی‌لیتر به دست آمد برای اندازه‌گیری حجم ویژه داده‌های حجم نان بدست آمده، به وزن نان تقسیم شد و حجم ویژه بر حسب Cm^3/g حاصل گردید. جهت اندازه‌گیری ارتفاع پس از انجام برش طولی قرص نان، ارتفاع قسمت تاج نان با خط‌کش اندازه‌گیری گردید.

۲-۵-۵-۲- افت پخت

جهت تعیین افت پخت، وزن چانه‌های خمیر و وزن نمونه‌های نان مربوطه، پس از پخت و سرد کردن به مدت ۱ ساعت،

۲-۵-۵- آزمون کنترل کپک زدگی در نان

برای انجام آزمون کپک‌زدگی از روش خراسانچی و همکاران (۱۳۸۹) استفاده شد به این صورت که نان پس از خنک شدن با چاقوی استریل به قطعات مساوی بریده شد و در کیسه‌های پاستیکی قرار داده شد. قطعات برش یافته در انکوباتور ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند. تعداد روزهای مورد نیاز برای ظهور اولین کلنی کپک بر سطح نان به عنوان زمان ماندگاری ثبت گردید [۲۱].

۲-۵-۶- آزمون حسی

برای ارزیابی ویژگی‌های حسی نمونه‌های نان، از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد. بدین ترتیب که نمونه‌های نان، در روز اول پخت توسط تعدادی از افراد آموزش دیده (پانلیست‌ها) از لحاظ شکل و فرم، پوکی و تخلخل، سفتی و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این آزمون عدد (۱) نشان دهنده پایین‌ترین امتیاز و عدد (۵) نشان دهنده بالاترین امتیاز بود [۲۰].

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تأثیر مقادیر مختلف آب در ۶ سطح (۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰ درصد) بر اساس طرح کاملاً تصادفی (CRD^۱) با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه‌ی میانگین‌ها به ترتیب با جدول ANOVA و آزمون دانکن در سطح معنی داری $p < 0.05$ توسط نرم افزار SAS انجام گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون‌های شیمیایی آردهای مورد استفاده

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های شیمیایی آرد گندم سیاه، آرد برنج، آرد سویا مورد استفاده در تهیه نان‌ها در جدول ۲ آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که بالاترین مقادیر پروتئین (۴۹/۵۰ درصد)، چربی (۶/۲۶ درصد) و خاکستر (۶/۱۴ درصد) مربوط به آرد سویا می‌باشد. بنابراین آرد سویا می‌تواند به عنوان یک ترکیب با ارزش تغذیه‌ای بالا در تولید نان بدون گلوتن مورد استفاده قرار گیرد. مقدار پروتئین (۱۲/۶۰ درصد) بدست آمده برای گندم سیاه مشابه نتایج بدست آمده توسط کنستانتینی و همکاران (۲۰۱۴) است [۲۲]. پروتئین‌های گندم سیاه دارای ارزش بیولوژیکی بالایی بوده که ناشی از تعادل ترکیب آمینو اسیدهای آن است [۲۳]. همچنین از لحاظ فیبرهای رژیمی نیز گندم سیاه یک منبع بسیار عالی بوده و بنابراین برای رژیم غذایی افرادی که از بیماری سلیاک رنج می‌برند، می‌تواند مفید باشد [۲۴]. از لحاظ محتوای چربی نیز گندم سیاه می‌تواند برای بهبود ترکیب تغذیه‌ای نان بدون گلوتن مفید باشد، زیرا ۸۰ درصد از چربی موجود در گندم سیاه اسید چرب‌های غیر اشباع می‌باشد که از این میزان ۴۰ درصد مربوط به اسید چرب ضروری اسید لینولئیک است، به همین دلیل گندم سیاه در بین غلات از نقطه نظر ارزش تغذیه‌ای اسیدهای چرب پیش‌تاز است [۲۴]. نتایج بدست آمده برای آرد برنج نیز نشان داد که آرد برنج دارای بالاترین مقدار کربوهیدرات (۸۹/۴۶ درصد) است. آرد برنج ویژگی‌هایی مانند طعم ملایم، رنگ سفید، سهولت هضم و غیر آلرژن بودن را دارد [۲۵]. همچنین، مقادیر کم سدیم، عدم حضور گلیادین و وجود کربوهیدرات‌های قابل هضم و در کنار آن قیمت پایین آن را به غله‌ای مناسب برای بیماران سلیاکی تبدیل ساخته است [۲۶].

Table 2 Chemical composition (g/100 g dry matter) of flour samples.

Flour samples	Moisture (%)	Lipid (%)	Protein (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)
Rice	9.04± 0.33	1.11± 0.08	8.70± 0.37	0.73± 0.03	89.46
Soy	13.04± 0.12	6.26± 0.01	49.50± 0.20	6.14± 0.04	38.10
Buckwheat	13.30± 0.19	2.60± 0.02	12.60± 0.22	2.01± 0.03	82.79

The results are shown as mean ± SD.

این محققین دریافتند که با افزایش مقدار بتاگلوکان جو و جودوسر، از مقدار نیروی مورد نیاز برای اکستروژن شدن نمونه‌ها کاسته می‌شود. همچنین این محققین علت کاهش در مقدار F_{max} را افزایش در جذب آب نمونه‌های حاوی جودوسر بیان کردند [۱۵].

۲-۲-۳- قابلیت تخمیر

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار افزایش حجم خمیر تیمارهای مختلف در جدول ۳ آورده شده است. در این پژوهش، در طی فرایند تخمیر، تمامی تیمارها افزایش مستمری را در حجم خمیر نشان دادند. در ابتدای فرایند تخمیر (۲۰ دقیقه ابتدایی) افزایش مقدار حجم در تمامی خمیرها از یک روند تقریباً ثابت پیروی می‌کرد، اما بعد از مدت زمان گفته شده، افزایش در مقدار آب، باعث افزایش مقدار حجم خمیرها شد. بیشترین مقدار افزایش حجم در نمونه های حاوی ۱۲۰ و ۱۳۰ درصد آب بود. همچنین یک رابطه مثبت بین نتایج آزمون اکستروژن و قابلیت تخمیر نمونه‌ها مشاهده شد. بدین صورت که خمیرهایی که برای اکستروژن کردن آن‌ها نیرویی کمتری نیاز بود، افزایش حجم بیشتری را در طی فرایند تخمیر نشان دادند. بنابراین شاید بتوان علت افزایش در قابلیت تخمیر پذیری خمیرها با افزایش مقدار آب را به کاهش قوام خمیرها نسبت داد. اوسلا و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان کردند که در خمیرهای با ویسکوزیته بالا، حباب‌های هوا در طی فرایند تخمیر در مقابل انبساط مقاومت می‌کنند و همین امر باعث کاهش در مقدار حجم ویژه می‌شود [۲۷].

۲-۳- ارزیابی‌های رئولوژیکی خمیر

۱-۲-۳- آزمون اکستروژن

نتایج بدست آمده از آزمون اکستروژن در شکل ۱ آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش مقدار آب در خمیر منجر به کاهش F_{max} شد.

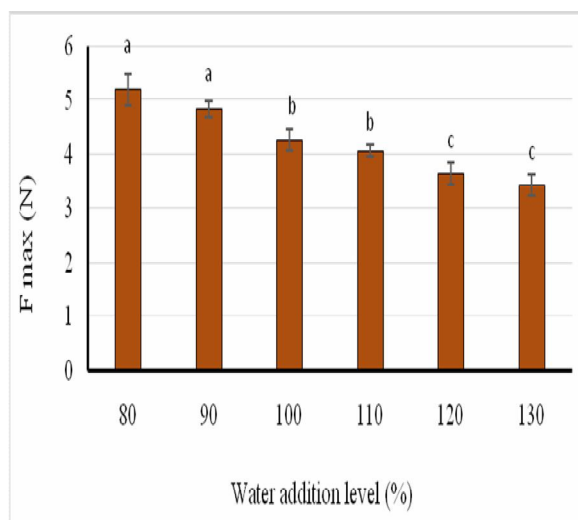


Fig 1 Maximum force required to extrude dough samples with different levels of water. Data are mean of triplicate measurements (n=3). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p < 0.05$) difference between means.

بالاترین مقدار F_{max} مربوط به نمونه ۸۰ درصد و کمترین مقدار F_{max} مربوط به نمونه ۱۳۰ درصد می‌باشد. روند و همکاران (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابهی را برای نان‌های بدون گلوٹن غنی شده با سطوح مختلف بتاگلوکان جو و جودوسر گزارش کردند.

Table 3 Variation of dough volume(Cm³) upon time during leavening period

Water addition level /Time	0	10 min	20 min	30 min	40 min
80	20.00± 1.00 a	22.00± 1.00 b	26.30± 1.52c	36.00± 1.00d	41.60± 2.51c
90	20.00± 1.00 a	22.60± 0.57b	27.00± 1.00b	37.30± 1.15cd	46.60± 3.51c
100	20.60± 0.57 a	24.30± 1.15 a	29.60± 1.52b	40.00± 1.00bc	52.30± 2.51b
110	20.00± 1.00 a	24.60± 0.57 a	30.30± 2.51 b	42.00± 3.00bc	55.00± 2.00ab
120	19.60± 0.57 a	24.60± 0.57 a	31.00± 1.00b	43.30± 2.08ab	57.3± 2.51ab
130	20.00± 1.00 a	25.00± 1.00 a	31.60± 1.52 a	46.30± 2.08 ab	59.60± 3.51 a

Data are mean of triplicate measurements ± SD. Different letters in the same column indicate significant (p<0.05) differences between means.

آگار، زانتان و بتاگلوکان جو دوسر قبلاً مورد پژوهش قرار گرفته است [۲۸]. مطالعات اوسلاو همکاران نیز نشان داده که هنگامی که به فرمولاسیون نان بدون گلوتن ۶۰ درصد آب اضافه گردد به علت ویسکوزیته بالای خمیر حاصله، حباب‌های هوا در مقابل انبساط در طی تخمیر مقاومت کرده و در نتیجه موجب کاهش حجم ویژه نان می‌گردد. با افزایش مقدار آب افزوده شده تا ۷۰ درصد قوام خمیر کاهش یافته و حجم ویژه نان افزایش می‌یابد [۲۷]. فراتلی و همکاران (۲۰۱۸) نیز با بررسی تاثیر مقادیر مختلف آب و اسفرزه را بر روی خواص کیفی و تغذیه‌ای نان بدون گلوتن بیان کردند که افزایش در مقدار آب و اسفرزه باعث افزایش در حجم و حجم ویژه محصول نهایی شد [۱۳]. انسینا زیلدا و همکاران (۲۰۱۸) نیز با بررسی تاثیر همزمان مقادیر مختلف آب و صمغ زانتان در فرمولاسیون خمیر بدون گلوتن بیان کردند که افزایش مقدار آب باعث افزایش در حجم نان‌های بدون گلوتن شد [۱۱].

۳-۳-۳- ارزیابی‌های فیزیکی

۳-۳-۳-۱- حجم، حجم ویژه و ارتفاعنان

حجم به عنوان یک پارامتر کیفی نشان دهنده توانایی خمیر در نگهداری گاز CO₂ و متسع شدن آن در طی پخت می‌باشد [۲۵]. بر طبق نتایج جدول ۴ به طور کلی نمونه‌های حاوی مقادیر بالای آب (۱۲۰ و ۱۳۰ درصد) نسبت به نمونه‌های با مقادیر آب کم، حجم، حجم ویژه و ارتفاع بیشتری را داشتند و نمونه حاوی ۱۳۰ درصد آب بیشترین حجم، حجم ویژه و ارتفاع و نمونه حاوی ۸۰ درصد کمترین حجم، حجم ویژه و ارتفاع را نشان داد. مصرف‌کنندگان اکثراً به سمت نان‌های با حجم بالا جذب شده و مصرف چنین فرآورده‌هایی را ترجیح می‌دهند، بنابراین کاهش حجم محصولات نانوایی نامطلوب تلقی می‌گردد. بهبود حجم ویژه نان‌های بدون گلوتن تهیه شده از برنج با به کارگیری پکتین، کربوکسی متیل سلولز،

Table 4 Variation of loaf volume, specific volume and height of gluten-free bread at different levels of added water

Water addition level (% w/w based on dry ingredient)	Volume (mL)	Specific volume (mL/g)	Height (mm)
80	88 ± 1.15 f	1.86 ± 0.03 f	37.0 ± 1.00 e
90	102 ± 2.00 e	2.18 ± 0.03 e	41.3 ± 1.15 d
100	126 ± 1.15 d	2.76 ± 0.01 d	46.6 ± 1.52 c
110	131 ± 1.00 c	2.87 ± 0.04 c	49.0 ± 1.00 b
120	135 ± 1.00 b	3.00 ± 0.02 b	51.0 ± 1.00 b
130	137 ± 0.57 a	3.14 ± 0.03 a	53.3 ± 0.57 a

Data are mean of triplicate measurements ± SD. Different letters in the same column indicate significant (p<0.05) differences between means.

۳-۳-۲- افت پخت

درصد افت پخت نان‌های بدون گلوتن با درصدهای مختلف آب در شکل ۲ نشان داده شده است.

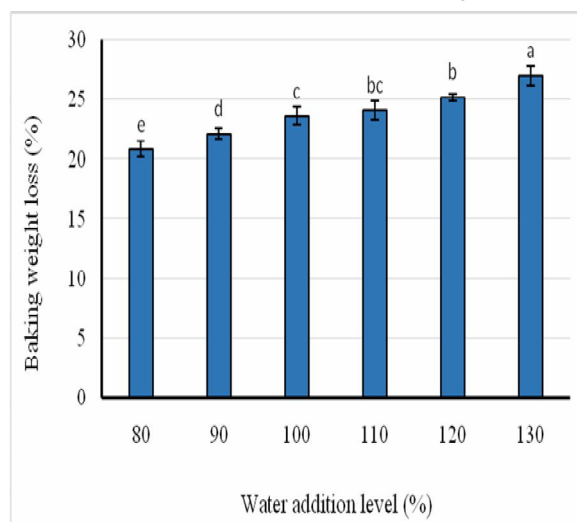


Fig 2 Breadbaking weight loss at different levels of water. Data are mean of triplicate measurements (n=3). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant (p<0.05) difference between means.

با توجه به نتایج شکل ۲ به طور کلی نمونه‌های حاوی مقادیر بالای آب (۱۲۰ و ۱۳۰ درصد) نسبت به نمونه‌های با مقادیر آب کم، مقدار افت پخت بیشتری را داشتند و نمونه حاوی ۱۳۰ درصد آب بیشترین و نمونه حاوی ۸۰ درصد کمترین افت پخت را نشان داد. بودزاک و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیر ترکیبات کوکیرا بر پارامترهای کیفی در طول پخت بررسی کردند و دریافتند که در نمونه‌هایی با محتوای آب اولیه بالاتر، کاهش وزن بیشتری مشاهده شد و افت پخت نمونه‌های با محتوای رطوبت اولیه بالا بیشتر بود [۲۹]. فراتلی و همکاران

(۲۰۱۸) نیز با بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب و اسفرزه بر روی خواص کیفی و تغذیه‌ای نان بدون گلوتن بیان کردند که افزایش در مقدار آب باعث افزایش در مقدار افت پخت شد [۱۳]. انسینا زیلدا و همکاران (۲۰۱۸) نیز افزایش مقدار افت پخت در اثر افزایش مقادیر آب در خمیر نان بدون گلوتن را گزارش کردند [۱۱].

۳-۳-۳- تخلخل

در جدول ۵ مقادیر مربوط به پارامترهای مغز نان تیمارهای مختلف آورده شده است. بررسی‌های انجام گرفته با نرم‌افزار Image J نشان داد که با افزایش مقدار آب در فرمولاسیون نان‌های بدون گلوتن مقدار تخلخل در تمامی تیمارها در مقایسه با نمونه کنترل افزایش پیدا کرده است. بالاترین مقدار تخلخل مربوط به نمونه حاوی ۱۳۰ درصد آب و کمترین مقدار تخلخل مربوط به نمونه حاوی ۸۰ درصد آب بود. علت افزایش مقدار تخلخل را می‌توان به حجم بیشتر نمونه‌های حاوی مقادیر بالای آب در مقایسه با نمونه‌های با مقدار کم آب نسبت داد (جدول ۵). افزایش مقدار آب باعث افزایش مقدار حجم نمونه‌ها شده و افزایش حجم نیز باعث بهبود تخلخل نمونه‌ها می‌شود. همچنین بررسی نتایج بدست آمده برای میانگین اندازه سلول‌های مغز نان نشان داد که افزایش محتوای آب منجر به افزایش در اندازه سلول‌ها شده است. انسینا زیلدا و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تأثیر همزمان مقادیر مختلف آب و صمغ زانتان در فرمولاسیون خمیر بدون گلوتن نیز بیان کردند که افزایش در محتوای آب باعث ایجاد ساختار بازتر با میزان تخلخل بیشتر نان و اندازه سلول‌های بزرگتر می‌شود که با نتایج بدست آمده در این پژوهش همخوانی دارد [۱۱].

Table 5 Crumb grain characteristics of gluten-free bread with different level of water

Samples	Porosity (%)	Mean cell area (mm ²)
W80	33.20 ± 1.18 d	0.06 ± 0.004 c
W90	38.05 ± 1.53 c	0.06 ± 0.004 c
W100	39.07 ± 0.86 c	0.07 ± 0.003 b
W110	41.30 ± 0.72 b	0.08 ± 0.001 a
W120	41.90 ± 0.95 ab	0.08 ± 0.002 a
W130	43.70 ± 0.60 a	0.07 ± 0.007 b

Data are mean of triplicate measurements ± SD. Different letters in the same column indicate significant (p<0.05) differences between means.

بالاترین ماندگاری مربوط به نمونه حاوی ۸۰ درصد آب با ۷ روز ماندگاری و کمترین ماندگاری مربوط به نمونه حاوی ۱۳۰ آب با ۴ روز ماندگاری بود. میزان ماندگاری رابطه‌ای عکس با محتوای رطوبت دارد، بدین معنی که با افزایش محتوای رطوبت مقدار ماندگاری نمونه‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان علت ماندگاری پایین نمونه‌های تهیه شده با مقادیر بالای آب را به محتوای رطوبتی بالای این تیمارها نسبت داد.

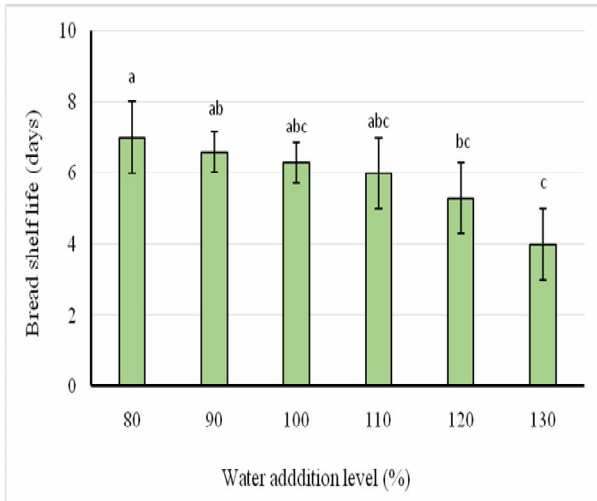


Fig 4 Shelf-life (number of days to appearance of the first mold colony) of bread at different levels of added water. Data are mean of triplicate measurements ($n=3$). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p<0.05$) difference between means.

۳-۳-۶- ارزیابی حسی

نتایج مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف آب فرمولاسیون برویژگی‌های حسی و ظاهری نان بدون گلوتن، در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که افزایش در محتوای آب فرمولاسیون باعث بهبود ویژگی‌های حسی نان بدون گلوتن گردید. به طور کلی در فرآورده‌های نانویی حجم به عنوان یک پارامتر کیفی تعیین کننده در مشتری پسندی این محصولات محسوب می‌شود. با توجه به جدول ۶ می‌توان گفت که به طور کلی تیمارهایی که دارای حجم بالایی بوده‌اند از نظر شکل و ظاهر امتیاز حسی بالاتری را دریافت کرده‌اند. تیمار تهیه شده با ۱۳۰ درصد آب بیشترین امتیاز حسی و تیمار تهیه شده با ۸۰ درصد آب کمترین امتیاز حسی را دریافت کرده‌اند. طبق جدول ۶، نتایج ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان داد که افزایش مقدار آب تا ۱۳۰ درصد تأثیر مناسبی بر نرمی بافت داشته است. نمونه تهیه شده با ۱۳۰ درصد از بیشترین امتیاز

۳-۳-۴- سفتی بافت نان

نتایج حاصل از تعیین سفتیافت نان‌های بدون گلوتن بعد از ۲۴ ساعت پخت در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود نمونه نان با مقدار ۸۰ درصد آب، بالاترین سفتی (0.325 N) را داشت و نرم ترین بافت مغز (0.273 N) به نمونه حاوی ۱۳۰ درصد آب اختصاص یافت. علت نرمی بافت نان را می‌توان به حجم بالاتر تیمارهای با محتوای آب بالا نسبت داد. همانطور که مشاهده می‌گردد تیمارهایی که حجم بالایی داشتند، از بافت مغز نرمتری برخوردار بودند، در نتیجه یک ارتباط منفی بین حجم و سفتی بافت مغز نان مشاهده شد. نان‌های با حجم کوچک‌تر (مغز متراکم‌تر) عموماً سفتی مغز بیشتری هم دارند [۳۰]، و سفتی خیلی زیاد منعکس کننده حجم خیلی کم نمونه‌هاست [۳۱]. گالاگر و همکاران نیز طی مطالعه خود بین حجم قرص نان بدون گلوتن و سفتی مغز ارتباطی قوی بدست آوردند [۳۲]. لاهیرا و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی همزمان اندازه ذرات و مقدار آب بر خواص کیفی نان بدون گلوتن بیان کردند که افزایش مقدار آب در فرمولاسیون نان باعث کاهش مقدار سفتی نان بدون گلوتن شد [۱۲].

۳-۳-۵- کنترل کپک زدگی نان

شکل ۴ مدت زمان ماندگاری (بر حسب تعداد روزهای مورد نیاز برای ظهور اولین کلنی کپک بر سطح نان) هر یک از تیمارهای حاوی مقادیر مختلف آب را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد که افزایش مقدار آب فرمولاسیون باعث کاهش در مقدار ماندگاری نان‌ها گردید.

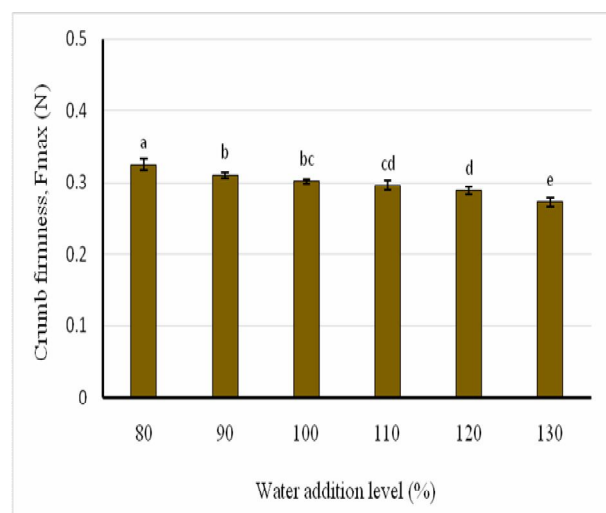


Fig 3 Variation of crumb firmness (F_{max}) at different levels of added water. Data are mean of triplicate measurements ($n=3$). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p<0.05$) difference between means.

۱۳۰ و ۸۰ درصد آب بود. همچنین افزایش آب فرمولاسیون تا ۱۳۰ درصد موجب افزایش امتیازپذیرش کلی نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد گردید. به طوری که نمونه ۱۳۰ درصد دارای بیشترین امتیاز پذیرش کلی و نمونه ۸۰ درصد دارای کمترین امتیاز بودند. بنابراین می‌توان گفت که تیمارهای تهیه شده در درصدهای بالای آب (۱۲۰ و ۱۳۰ درصد) دارای مقبولیت بیشتری از نظر پانلیست‌ها بوده است.

حسی سختی بافت و نمونه تهیه شده با ۸۰ درصد آب کمترین امتیاز برخوردار بودند. پوکی و تخلخل مغز نان ارتباط نزدیکی با ویژگی نرمی بافت دارد. بدین معنا که نان‌هایی با مغز نان نرم، پوکی و تخلخل بهتری دارند. نتایج نشان داد که پوکی و تخلخل مغز نان برای تیمارهای مختلف با افزایش مقدار آب بهبود یافت. بیشترین و کمترین امتیاز حسی که توسط داوران به پوکی و تخلخل نان داده شد به ترتیب مربوط به نمونه‌های

Table 6 Sensory scores of gluten-free breads at different levels of added water

Water addition level (% w/w based on dry ingredient)	Shape and form	Crumb Porosity	Crumb firmness	Overall acceptability
80	2.40± 1.17c	2.90± 0.73c	2.20± 1.03c	3.20± 0.67c
90	2.80± 0.78c	3.30± 1.05 bc	3.10± 0.99b	3.20± 0.78b
100	3.00± 0.81bc	3.30± 0.69abc	3.80± 0.91 ab	3.30± 0.67ab
110	3.80± 1.03ab	3.60± 1.34 abc	3.90± 1.28ab	3.50± 0.70ab
120	3.90± 1.10ab	4.00± 1.05 ab	4.10± 0.73 a	3.80± 0.78ab
130	4.10± 0.87a	4.30± 0.82a	4.20± 0.78a	4.00± 0.94ab

Data are mean of triplicate measurements ± SD. Different letters in the same column indicate significant (p<0.05) differences between means.

gluten-free bread, Food Chemistry, 253, 119-126.

- [2]. Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1380-1389.
- [3]. Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. 2004. Recent advances in the formulation of gluten free cereal based. *Food Science and Technology*, 15, 143-152.
- [4]. Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 227(4), 1205-1213.
- [5]. Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 106e113.
- [6]. Wronkowska, M., Haros, M., & Soral-Smietana, M. (2013). Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality. *Food Bioprocess Technology*, 6, 1820e1827.
- [7] Pasqualone, A.; Caponio, F.; Summo, C.; Paradiso, V. M.; Bottega, G.; & Pagani, M. A. 2010. Gluten-free bread making trials from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour and sensory evaluation of the final

۴- نتیجه گیری

به طور کلی، در آزمایش‌های انجام شده بر روی نان بدون گلوتن، تأثیر مثبت مقادیر بالاتر آب بر ویژگی‌های رئولوژیکی، تکنولوژیکی و حسی محصول نمایان گردید. افزایش در مقدار آبرمولاسیون نان بدون گلوتن باعث کاهش قوام خمیر و افزایش قابلیت تخمیر نمونه‌های خمیر گردید. نتایج نشان داد افزایش مقدار آب فرمولاسیون می‌تواند سبب افزایش حجم و تخلخل نمونه‌ها گردد. براساس نتایج به دست آمده بیشترین سفتی مغز نان بعد از ۲۴ ساعت مربوط به نمونه حاوی ۸۰ درصد آب و کمترین مقدار مربوط به نمونه حاوی ۱۳۰ درصد آب بود. افزایش سطح آب سبب افزایش مقدار افت پخت و رطوبت و کاهش ماندگاری نمونه‌های نان بدون گلوتن گردید. بهبود ویژگی‌های حسی نظیر حجم، تخلخل و سفتی از دیدگاه پانلیست‌ها به وضوح دیده شد. به طوری که نمونه حاوی ۱۳۰ درصد آب در تمامی ویژگی‌های حسی مورد مطالعه دارای بالاترین امتیاز حسی بود.

۵- منابع

- [1] Skendi, A., Mouselemidou, P., Papageorgiou, M., Papastergiadis, E. 2018. Effect of cornmeal-water combinations on technological properties and fine structure of

- [18] Nozawa M., Ito S., Araib E. 2016. Effect of ovalbumin on the quality of gluten-free rice flour bread made with soymilk. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 598-605.
- [19] Ebrahimpour, N., Peighambaroust, S.H. and Azadmard-Damirchi, S. 2010. Effect of pectin Guar and Carrageenan on the quality of gluten-free bread. *Journal of food Technology Research*, 20/3(2), 85-98 [in Persian].
- [20] Gulsum M., Hulya C., Seher K., Sebnem T., 2016. Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174-181.
- [21] Khorasanchi, N., and Peighambaroust, SH. 2010. Effect of "Sponge-and-Dough" and "Straight" Dough Preparation Methods on Dough Properties and the Quality of Pan Bread. *Journal of food Technology Research* 20/3(2), 99-111 [in Persian].
- [22] Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., Merendino, N., 2014. Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in omega-3 fatty acids and flavonoids as ingredients, *Food Chemistry*, 165, 232-240.
- [23] Ikeda, k., sakaguchi, t., kusano, t. and yasumoto, k. 1991. Endogenous factors affecting protein digestibility in buckwheat. *Cereal Chemistry*, 68, 424-427.
- [24] Bonafaccia, g., marocchini, m. and kreft, i. 2003. Composition and technological properties of the, flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 80, 9-15.
- [25] Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V. and Rosell, C.A. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(13), 3814-3818.
- [26] Naghipour, F., Mehdi Karimi, M., Habibi Najafi, M. B., Haddad khodaparast, M., Sheikholeslami, Z., Ghiafeh davoodi, M., Sahraiyani, B. (1392). Investigating the possibility of gluten free cakes and guar gum using sorghum flour and xanthan. *Journal of Science and Food industry*, 41(10), 127-139 (in Persian).
- [27] Osella, C.A., Sanchez, H.D., Carrara, C.R., De La Torre, M.A., and Buera, M.P. 2005. Water redistribution and structural changes of starch during storage of a gluten-free bread. *Starch/Staerke*, 57: 208-216.
- product. *International Journal of Food Properties*, 13, 562-573.
- [8] Schober, T. J., Messerschmidt, M., Bean, S. R., Park, S.-H., & Arendt, E. K. 2005. Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, 82(4), 394-404.
- [9] Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. 2010. Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(11), 2306-2313.
- [10] Potter, N.N. and Hacan, H.J. 1998. *Food Science*, Edited by Caballero, B. International Thomson Publishing, Washington, DC.
- [11] Christian R. Encina-Zelada, Vasco Cadavez, Fernando Monteiro, José A. Teixeira, Ursula Gonzales-Barron, Combined effect of xanthan gum on physicochemical and textural properties of gluten-free batter and bread. 2018. *Food Research International*, 111, 544-555
- [12] la Hera E., M. Rosell C., Gomez M. 2014. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, 151, 526-531.
- [13] Fratelli C., G. Muniz D., G. Santos F., D. Capriles V. 2018. Modelling the effects of *Psyllium* and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response. *Journal of Functional Foods*, 42, 339-345.
- [14] AACC International, 2000. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists 10th Ed.* The Association: St. Paul, MN.
- [15] Ronda F., Perez-Quirce S., Angiolon A., & Collar, C. 2013. Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: a fundamental and empirical rheological approach. *Food Hydrocolloids*, 32, 252-262.
- [16] Conte, P., Del Caro, A., Balestra, F., Piga, A., Fadda, C. 2018. Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physical-chemical, technological and sensory approach. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 1-7.
- [17] Elgeti, D., Jekle, M., & Becker, T. 2015. Strategies for the aeration of gluten-free bread- A review. *Trends in Food Science & Technology*, 46, 75-84.

- [30] Gujral H.S., Guardiola I., Carbonell J.V., & Rosell C.M. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 3814-3818.
- [31] Schober T.J., Bean S.R., & Boyle, D.L. 2007. Gluten-free sorghum bread improved by sourdough fermentation: Biochemical, rheological, and microstructural background. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 5137-5146.
- [32] Gallagher E., Gormley T.R., & Arendt E.K. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161.
- [28] Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M., Belc N., & Biliaderis, C. G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- [29] Budžaki, S., Koceva K., Daliborka, L., Jasmina, Č., Franjo, J., & Kožul, Ž. 2014. Influence of cookies composition on temperature profiles and qualitative parameters during baking. *Croatian journal of food science and technology*, 6(2), 72-78.

Effect of adding different levels of water on rheological, technological and sensory characteristics of corn starch gluten-free bread enriched with buckwheat flour

Farhadi, A.¹, Peighambardoust, S. H.^{2*}, Alirezalou, K.³

1. MSc. Graduated, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Professor of Food Technology, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ahar Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Ahar, Iran

(Received: 2019/06/11 Accepted: 2019/08/05)

Water plays a key role in dough formulation and bread quality. Particularly in gluten-free doughs containing hydrocolloids, water is important in regulating the solubility of the components, dough consistency and resulting bread texture and quality. Therefore, the texture and quality of gluten-free bread is strongly influenced by the selection of its ingredients, especially the amount of water. The purpose of this study was to investigate the effect of adding different amounts of water in 6 levels (80, 90, 100, 110, 120 and 130%) on the rheological properties of the dough (extrusion test and leavening properties), technological properties (volume, baking loss, porosity, firmness and shelf-life) and the sensory properties of gluten-free bread. Rheology results showed that by increasing the amount of water from 80 to 130%, the consistency of the dough decreased and the leavening ability of the dough was improved. An increase in the amount of water up to 130% increased the amount of bread specific volume from 1.86 to 3.14 mL/g. In terms of crumb structure, an increase in the amount of water up to 130% increased crumb porosity. Bread firmness (24 h after baking) decreased from 0.325 N to 0.273 N by increasing the amount of water. The results showed that samples containing high amounts of water (120 and 130%) were more susceptible to mold growth than those with low water content (80 and 90%). Sensory results showed that increasing the amount of water from 80 to 130% improved sensory characteristics such as bread volume, porosity and firmness, and increased the overall acceptance of samples. Overall, samples containing 120 and 130% water in formulation, received the highest overall acceptance scores.

Keywords: Water, Dough, Bread, gluten free, Quality, Rheology, Shelf life.

* Corresponding Author E-Mail Address: peighambardoust@tabrizu.ac.ir