تولید نان فاقد گلوتن توسط کشت های آغازگر چند نژدای لاکتیکی (*لاکتو باسیلوس پلانتاریوم و لاکتو باسیلوس روتاری*) و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی آن

زهرا ارجائی
استادیار گروه علوم و صنایع غذایی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، فارس، ایران

سارا شاهدی
دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، فارس، ایران

چکیده

بیماری سلیاک عدم تحمل دائمی به بعضی پرو لامینهای غلات می باشد. گلیادین گندم، سکالین چاودار، هوردنین جو و آونین یولاف در مکانیزم بیماری سلیاک درگیر می باشند. یکی از روشهای مهار اثرات بیماری رژیم غذایی بدون گلوتن در تمام عمر بیمار می باشد. آرد برنج یکی از مناسب ترین آرد غلات برای تولید نان فاقد گلوتن می باشد. پروتئین‌های برنج از نظر طبیعت آبگریز هستند و در نتیجه نامحلول هستند و خمیر حاصل از آن رفتار ویسکوالاستیک ضعیف دارد که قادر به نگهداری گاز دی اکسید کربن در طی تخمیر نخواهد بود. برای غلبه بر این مشکل، استفاده از ترکیباتی که ساختار شبکه خمیر را تقویت کند، پیشنهاد شده است. در این پژوهش تأثیر خمیر مایه ترش حاوی باکتری های *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* ATCC 1058 و *لاکتوباسیلوس روتری* ATCC 1655 بر روی ویژگی‌های کیفی و ماندگاری نان فاقد گلوتن حاصل از آردهای برنج و سویا به همراه ۲٪ هیدروکلوئید گزانتان مورد مطالعه قرار گرفت. پس از تهیه نان خواص فیزیکی شامل مقدار pH، رطوبت، حجم نان، سفتی بافت، رنگ و تخلخل و ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به وضوح نشان داد که افزودن خمیر ترش در فرمولاسیون نان بدون گلوتن، میزان pH، رطوبت کل، شاخص قرمزی(a*) رنگ و سفتی بافت نان کاهش داد. در حالیکه میزان شاخص L* و b* رنگ نان، تخلخل، حجم نان افزایش یافت. با گذشت زمان نگهداری، سفتی نان، حجم نان، رطوبت نان کاهش یافت. در نهایت ارزیابان حسی نمونه های حاوی خمیر مایه ترش را بعنوان بهترین نمونه معرفی نمودند. در نتیجه، کاربرد خمیر مایع ترش در فرمولاسیون نان بدون گلوتن علاوه بر بهبود کمیت و کیفیت محصول تولیدی، امکان افزایش بازار پسندی این محصولات افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: بیماری سلیاک، نان بدون گلوتن، خمیر ترش، *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، *لاکتوباسیلوس روتری*

مقدمه

غلات از اولین غذاهای شناخته شده بشر بوده که از زمان‌های بسیار کهن تاکنون همواره نقش بسیار مهمی در اقتصاد و تغذیه مردم دنیا به ویژه در کشورهای در حال توسعه داشته است. از جمله فرآورده‌های پُر مصرف که از گندم تهیه می‌شود نان می‌باشد. نان با انواع مختلف یکی از اصلی ترین غذاهای مصرفی توسط انسان و از قدیمی ترین غذاهای فرایند شده محسوب می شود(Edwards, 2007).

بیماری سلیاک یک اختلال شایع خودایمنی است که در فرد مستعد از نظر ژنتیکی با دریافت پروتئین گلوتن گندم برانگیخته می شود افراد مبتلا به بیماری سیلیاک دارای التهاب مزمن روده کوچک بوده که این امر به صورت مسطح و پهن شدن پرزهای روده در اثر خوردن پروتئین‌های سرشار از پرولین و گلوتامین نظیر پروتئین موجود در گندم، جو، چاودار و یولاف، نمود می‌کند. تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن است(Arendt & Moore, 2006).

مطالعات پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن از اهمیت زیادی برخوردار است. جهت تولید محصولات فاقد گلوتن به گونه‌ای که قابلیت استفاده توسط این دسته از بیماران را داشته باشد، بایستی رویکردهای جدیدی اتخاذ شود. برای بهبود خصوصیات فیزیکیوسیمیایی این محصولات، صورت گیرد. استفاده از ترکیب آردهای مختلف مانند ارزن، سورگوم، کینوا، سورگوم و گندم سیاه همراه با مواد نشاسته‌ای (ذرت، سیب زمینی و برنج) پیشنهاد شده است. خمیر ترش نیز یک فرایند تخمیری موثر که در صنعت نانوایی بسیار کاربرد دارد و باعث افزایش بافت، طعم و عمر ماندگاری محصولات می شود(Susman et al., 2021).

هدف این تحقیق تولید نان بدون گلوتن با ترکیب آرد برنج و سویا همراه با هیدروکلوئید گزانتان و استفاده از فرایند تخمیر لاکتیکی با استفاده از باکتریهای *لاکتو باسیلوس روتری* و *لاکتو باسیلوس پلانتاروم جهت بهبود خواص فیزیکوشیمایی نان می باشد*

روش تحقیق

فرمولاسیون نان فاقد گلوتن

فرمولاسیون نان تولیدی شامل ترکیب آردهای برنج و سویا می باشد که در دو تیمار تهیه شد. تیمار حاوی خمیر مایه ترش که شامل مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی و تیمار دیگر خمیر مایه شامل مخمر به عنوان نمونه شاهد تهیه شد.جدول ۱ مقدار ترکیبات را نشان می دهد.

جدول۱- فرمولاسیون نان بدون گلوتن حاوی آرد برنج و سویا همراه صمغ زانتان

ترکیبات	مقدار (گرم)
آرد (برنج + سویا)	۱۰۰(۹۰ + ۱۰)
نمک	۲
خمیر مایه (مخمر یا مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی)	۲
شکر	۷
روغن	۸
هیدروکلوئید گزانتان	۲

آماده سازی سویه های باکتریایی

باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* ATCC 1058 (باکتری هتروفرمانتاتیو اختیاری) و باکتری *لاکتوباسیلوس روتری* ATCC 1655 (باکتری هتروفرمانتاتیو اجباری) استریل به محیط کشت MRS broth انتقال داده شدند. سپس محیط کشت های تلقیح شده در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه گذاری شدند (پیغمبردوست و همکاران، ۱۳۸۹).

تهیه سوسپانسیون باکتری برای تلقیح به خمیر ترش

به منظور آماده سازی مایه های تلقیحی اولیه، حجم مورد نیاز از کشت های باکتریایی پس از گرم خانه‌گذاری، با دور ۸۰۰۰ rpm و به مدت ۱۰ دقیقه سانترفیوژ شد. در پایان باکتریهای ته نشین شده با استفاده از آب مقطر استریل دو بارشستشو داده و هر کدام از باکتری های مورد نظر به 10^{7} cfu/ml رقیق شده و در نهایت به سوبسترای اولیه اضافه شد (پیغمبردوست و همکاران، ۱۳۸۹).

آماده سازی خمیر ترش

سوبسترای تشکیل شده از آرد و آب به نسبت ۱ به۲ تهیه گردید و میزان 10^{7} باکتری به ازای هر گرم خمیر از کشت‌های باکتریایی فعال *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، *لاکتوباسیلوس روتری* به آن تلقیح شد. عملیات تخمیر در دمای ۳۷ °C با دور همزن۳۰۰۰ rpm تا رسیدن به pH=۴/۳۳ انجام شد. ۱۰ گرم از نمونه خمیرترش با ۹۰ میلی لیتر آب مخلوط و همگن شد و عملیات تخمیر تا رسیدن به pH= ۴/۳۳ ادامه یافت (Robert et al., 2006).

مراحل آماده سازی خمیر و پخت

ابتدا آرد توزین شده و خمیر مایه (مخمر یا مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی) و هیدروکلوئید را درون ظرف اضافه شدند و به صورت یکنواخت اضافه گردید. نمک و شکر را در ظرف دیگری با ۷۰ میلی لیتر آب ۲۵-۳۰ درجه سانتیگراد مخلوط شد و به ظرف همزن محتوی آرد اضافه گردید. سپس روغن شد و با همزن با دور متوسط به مدت پنج دقیقه هم زدن صورت گرفت تا تمام مواد خوب با هم مخلوط شدند. در مرحلهٔ بعد، خمیرهای آماده شده را درون قالب ریخته و در انکوباتور قرار داده شد تا مرحلهٔ تخمیر اولیه انجام شود. این مرحله به مدت دو ساعت در انکوباتور با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۸۵ ٪ به طول انجامید. فر دو ساعت قبل از آغاز پخت روشن شده تا به دمای تقریبی ۱۸۰ درجه سانتیگراد برسد. هر خمیر تقریباً ۴۰ دقیقه در دمای تقریبی ۱۸۰ درجه سانتیگراد پخته شد و پس از بیرون آوردن از فر و خنک شدن در دمای اتاق، در کیسه های پلی اتیلنی بسته بندی و برچسب گذاری شد.

آزمون های مربوط به کیفیت نان

آزمایشات مربوطه در سه تکرار انجام شدند.

pH

مقدار pH نمونه ها در فاصله زمانی ۲۴ ساعت پس از پخت، مطابق روش AACC به شماره ۵۲-۲ انجام شد. بدین منظور، ابتدا دستگاه pHسنج با بافرهای ۴ و ۷ کالیبره شده و بعد از تهیهٔ عصارهٔ نان (بدین منظور نان بدون گلوتن خرد شده به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر مخلوط و فیلتر شد) سل‌های دستگاه در درون بشر حاوی عصاره قرار داده شد و در یک دمای مشخص مقدار عددی pH از نمایشگر دستگاه قرائت گردید.

رطوبت نان

مطابق روش AACC به شماره ۱۶-۴۴ انجام شد. بدین منظور مقداری نمونه ها (حدوداً ۳ گرم نان تولید شده) در فواصل زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از پخت، در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت تا ثابت شدن وزن دو توزین متوالی، قرار گرفت و درصد رطوبت از طریق تفاضل وزن اولیه از وزن ثانویه و تقسیم بر وزن اولیه بدست آمد و در نهایت در صد ضرب شد.

حجم نان

حجم نان های تولیدی در فواصل زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تولید با استفاده از آزمون جایگزینی دانه کلزا مطابق با استاندارد AACC به شماره ۰۵-۱۰ انجام گرفت. پس از محاسبه حجم نان، حجم مخصوص نان از تقسیم حجم نان بر جرم آن برحسب گرم/ سانتی متر مکعب بدست آمد.

تخلخل نان

تخلخل مغز نان توسط سیستم آنالیز تصویر مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور قسمت هایی با ضخامت ۲۰ میلی متر از نان جدا شده و پس از جدا کردن سطوح بالایی و زیرین توسط اسکنر (HP، مدل ۲٤۱۰ Scanjet) با دقت[1] ۶۰۰ (نقطه در اینچ) از آنها عکس گرفته سپس عکس ها توسط برنامه Image j پردازش شدند(شلمزاری و ارجائی، ۱۴۰۱).

رنگ

اندازه گیری رنگ تصاویر دیجیتالی از نمونه های بیسکویت کراکر بوسیله دوربین دیجیتال (Canon IXUS75-7.1 Mega pixel) در داخل محفظه ی معین با نور سفید و فاصله لنز ۳۰ سانتیمتر انجام شد. سپس تصاویر به کامپیوتر انتقال داده شدند و با استفاده از نرم افزار گرافیکی فتوشاپ نسخه ۲۰۱۴ مقادیر *L، *a و *b تعیین گردید. در این سیستم رنگ سنجی پارامتر *L میزان روشنایی را در محدوده ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) اندازه گیری می نماید. پارامتر *a اختلاف بین سبز و قرمزی رنگ و پارامتر *b اخلاف بین زرد و آبی رنگ را ارزیابی می کند.

سفتی بافت

آزمون اندازه گیری سفتی نان ها توسط دستگاه آنالایزر بافت مدل CT3 4500 (بروکفیلد، انگلیس) انجام شد. ابتدا از قسمت وسط نان، برشهایی به ارتفاع ۲۵ میلیمتر تهیه شد. سپس آزمون با استفاده از پروب با قطر ۳۶ میلیمتر، کرنش ۴۰ درصد (معادل ۱۰ میلیمتر) و سرعت ۱۰ میلیمتر بر دقیقه انجام شد. آزمایشات مربوط به سفتی نان پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد انجام شدند.

ارزیابی حسی

نمونه های نان توسط ۱۰ ارزیاب حسی آموزش دیده و با استفاده از آزمون هدونیک ۷ نقطه ای ارزیابی می شوند. به این منظور ابتدا برش هایی با ابعاد یکسان از نمونه های نان تهیه شده و پس از کدگذاری نمونه ها، ارزیابی حسی انجام می گیرد. ارزیاب ها باید به هر ویژگی امتیازی از ۱-۵ می دادند که در ضریب مخصوص خود ضرب شده و امتیاز نهایی به دست می آمد. مجموع امتیازها تقسیم بر ۱۰ شده تا امتیاز نان (عدد کیفی) به دست آید. ارزیابی حسی نان بدون گلوتن پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از پخت تولید انجام شدند. پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: رنگ، بو، مزه، بافت و پذیرش کلی (Maleki & Milani, 2013).

تجزیه و تحلیل داده ها

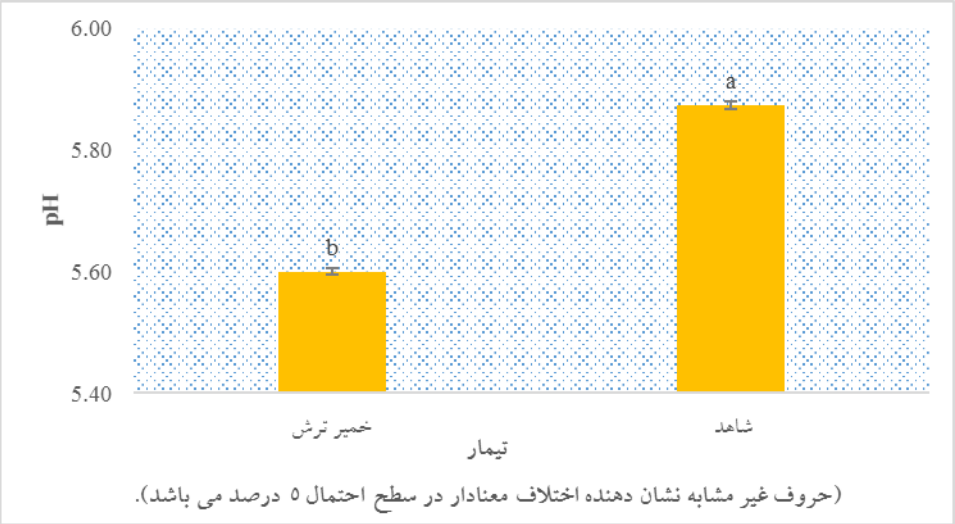
[1] - Resolution

آزمایشات در سه تکرار بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. نتایج ابتدا در معرض تجزی واریانس یکطرفه قرار گرفته و سپس برای مقایسه میانگین ها و بررسی اختلاف معنی داری بین تیمارها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح معنی داری ۹۵٪ استفاده گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده ها توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. منحنی های مربوطه در محیط EXCEL توسط نرم افزار Office 2016 رسم شدند.

یافته ها

ویژگی pH

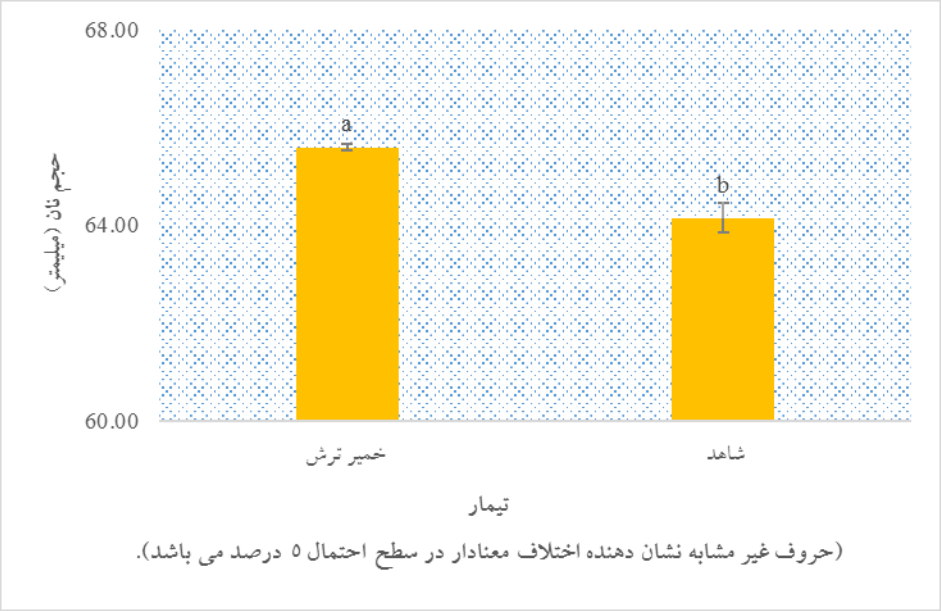
تفاوت pH بین نان تخمیری و نان شاهد در نمودار ۱ مشاهده نمایش داده شده است. نمونه نان بدون گلوتن حاوی خمیر مایه ترش (مخلوط مخمر و باکتری‌های لاکتیکی) دارای pH پایین تری نسبت به نمونه شاهد حاوی تنها خمیر مایه (مخمر) است.



نمودار ۱- ویژگی pH در نان بدون گلوتن شاهد و نان حاوی خمیرترش لاکتیکی.

ویژگی حجم نان

نمونه نان بدون گلوتن حاوی خمیر مایه ترش (مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی) دارای حجم نان بالاتری نسبت به نمونه شاهد حاوی خمیر مایه (مخمر) است (نمودار۲).



نمودار ۲- ویژگی حجم نان بدون گلوتن در نمونه شاهد و نمونه حاوی خمیر ترش لاکتیکی.

ویژگی رنگ نان

در شکل ۱، اثر مایه خمیر لاکتیکی بر ویژگی شاخص های رنگ (L*, a*, b*) نان بدون گلوتن شاهد و تخمیری نشان داده شده است. در جدول ۲، نمونه نان بدون گلوتن حاوی خمیر مایه ترش (مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی) شاخص L* (۷۰/۷۳) بالا تری نسبت به نمونه شاهد حاوی مخمر (۶۴/۲۵) دارد. این بیانگر این است که نان بدون گلوتن با خمیر مایه لاکتیکی دارای رنگ روشن تری نسبت به نان شاهد است که می تواند به علت میزان رطوبت بالاتر باشد.

شکل ۱- نمونه نان بدون گلوتن شاهد (ب) و تخمیری با خمیر ترش لاکتیکی (الف)

جدول ۲- تأثیر مایه خمیر بر روی ویژگی رنگ نان بدون گلوتن (شاخص های *L، *a و *b)

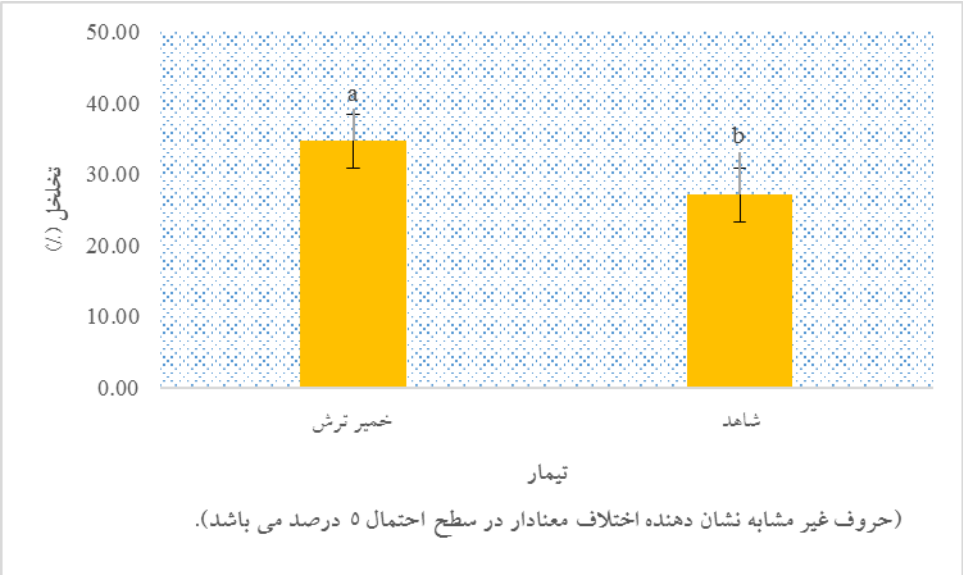
نمونه	ویژگی رنگ		
	L*	a*	b*
تخمیری	۷۰/۷۳ ± ۰/۵۸a	۰/۹۵ ± ۰/۰۳b	۱۸/۹۲ ± ۰/۰۶a
شاهد	۶۴/۲۵ ± ۰/۳۴b	۱/۱۶ ± ۰/۵۷a	۱۵/۵۶ ± ۰/۱۳b

*در هر ستون، داده‌های نشان داده شده با بالانویس‌های حروف کوچک متفاوت دارای اختلاف معنی دار در $p < ۰/۰۵$ می باشند.

با افزودن باکتری های لاکتیکی به خمیر مایه نان بدون گلوتن باعث کاهش معناداری شاخص *a شد. از طرفی شاخص *b در نمونه نان تخمیری بالاتر اعلام شد.

ویژگی تخلخل نان

مقدار تخلخل نان بدون گلوتن تولیدی به ترتیب برای نمونه شاهد و نمونه تخمیری ٪ ۳۴/۶۷ و ٪ ۲۷/۱۰ که از لحاظ آماری اختلاف معنی دار می باشد. نمونه نان بدون گلوتن حاوی خمیر مایه ترش(مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی) ویژگی تخلخل بالا تری نسبت به نمونه شاهد دارد(نمودار ۳). این بدلیل افزایش تولید گاز CO_2 حاصل فرآیند تخمیر خمیر ترش حاوی لاکتوباسیل ها و مخمر نسبت به مخمر به تنهای می باشد(Ziobro et al., 2012).



نمودار ۳- ویژگی تخلخل نان بدون گلوتن در نمونه شاهد و نمونه حاوی خمیر ترش لاکتیکی.

ویژگی رطوبت کل

جدول ۳ میزان رطوبت کل را در نمونه حاوی خمیر مایه ترش لاکتیکی و نمونه شاهد در طی زمان نگهداری ۷ روز را نشان داده شده است. با توجه به اینکه نان بدون گلوتن، فاقد شبکه پروتئین گلوتن می باشد، در نتیجه توانایی پایینی در حفظ رطوبت دارد و با گذشت زمان رطوبت آن کاهش می یابد. روند کاهش رطوبت با افزایش زمان نگهداری در نمونه حاوی خمیر ترش نسبت به نمونه شاهد با شیب

کمتری کاهش یافت. از طرفی مقایسه بین نمونه شاهد و نمونه حاوی خمیر ترش لاکتیکی نشان می دهد که نان بدون گلوتن حاوی خمیر ترش لاکتیکی میزات رطوبت بالاتری (۳۶/۸۱) نسبت به شاهد(۳۲/۵۲) دارد.

جدول ۳- تأثیر زمان نگهداری بر ویژگی رطوبت کل نان بدون گلوتن شاهد و نمونه تخمیر لاکتیکی

نمونه	زمان		
	۲۴ ساعت	۴۸ ساعت	۷۲ ساعت
شاهد	۳۲/۵۲ ± ۰/۰۰ Ba	۳۱/۶۷ ± ۰/۰۲ Bb	۳۰/۱۶ ± ۰/۰۰ Bc
تخمیری	۳۶/۸۱ ± ۰/۰۱ Aa	۳۳/۷۹ ± ۰/۵۶ Ab	۳۱/۴۱ ± ۰/۶۱ Ac

*در هر ستون، داده‌های نشان داده شده با بالانویس‌های حروف بزرگ متفاوت دارای اختلاف معنی دار در $p < ۰/۰۵$ می باشند.
*در هر ردیف داده‌های نشان داده شده با بالانویس‌های حروف کوچک متفاوت دارای اختلاف معنی دار در $p < ۰/۰۵$ می باشند.

ویژگی سفتی بافت نان

تأثیر طول زمان نگهداری و نوع مایه خمیر بر ویژگی سفتی نان بدون گلوتن در جدول ۴ نشان داده شده است. با افزایش زمان نگهداری نان بدون گلوتن در هر دو نمونه افزایش سفتی بافت مشاهده گردید. سفتی در نمونه تخمیری با نمونه شاهد تفاوت معنی داری را نشان داد و نمونه شاهد که تنها با مخمر تخمیر شده بود، سفتی بیشتری داشت.

جدول ۴- تأثیر زمان نگهداری بر ویژگی سفتی بافت نان بدون گلوتن در نمونه شاهد و نمونه تخمیری

نمونه	زمان		
	۲۴ ساعت	۴۸ ساعت	۷۲ ساعت
تخمیری	۰/۴۹ ± ۰/۰۱ Aa	۰/۶۲ ± ۰/۰۱ Ab	۰/۶۷ ± ۰/۰۰ Ac
شاهد	۰/۹۲ ± ۰/۰۱ Ba	۰/۹۳ ± ۰/۰۲ Ba	۱/۱۱ ± ۰/۰۱ Bb

*در هر ستون، داده‌های نشان داده شده با بالانویس‌های حروف بزرگ متفاوت دارای اختلاف معنی دار در $p < ۰/۰۵$ می باشند.
*در هر ردیف داده‌های نشان داده شده با بالانویس‌های حروف کوچک متفاوت دارای اختلاف معنی دار در $p < ۰/۰۵$ می باشند.

ویژگی ارزیابی حسی نان

تأثیر مایه خمیر و زمان نگهداری بر ویژگی ارزیابی حسی نان بدون گلوتن معنی داری بود که نتایج مربوطه در جدول ۵ نشان داده شده است. در موارد بو و بافت نمونه حاوی مایه خمیر ترش (مخلوط لاکتوباسیل ها و مخمر) بهترین امتیاز را کسب کردند. با افزودن مایه خمیر ترش (مخلوط لاکتوباسیل ها و مخمر) رنگ نان بسیار روشن شده و مطلوب نمی باشد و همچنین نان های تهیه شده از خمیر ترش لاکتیکی دارای جزئی مزه ترش بودند که به دلیل تولید مقادیر کمی از اسیدهای آلی توسط لاکتوباسیلها است. نان های تهیه شده از خمیر ترش دارای بوی مطلوب تری بودند. دلیل آن تولید مقادیر عطر و بو داری مانند استالدئید، فرموالدئید، الکل ها و اسید های آلی در طی تخمیر توسط لاکتوباسیلها است. پذیرش کلی در نان حاوی مایه خمیر ترش بیشتر بود.

جدول ۵- تأثیر مایه خمیر و زمان نگهداری بر ارزیابی حسی نان بدون گلوتن

نمونه	صفات حسی				
	رنگ	بو	مزه	بافت	پذیرش کلی
تخمیری	۳/۸۲ ± ۰/۱۲ B	۴/۳۰ ± ۰/۱۲ A	۳/۸۹ ± ۰/۱۲ B	۴/۶۳ ± ۰/۴ A	۴/۳۶ ± ۰/۰۹ A
شاهد	۴/۵۶ ± ۰/۲۰ A	۳/۸۲ ± ۰/۲۵ B	۴/۵۳ ± ۰/۰۸ A	۳/۹۳ ± ۰/۱۰ B	۳/۹۲ ± ۰/۳۷ B

در هر ستون، داده‌های نشان داده شده با بالانویس‌های حروف بزرگ متفاوت دارای اختلاف معنی دار در $p < ۰/۰۵$ می باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

تولید نان سالم و سلامت محور از اهداف صنعت غذا می باشد. نان بدون گلوتن یک چالش و نیاز به نوآوری دارد. در این تحقیق هدف تولید نان بدون گلوتن و بهبود خواص آن با فرایند تخمیر مخمری و باکتری های اسید لاکتیک (*لاکتو باسیلوس روتری* و *لاکتو باسیلوس پلانتاروم*) بود.

در اثر تولید اسیدهای آلی و مواد مؤثر بیشتری توسط این باکتریها، میزان pH در نمونه نان حاوی خمیر ترش بیشتر بود. در تحقیق پیغمبر دوست و همکاران (۱۳۹۰) نتایج مشابهی بدست آمد و نان قالبی حاصل از خمیر ترش باکتری های *لاکتو باسیلوس روتری* و *لاکتو باسیلوس پلانتاروم* در مقایسه با تیمار شاهد، pH کمتری نشان داد. بالا بودن میزان اسیدیته در خمیر های حاوی خمیر ترش و همچنین نان تهیه شده از آنها به علت تولید اسید های آلی در طول فرآیند تخمیر به وسیله باکتری های لاکتیک اسید می باشد. باکتری های لاکتیکی در طول فرآیند تخمیر تولید گاز CO_2 بیشتری نسبت به مخمر می کنند و در نتیجه حجم نان نیز افزایش می یابد. قابل ذکر است که حجم نان متأثر از فاکتورهای مختلفی نظیر میزان پروتئین، شرایط تخمیر و افزودنی ها می‌باشد. با افزایش حجم نان، تخلخل نیز افزایش می یابد و بیاتی به تاخیر می افتد (دهقان خلیلی و ارجائی، ۱۳۹۹).

حفظ رطوبت یکی از ویژگی های مهم در نان بشمار می رود که در به تاخیر انداختن بیاتی بسیار موثر است. نان های حاوی خمیر ترش رطوبت بالاتری را نشان دادند. این به علت تولید اگزوپلی ساکارید ها توسط باکتری های لاکتیکی در مقایسه با مخمر می باشد. این ترکیبات توانایی نگهداری آب بالای در درون خود می دارند و در نتیجه میزان رطوبت نمونه های تخمیری نسبت به نمونه شاهد بیشتر است(Galle and Arendt, 2014). ارجائی و شلمزاری (۱۴۰۱)، افزودن صمغ را در حفظ رطوبت و بافت نان بدون گلوتن مانند نان حاوی آرد کینوا موثر دانستند.

در محصولات نانوایی بدون گلوتن، عدم حضور پروتیئن گلوتن در آرد، سبب تسهیل مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته می شود و در نتیجه سفتی بافت نان افزایش می یابد و با افزایش زمان نگهداری میزان مهاجرت رطوبت افزایش در نتیجه بافت نان سفت تر می گردد. همچنین با افزایش زمان نگهداری سفت شدن ذاتی مواد سلولی که به کریستالیزاسیون مجدد نشاسته بر می گردد، افزایش می یابد. افزایش سفتی نان بدون گلوتن با گذشت زمان نگهداری در نمونه شاهد بیشتر از نمونه حاوی خمیر ترش می باشد. این بعلت آن است که نان حاصل از خمیر ترش بعلت اثر بر روی کریستالیزاسیون مجدد نشاسته بر می گردد و باعث کاهش این پدیده می گردد(Lynch et al., 2018).

نمونه شاهد حاوی خمیر مایه (مخمر) رنگ تیره تر و قهوه ای شدن بیشتری نسبت نان حاوی خمیر مایه ترش(مخلوط مخمر و باکتری های لاکتیکی) دارد. فرایند قهوه ای شدن میلارد و رنگ قرمزی حاصل از آن در پخت نان اتفاق می افتد(Lamberts et al., 2006). نان های تهیه شده از خمیر ترش لاکتیکی دارای بوی مطلوب تری بودند که دلیل آن تولید مقادیر بیشتر از مواد مؤثر در بو نان مانند استالدئید، فرموالدئید، الکل ها و اسید های آلی در طی تخمیر توسط لاکتوباسیلها می باشد. به طور کلی نان حاوی خمیر ترش بیشترین امتیاز را از لحاظ پذیرش کلی کسب کرده است. با توجه به نتایج سایر بخش های پژوهش حاضر انتظار می رفت که نمونه حاوی خمیر مایه ترش دارای بالاترین امتیاز در ارزیابی حسی به لحاظ پذیرش کلی باشند. پیغمبر دوست و همکاران (۱۳۹۰) بر روی استفاده از خمیر ترش حاوی باکتری های لاکتیکی در تهیه نان قالبی نیز نتایج مشابهی مشاهده کردند

در نهایت، افزودن خمیرترش حاوی مخلوط لاکتوباسیل ها و مخمر در ویژگیهای حسی و کیفیت نان و نیز افزایش زمان ماندگاری آن اثر مثبتی دارد. روند بیاتی در نان های تخمیری با لاکتوباسیل ها کندتر بود. پیشنهاد می شود تغییراتی در فرمولاسیون جهت کاهش طعم اسیدی و بهتر شدن رنگ محصولات بدون گلوتن تخمیری انجام شود که کیفیت فراورده را افزایش دهد. در ضمن افزودن صمغ ها می تواند در جهت رفع کمبود خواص رئولوژیکی گلوتن موثر باشد.

منابع

پیغمبردوست، س.ه.، خراسانچی، ن.، گلشن تفتی، ا. و رأفت، س.ع. (۱۳۹۰). کاربرد خمیرترش خشک شده با روش خشک کردن انجمادی حاوی آغازگرهای لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس روتری در تهیه نان قالبی، مجله پژوهشهای صنایع غذایی، ۲۱(۱)، ۱-۹.

پیغمبردوست، س.ه.، گلشن تفتی، ا.، خراسانچی، ن.، حجازی، م.ا. و رأفت، س.ع. (۱۳۸۹). مقایسه اثرات خمیرترش خشک با خمیرترش تازه روی ویژگی های حسی و بیاتی نان قالبی، مجله پژوهشهای صنایع غذایی، ۳(۱)، ۱۶۳-۱۷۵.

دهقان خلیلی، ف. و ارجائی، ز. (۱۳۹۹). اثر تخمیر خمیر ترش حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس روتری* بر خواص حسی، فیزیکوشیمیایی و بیاتی نان جو. علوک غذایی و تغذیه ای، ۱۷ (۳)، ۳۳-۴۲.

شلمزاری، ف. و ارجائی، ز. (۱۴۰۱). بهینه سازی فرمولاسیون بیسکویت کراکر تهیه شده از آرد کینوا و آرد ذرت. مجله علوم و صنایع غذایی ایران.۱۳۰(۱۹)، ۷۳-۸۳.

AACC, (2000), Approved methods of analysis of the American Association of Cereal hemists (10th ed.), American Association of Cereal Chemistry, Inc., St Paul.

Arendt, E.K. and Moore, M.M., (2006). Gluten-free cereal-based products, In bakery products science and technology. ed: Hui, Y.H. Blackwell publishing.

Edwards, W.P., (2007). The Science of Bakery Products. RSC Publishing.Cambridge, UK.

Galle, S., & Arendt, E. K. (2014). Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. Vo 54. No7, 891-901.

Lamberts L, Brijs K, Mohamed R, Verhelst N, Delcour JA. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. J. Agric. Food Chemistry. Vo.54. No.26, 9924-9929

Lynch, K. M., Coffey, A., & Arendt, E. K. (2018). Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. Food Research International. Vo.110, 52-61.

Moreira, R., Chenlo, F. and Torres, M.D. (2013). Effect of chia (*Sativa Hispanica L.*) and hydrocolloids on the rheology of gluten free doughs based on chesnut flour, LWT- Food Science and Technology.Vol.50. No.1, 160-166.

Robert, H., Gabriel, V., Lefebvre, D., Rabier, P., Vayssier, Y. and Faucher, C., (2006), Study of the behaviour of *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc* starters during a complete wheat sourdough breadmaking process. LWT-Food Science and Technology. Vol. 39, 256-265.

Susman, I. E., Schimbator, M., Stamatie, G., Culețu, A., Dobre, A., Mulțescu, M. and Popa, M. E. (2021). Sourdough fermentation in gluten-free bread: a shelf-life improvement. Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies. Vol 25.No.2, 61-69.

Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M. and Juszczak, L., (2012). Influence of modified starches on properties of gluten free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten free bread. Food Hydrocolloids.Vol. 29, No.1, 68-74.

Production of gluten free bread by lactic multiple- strain starter cultures (*Lactobacillus plantarum and Lactobacillus reuteri*) and investigated its physicochemical and sensory properties

Zahra Erjaee[2]

Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran

Sara Shahedi

Graduate Student, Department of Food Science and Technology, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa,Iran

Abstract

Celiac disease is a lifelong intolerance to some cereal prolamins. The gliadin fraction of wheat, secalins of rye, hordenine of barley, and avenins of oats are involved in the Celiac disease mechanism. The only effective treatment for such symptom is strict adherence to a gluten-free diet throughout the patient's lifetime. Rice flour is one of the most suitable cereal flours for the production of gluten-free bread. Rice proteins are hydrophobic and extremely insoluble as a result the batter has s weak viscoelastic behavior that is unable to store carbon dioxide produced during fermentation. To overcome this problem, various structural factors have ben suggested. In this study the effect of the addition of sourdough containing *Lactobacillus plantarum* ATCC 1058 and *Lactobacillus reuteri* ATCC 1655 on physical and sensory characteristics as well as the shelf life of gluten-free bread derived from rice and soy flour with 2% xanthan hydrocolloid was investigated. After baking, physical properties including pH, moisture content, volume, texture, color and porosity and sensory evaluation of the breads were investigated. The results clearly showed that the addition of sourdough in the formulation of gluten free bread, pH, total moisture content, redness of the color (a * value) and firmness of bread tissue decreased while the L * and b * values of bread color, porosity, bread volume increased. Over storage time, the firmness, volume, L * and b * values of bread color, and moisture content of the bread decreased. Finally, the samples containing sourdough were evaluated as the best samples. As a result, application of sourdough in gluten-free bread formulation improves quantity and quality and increases marketing of the final products.

Keywords "Celiac disease", "nongluten bread", "Sourdough", "*Lactobacillus plantarum*", "*Lactobacillus reuteri*"

[1] Corresponding author