

## تأثیر پخت با سامانه تابش فروسرخ - بخار فوق اشباع در کنترل کپک‌زدگی نان گندم حاوی خمیر ترش سبوس برنج

مهدی پور رشیدی<sup>۱</sup>، علیرضا صادقی<sup>۲\*</sup>، امان محمد ضیایی فر<sup>۲</sup>، محمد قربانی<sup>۲</sup>، زهره مختاری<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زیست فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
  - ۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
  - ۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۴

### چکیده

استفاده توأم از روش‌های نوین پخت به همراه بسته‌های تخمیری اهمیت به‌سزایی در کنترل کپک‌زدگی نان دارد. در پژوهش حاضر، باکتری اسید لاکتیک غالب خمیر ترش سبوس برنج پس از جداسازی و شناسایی مولکولی به عنوان کشت آغازگر در فرآوری نان خمیر ترشی به کار گرفته شد. در مرحله بعد، تأثیر استفاده از سامانه پخت آون-فروسرخ، آون-بخار فوق اشباع و آون به منظور جلوگیری از توسعه سطحی قارچ در نان‌های گندم تولیدی بررسی گردید. توالی یابی محصولات PCR منجر به شناسایی پدیوکوکوس /سیدی لاکتیسی شد. کمترین میزان توسعه سطحی قارچ معادل با ۲۷/۰۶ درصد در نان گندم حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج پخته شده با آون-بخار مشاهده گردید که در مقایسه با نمونه شاهد به شکل معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) کمتر بود. نان‌های گندم حاوی خمیر ترش سبوس برنج، در مقایسه با نان شاهد، در هر سه فرایند پخت توسعه سطحی قارچ کمتر و تخلخل بیشتری داشتند. بیشترین سفتی بافت مربوط به نان گندم حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج و پخته شده با آون-بخار فوق اشباع و کمترین سفتی نیز مربوط به نان شاهد پخته شده با فرایند مذکور بود. پذیرش کلی نان‌های تولیدی نیز تفاوت زیادی با یکدیگر نداشت و عمدتاً اختلاف معنی‌داری بین آنها نبود. با توجه به قابلیت‌های فناوری-عملکردی مناسب جدایه لاکتیکی می‌توان از آن به عنوان کشت آغازگر محافظت کننده در صنایع تخمیری استفاده کرد. استفاده از فرایند فروسرخ در پخت نان نیز با توجه به سرعت پخت نسبتاً بالا و مصرف انرژی پایین، اثر ضد قارچی و حرارت‌دهی یکنواخت می‌تواند مفید واقع شود.

### واژه‌های کلیدی: پخت فروسرخ، تخمیر کنترل شده سبوس برنج، اثر ضد قارچی

مقدمه  
نیز اثر منفی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند. در مقابل، نگهدارنده‌های زیستی مانند باکتری‌های اسید لاکتیک، موثر، ایمن، زیست تخریب‌پذیر و دارای فواید سلامتی‌بخش هستند (Shehata et al., 2019). این باکتری‌ها، علاوه بر سهمی که

رشد قارچ‌ها در مواد غذایی باعث مسمومیت و بروز بیماری‌های جدی در انسان می‌شود که حتی ممکن است منجر به مرگ شود. نگهدارنده‌های شیمیایی و قارچ‌کش‌ها

معدنی و کاهش میزان فیتات می‌شود و کیفیت تغذیه‌ای نان را نیز بهبود می‌بخشد (Arendt *et al.*, 2007).

پخت نان فرآیندی است پیچیده که در آن دما عامل اصلی است (Therdthai *et al.*, 2002). نان به طور سنتی در فرهای معمولی با استفاده از هوای داغ با گردش مجدد هوا یا بدون آن پخته می‌شود. انتقال حرارت در چنین فرهایی کم و علاقه به روش‌های پخت جایگزین در حال افزایش است. استفاده از پرتو فرسرخ روشی سریع برای پخت است که می‌تواند برای دستیابی به میزان بالای انتقال حرارت و زمان کوتاه پخت استفاده شود (Olsson *et al.*, 2005). از پرتو فرسرخ می‌توان برای غیر فعالسازی باکتری، اسپور، مخمر و کپک نیز استفاده کرد (Krishnamurthy *et al.*, 2008). تا کنون گزارش‌هایی در خصوص اثرهای مفید تخمیر کنترل شده خمیرترش حاوی کشت آغازگر محافظت کننده (Purabdolah *et al.*, 2020; Hajinia *et al.*, 2021) و همچنین استفاده از پخت با تابش فرسرخ (Gokmen *et al.*, 2021) بر ویژگی‌های نان تولیدی گزارش شده است.

با توجه به ضرورت بهبود ویژگی‌های کیفی و ماندگاری نان گندم از یک سو و استفاده از بستره‌های تخمیری بکر حاوی باکتری‌های اسید لاکتیک با قابلیت فناوری-عملکردی مناسب، این پژوهش در دو فاز به اجرا در آمد. در فاز نخست، پس از جداسازی و شناسایی مولکولی جدایه لاکتیکی غالب خمیرترش سبوس برنج، این جدایه در تخمیر کنترل شده سبوس برنج به منظور فرآوری نان گندم استفاده شد و در فاز دوم، مقایسه اثر سه فرایند پخت مختلف بر ویژگی‌های نان و تاثیر این فرایندها بر رشد قارچ در نان تولیدی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد اولیه

پس از تهیه آرد گندم ستاره و سبوس برنج، ویژگی‌های آنها بر اساس روش‌های مدون تعیین گردید (AACC, 2010).

در ایجاد عطر و طعم در غذاهای تخمیر شده دارند، مواد ضد میکروبی مختلفی مانند اسیدهای آلی، پراکسید هیدروژن و باکتریوسین نیز ترشح می‌کنند. از همین رو، به منظور از بین بردن خطر احتمالی عوامل میکروبی ناخواسته در زیست فناوری مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و از این رو می‌توانند مدت زمان نگهداری مواد غذایی را افزایش و ویژگی‌های کیفی آن‌ها را نیز ارتقا دهند (Özogul & Hamed, 2018).

نان یکی از پرمصرف‌ترین مواد غذایی در دنیاست که به مدت هزاران سال بخش مهمی از رژیم غذایی انسان بوده است. مخمرها به عنوان عامل اصلی تخمیر در تولید نان در نظر گرفته می‌شوند اما استفاده از خمیرترش به عنوان منبع تامین کشت‌های آغازگر طبیعی در تولید نان، یکی از قدیمی‌ترین فناوری‌های زیستی است. خمیرترش اخیراً به طور گسترده به عنوان یک افزودنی طبیعی که قادر به ایجاد تغییر در اجزای خمیر و تبدیل آن به نانی فراسودمند است بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Papadimitriou *et al.*, 2019). فلور غالب میکروبی خمیرترش به باکتری‌های اسید لاکتیک تعلق دارد که همراه با مخمرها، نقش اساسی در تخمیر نان را بر عهده دارند. عواملی که کیفیت خمیرترش را تحت تأثیر قرار می‌دهند شامل بازده خمیر، دما و زمان تخمیر، نوع کشت اولیه، اسیدیته محیط و نوع سوبستراست (Chavan & Chavan, 2011). در تخمیر خمیرترش، باکتری‌های اسید لاکتیک ترکیباتی از جمله اسیدهای آلی، اگزوپلی ساکاریدها و آنزیم‌هایی تولید می‌کنند که تاثیر مثبتی بر بافت و تاخیر در بیات شدن نان دارند. اسیدهای آلی بر بخش‌های پروتئینی و نشاسته‌ای آرد تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، کاهش pH ناشی از تولید اسیدهای آلی باعث تغییر فعالیت پروتئازها و آمیلازهای آرد می‌شود که با کنترل بیاتی نان ارتباط دارند. تخمیر خمیرترش منجر به افزایش زیست دسترسی به مواد

از آزمون کاتالاز رنگ‌آمیزی گرم و مشاهده میکروسکوپی بررسی شد.

#### فعالیت همولیزی

بدین منظور از کشت جداییه لاکتیکی فعال روی محیط کشت آگار خوندار حاوی پنج درصد خون گوسفندی و بررسی ایجاد هاله یا تغییر رنگ استفاده گردید (Angmo *et al.*, 2016).

#### شناسایی مولکولی

پس از استخراج DNA از پرایمرهای R: GGTACCTTTTACGACTT و F: RGTATYMTGGCTCAG در شرایط بهینه شده توسط آنوس و همکاران (Abnous *et al.*, 2009) برای تکثیر توالی هدف استفاده شد. پس از آن از ژل الکتروفورز محصولات PCR برای تایید اولیه تکثیر و از توالی‌یابی آنها برای شناسایی جداییه لاکتیکی استفاده گردید.

#### تخمیر کنترل شده سبوس برنج

برای تهیه تخمیر کنترل شده خمیرترش با استفاده از جداییه لاکتیکی، باکتری مذکور در محیط کشت MRS Broth در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا ایجاد  $10^8$  واحد تشکیل دهنده پرگنه در میلی‌لیتر (CFU/mL)، در مقایسه با لوله ۰/۵ مک فارلند، کشت داده شد. مخلوط آرد سبوس برنج و آب با بازده خمیر ۴۵۰، تهیه و باکتری مذکور با جمعیت معادل  $10^8$  CFU/g به آن افزوده شد. سرانجام مخلوط مذکور در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تخمیر گردید (Sadeghi *et al.*, 2019).

#### سیستم پخت نان (هوای داغ، پرتو فرورسرخ و بخار فوق اشباع)

این سیستم شامل یک آون توستر با ابعاد محفظه داخلی  $50 \times 40 \times 30$  سانتی‌متر و سه لامپ فرورسرخ نصب شده در یک هدایت کننده امواج بود. به منظور تامین بخار فوق اشباع نیز

محیط‌های کشت میکروبی شامل MRS Agar، MRS Broth و YGC Agar از شرکت مرک آلمان تهیه شد. *آسپرژیلوس نایجر* (*Aspergillus niger* PTCC 5012) نیز از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران خریداری شد. لامپ حرارتی کوارتز فرورسرخ (با طول ۱۸۰ میلی‌متر) دارای قدرت بیشینه ۵۰۰ وات در ۲۳۰ ولت، اسپکتروفتومتر (T80 Double Beam UV-Visible، انگلستان)، میکروسکوپ نوری (Zeniss، آلمان)، واریابل (MST-5KVA، چین)، ترموکوپل (T 0.1 mm، ایران)، دماسنج (Lutron، ژاپن)، اتوکلاو (cs21، ایران)، دستگاه بافت سنج (Stable Microsystem، انگلستان) نیز در این پژوهش به کار گرفته شدند.

#### تخمیر تصادفی سبوس برنج

برای این منظور پس از ترکیب آب و سبوس برنج با بازده خمیر ۴۵۰ بر اساس معادله  $(100 \times \text{نسبت خمیر به آرد} = \text{بازده خمیر})$ ، مخلوط مذکور در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تخمیر گردید (Sadeghi *et al.*, 2019).

**تعیین pH و اسیدیته قابل تیتر کردن (TTA<sup>1</sup>) خمیرترش**  
برای تعیین مقدار pH و اسیدیته قابل تیتر کردن نمونه‌های خمیرترش (بر حسب اسید لاکتیک) از روش کاتینا (Katina *et al.*, 2006) استفاده شد. فرایند مایه‌گیری خمیرترش (افزودن ۲۰ درصد از خمیرترش روز قبل به خمیرترش تازه) نیز تا رسیدن به pH حدود چهار تکرار گردید.  
**جداسازی باکتری اسید لاکتیک غالب از خمیرترش سبوس برنج**

باکتری اسید لاکتیک غالب با تهیه رقت‌های متوالی و کشت سطحی در محیط کشت اختصاصی MRS از خمیرترش سبوس برنج، جدا و برای رسیدن به تک پرگنه خالص از آن کشت خطی تهیه گردید و در ادامه، جداییه مذکور با استفاده

<sup>1</sup> Total titratable acidity (TTA)

سانتی‌متر و مساحت سطح نان ۴۹/۵ سانتی‌متر مربع (۱۱×۴/۵ سانتی متر) بود. تمامی این شرایط در سه پخت مذکور بر اساس پیش‌تیمارهای اعمال شده و پس از توازن رطوبت و ماده خشک نمونه‌ها تعیین گردید. برای تهیه نان حاوی خمیرترش سبوس برنج نیز نسبت ۲۰ درصد وزنی از خمیرترش مذکور به خمیر مشابه نمونه شاهد افزوده شد و شرایط پخت مشابه نان شاهد برای این نمونه‌ها نیز اعمال گردید (Crowley *et al.*, 2002; Gokmen *et al.*, 2021).

#### تعیین افت وزن نمونه‌های نان

به منظور تعیین افت وزن در نمونه‌های نان، با کسر مقدار وزن نان پس از پخت از وزن خمیر قبل از پخت، میزان افت وزن به دست آمد. در پژوهش حاضر مقدار افت وزن به عنوان عاملی کلیدی در نظر گرفته شد و نمونه‌های پخته شده با آن مبنای مقایسه قرار گرفت. شرایط پخت به نحوی تنظیم شد که نمونه‌های پخته شده با آن-فروسرخ و آن-بخار فوق اشباع به لحاظ افت وزن تا حد امکان با نمونه‌های پخته شده با آن اختلاف نداشته باشند. برای این منظور در فرایند پخت آن-فروسرخ، شدت و مدت زمان استفاده از پرتو و در فرایند پخت آن-بخار فوق اشباع، مقدار بخار و زمان پخت تنظیم گردید.

#### ارزیابی ویژگی‌های بافتی نان‌های تولیدی

برای تعیین تغییرات سفتی بافت مغز نان‌های تولیدی، دو ساعت پس از پخت از آزمون بافت سنجی بر اساس روش کاتینا و همکاران (Katina *et al.*, 2006) استفاده شد. میزان تخلخل نیز طبق روش چیاوارو و همکاران (Chiavaro *et al.*, 2008) با نرم‌افزار Image J (نسخه 1.42e) به دست آمد. ویژگی‌های حسی نان‌های تولیدی در فاصله زمانی دو ساعت پس از پخت، از طریق آزمون چشایی ارزیابی شد (Katina *et al.*, 2006).

بخار خروجی از اتوکلاو با دمای  $110 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد و فشار  $0.5 \pm 0.1$  بار (دما و فشار ثابت) با عبور از والو بسته شده روی در اتوکلاو به وسیله یک شلنگ به محفظه کوچک دارای المنت‌های حرارتی تعبیه شده روی آن، منتقل و در نهایت بخار فوق اشباع خارج شده از مخزن وارد محفظه پخت آن گردید. برای اندازه‌گیری دما در حین پخت از یک ترموکوپل قرار داده شده روی سطح نان و یک دماسنج متصل به آن استفاده شد.

#### فرآوری نان

برای تهیه نان شاهد از مخلوط آرد گندم، آب و ۲ درصد وزنی از مخمر خشک فعال ساکارومایسس سرویزیه استفاده شد (De Vuyst & Neysens, 2005). خمیر نان شاهد، فاقد خمیرترش سبوس برنج بود و با سه نوع فرایند پخت آن (هوای داغ)، آن-بخار فوق اشباع و آن-تابش فروسرخ فرآوری شد. مرحله نخست تخمیر این مخلوط در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه و تخمیر نهایی آن پس از تقسیم کردن به قطعات ۱۰۰ گرمی در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه صورت گرفت. نمونه‌های تولیدی در دمای  $180 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد با شرایط زمانی و فرایندهای پخت متفاوت، در یک آن الکتریکی قرار داده شدند که در فرایند پخت اول فقط از هوای داغ آن به مدت ۲۰ دقیقه استفاده شد. در فرایند پخت دوم از هوای داغ و بخار فوق اشباع به صورت همزمان استفاده شد و ۲۸ دقیقه به طول انجامید، اما مدت زمان استفاده از بخار فقط ۱۹ دقیقه ابتدایی فرایند پخت و حجم بخار وارد شده به آن نیز ۲۰۰ میلی‌لیتر بود. در سومین فرایند پخت نیز نان شاهد با استفاده همزمان هوای داغ و تابش فروسرخ با سه لامپ با توان اعمال شده ۲۴/۵ وات که از طریق دستگاه واریابل به لامپ‌های فروسرخ اعمال گردید، به مدت ۲۰ دقیقه پخته شد. فاصله نمونه‌ها از سطح تابش ۱۱ سانتی‌متر، ضخامت نمونه نان ۴

کاهش می‌دهند. گاهی ممکن است مخمرها نیز در کنار این باکتری‌ها حضور داشته باشند و با مصرف کردن پروتئین‌های موجود،  $\text{NH}_2$  تولید کنند و بر خلاف انتظار همانند روز پنجم و ششم پژوهش حاضر به میزان جزئی pH را افزایش دهند. علاوه بر این، ممکن است در فرایند تخمیر اسید تولید شود اما به دلیل ظرفیت بافری برخی از بسترها از جمله سبوس برنج مورد استفاده در این پژوهش امکان تغییر قابل توجه در میزان pH وجود نداشته باشد. در خصوص اسیدیته قابل تیتراژ کردن، با توجه به اینکه مقدار اسیدیته قابل تیتراژ کردن بر حسب اسیدلاکتیک موجود در خمیرترش محاسبه می‌گردد این احتمال وجود دارد که باکتری‌های هوموفرماتاتیو مانند پدیوکوکوس/اسیدی لاکتیسی جدا شده از خمیرترش سبوس برنج جمعیت غالب را تشکیل دهند و مقدار زیادی اسید لاکتیک تولید کرده باشند. مروث و همکاران (Meroth *et al.*, 2004) در پژوهش‌های خود دریافتند که مقدار کل اسیدیته قابل تیتراژ کردن خمیرترش برنج در روز نخست تخمیر به حدود ۲۰ رسید که در مقایسه با نتایج پژوهش حاضر برای خمیرترش سبوس برنج در روز نخست تخمیر، مقدار بسیار بیشتری را نشان می‌دهد. تعیین pH و TTA عموماً به منظور بررسی ظرفیت تخمیر است. تفاوت مقادیر اسیدیته خمیرترش‌های مورد بررسی می‌تواند به دلیل تفاوت در ترکیبات آرد (به خصوص مقدار خاکستر و پروتئین)، شرایط تخمیر (دما و زمان)، مقدار رطوبت، بازده خمیر و تعداد دفعات مایه‌گیری (اضافه کردن مقدار خاصی از خمیرترش روز قبل به مخلوط آب و آرد) باشد (Hammes & Ganzle, 1998). طی تخمیر خمیرترش، باکتری‌های اسیدلاکتیک جایگزین میکروارگانسیم‌های دیگر می‌شوند و جمعیت غالب را تشکیل می‌دهند (Haard *et al.*, 1999).

### میزان توسعه سطحی قارچ در نان‌های تولیدی

میزان توسعه سطحی قارچ شاخص آسپرژیلوس نایجر در سطح نمونه‌های نان تولیدی به روش اصلاح شده گرز و همکاران (Gerez *et al.*, 2009) ارزیابی شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

نتایج حاصل از این پژوهش بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) از لحاظ آماری تجزیه و تحلیل شد. برای مقایسه میانگن‌ها نیز از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح  $P \leq 0.05$  استفاده شد. نرم افزار Microsoft office excel 2013 نیز برای رسم نمودارها به کار برده شد.

### نتایج و بحث

#### تغییرات pH و اسیدیته قابل تیتراژ کردن (TTA)

آرد سبوس برنج نیز دارای ۱۹/۴۰ درصد پروتئین، ۱۵/۳۸ درصد چربی، ۱۲/۷۷ درصد رطوبت، ۸/۱۱ درصد خاکستر و ۴۴/۳۴ درصد کربوهیدرات بود. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان pH از روز اول تا روز چهارم تخمیر سبوس برنج به شکل معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) کاهش پیدا کرد اما در روز پنجم به میزان ناچیزی افزایش یافت. در روز ششم نیز میزان pH مجدداً افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نیست. با افزایش زمان تخمیر، میزان TTA تا روز چهارم به شکل معنی‌داری افزایش یافت اما در روز پنجم میزان آن به شکل معنی‌داری کاهش پیدا کرد و در روز ششم مجدداً با افزایش معنی‌داری همراه بود. به طور کلی، میزان TTA به جز روز پنجم که با کاهش همراه بود طی شش روز تخمیر روند افزایشی داشت.

باکتری‌های اسیدلاکتیک موجود در خمیرترش معمولاً با مصرف کردن کربوهیدرات‌ها، اسید آلی تولید می‌کنند و pH را

جدول ۱- تغییرات pH و TTA در فرایند تخمیر سبوس برنج.

Table 1- Changes in pH and TTA during fermentation of rice bran.

زمان تخمیر (روز) Fermentation time (day)	اسیدیته قابل تیتر کردن TTA	pH
1	3.00 ± 0 <sup>e</sup>	6.88 ± 0 <sup>a</sup>
2	23.55 ± 0.45 <sup>d</sup>	4.73 ± 0 <sup>b</sup>
3	28.00 ± 0.20 <sup>c</sup>	4.34 ± 0 <sup>c</sup>
4	33.80 ± 0.30 <sup>a</sup>	3.96 ± 0.02 <sup>d</sup>
5	30.65 ± 0.15 <sup>b</sup>	3.98 ± 0 <sup>d</sup>
6	34.00 ± 0.40 <sup>a</sup>	4.02 ± 0 <sup>d</sup>

حروف متفاوت در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی دار در سطح  $P \leq 0.05$  است.

Different letters in each column indicate a significant difference at  $P \leq 0.05$ .

جدول ۲- اثر فرایند پخت و استفاده از تخمیر کنترل شده سبوس برنج بر سفتی بافت (نیوتن) نان گندم تولیدی.

Table 2- The effect of baking process and use of controlled fermented rice bran on the hardness (N) of wheat bread.

آون-فروسرخ Oven- infrared	آون-بخار فوق اشباع Oven-super heated vapor	آون Oven	نمونه نان گندم/نوع فرایند پخت Bread sample/baking process
3.44 ± 0.70 <sup>bA</sup>	1.87 ± 0.27 <sup>bB</sup>	3.88 ± 0.52 <sup>aA</sup>	شاهد Control
5.05 ± 1.21 <sup>aB</sup>	7.58 ± 0.30 <sup>aA</sup>	4.60 ± 0.25 <sup>aB</sup>	نان حاوی تخمیر کنترل شده Controlled fermented bread

حروف کوچک متفاوت، نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح  $P \leq 0.05$  در هر ستون (اثر سوبسترا) و حروف بزرگ متفاوت، مبین تفاوت معنی دار در هر ردیف (اثر فرایند پخت) است.

Different lowercase letters indicate a significant difference at  $P \leq 0.05$  in each column (substrate effect) and different uppercase letters indicate a significant difference in each row (cooking process effect).

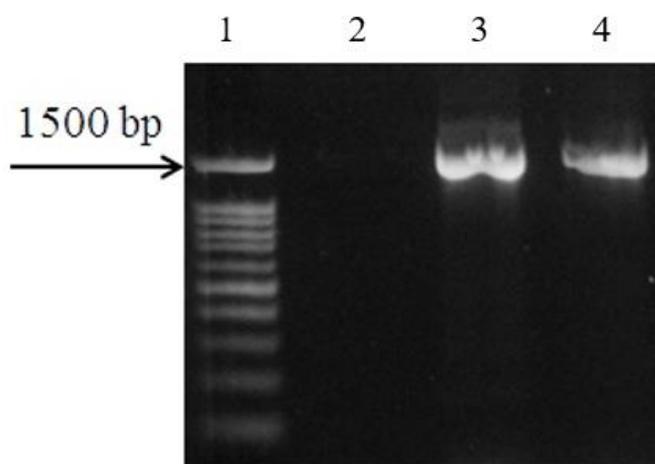
تاثیر پخت با سامانه تابش مادون قرمز-بخار فوق اشباع در کنترل کپک‌زدگی نان گندم حاوی خمیر ترش سبوس برنج

جدول ۳- اثر فرایند پخت، سوبسترا و استفاده از تخمیر کنترل شده سبوس برنج بر ویژگی‌های حسی نان گندم تولیدی.

Table 3- Effect of baking process, substrate and use of controlled fermentation of rice bran on sensory properties of wheat bread.

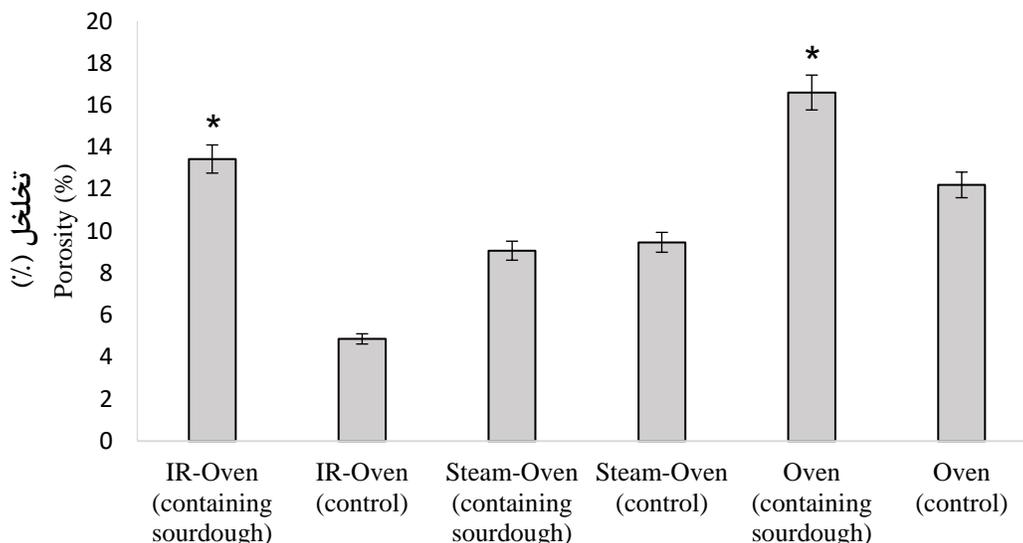
پذیرش کلی Overall acceptability	نمونه نان-فرایند پخت Bread sample/baking process
3.62 ± 0.44 <sup>b</sup>	نان گندم + تخمیر کنترل شده سبوس برنج (آون-فروسرخ) Wheat bread + controlled fermented rice bran (oven-infrared)
4.08 ± 0.17 <sup>a</sup>	شاهد (آون-فروسرخ) Control (oven-infrared)
3.76 ± 0.31 <sup>ab</sup>	نان گندم + تخمیر کنترل شده سبوس برنج (آون-بخار فوق اشباع) Wheat bread + controlled fermented rice bran (oven-super heated vapor)
3.92 ± 0.43 <sup>ab</sup>	شاهد (آون-بخار فوق اشباع) Control (oven- super heated vapor)
3.76 ± 0.31 <sup>ab</sup>	نان گندم + تخمیر کنترل شده سبوس برنج (آون)
4.07 ± 0.27 <sup>a</sup>	شاهد (آون) Control (oven)

حروف متفاوت، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح  $P \leq 0.05$  می‌باشند.  
Different letters indicate a significant difference at  $P \leq 0.05$ .



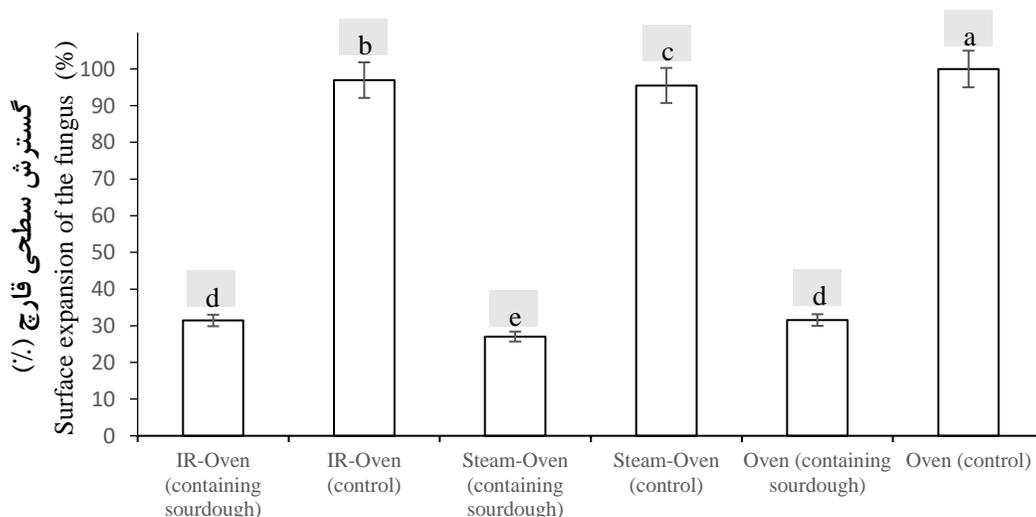
شکل ۱- ژل الکتروفورز محصولات PCR. لاین ۱: لدر، لاین ۲: کنترل منفی، لاین ۳: DNA استخراج شده از جدایه لاکتیکی، لاین ۴: کنترل مثبت یا حاوی DNA سویه کلکسیونی.

Fig. 1- Gel electrophoresis of the PCR products. Lane 1: DNA ladder, lane 2: negative control, lane 3: DNA extracted from lactic acid bacteria (LAB) isolate and lane 4: positive control or containing DNA isolated from standard strain.



شکل ۲- میزان تخلخل (درصد) مغز نان‌های گندم تولیدی حاوی خمیر ترش (containing sourdough) در مقایسه با شاهد (control) و فرآوری شده با فرورسرخ (IR)، آون (oven)، بخار (steam) یا ترکیب آنها. علامت ستاره، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح  $P \leq 0.05$  بین دو نمونه با روش پخت یکسان است.

Fig. 4- Crumb porosity (percentage) of the produced wheat breads. The star mark indicates a significant difference at  $P \leq 0.05$  between two samples with the same cooking method.



شکل ۳- میزان توسعه سطحی قارچ (درصد) پس از هفت روز نگهداری نان‌های گندم تولیدی حاوی خمیر ترش (containing sourdough) در مقایسه با شاهد (control) و فرآوری شده با فرورسرخ (IR)، آون (oven)، بخار (steam) یا ترکیب آنها. حروف غیر یکسان، نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح  $P \leq 0.05$  است.

Fig. 5- The rate of surface expansion of the fungus (percentage) after seven days storage of the produced wheat breads. Different letters indicate a significant difference at  $P \leq 0.05$ .

### شناسایی مولکولی جدایه لاکتیکی

پس از شش بار تکرار فرایند مایه گیری، pH خمیرترش سبوس برنج به حدود چهار رسید و باکتری اسید لاکتیک غالب به روشی که پیش از این گفته شد جدا گردید. جدایه لاکتیکی غالب گرم مثبت، کاتالاز منفی و کروی شکل بود. ژل الکتروفورز محصولات PCR نیز منجر به تایید تکثیر اختصاصی توالی هدف ۱۵۰۰ جفت‌بازی در DNA ژنومی باکتری اسید لاکتیک غالب جدا شده از خمیرترش سبوس برنج در مقایسه با نمونه کنترل منفی (فاقد DNA) و کنترل مثبت (DNA استخراج شده از سویه کلکسیونی) شد (شکل ۱). سرانجام بر اساس نتایج توالی‌یابی محصولات PCR و هم‌ردیفی آنها با داده‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی NCBI<sup>۱</sup> جدایه لاکتیکی، پدیوکوکوس/اسیدی لاکتیسی (۹۷ درصد تشابه) شناسایی گردید.

لانستی و همکاران (Lancetti et al., 2021) با هدف بررسی عملکرد باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از غلات مختلف در خمیرترش گندم، شاهد حضور ۱۰ سویه متفاوت از جمله پدیوکوکوس/اسیدی لاکتیسی بودند. عواملی مانند نوع سوبسترا، بازده خمیر، دما و زمان تخمیر، pH و تعداد فرایند مایه‌گیری در تنوع فلور میکروبی جدایه‌های لاکتیکی غالب در خمیرترش‌ها موثر هستند. میزان فعالیت آبی بستره تخمیری و بازده خمیر که نشان دهنده میزان فعالیت آبی خمیر است، از عوامل مهم و تاثیرگذار در تعیین فلور میکروبی غالب و تنوع زیستی باکتری‌های موجود در خمیرترش به‌شمار می‌آید (Chavan & Chavan, 2011; Minervini et al., 2014).

### قابلیت همولیز خون توسط جدایه لاکتیکی

جدایه لاکتیکی مورد مطالعه، فاقد فعالیت همولیزی بود.

فعالیت همولیزی لاکتوباسیلوس برویس جداشده از خمیرترش سبوس برنج را صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2019) نیز منفی گزارش داده‌اند. هاله سبز رنگ در همولیز آلفا، هاله زرد رنگ در همولیز بتا و تغییر رنگ‌نندان در همولیز گاما (فاقد فعالیت همولیزی) مبین نوع همولیز هستند. فعالیت‌های آنزیمی مانند فعالیت کواگولازی عموماً با همولیز خون مرتبط هستند. به دلیل امکان‌پذیر بودن اختلال در لایه‌های اپی‌تلیال روده در صورت فعالیت همولیزی باکتری‌ها، نبود فعالیت همولیزی در آنها برای مصارف انسانی اهمیت ویژه‌ای دارد (Angmo et al., 2016).

### ویژگی‌های نان‌های تولیدی

#### سفتی بافت مغز نان

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، از بین نمونه‌های پخته شده با آون-فروسرخ، نان گندم حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج سفتی بافت بیشتری ( $P \leq 0.05$ ) دارد. در دو روش پخت دیگر که از آون و آون-بخار فوق اشباع استفاده شد نیز نمونه‌های حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج، بافت سفت‌تری داشتند. این نتایج در حالی به دست آمد که سفتی بافت نمونه‌های پخته شده با آون بر خلاف نمونه‌های پخته شده با آون-بخار فوق اشباع، تفاوت معنی‌داری نداشتند. در بین تمامی نمونه‌ها، بیشترین سفتی بافت مربوط به نان گندم حاوی ۲۰ درصد تخمیر کنترل شده و پخته شده با آون-بخار فوق اشباع و کمترین سفتی نیز مربوط به نان شاهد (فاقد تخمیر کنترل شده) پخته شده با فرایند مذکور بود. با بررسی نتایج جدول فوق و مقایسه این نتایج در هر ردیف، به وضوح می‌توان مشاهده کرد که سفتی بافت در نان‌های فرایند شده توسط آون و آون-فروسرخ، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند اما با نمونه‌های فرایند شده توسط آون-بخار فوق اشباع به شکل معنی‌داری متفاوت‌اند.

فرهمند و همکاران (Farahmand et al., 2015) با افزودن ۱۰ درصد خمیرترش سبوس برنج به فرمول نان و مقایسه با

<sup>1</sup> National center for biotechnology information

می‌دهد و منجر به حفظ مقدار بیشتر رطوبت در مرکز نمونه در حین پخت می‌شود که باعث ماندگاری بهتر و طولانی‌تر نیز می‌گردد (Rastogi, 2012).

#### ویژگی‌های حسی

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بین نمونه‌های تولیدی بیشترین پذیرش کلی به ترتیب متعلق به نان شاهد پخته شده با آون-فروسرخ و نان شاهد پخته شده با آون است که این دو اختلاف معنی‌داری ( $P \geq 0.05$ ) با یکدیگر ندارند. بعد از آن بیشترین تا کمترین پذیرش کلی به ترتیب متعلق به نان شاهد پخته شده با آون-بخار فوق اشباع، نان‌های حاوی تخمیر کنترل شده پخته شده با آون و آون-بخار فوق اشباع به صورت مشترک و نان حاوی تخمیر کنترل شده و پخته شده با آون-فروسرخ است که دارای کمترین پذیرش کلی است. به طور کلی فقط بین دو نمونه دارای بیشترین پذیرش کلی با نمونه دارای کمترین پذیرش کلی اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) وجود دارد.

در پژوهش ترکمانی و همکاران (Torkamani *et al.*, 2015) روی نان‌های تافتون ایرانی حاوی خمیرترش سبوس برنج تخمیر شده با لاکتوباسیل‌های مختلف، نان تافتون حاوی ۵ درصد خمیرترش سبوس برنج نسبت به نان‌های تافتون حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد خمیرترش سبوس برنج پذیرش کلی بالاتری داشته‌اند. سبوس برنج با خاصیت جذب رطوبت به حفظ رطوبت و در نتیجه نرمی بافت نان به‌هنگام نگهداری کمک می‌کند. متابولیسم لاکتات در حین تخمیر ممکن است به دلیل تشکیل استات و دی‌اکسید کربن بر عطر، طعم و ساختار خمیرترش تاثیر بگذارد (Liu, 2003).

#### تخلخل مغز نان

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان تخلخل در نان‌های پخته شده با آون، متعلق به نان حاوی

نان شاهد، پس از بررسی نتایج بافت‌سنجی مشاهده کردند که در انتهای دوره نگهداری بیشترین سفتی بافت مربوط به نان شاهد است. اسیدهای آلی تولید شده در تخمیر بر بافت نان تاثیر می‌گذارند. علاوه بر این، ظرفیت بالای اتصال آب به سبوس برنج می‌تواند منجر به احتباس رطوبت موجود در نان برای مدت زمان طولانی‌تر و تاخیر در سفت شدن بافت نان گردد. این واقعیت می‌تواند به دلیل اسیدیتته این نان‌ها یا تولید آگزوپولی‌ساکارید باشد. آگزوپولی‌ساکاریدهای تولید شده توسط باکتری‌های اسید لاکتیک اثرهای مهمی بر ویژگی‌های کیفی مانند جذب آب خمیر، رئولوژی و برش پذیری خمیر، حجم و بیاتی نان می‌گذارند (Tieking & Ganzle, 2005). با اینکه سبوس برنج، قابلیت جذب و نگهداری رطوبت را دارد اما در پژوهش حاضر، سفتی قابل توجهی در بافت نان‌های حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج مشاهده شد که احتمالاً به دلیل وجود مقادیر زیاد فیبر در سبوس برنج باشد. در مورد سفتی معنی‌دار بافت نان حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج پخته شده با آون-بخار فوق اشباع نسبت به نمونه‌های دیگر، احتمالاً تاثیری که رطوبت و حرارت بر اجزای سبوس گذاشتند باعث شد سبوس خاصیت جذب آب خود را به نحوی از دست بدهد. در حالی که در نمونه شاهد با همین فرایند پخت، نرم‌ترین بافت مشاهده شد که می‌تواند به دلیل انتشار مناسب رطوبت در بافت نان تولیدی باشد. بافت نسبتاً سفت‌تر نمونه شاهد پخته شده با آون نسبت به نمونه شاهد پخته شده با آون-فروسرخ هم می‌تواند به دلیل حذف سطحی رطوبت باشد. استفاده از فرایند فرسوخ باعث کاهش زمان پخت نسبت به گرمایش همرفتی و هدایتی می‌شود که این کاهش زمان پخت به دلیل انتقال حرارت موثرتر به سطح است. با توجه به سرعت بالای پخت با فرایند فرسوخ و میزان سفتی متوسط نمونه‌های پخته شده با این فرایند در پژوهش حاضر، احتمالاً در صورت کاهش زمان استفاده از فرسوخ در فرایند پخت، دسترسی به بافتی نرم‌تر بسیار محتمل‌تر به نظر می‌رسد. هنگام استفاده از این نوع فرایند پخت، مانند پژوهش حاضر کاهش وزن کمتری رخ

تخمیر کنترل شده است که این اختلاف، معنی‌دار ( $P \geq 0.05$ ) نیست. در بین دو نمونه پخته شده با آون-فروسرخ نیز بیشترین تخلخل مربوط به نان حاوی تخمیر کنترل شده است که این اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) است اما بین دو نمونه پخته شده با آون-بخار بر خلاف دو نمونه قبلی، نمونه شاهد به میزان جزئی، نسبت به نمونه حاوی تخمیر کنترل شده در بافت خود، تخلخل بیشتری دارد.

بارتکین و همکاران (Bartkiene et al., 2017) نیز با جداسازی باکتری‌های اسیدلاکتیک مختلف از تخمیر تصادفی و استفاده از آنها به عنوان کشت آغازگر خمیرترش مشاهده کردند نان‌های تهیه شده با خمیرترش حاوی لاکتوباسیلوس پلانناروم و پدیوکوکوس پننازاسئوس دارای بیشترین تخلخل هستند. در پژوهش آلتامیرانو-فورتولو همکاران (Altamirano-Fortoul et al., 2012) نیز تاثیر مقادیر مختلف بخار (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ میلی‌لیتر) بر ویژگی‌های پوسته نان بررسی گردید. نمونه‌ای که در فرایند پخت آن از ۱۰۰ میلی‌لیتر بخار استفاده شده بود، در مقایسه با دو نمونه دیگر، دارای تخلخل بیشتری بود. طبق گزارش نیکولاس و همکاران (Nicolas et al., 2017)، با افزایش میزان گاز دی‌اکسید کربن، فشار گاز در محصول افزایش می‌یابد و باعث افزایش تخلخل در نان می‌شود.

میزان توسعه سطحی قارچ

میزان توسعه سطحی آسپریژیلوس نایجر روی نمونه‌های مختلف نان، پس از هفت روز گرمخانه‌گذاری در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر سه فرایند پخت، در نان گندم حاوی خمیرترش میزان رشد سطحی قارچ آسپریژیلوس نایجر به شکل معنی‌داری

از میزان رشد سطحی این قارچ در نان شاهد (آون) کمتر است. بعد از آن کمترین تا بیشترین میزان توسعه سطحی قارچ را می‌توان به ترتیب در نان حاوی تخمیر کنترل شده (پخته شده با آون-فروسرخ)، نان حاوی تخمیر کنترل شده (آون)، نان شاهد (آون-بخار فوق اشباع)، نان شاهد (آون-فروسرخ) و در آخر نان شاهد (آون) مشاهده کرد.

در پژوهش ترکمانی و همکاران (Torkamani et al., 2015) در نان تافتون حاوی خمیرترش سبوس برنج و دارای لاکتوباسیلوس پلانناروم، فعالیت ضد کپکی بیشتری نسبت به نمونه‌های تخمیر شده توسط لاکتوباسیلوس کازئی و لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس مشاهده شده است. در مطالعات فرهمند و همکاران (Farahmand et al., 2015) نیز مانند پژوهش حاضر، رشد کپک در نان‌های حاوی خمیرترش سبوس برنج نسبت به نان‌های شاهد به میزان قابل توجهی کمتر بوده است. نکته مشهود و قابل توجه در پژوهش حاضر، کاهش میزان رشد میسلیم قارچ در تمامی نمونه‌های دارای تخمیر کنترل شده، نسبت به نمونه‌های فاقد تخمیر کنترل شده بود. این اثر بازدارندگی در مقابل رشد قارچ را می‌توان نتیجه اثر هم‌افزایی بین کاهش pH ناشی از تولید اسیدهای آلی و دیگر متابولیت‌های تولید شده توسط باکتری‌های اسید لاکتیک دانست (Cortés-Zavaleta et al., 2014). با اینکه انتظار می‌رود با افزایش رطوبت میزان رشد قارچ نیز افزایش یابد اما رشد میسلیم قارچ در فرایند پخت آون-بخار فوق اشباع در نان شاهد از نمونه‌های شاهد در

جدایه لاکتیکی غالب خمیرترش سبوس برنج، تاثیر استفاده از سامانه‌های پخت آون-فروسرخ، آون-بخار فوق اشباع و آون برای جلوگیری از توسعه سطحی قارچ در نان‌های گندم تولیدی بررسی گردید. جدایه پدیوکوکوس/اسیدی لاکتیسی به عنوان باکتری اسید لاکتیک غالب خمیرترش سبوس برنج، قابلیت همولیز خون را از خود نشان نداد. اثر ضد قارچی جدایه پدیوکوکوس/اسیدی لاکتیسی در نان گندم حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج نیز تایید شد. علاوه بر این، بررسی ویژگی‌های نان‌های حاوی ۲۰ درصد تخمیر کنترل شده سبوس برنج، حاکی از اثر کاهنده این خمیرترش بر پذیرش کلی نان تولیدی بود. از بین تمامی نمونه‌های پخته شده با سه فرایند پخت مورد استفاده در این پژوهش، نمونه حاوی تخمیر کنترل شده سبوس برنج که با آون-بخار پخته شده بود کمترین میزان توسعه سطحی میسلیموم قارچ را داشت. علاوه بر این، نان‌های گندم حاوی تخمیر کنترل شده، نسبت به نمونه شاهد، در همان فرایند پخت تخلخل بالاتری داشتند (به جز نان شاهد فرایند شده توسط آون-بخار فوق اشباع که با اختلاف اندک نسبت به نان حاوی تخمیر کنترل شده، تخلخل بیشتری در بافت خود داشت). بر این اساس، استفاده از سبوس برنج تخمیر شده که غنی از املاح و ریزمغذی‌هاست در بهبود ویژگی‌های کیفی نان به عنوان غذای اصلی خانوار می‌تواند به عنوان روشی ساده و کارآمد به کار گرفته شود. استفاده از سامانه پخت فرسرخ نیز به لحاظ خاصیت ضد قارچی، سرعت پخت بالا و هزینه کمتر می‌تواند مفید واقع شود.

فرایندهای پخت دیگر کمتر است. در این زمینه می‌توان گفت رطوبت تا حدی می‌تواند رشد قارچ را افزایش دهد اما در محدوده‌ای از رطوبت، احتمالاً به دلیل انتشار بهتر مواد ضد قارچی تولید شده در حین تخمیر خمیرترش که در نان باقی مانده است، رشد قارچ به نحوی محدود می‌شود. از پرتو فرسرخ نیز می‌توان برای غیر فعالسازی باکتری، اسپور، مخمر و کپک استفاده کرد. میزان اثر تابش فرسرخ بستگی دارد به عواملی مانند: توان قدرت تابش پرتوها، دمای نمونه غذایی، حداکثر میزان طول موج و پهنای باند منبع تابش پرتو، عمق نفوذ، نوع میکروارگانیسم، مقدار رطوبت، فاز فیزیولوژیکی میکروارگانیسم (فاز لگاریتمی یا سکون) و نوع ماده غذایی (Krishnamurthy *et al.*, 2008). همان‌طور که مشاهده می‌شود، رشد قارچ در نمونه‌های پخته شده با آون-فروسرخ به شکل معنی‌داری نسبت به نمونه‌های پخته شده با آون کمتر است که احتمالاً استفاده از فرایند پخت فرسرخ نیز به نحوی در این باره موثر بوده است.

### نتیجه‌گیری

استفاده از باکتری‌های اسید لاکتیک با قابلیت‌های ضد قارچی مناسب به عنوان کشت‌های آغازگر محافظت‌کننده با هدف کنترل کپک‌زدگی و بهبود ویژگی‌های کیفی نان تولیدی اهمیت به‌سزایی دارد. از آنجا که ویژگی‌های فناوری-عملکردی جدایه‌های لاکتیکی در ارتقای ویژگی‌های فرآورده تخمیری مؤثرند در این پژوهش پس از جداسازی و شناسایی

### سپاسگزاری

بخشی از هزینه و امکانات مورد استفاده در این پژوهش از محل اعتبارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تامین شده است. نگارندگان بدین وسیله مراتب قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

## تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

## منابع

- AACC International. 2010. Approved methods of the American association of cereal chemists. 11th Ed. The St. Paul.
- Abnous, K., Brooks, S. P., Kwan, J., Matias, F., Green-Johnson, J., Selinger, L. B., ... and Kalmokoff, M. 2009. Diets enriched in oat bran or wheat bran temporally and differentially alter the composition of the fecal community of rats. *The Journal of Nutrition*, 139(11): 2024-2031.
- Altamirano-Fortoul, R., Le-Bail, A., Chevallier, S., and Rosell, C. M. 2012. Effect of the amount of steam during baking on bread crust features and water diffusion. *Journal of Food Engineering*, 108(1): 128-134.
- Angmo, K., Kumari, A., and Bhalla, T. C. 2016. Probiotic characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented foods and beverage of Ladakh. *LWT-Food Science and Technology*, 66: 428-435.
- Arendt, E. K., Ryan, L. A., and Dal Bello F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24(2): 165-174.
- Bartkiene, E., Bartkevics, V., Krungleviciute, V., Pugajeva, I., Zadeike, D., and Juodeikiene, G. 2017. Lactic acid bacteria combinations for wheat sourdough preparation and their influence on wheat bread quality and acrylamide formation. *Journal of Food Science*, 82(10): 2371-2378.
- Chavan, R. S., and Chavan, S. R. 2011. Sourdough technology—a traditional way for wholesome foods: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(3): 169-182.
- Chiavaro, E., Vittadini, E., Musci, M., Bianchi, F., and Curti, E. 2008. Shelf-life stability of artisanally and industrially produced durum wheat sourdough bread (“Altamura bread”). *LWT-Food Science and Technology*, 41(1): 58-70.
- Cortés-Zavaleta, O., López-Malo, A., Hernández-Mendoza, A., and García, H. S. 2014. Antifungal activity of lactobacilli and its relationship with 3-phenyllactic acid production. *International Journal of Food Microbiology*, 173: 30-35.
- Crowley, P., Schober, T. J., Clarke, C. I., and Arendt, E. K. 2002. The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. *European Food Research and Technology*, 214(6): 489-496.
- De Vuyst, L., and Neysens, P. 2005. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3): 43-56.
- Farahmand, E., Razavi, S. H., Yarmand, M. S., and Morovatpour, M. 2015. Development of Iranian rice-bran sourdough breads: physicochemical, microbiological and sensorial characterisation during the storage period. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(3): 295-303.
- Gerez, C. L., Torino, M. I., Rollán, G., and de Valdez, G. F. 2009. Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. *Food Control*, 20(2): 144-148.

- Gokmen, S., Erdem, N., Kocabas, A., and Yetim, H. 2021. Using a hybrid technology to produce traditional sourdough Gelper bread: infrared cooking assisted with traditional method. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3): 962-967.
- Haard, N. F., Odunfa, S. A., Lee, C.-H., Quintero-Ramírez, R., Lorence-Quinones, A., and Wachter-Radarte, C. (1999). Fermented cereals. A global perspective. *FAO Agricultural Services Bulletin*, 138.
- Hajinia, F., Sadeghi, A., and Sadeghi Mahoonak, A. 2021. The use of antifungal oat-sourdough lactic acid bacteria to improve safety and technological functionalities of the supplemented wheat bread. *Journal of Food Safety*, 41(1): e12873.
- Hammes, W. P., and Gänzle, M. G. 1998. Sourdough breads and related products. In “*Microbiology of fermented foods*” (pp. 199-216). Springer, Boston, MA.
- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forsell, P., and Autio, K. 2006. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 39(5): 479-491.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J., and Demirci, A. 2008. Infrared heating in food processing: an overview. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1): 2-13.
- Lancetti, R., Sciarini, L., Pérez, G. T., and Salvucci, E. 2021. Technological Performance and Selection of Lactic Acid Bacteria Isolated from Argentinian Grains as Starters for Wheat Sourdough. *Current Microbiology*, 78(1): 255-264.
- Liu, S. Q. 2003. Practical implications of lactate and pyruvate metabolism by lactic acid bacteria in food and beverage fermentations. *International Journal of Food Microbiology*, 83(2): 115-131.
- Meroth, C. B., Hammes, W. P., and Hertel, C. 2004. Characterisation of the microbiota of rice sourdoughs and description of *Lactobacillus spicheri* sp. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 27(2): 151-159.
- Minervini, F., De Angelis, M., Di Cagno, R., and Gobbetti, M. 2014. Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International Journal of Food Microbiology*, 171: 136-146.
- Ndagano, D., Lamoureux, T., Dortu, C., Vandermoten, S., and Thonart, P. 2011. Antifungal activity of 2 lactic acid bacteria of the *Weissella* genus isolated from food. *Journal of Food Science*, 76(6): M305-M311.
- Nicolas, V., Glouannec, P., Ploteau, J. P., Salagnac, P., and Jury, V. 2017. Experiment and multiphysic simulation of dough baking by convection, infrared radiation and direct conduction. *International Journal of Thermal Science* 0123s, 115: 65-78.
- Olsson, E. E. M., Trägårdh, A. C., and Ahrné, L. M. 2005. Effect of Near-infrared Radiation and Jet Impingement Heat Transfer on Crust Formation of Bread. *Journal of Food Science*, 70(8): e484-e491.
- Özogul, F., and Hamed, I. 2018. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(10): 1660-1670.
- Papadimitriou, K., Zoumpopoulou, G., Georgalaki, M., Alexandraki, V., Kazou, M., Anastasiou, R., and Tsakalidou, E. 2019. Sourdough bread. In “*Innovations in traditional foods*” (pp. 127-158). Woodhead Publishing.
- Purabdolah, H., Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Kashaninejad, M., Tabarestani, H. S., and Mohamadzadeh, J. 2020. Techno-functional properties of the selected antifungal predominant LAB isolated from fermented acorn (*Quercus persica*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3): 1754-1764.
- Rastogi, N. K. 2012. Recent trends and developments in infrared heating in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(9): 737-760.

- Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Raeisi, M., and Nematollahi, Z. 2019. Biological control of foodborne pathogens and aflatoxins by selected probiotic LAB isolated from rice bran sourdough. *Biological Control*, 130: 70-79.
- Shehata, M. G., Badr, A. N., El Sohaimy, S. A., Asker, D., and Awad, T. S. 2019. Characterization of antifungal metabolites produced by novel lactic acid bacterium and their potential application as food biopreservatives. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(1): 71-78.
- Therdthai, N., Zhou, W., and Adamczak, T. 2002. Optimisation of the temperature profile in bread baking. *Journal of Food Engineering*, 55(1): 41-48.
- Tieking, M., and Gänzle, M. G. 2005. Exopolysaccharides from cereal-associated lactobacilli. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3): 79-84.
- Torkamani, M. G., Razavi, S. H., and Gharibzahedi, S. M. T. 2015. Critical quality attributes of Iranian 'Taftoon' breads as affected by the addition of rice bran sourdough with different lactobacilli. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(3): 305-311.



Original Research

## **Effect of baking by infrared radiation-superheated vapor system on control of mouldiness in the wheat bread containing rice-bran sourdough**

**Alireza Sadeghi\*, Mahdi Pourrashidi, Aman mohammad Ziaiifar, Mohammad Ghorbani, Zohreh Mokhtari,**

**\* Corresponding Author:** Associate professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

**Email:** sadeghi.gau@gmail.com

**Received:** 10 January 2022 **Accepted:** 4 June 2022

**http://doi:** 10.22092/FOODER.2024.357439.1325

### **Abstract**

Simultaneous application of modern baking methods with fermented substrates is of great importance in controlling bread mouldiness. In the present study, predominant LAB was isolated from rice bran sourdough and after molecular identification, it was used as a starter culture in sourdough bread processing. In the next step, effect of using oven-infrared radiation, oven-supersaturated vapor and oven baking systems was investigated on the inhibition of surface mouldiness in produced breads. Sequencing results of the PCR products led to the identification of *Pediococcus acidilactici*. The lowest level of surface mouldiness with 27.06% was observed in bread containing controlled fermented rice bran baked in an oven-supersaturated vapor, which was significantly ( $P \leq 0.05$ ) lower than the control sample. Wheat breads containing rice bran sourdough in all the three baking processes had less fungal surface expansion and more porosity, compared to the control bread. The highest amount of crumb hardness was belonged to wheat bread containing controlled fermented rice bran and baked with oven-supersaturated vapor, and the lowest hardness was related to the control bread baked with this process. The overall acceptability of the produced breads did not differ much from each other, and there was mainly no significant difference among them. Considering the appropriate techno-functional capabilities of the LAB isolated from fermented rice bran, it can be used as a protective starter culture in the fermentation industry. Using the infrared process in bread baking can be useful due to the relatively high baking speed and low energy consumption, antifungal effect and uniform heating.

**Keywords:** Infrared baking, Controlled fermented rice bran, Antifungal effect.

