فرمولاسیون نان بدون گلوتن با استفاده از گوآر و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی

ناصر پوراسماعیل[۱]، محمد حسین عزیزی[۲*]، سلیمان عباسی[۳] و مهرداد محمدی[۴]

تاریخ دریافت:۸۹/۳/۱ تاریخ پذیرش:۹۰/۲/۱۰

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴- محقق، گروه تحقیقات صنایع غذایی، انیستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
*مسئول مکاتبه: Email: mhazizitm@yahoo.com

چکیده

سلیاک رایج ترین بیماری است که در اثر مصرف گلوتن بروز پیدا می کند، که تنها راه درمان آن استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن در تمام طول ۲ بیمار است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی اثر گوآر و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (T.G) بر خصوصیات فارینوگرافی خمیر و کیفیت نان تهیه شده از مخلوط آردی بدون گلوتن (آرد سویا، آرد برنج و نشاسته ذرت) بود. برای این منظور صمغ گوآر در سطوح ۲ و ۳٪ و آنزیم T.G در سطوح ۰، ۱ و ۱۰ واحد به فرمولاسیون اضافه شدند. نتایج آزمایش ها روی نان ها نشان داد که گوآر سبب افزایش حجم ویژه نان ها و آنزیم T.G سبب کاهش حجم ویژه نان ها می شود. افزودن صمغ گوآر تأثیری در بافت مغز نان ها ایجاد نکرد ولی افزودن آنزیم T.G در سطح ۱ واحد سبب بهبود بافت مغز نان ها شد. در مقایسه با نان کنترل افزودن صمغ گوآر سبب کاهش میزان سفتی مغز نان ها در روز پخت شد ولی با افزودن آنزیم T.G و افزایش دوز استفاده از آن میزان سفتی افزایش پیدا کرد. آنزیم T.G در سطح ۱۰ واحد سبب به تعویق افتادن روند بیاتی در نان ها شد ولی گوآر تأثیر قابل ملاحظه ای در این موضوع نداشت.

واژه های کلیدی: ترانس گلوتامیناز، فارینوگراف، سلیاک، گوآر، نان بدون گلوتن

Formulation of Gluten Free Bread Using Guar and Microbial Transglutaminase Enzyme

N Pouresmaeil[1], MH Azizi[2], S Abbasi[3] and M Mohamadi[4]

Received: May, 2010 Accepted: April 30, 2011
[1]MSc. Graduated, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[3]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[4]Researcher, Department of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti Medical University Tehran, Iran
[*]Corresponding author: Email: mhazizitm@yahoo.com

Absrract
The most common disease caused by wheat protein (Gluten) ingestion is celiac, and the only effective treatment is strict adherence to a 100% gluten free diet for life. The objective of this study was to evaluate the effects of guar and microbial transglutaminase (T.G) enzyme on farinograph properties and bread quality of gluten free composite flours(Soya flour, Rice flour and corn starch). In this study, guar gum was added at two levels (2, 3%) and T.G was added at three levels (0, 1, 10 $^{u}/_{g\ pro}$) to the formulation. Results showed that guar addition caused increase in specific volume, but T.G had a negative effect on it. Guar addition had no effect on the crumb texture of bread, but addition of 1 $^{u}/_{g\ pro}$ of T.G caused appropriate texture crumb in bread. Incorporation of guar decreased the crumb hardness 2 hours after baking comparing to control but with increasing the addition of T.G crumb hardness was increased. Addition of 10 $^{u}/_{g\ pro}$ of T.G retarded the staling of gluten free breads, but guar addition had no effect on staling.

Key words: Celiac, Gluten free bread, Guar Gum, Farinograph, Transglutaminase Enzyme

مقدمه

بیماری سلیاک یک ناهنجاری مادام العمر روده ای است که به سبب خوردن گلوتن در افراد حساس ایجاد می شود. این بیماری یکی از رایج ترین ناهنجاری های 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 ویتامین های محلول در چربی و گاهی اوقات سبب کاهش وزن، اسهال، کم خونی، خستگی، نفخ شکم و کمبود فولات می شود (بلادس ۱۹۹۷، مورای ۱۹۹۹).

بیماری سلیاک فقط در کشورهای توسعه یافته شایع نبوده، بلکه به طور روز افزونی در کشورهای درحال توسعه نیز گزارش شده است. در کشورهای در حال توسعه در دهه ی ۸۰ میلادی با استفاده از تست های ساده سرولوژیکی به تدریج مشخص شد که شیوع سلیاک در کشورهای خاورمیانه، از جمله ایران به همان اندازه کشورهای اروپایی است و شیوع آن در مناطقی که در معرض خطر قرار دارند ۳٪ تا ۵٪ است (شهبازخانی و همکاران ۲۰۰۳).

تنها راه درمان بیماری سلیاک استفاده از یک رژیم غذایی فاقد پروتئین های گروه پرولامین یا اصطلاحاً بدون گلوتن (Gluten – Free) در تمام طول عمر بیمار است (نیووینسکی ۲۰۰۸). مشتقات گندم، جو و چاودار در رژیم غذایی فاقد گلوتن باید حذف شوند. حذف یولاف

از این رژیم غذایی هنوز جای بحث دارد، و غلاتی مانند ذرت و برنج در رژیم بدون گلوتن قابل استفاده هستند (هابوبی و همکاران ۲۰۰۶).

گلوتن ضروری ترین پروتئین سازنده بافت محصولات آردی حاضر در آرد گندم است، که در ساختمان مغز و ظاهر بسیاری از محصولات آردی تهیه شده از آرد گندم از جمله نان، دخالت دارد (لازاریدو و همکاران ۲۰۰۷) و به سبب تهیه ویژگی های از قبیل: ویسکوالاستیسیتی، مقاومت به مخلوط کردن، گسترش پذیری لازم برای خمیر، توانایی مناسب نگهداری گاز و ارائه ساختمان مطلوب برای مغز نان، نقش عمده ای در عملکرد پخت نان از آرد گندم ایفا می کند. به همین علت جایگزینی گلوتن در نان یکی از بزرگترین چالش های تکنولوژیکی پیش روی تکنولوژیست های غلات است (گلاگر و همکاران ۲۰۰۴، مور و همکاران ۲۰۰۴).

به منظور تقلید خصوصیات ویسکوالاستیک گلوتن در خمیر گندم، تعداد زیادی از آردها و نشاسته ها (برنج، ذرت، کاساوا و سویا) و موادی مثل صمغ ها، آنزیم ها، پروتئین سویا و سفیده تخم مرغ استفاده شده اند. کاتو و همکاران اثر صمغ های کربوکسی متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و گوار را در تولید نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج و نشاسته سیب زمینی مورد بررسی قرار دادند. گوریک و همکاران در سال ۲۰۰۷ تاثیر افزودن آرد سویا را جهت غنی کردن محتوای پروتئینی و ایجاد خواص مکانیکی (شکل پذیری، مقاومت به مخلوط کردن) مناسب در نان بدون گلوتن بررسی کردند.

مزایز و همکاران در سال ۲۰۰۹ اثر صمغ های مختلف مثل گوآر و کربوکسی متیل سلولز را در جایگزینی گلوتن در نان فرانسوی بررسی کردند. و در نهایت گزارش کردند نان های دارای ۲٪ صمغ گوآر دارای خصوصیات مطلوبی همچون حجم بیشتر، سفتی مغز کمتر و رنگ مناسب تر بودند.

انتون و ارفیلد افزودن هیدروکلوئیدهای مختلف به عنوان عوامل پیوند دهنده و با قابلیت جانشین شدن به جای گلوتن در نان حاصل از نشاسته ذرت را مورد مطالعه قرار دادند. . این محققان گزارش کردند که در بین صمغ های زانتان، خرنوب، گوآر و تراگاکانت، زانتان بالاترین کیفیت را در نان ایجاد نمود

دانشمندان از روش های مختلفی به منظور ایجاد شبکه ای مشابه گلوتن که بتواند گازهای حاصل از تخمیر را نگه داشته و سبب افزایش کیفیت محصول نهایی شود، استفاده کرده اند، یکی از این روش ها استفاده از آنزیم ها بوده است، در این رابطه مور و همکاران در سال ۲۰۰۶ تاثیر مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز (T.G) را بر تشکیل شبکه پروتئینی در نان های بدون گلوتن بررسی کردند.

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه نان که یکی از ارزان ترین و مهمترین و ضروری ترین مواد غذایی مورد استفاده انسان ها و قوت غالب آنها می باشد و در الگوی مصرف و تغذیه مردم ایران روز به روز نقش آن محسوس تر می گردد، ضرورت کارهای تحقیقاتی پیرامون آن محسوس می گردد. لذا هدف پژوهش حاضر بررسی اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز به همراه صمغ گوآر بر خصوصیات رئولوژیکی خمیرها و کیفیت نان های حاصل از ترکیب آردی بدون گلوتن بر پایه آرد برنج، نشاسته ذرت و آرد سویا به منظور تولید نان بدون گلوتن با کیفیت مطلوب بود.

مواد و روش ها

مواد اولیه

نشاسته ذرت از شرکت فرآیند و آرد سویا از شرکت سویا سان تهیه شدند. آرد برنج از برنج طارم محلی (دارای ۹/۷۴٪ رطوبت، ۸/۴٪ پروتئین و ۰/۵۶٪ خاکستر) تهیه شد. فرمولاسیون بدون گلوتن حاوی اینولین (Sensus، هلند)، کازئینات سدیم (کازئینات ایران)، گوآر (Rama ، هند)، آنزیم ترانس گلوتامیناز (Ajinomoto، آلمان)، خمیر مایه فوری (خمیر مایه خوزستان) و داتم (Beldem، بلژیک) بود.

فرمولاسیون نان

همه فرمولاسیون های بدون گلوتن شامل آرد برنج (۲۰۰ گرم)، نشاسته ذرت (۱۵۰ گرم)، آرد سویا (۵۰ گرم)، اینولین (۱۰ گرم)، کازئینات سدیم (۲۴ گرم)، روغن

(۲۰ گرم)، شکر (۲۰ گرم)، نمک (۷ گرم)، داتم (۱ گرم) و خمیر مایه (۷ گرم) بودند. که این فرمولاسیون توسط محققین این پژوهش بهینه سازی شده است. فرمولاسیون شاهدی بدون آنزیم و صمغ تولید شد(C). در فرمولاسیون ها، صمغ گوآر(G) در دو سطح ۲٪ و ۳٪ و آنزیم ترانس گلوتامیناز(T) در سه سطح ۰، ۱ و ۱۰ واحد اضافه شدند. همه فرمولاسیون های به کار رفته در این پژوهش و نشانه های اختصاص یافته به آنها در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱ میزان آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوآر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن

تیمار	آنزیم ترانس گلوتامیناز[۱]	گوآر[۲]
C	۰	۰
G_2T_0	۰	٪۲
G_2T_1	۱	٪۲
G_2T_{10}	۱۰	٪۲
G_3T_0	۰	٪۳
G_3T_1	۱	٪۳
G_3T_{10}	۱۰	٪۳

۱) مقدار آنزیم بر حسب واحد بر گرم پروتئین پایه هر تیمار ($^{u}/_{g\ pro}$) محاسبه گردید.

۲) مقدار صمغ بر حسب درصد از مقدار آرد پایه (آرد برنج+ آرد سویا+ نشاسته ذرت) در نظر گرفته شد.

روش تولید نان حجیم بدون گلوتن

در ابتدا مواد اولیه وزن شده و مواد خشک داخل مخلوط کن (مدل M80، ساخت کارخانه Escher، کشور ایتالیا) ریخته شد و سپس به مدت ۵ دقیقه عمل هم زدن انجام شد تا اختلاط مواد خشک به طور کامل انجام شود. در مرحله بعد، آب (در تمامی فرمول ها آب به اندازه ای اضافه شد که خمیر به دست آمده دارای قوام یکسانی بود و این قوام از طریق دستگاه فارینوگراف تعیین شد) و روغن به مخلوط اضافه شد و عمل هم زدن به مدت ۷ دقیقه در سرعت 50 rpm انجام شد، در نهایت، خمیرها با سرعت 90 rpm به مدت ۵ دقیقه مخلوط شدند تا خمیر کاملاً یکنواختی بدست آید، در مرحله بعد خمیرها به تکه های ۷۰۰ گرمی تقسیم شدند و در درون قالب (۹×۱۹/۵×۱۰cm) که از قبل چرب شده بود قرار گرفتند و در دمای $۳۰^{0}C$ و رطوبت نسبی ۸۵٪ به مدت ۴۵ دقیقه در اتاق تخمیر قرار گرفتند تا عمل تخمیر انجام شود. سپس در داخل فر (مدل EN80100، ساخت کارخانه Enkomak، کشور ترکیه) قرار داده شد و پس از بخار دهی به مدت ۱۰ ثانیه، عمل پخت به مدت ۳۰ دقیقه در دمای $۲۳۰^{0}C$ انجام شد. سپس نان ها از قالب جدا شده و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته تا سرد شوند و در لفاف پلی پروپیلن (PP) بسته بندی و در دمای $۳۰^{0}C$ به مدت ۷۲ ساعت نگهداری شدند.

آزمون فارینوگراف

اثرات افزودن صمغ گوآر و آنزیم ترانس گلوتامیناز روی برخی خصوصیات خمیر (زمان گسترش خمیر، مقاومت خمیر، درجه سست شدن خمیر بعد از ۱۰ دقیقه و میزان جذب آب مخلوط آردی) بوسیله دستگاه فارینوگراف (برابندر، آلمان) و با استفاده از روش شماره ۲۱-۵۴ AACC تعیین شد.

ارزیابی کیفیت نان

رطوبت نان ها با استفاده از روش شمارهٔ ۱۶-۴۴ AACC تعیین شد. اندازه گیری پروتئین خام هر فرمولاسیون با استفاده از روش شماره ۳۰-۴۶ AACC انجام شد و از ضریب تصحیح ۶/۲۵ برای تبدیل مقدار ازت به پروتئین استفاده شد. حجم نان های تولیدی بر حسب واحد میلی لیتر با استفاده از روش جایگزینی دانه های کلزا بدست آمد، سپس با تقسیم حجم بدست آمده به وزن نمونه بر حسب واحد گرم، حجم ویژه نان ها بر حسب واحد میلی لیتر بر گرم بدست آمد.

به منظور بدست آوردن اختلاف موجود در بافت مغز نمونه های نان، به روش زیر عمل شد: در ابتدا یک برش به ضخامت ۲ سانتی متر از وسط قالب نان تهیه و این برش درون استامپ زده شد، پس از آغشته شدن کامل برش نان به جوهر، تصویر بافت مغز نان روی کاغذ سفید تهیه شد و تصاویر بدست آمده از تیمارها با هم مقایسه شدند (لوپز و همکاران ۲۰۰۴).

برای اندازه گیری بازدهی نان از فرمول:

وزن مخلوط آردی/۱۰۰× وزن نان = بازدهی نان(درصد)

استفاده و برای اندازه گیری بازدهی خمیر، مقدار گرم خمیر حاصل از ۱۰۰ گرم مواد خام اولیه محاسبه شد.

ارزیابی نرمی بافت مغز نان ها با استفاده از دستگاه اینسترون (مارک Rochdael و مدل MTCL 088) و روش شماره ۷۴-۰۹ AACC انجام شد. به منظور ارزیابی بیاتی نان ها آزمون نرمی بافت در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از پخت تکرار شد و استفاده از نیروی بیشتر برای فشردن، به منزله بیاتی بیشتر نان تلقی شد.

به منظور ارزیابی ویژگی های حسی نان ها، ۲ برش از نان تولید شده از هر تیمار، که به آنها اعداد ۳ رقمی از جدول اعداد تصادفی اختصاص یافته بود، در اختیار ۵ ارزیاب آموزش دیده قرارگرفت و ارزیاب ها طبق خصوصیات فرم و شکل نان (۰-۱۰)، ویژگیهای پوسته (۰-۱۵)، رنگ مغز نان (۰-۱۰)، بافت مغز نان (۰-۱۵)، آروما (۰-۱۵)، طعم و مزه (۰-۲۰) و قابلیت جویده شدن (۰-۱۵) به نان ها امتیاز دادند.

تجزیه و تحلیل آماری

داده های حاصل از آزمایشهای شیمیایی، فیزیکی و بافت سنجی جهت مقایسه میانگین نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل (۲×۲×۳) با سه تکرار و با طرح پایه کاملاً تصادفی تجزیه تحلیل شد. در صورت وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها برای مقایسه تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد. داده های حاصل از ارزیابی حسی، با استفاده از آزمون ناپارامتری کروسکال– والیس مورد ارزیابی قرار گرفتند، در تمامی آنالیزها، سطح معنی داری تفاوت ها در سطح خطای ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. کلیه آنالیزهای آماری توسط نرم افزار آماری SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر افزودن صمغ و آنزیم بر ویژگی های فارینوگرافی خمیر

نتایج آزمون فارینوگراف برای فرمولاسیون های مورد استفاده در جدول ۲ خلاصه شده است. همان گونه که در جدول مشاهده می شود افزودن صمغ گوآر سبب افزایش معنی دار در میزان جذب آب مخلوط آردی نسبت به نمونه شاهد شد، افزایش سطح صمغ گوآر از ۲٪ به ۳٪ نیز سبب افزایش میزان جذب آب مخلوط آردی شد، که البته این افزایش در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار نبود. کوریک و همکاران ۲۰۰۷ نتایج مشابهی را در اثر افزودن صمغ گوآر بدست آوردند.

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به نمونه ها، سبب افزایش معنی دار در میزان جذب آب تیمارها نسبت به نمونه شاهد شد، نتایج مشابهی توسط مارکو و روزل ۲۰۰۸ بدست آمد، که به علت فعالیت پیوند عرضی دهنده آنزیم ترانس گلوتامیناز که سبب تشکیل پلی مرهای پروتئینی با ظرفیت نگهداری آب بالا می شود، است (ونگ و همکاران ۲۰۰۷).

نمونه های دارای ۳٪ صمغ گوآر دارای بیشترین میزان زمان گسترش بودند، همان طور که اشاره شد این نمونه ها دارای بیشترین میزان جذب آب نیز بودند، و با افزایش درصد جذب آب، زمان گسترش افزایش می یابد

افزودن صمغ گوآر در سطوح ۲٪ و ۳٪ سبب کاهش معنی دار درجه نرم شدن خمیر نسبت به درجه نرم شدن خمیر شاهد گشت، و افزایش سطح صمغ از ۲٪ به ۳٪ سبب کاهش غیر معنی دار درجه نرم شدن خمیر شد. کوریک و همکاران ۲۰۰۷ نتایج مشابهی را با اضافه کردن ۳٪ صمغ گوآر به مخلوط آرد برنج و نشاسته ذرت اکسترود شده بدست آوردند. افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و افزایش سطح آن از $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ به $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ در تیمارها سبب کاهش معنی دار درجه نرم شدن خمیرها نسبت به درجه نرم شدن خمیر شاهد شد، بجز در مورد تیمار G_2T_1 که معنی دار نبود. که به علت اثر آنزیم T.G در تشکیل شبکه پروتئینی، مشابه شبکه تشکیل شده توسط گلوتن و تشکیل پلی مرهای پروتئینی در اثر اتصال اسیدهای آمینه آزاد است، که می توانند سبب تقویت بافت خمیر و افزایش استحکام خمیر شوند.

جدول ۲ تأثیر غلظت های مختلف صمغ و آنزیم روی برخی ویژگی های فارینوگرافی فرمولاسیون های بدون گلوتن

شاخص / تیمار	جذب آب (درصد)	زمان گسترش خمیر (دقیقه)	پایداری (دقیقه)	درجه نرم شدن (واحد برابندر)
C	۴۸/۳۵±۰/۴۹(a*)	۲/۷۰±۰/۲۸(abc)	۱/۶۰±۰/۱۴(ab)	۱۵۷/۵۰±۳/۵۳(b)
G_2T_0	۵۹/۴۵±۱/۶۲(bc)	۲/۳۵±۰/۰۷(abc)	۲/۰۰±۰/۵۶(b)	۸۴/۵۰±۱۴/۸۵(a)
G_2T_1	۶۰/۵۵±۰/۰۷(bc)	۲/۱۰±۰/۱۴(ab)	۲/۰۰±۰/۲۸(b)	۶۳/۰۰±۱/۴۱(a)
G_2T_{10}	۵۹/۸۰±۰/۴۲(bc)	۱/۸۵±۰/۴۹(a)	۲/۱۰±۰/۰۰(b)	۸۵/۰۰±۲۱/۲۱(a)
G_3T_0	۶۲/۶۵±۰/۶۳ (c)	۲/۸۵±۰/۲۱(bc)	۲/۱۵±۰/۰۷(b)	۷۶/۵۰±۳/۵۳(a)
G_3T_1	۶۲/۴۵±۰/۳۵(c)	۳/۱۰±۰/۵۶(c)	۲/۰۰±۰/۲۸(b)	۶۷/۵۰±۳/۵۳(a)
G_3T_{10}	۶۰/۴۵±۱/۰۶(bc)	۳/۰۵±۰/۰۷(bc)	۲/۲۰±۰/۲۸(b)	۶۱/۵۰±۲/۱۲(a)

*در هر ستون مقادیر دارای حروف متفاوت اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند($P\leq0.05$).

تأثیر تیمارهای مختلف بر رطوبت مغز نان

همان گونه که در ستون یک جدول ۳ مشاهده می شود افزودن صمغ گوآر به فرمولاسیون سبب افزایش معنی دار رطوبت نان های تولیدی نسبت به نان شاهد شد، که علت آن ظرفیت بالای نگهداری آب توسط هیدروکلوئیدها است (روزل و همکاران ۲۰۰۱).

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و افزایش دوز استفاده از آن سبب افزایش معنی دار رطوبت نان های حاصل از تیمارهای مختلف با نان حاصل از تیمار شاهد شد، مور و همکاران ۲۰۰۶ نتایج مشابهی را بدست آوردند. فرض شده است که شبکه پیوند عرضی بین اسید های آمینه گلوتامین و لیزین که در اثر عمل آنزیم ترانس گلوتامیناز تشکیل شده است، توانایی به تله انداختن آب را دارد، و بنابراین سبب افزایش در ظرفیت نگهداری آب می شود (مور و همکاران ۲۰۰۶). از طرف دیگر، افزایش ظرفیت جذب آب می تواند به علت آمید زدایی از گلوتامین (آمید زدایی در اثر عمل آنزیم T.G انجام می شود) و تبدیل آن به اسید گلوتامیک باشد، که سبب کاهش آب گریزی محیط و در نتیجه افزایش جذب آب می شود (جرارد و همکاران ۱۹۹۸). ترکیباتی مثل آرد سویا و ترکیبات لبنی نیز سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می شوند (بلیتز و گروش ۱۹۸۷).

تأثیر تیمارهای مختلف بر بازدهی خمیرها

همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است افزودن صمغ گوار و همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب افزایش معنی دار بازدهی خمیرهای حاصل از تیمارهای مختلف با نمونه شاهد شد. کوریک و همکاران ۲۰۰۷ در اثر اضافه کردن صمغ های گوار و زانتان به مخلوط آردی حاصل از برنج و نشاسته ذرت، نتایج مشابهی را بدست آوردند.

هیدروکلوئیدها دارای طبیعت آب دوست هستند و همه آن ها با آب برهمکنش می دهند و سبب کاهش انتشار آب و پایداری حضور آب در سیستم می شوند. صمغ گوار در آب سرد محلول است و به سرعت آب جذب کرده و ایجاد محلول های ویسکوز می کند، که سبب افزایش جذب آب در خمیر و در نتیجه بالا رفتن بازدهی خمیر می شود.

بهبود ظرفیت نگهداری آب در ژل ها به علت فعالیت ترانس گلوتامیناز (کورایشی و همکاران ۲۰۰۱) و همچنین در سیستم های بدون گلوتن (مور و همکاران ۲۰۰۶)، قبلاً گزارش شده است. پیشنهاد شده است که آمید زدایی از گلوتامین و ایجاد پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین می تواند در بهبود ظرفیت نگهداری آب مؤثر باشد (جرارد و همکاران ۱۹۹۸، لورنزن و همکاران ۲۰۰۲).

تأثیر تیمارهای مختلف بر بازدهی نان ها

نتایج آزمایش ها نشان می دهد (جدول۳) که افزودن صمغ گوآر در سطوح ۲٪ و ۳٪ باعث افزایش معنی دار بازدهی نان ها نسبت به بازدهی نان شاهد شد، ولی افزایش سطح صمغ گوار تأثیر معنی داری در بازدهی نان ها نداشت. همان گونه که قبلاً ذکر شد، صمغ ها به دلیل طبیعت آب دوستی که دارند سبب افزایش رطوبت مغز نان پس از پخت می گردند. هر چقدر رطوبت مغز نان بیشتر باشد، افت وزن نان پس از پخت کمتر می شود و از آنجایی که افت وزن نان پس از پخت با بازدهی نان رابطه معکوس دارد، در اثر افزودن صمغ ها به فرمولاسیون، بازدهی نان ها بیشتر می شود. نتایج حاصل از اندازه گیری رطوبت مغز نان پس از پخت نیز این مسئله را تأیید می کند. کوریک و همکاران ۲۰۰۷ در اثر اضافه کردن صمغ های گوار و زانتان به فرمولاسیون، نتایج مشابهی را بدست آوردند.

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به نمونه ها در دو سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ و $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ سبب افزایش معنی دار بازدهی نان های حاصل نسبت به نان شاهد شد. آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب افزایش توانایی پروتئین به منظور پیوند دادن با آب می شود، و در نهایت سبب افزایش رطوبت نان پس از پخت می گردد، هر چقدر رطوبت نان پس از پخت بیشتر باشد در نهایت بازدهی نان هم بیشتر می شود. مور و همکاران ۲۰۰۶ در اثر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطوح $^{u}/_{g\ pro}$ ۰ تا $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ در مخلوط آردی دارای شیر خشک پس چرخ، نتایج مشابهی بدست آوردند.

تأثیر تیمارهای مختلف بر حجم ویژه نان ها

همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است افزودن صمغ گوار در سطوح ۲٪ و ۳٪ سبب افزایش معنی دار حجم ویژه نان های حاصل نسبت به حجم ویژه نان شاهد شد. توضیح ممکن برای این پدیده این است که هیدروکلوئیدهای مثل گوآر بوسیله افزایش ویسکوزیته، می توانند گسترش خمیر و نگهداری گاز را بهبود دهند (روزل و همکاران ۲۰۰۱). گامبوس و همکاران ۲۰۰۷ نتایج مشابهی زمانی که صمغ گوآر را به مخلوط نشاسته ذرت و نشاسته سیب زمینی اضافه کردند، بدست آوردند.

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و افزایش دوز استفاده از آن در نمونه ها، سبب کاهش معنی دار حجم ویژه نان های حاصل نسبت به حجم ویژه نان شاهد شد. بجز در نمونه G_3T_1 که تفاوت معنی داری با نمونه شاهد، مشاهده نشد. آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب ایجاد پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین می شود، این پیوند عرضی ایجاد شده از رشد سلولهای گاز در طول تخمیر جلوگیری کرده و سبب کاهش حجم ویژه می شود، در نمونه های دارای $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم ترانس گلوتامیناز، پیوند عرضی بیش از اندازه، سبب کاهش بیشتر در حجم ویژه نان های حاصل از این نمونه ها می شود. مور و همکاران ۲۰۰۶ کاهش معنی داری در حجم نان، زمان که $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم ترانس گلوتامیناز استفاده شده بود، مشاهده کردند، همچنین باسمن و همکاران ۲۰۰۲ کاهشی در حجم ویژه نان گندم زمانی که آنزیم ترانس گلوتامیناز اضافه شده بود، مشاهده کردند. رنزتی و همکاران ۲۰۰۷ نیز کاهشی در حجم ویژه نان های برنج قهوه ای و گندم سیاه که دارای $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم ترانس گلوتامیناز بودند، مشاهده کردند.

تأثیر افزودن صمغ و آنزیم بر توزیع سلول های گاز در مغز نان

تصاویر بدست آمده از بافت مغز نان (شکل ۱) نشان می دهد که افزودن این صمغ در سطوح ۲٪ و ۳٪ تأثیر خاصی بر روی شکل، اندازه و توزیع سلول های گاز در مغز نان های حاصل نسبت به نان شاهد نداشت. حباب های هوای نسبتاً بزرگ و کشیده با توزیع غیر یکنواخت در مغز این نان ها مشاهده و سبب افزایش حجم این نان ها نسبت به نان شاهد شد.

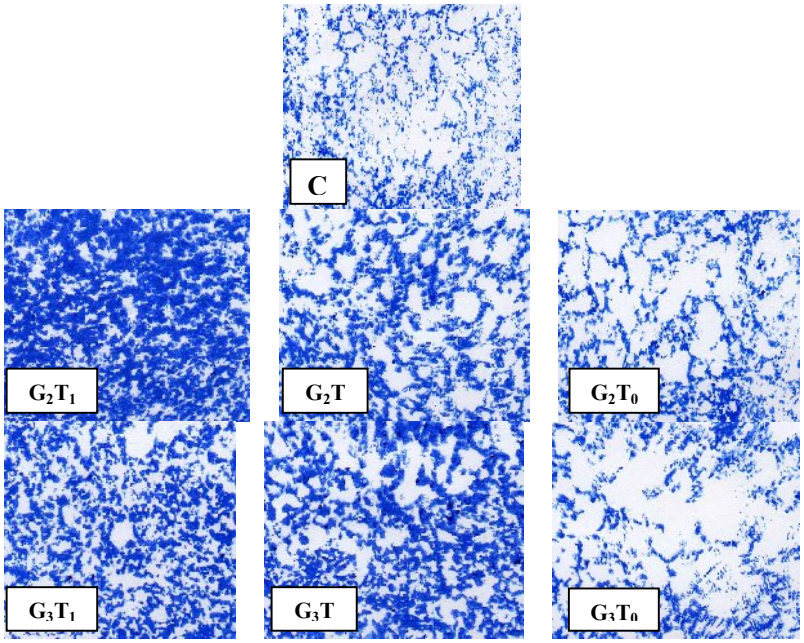
افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در نان ها در سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱، سبب یکنواخت شدن توزیع حباب های هوا و کوچک شدن اندازه آنها نسبت به نمونه شاهد و نمونه بدون آنزیم شد ولی افزایش سطح آنزیم از $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ به

$۱۰^{u}/_{g\ pro}$ در این نان ها به علت تشکیل شبکه پروتئینی قوی، سبب تراکم بیش از اندازه مغز نان های حاصل و جلوگیری از رشد سلول های گازی و بافت تقریباً بدون حباب هوا شد، که پی آمد آن کاهش حجم نان های حاصل بود. در کل تیمارهای دارای $۱^{u}/_{g\ pro}$ آنزیم ترانس گلوتامیناز نسبت به باقی تیمارها دارای بافت مغز بهتری بودند.

جدول ۳ تأثیر غلظت های مختلف صمغ و آنزیم روی برخی ویژگی های کیفی نان بدون گلوتن

شاخص / تیمار	رطوبت (درصد)	بازدهی خمیر (درصد)	بازدهی نان (درصد)	حجم ویژه (cm^3/g)
C	۳۶/۸۹±۱/۳۷(a*)	۱۵۶/۱۷±۰/۲۴(a)	۱۴۵/۱۷±۰/۶۳(a)	۱/۷۶±۰/۰۳(cd)
G_2T_0	۴۳/۳۶±۰/۰۷(bc)	۱۶۹/۸۹±۰/۴۸(d)	۱۵۰/۹۵±۱/۲۰(b)	۲/۰۸±۰/۰۴(f)
G_2T_1	۴۲/۸۹±۰/۱۷(bc)	۱۶۹/۸۲±۰/۴۸(cd)	۱۵۳/۰۰±۱/۵۵(bcd)	۱/۶۰±۰/۰۳(b)
G_2T_{10}	۴۳/۲۲±۰/۲۱(bc)	۱۶۶/۳۶±۰/۴۸(b)	۱۵۶/۴۰±۱/۹۶(d)	۱/۴۳±۰/۰۳(a)
G_3T_0	۴۳/۹۵±۰/۱۴(c)	۱۷۰/۷۹±۰/۴۸(d)	۱۵۲/۵۰±۱/۳۹(bc)	۱/۹۳±۰/۰۶(e)
G_3T_1	۴۴/۲۵±۰/۲۸(c)	۱۶۹/۷۷±۰/۴۸(cd)	۱۵۵/۲۰±۱/۹۶(cd)	۱/۸۰±۰/۰۲(d)
G_3T_{10}	۴۶/۹۶±۰/۳۹(d)	۱۷۳/۹۱±۰/۴۷(e)	۱۶۲/۷۵±۱/۴۴(e)	۱/۴۳±۰/۰۵(a)

*در هر ستون مقادیر دارای حروف متفاوت اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند($P\leq0.05$).



شکل ۱ تأثیر غلظت های مختلف صمغ و آنزیم روی ساختار بافت مغز نان بدون گلوتن

جدول ۴ تأثیر غلظت های مختلف صمغ و آنزیم بر سفتی مغز نان در آزمون بافت سنجی

شاخص / تیمار	سفتی در روز پخت(نیوتن)	سفتی یک روز پس از پخت(نیوتن)	سفتی دو روز پس از پخت(نیوتن)	سفتی سه روز پس از پخت(نیوتن
C	۷۲/۴۷±۲/۴۲(c*)	———	———	———
G_2T_0	۴۳/۳۶±۳/۹۹(b)	۶۰/۶۵±۷/۹۲(ab)	———	———
G_2T_1	۷۲/۸۳±۴/۶۳(c)	۷۵/۹۰±۲/۱۵(b)	———	———
G_2T_{10}	۱۳۶/۸۴±۵/۵۴(d)	۱۶۸/۳۹±۱۵/۶۲(c)	۱۷۱/۴۸±۱۸/۹۱(b)	۱۷۲/۸۸±۱/۲۹(b)
G_3T_0	۲۶/۵۴±۲/۳۷(a)	۳۷/۸۸±۵/۶۳(a)	———	———
G_3T_1	۶۶/۱۳±۳/۸۷(c)	۷۵/۱۷±۱۰/۰۲(b)	۹۷/۹۸±۸/۷۹(a)	———
G_3T_{10}	۶۲/۳۰±۴/۹۹(c)	۸۷/۱۵±۱۴/۸۰(b)	۱۰۰/۷۷±۴/۸۴(a)	۱۰۷/۳۰±۸/۹۶(a)

*در هر ستون مقادیر دارای حروف متفاوت اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند ($P\leq0.05$).

تأثیر تیمارهای مختلف بر سفتی مغز نان در روز پخت

نتایج حاصل از تأثیر صمغ و آنزیم بر میزان سفتی مغز نان ها در جدول ۴ خلاصه شده است. همان گونه که در ستون اول جدول مشاهده می شود افزودن صمغ گوآر در دو سطح ۲٪ و ۳٪ سبب کاهش معنی دار سفتی مغز نان های حاصل، نسبت به نان شاهد شد، مزایز و همکاران ۲۰۰۹ نتایج مشابهی را زمانی که صمغ زانتان و گوآر را به مخلوط آردی شامل آرد برنج، نشاسته ذرت، آرد ذرت و نشاسته سیب زمینی، اضافه کردند، مشاهده نمودند. این محققین گزارش کردند که افزودن هیدروکلوئید ها به فرمولاسیون بدون گلوتن، سبب تولید نان با مغزی نرمتر می گردد، که این اثر وابسته به هیدروکلوئیدها است. انیانگو و همکاران ۲۰۰۹ گزارش کردند که صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حداقل اثر را بر روی سفتی مغز نان بدون گلوتن دارد. این محققین اعلام کردند که افزایش غلظت هیدروکلوئیدها، اثرات مختلفی بر سفتی مغز نان بدون گلوتن دارد.

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در دو سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ و $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ تأثیر معنی داری بر روی سفتی مغز بافت نان های حاصل نسبت به نان شاهد، نداشت، بجز در مورد تیمار G_2T_{10} که افزودن $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم سبب افزایش معنی دار سفتی بافت مغز نان حاصل نسبت به نان شاهد و نان حاوی $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ از آنزیم ترانس گلوتامیناز شد. در ضمن نان حاوی $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم و سطح پائین تر صمغ، دارای بیشترین میزان سفتی بافت مغز بود.

افزایش در سفتی مغز نان به علت افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز، قبلاً در نان گندم (جرارد و همکاران ۱۹۹۸) و همین طور در نان بدون گلوتن دیده شده است (مور و همکاران ۲۰۰۶). رنزتی و همکاران ۲۰۰۷ نتایج مشابهی را در اثر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به آردهای برنج قهوه ایی و گندم سیاه بدست آوردند.

افزایش در سفتی بافت مغز نان می تواند به عنوان بهبود در ساختمان مغز نان، به علت نبود مغز نان مناسب در نمونه های شاهد در نظر گرفته شود. افزایش در سفتی بافت مغز نان در نتیجه پیوند عرضی پروتئین ها است، افزودن $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم ترانس گلوتامیناز، فاز پروتئینی را تقویت کرده و گسترش می دهد، و موجب تشکیل شبکه پروتئینی با منافذ ریزتر می شود که پی آمد آن کاهش حجم نان های حاصل است. اصولاً حجم ویژه با سفتی بافت رابطه دارد. زمانی که حجم ویژه نان کاهش پیدا می کند، افزایشی در سفتی بافت مغز نان مشاهده می شود (مور و همکاران ۲۰۰۶).

تأثیر تیمارهای مختلف بر روند بیاتی نان ها

همان طور که در جدول ۴ دیده می شود تمامی نمونه ها درطول مدت زمان نگهداری ۱، ۲ و۳ روز، میزان سفتی مغزشان افزایش پیدا کرد که این امر نشان دهنده بیات شدن نمونه ها در طول مدت زمان نگهداری بود.

گامبوس و همکاران ۲۰۰۷، مور و همکاران ۲۰۰۶ و انیانگو و همکاران ۲۰۰۹ نتایج مشابهی را بدست آوردند.

یک روز پس از نگهداری نمونه ها میزان سفتی مغز نان ها نسبت به روز پخت بیشتر شده بود، این افزایش در نمونه های حاوی ۲٪ صمغ معنی دار و در نمونه های حاوی ۳٪ صمغ معنی دار نبود. در این نمونه ها حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز تأثیری در روند بیاتی نداشت.

نمونه شاهد به علت نداشتن بافت مناسب در روز پس از پخت، در زیر دستگاه بافت سنج، قبل از رسیدن به میزان فشردن مورد نیاز، بافتش از هم گسیخته شد و نشان دهنده این موضوع بود که نان کاملاً بیات شده و مقاومت به تغییر شکل خود را از دست داده بود.

در روز دوم پس از پخت نمونه های دارای ۲٪ صمغ گوآر و بدون آنزیم ترانس گلوتامیناز و با $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ از آنزیم ترانس گلوتامیناز و نمونه حاوی ۳٪ صمغ گوآر و بدون آنزیم ترانس گلوتامیناز به علت بیاتی بیش از اندازه و خرد شدن نمونه ها در زیر دستگاه، قابلیت ارزیابی توسط دستگاه را نداشتند. در تیمارها افزایش در میزان سفتی مغز نان در روز دوم پس از پخت نسبت به روز پخت مشاهده شد. در نمونه حاوی ۳٪ صمغ و $^{u}/_{g}$ ۱۰pro آنزیم ترانس گلوتامیناز این افزایش معنی دار نبود و نشان دهنده اثر آنزیم در کند کردن روند بیاتی در این نمونه بود.

در روز سوم پس از پخت تیمارهای که آنزیم ترانس گلوتامیناز را نداشتند و آنهایی که دارای $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ از آنزیم ترانس گلوتامیناز بودند، به علت نداشتن بافت مناسب که در اثر رشد بیش از اندازه سلول ها هوا، نازک شدن دیواره این سلول ها و در نتیجه کاهش مقاومت بافت به تغییر شکل، و همچنین میزان رطوبت کمتر بافت مغز نان در اثر مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته بوده است، قابلیت ارزیابی توسط دستگاه بافت سنج را نداشتند. اما تیمارهایی که دارای $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم ترانس گلوتامیناز بودند، میزان سفتی بافت مغز نان نسبت به روز اول پس از پخت تغییر معنی داری نکرده بود و نشان دهنده روند کندتر بیاتی در این نمونه ها بود، همچنین در این نمونه ها روند کاهش رطوبت مغز نان بسیار کند بوده و در روز سوم پس از پخت نسبت به روز اول پس از پخت تغییر معنی داری نکرده بود، این روند کند بیاتی در این تیمارها به دلیل اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز در تشکیل شبکه پروتئینی و ایجاد پلی مرهای پروتئینی بوده است، که سبب به دام انداختن آب در بافت مغز نان و جلوگیری از مهاجرت آب از مغز نان به پوسته آن شده و در نهایت سبب کند شدن روند بیاتی در این تیمارها نسبت به تیمارهایی که این شبکه پروتئینی در آنها وجود نداشته یا ضعیف بوده است، شد (جرارد و همکاران ۱۹۹۸).

تأثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات حسی نان ها

تأثیر غلظت های مختلف صمغ و آنزیم بر ویژگی های حسی نان ها در جدول شماره ۵ خلاصه شده است. نتایج کلی آزمون حسی نشان داد که افزودن صمغ گوآر در هر دو سطح ۲ و ۳٪ سبب افزایش امتیاز کلی نان های حاصل نسبت به نان شاهد شد.

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ نیز سبب افزایش امتیاز کلی نان ها نسبت به نان شاهد شد، ولی هنگامی که $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ از آنزیم ترانس گلوتامیناز استفاده شد، به علت کاهش قابل ملاحظه حجم نان ها و متراکم بودن مغز نان ها، سبب کاهش معنی دار امتیاز کلی نان های حاصل نسبت به نان شاهد، نان های بدون آنزیم و با سطح آنزیم کمتر شد. بیشترین امتیاز کلی مربوط به نمونه های G_2T_0 و G_3T_1 بود که از نظر داوران بهترین نان شناخته شدند و نان های دارای $^{u}/_{g}$ ۱۰pro از آنزیم ترانس گلوتامیناز کمترین میزان امتیاز را بدست آوردند و از نظر داوران مردود شناخته شدند.

جدول ۵ تأثیر غلظت های مختلف صمغ و آنزیم روی برخی ویژگی های ظاهری و حسی نان بدون گلوتن

تیمار / شاخص	C	G_2T_0	G_2T_1	G_2T_{10}	G_3T_0	G_3T_1	G_3T_{10}
فرم و شکل نان	۷/۰۰±۰/۶۷(e)*	۵/۹۰±۱/۱۰(cd)	۴/۸۰±۰/۶۳(b)	۳/۶۰±۰/۷۰(a)	۵/۶۰±۱/۰۷(bc)	۶/۵۰±۱/۰۸(cde)	۳/۹۰±۰/۷۴(a)
ویژگیهای پوسته	۱۱/۱۰±۰/۸۷(de)	۱۲/۰۰±۰/۹۴(e)	۹/۴۰±۱/۱۷(c)	۶/۶۰±۰/۷۰(b)	۱۰/۶۰±۱/۱۷(cd)	۱۱/۶۰±۱/۲۶(de)	۴/۸۰±۰/۶۳(a)
رنگ مغز نان	۶/۰۰±۰/۶۷(b)	۸/۳۰±۰/۴۸(d)	۷/۲۰±۰/۷۹(c)	۴/۶۰±۱/۲۶(a)	۷/۴۰±۰/۸۴(c)	۷/۲۰±۰/۶۳(c)	۴/۷۰±۰/۸۲(a)
بافت مغز نان	۱۰/۶۰±۰/۷(c)	۱۰/۷۰±۰/۸۲(c)	۱۰/۴۰±۱/۳۵(c)	۶/۶۰±۰/۸۵(a)	۸/۷۰±۱/۳۴(b)	۱۱/۸۰±۱/۰۳(d)	۸/۵۰±۰/۸۵(b)
بو و آروما	۱۱/۰۰±۰/۸۲(c)	۱۳/۰۰±۰/۶۷(e)	۱۳/۲۰±۰/۶۳(e)	۹/۲۰±۰/۹۲(a)	۱۱/۸۰±۱/۱۴(cd)	۱۲/۵۰±۰/۵۳(de)	۹/۷۰±۰/۴۸(ab)
طعم و مزه	۱۴/۳۰±۰/۶۷(c)	۱۶/۲۰±۰/۹۲(d)	۱۶/۲۰±۰/۷۹(d)	۱۱/۵۰±۱/۰۸(a)	۱۶/۳۰±۰/۸۲(d)	۱۶/۵۰±۰/۵۳(d)	۱۳/۰۰±۱/۰۵(b)
قابلیت جویده شدن	۱۰/۷۰±۰/۸۲(b)	۱۲/۴۰±۰/۷۰(c)	۱۱/۱۰±۰/۸۷(b)	۸/۸۰±۱/۲۳(a)	۱۰/۷۰±۱/۸۹(b)	۱۰/۹۰±۰/۸۷(b)	۹/۲۰±۱/۳۲(a)
امتیاز کلی	۷۰/۷۰±۱/۶۳(b)	۷۸/۵۰±۳/۳۴(c)	۷۲/۳۰±۲/۸۳(b)	۵۰/۹۰±۲/۵۱(a)	۷۱/۱۰±۴/۴۶(b)	۷۷/۰۰±۲/۹۰(c)	۵۳/۸۰±۲/۲۰(a)

*در هر سطر مقادیر دارای حروف متفاوت اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند($P\leq 0.05$).

نتیجه گیری

با بررسی نتایج به دست آمده مشاهده شد که افزودن صمغ گوآر و آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب افزایش مقاومت خمیرها به مخلوط کردن شد، که نشان دهنده ایجاد شبکه ای مشابه گلوتن و بهبود بافت خمیرها بود، و افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ بیشترین تأثیر را در افزایش بازدهی خمیرها داشت، همچنین افزودن این مقدار از آنزیم ترانس گلوتامیناز بیشترین تأثیر را در افزایش رطوبت مغز نان پس از پخت و در نتیجه افزایش بازدهی نان ها داشت، آنزیم ترانس گلوتامیناز در هر دو سطح تأثیر منفی بر حجم ویژه نان های حاصل داشته و سبب کاهش آن شد، ولی افزودن صمغ گوآر تأثیر مثبتی بر حجم ویژه نان های حاصل داشت. افزودن صمغ گوآر به تنهایی تأثیری بر بافت مغز نان ها نداشت، ولی افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ تأثیر مثبت و در سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱۰ تأثیر منفی بر بافت مغز نان ها داشت. صمغ گوآر سبب نرمتر شدن بافت مغز نان ها در روز پخت شد، ولی افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و افزایش دوز استفاده از آن سبب افزایش سفتی مغز نان ها در روز پخت شد. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون انجام شده بر روی خمیرها و نان های حاصل از آنها می توان نتیجه گیری کرد که نان حجیم بدون گلوتن با کیفیت مطلوب می تواند با استفاده از صمغ گوآر در سطح ۳٪ و آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح $^{u}/_{g\ pro}$ ۱ تولید شود.

تشکر و قدردانی

نگارندگان مقاله مراتب تشکر و سپاس خود را از شرکت نان آوران سبوس بویژه جناب آقای مهندس علی ظفری به جهت در اختیار گذاشتن امکانات لازم برای انجام بخشی از مراحل پژوهش و حمایت مالی جهت انجام این تحقیق اعلام می دارند.

منابع مورد استفاده

AACC International, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. The Association: St. Paul, MN.

Anton A, and Artfield S, 2008. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. International Journal of Food Science and Nutrition, 59(1):11-23.

Basman A, Koksel H, and Ng PKW, 2002. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. European Food

Research and Technology 215: 419-424.

Belitz HD, and Grosch W, 1987. Food Chemistry. Springer Verlag: New York.

Blades M, 1997. Food allergies and intolerances: an update (case study). Nutrition and Food Science 97: 146-151.

Cato L, Gan JJ, Rafael LGB, and Small DM, 2004. Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. Food Australia 56: 75–78.

Curic D, Novotni D, Tusak D, Bauman I, and Gabric D, 2007. Gluten free bread production by the corn meal and soy bean flour extruded bland usage. Journal of Agriculture Conspectus Scientificus 72: 227-232.

Gallagher E, Gormley TR, and Arendt EK, 2004. Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. Journal of Food Engineering 56: 153–161.

Gambus H, Sikora M, and Ziobra R, 2007. The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free bread. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria 6: 61-74.

Gerrard JA, Fayle SE, Wilson AJ, Newberry MP, Ross M, and Kavale S, 1998. The effect of microbial transglutaminase on dough properties and crumb strength of white pan bread. Journal of Food Science 63: 472- 475.

Haboubi NY, Taylor S, and Jones S, 2006. Coeliac disease and oats: a systematic review. Postgrad. Medicine Journal 82: 672–678.

Kuraishi C, Yamazaki K, Susa Y, 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. Food Reviews International 17: 221-246.

Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N, and Biliaderis CG, 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. Journal of Food Engineering 79: 1033-1047.

Lopez AC, Guimaraes Pereira AJ, and Goucalves R, 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. Brazilian Archives of Biology and Technology 47: 63-70.

Lorenzen PCHR, Neve H, Mautner A, Schlimme E, 2002. Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. International Journal of Dairy Technology 55: 152-157.

Marco C, and Rosell C, 2008. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. Journal of Food Engineering 88: 94-103.

Mezaize S, Chevallier S, Le Bail A, and De Lamballerif M, 2009. Optimization of gluten-free formulations for french-style breads. Journal of Food Science 74: 140-146.

Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, and Arendt EK, 2006. Network formation in gluten-free bread with the application of transglutaminase. Cereal Chemistry 83: 28-36.

Moore MM, Schober TJ, Dockery P, and Arendt EK, 2004. Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. Cereal Chemistry 81: 567-575.

Murray JA, 1999. The widening spectrum of celiac disease. American Journal of Clinical Nutrition 69: 354-363.

Niewinski M, 2008. Advances in celiac disease and gluten-free diet. Journal of the American Dietetic Association, 108: 661-672.

Onyango C, Unbehend G, and Lindhauer MG, 2009. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. Food Research International, 42: 949–955.

Renzetti S, Dal Bello F, and Arendt EK, 2007 Impact of transglutaminase on the microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads made from different gluten-free flours. Journal of Cereal Science, In press.

Rosell CM, Haros M, Escriva C, and Benedito De Barber C, 2001. Experimental approach to optimise the use of alpha-amylases in bread making. Journal of Agriculture and Food Chemistry 49: 2973–2977.

Shahbazkhani B, Malekzadeh R, and Sotoudeh M, 2003. High prevalence of celiac disease in apparently healthy Iranian blood donors. European Journal of Gastroenterology Hepatology 15: 475-478.

Wang JS, Zhao MM, Yang XQ, Jiang YM, and Chun C, 2007. Gelation behavior of wheat gluten by heat treatment followed by transglutaminase cross-linking reaction. Food Hydrocolloids 21: 174-179.