www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۵، جلد ۵، شماره ۲، صفحات ۱۷۰-۱۵۳
Doi:10.22101/JRIFST.2016.09.17.524

JRIFST

مقایسهٔ اثر درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش حاوی کشت آغازگر اختصاصی (*لاکتوباسیلوس پلانتاروم*) بر کیفیت نان بربری تولیدی با آردهای دارای دو درجه استخراج مختلف

علیرضا صادقی[1*]، عباس عابدفر[2]

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* نویسنده مسئول (sadeghi.gau@gmail.com)
۲- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۰۳

واژه‌های کلیدی
آغازگر خمیرترش
بیاتی
تخلخل
درجهٔ استخراج آرد
نان بربری

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مقدار شکر (۰/۵، ۱، ۱/۵ درصد) و زمان تخمیر (۸، ۱۶، ۲۴ ساعت) خمیرترش حاوی کشت آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی نان بربری حاصل از آردهای گندم سبوس گرفته و ستاره با دو درجه استخراج مختلف (۶۹ و ۷۶) به اجرا در آمد. تأثیر عوامل مذکور در تخمیر خمیرترش حاصل از این دو نوع آرد گندم در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش دو نوع آرد مصرفی داشت. پس از فراوری نان‌های بربری با استفاده از تیمارهای خمیرترش، سفتی بافت (بافت‌سنجی) و میزان تخلخل (پردازش تصویر) نان‌های تولیدی نیز در یک بازهٔ زمانی چهار روزه بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل، کمترین و بیشترین میزان سفتی بافت پس از ۹۶ ساعت نگهداری به ترتیب مربوط به نان بربری فراوری شده با آرد ستاره و خمیرترش حاصل از تخمیر ۲۴ ساعت و دارای ۱ درصد شکر و همچنین نان بربری فراوری شده با آرد سبوس گرفته و خمیرترش حاصل از تخمیر ۲۴ ساعت و دارای ۱/۵ درصد شکر بود. روند تغییرات تخلخل و حجم مخصوص نان بربری حاصل از آرد ستاره نیز نسبت به نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته بیشتر و پذیرش کلی آن کمتر بود.

مقدمه

تمایل به مصرف فراورده‌های نانوایی حاوی حداقل میزان نگهدارنده‌ها و بهبود دهنده‌های شیمیایی، روزبه‌روز در حال افزایش می‌باشد. یکی از مناسب‌ترین جایگزین‌ها برای این ترکیبات نیز خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی است (Schnurer, 2005) که سبب افزایش قابلیت ماندگاری و بهبود خصوصیات حسی محصول تولیدی می‌گردد (Spicher, 1983). نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که خمیرترش دارای کشت آغازگر اختصاصی ضمن افزایش کیفیت و زمان ماندگاری نان (Katina, 2005)، در بهبود ارزش تغذیه‌ای این فراورده و ارتقای قابلیت‌های

سلامتی‌بخش آن نیز مؤثر می‌باشد (Clarke & Arendt, 2005). خمیرترش یک سیستم بیولوژیکی بسیار پیچیده است که اساس تشکیل آن همزیستی بین فلور میکروبی آرد و کشت‌های تجاری *لاکتوباسیلی*[1] می‌باشد که به‌عنوان آغازگر اختصاصی و به دلایل خاصی نظیر بهبود آروما، طعم، زمان ماندگاری، ارزش تغذیه‌ای و یا حتی ایجاد خواص سلامتی‌بخش در فرایند تخمیر نان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Devuyst & Neysens, 2005). تخمیر خمیرترش بر پایهٔ تخمیر لاکتیکی و الکلی است و به میزان زیادی تحت تأثیر فلور میکروبی آن و شرایط تخمیر قرار می‌گیرد. خمیرترش با ممانعت از فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز آرد، میزان هیدرولیز نشاسته را کاهش می‌دهد که این امر، آزادسازی دکسترین‌های با وزن مولکولی پایین را محدود کرده و سبب کاهش کریستالیزه شدن نشاسته و کاهش بیاتی نان می‌گردد (Katina *et al*., 2004؛ Arendt *et al.*, 2007). تاثیر تخمیر خمیرترش بر بهبود طعم نان نیز بر پایهٔ سه عامل اصلی تولید اسید، تولید پیش‌ماده‌های طعمی نظیر اسیدهای آمینه و تولید ترکیبات فرار، استوار است (Clarke *et al*., 2002). باکتری‌های اسید لاکتیک از قابلیت تولید ترکیبات ضدمیکروبی نظیر اسیدهای آلی، دی استیل، استون، پراکسید هیدروژن، پپتیدهای ضدقارچی و باکتریوسین‌ها نیز برخوردارند که در مقابل طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا و مولد فساد مؤثر می‌باشند (Galvez *et al*., 2007; Meignen *et al*., 2001). برخی از متابولیت‌های تولیدی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک موجود در خمیرترش نظیر پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی و آنزیم‌های پروتئولیتیک و آمیلولیتیک آنها نیز در تأخیر بیاتی نان تولیدی مؤثر هستند (Crowely *et al*., 2003; Katina *et al*., 2006). Dal Bello و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر تخمیر خمیرترش بر روی ویژگی‌های نان دریافتند که با کنترل تخمیر می‌توان حجم، بافت و طعم محصول تولیدی را بهبود بخشید، از فسادهای قارچی و باکتریایی نان ممانعت نمود و همچنین بیاتی آن را به تأخیر انداخت. Crowely و همکاران (۲۰۰۳) نیز عملکرد اگزوپلی‌ساکاریدهای تولیدی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک در حین تخمیر خمیرترش که با افزایش میزان جذب آب همراه بود را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که این ترکیبات باعث جلوگیری از انتقال رطوبت از مغز به پوستهٔ نان و به تعویق انداختن بیاتی آن می‌گردند. علاوه‌براین ترکیبات مذکور، تأثیر قابل‌توجهی در افزایش حجم و بهبود زمان ماندگاری نان داشتند. تاکنون پژوهش‌هایی نیز در کشور به‌منظور ارزیابی عوامل مؤثر در تخمیر خمیرترش بر زمان ماندگاری و خصوصیات کیفی نان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، سرافراز و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی خصوصیات اسیدی شدن کشت‌های آغازگر مختلف در تخمیر خمیرترش مایع و انتخاب مایه تلقیح مناسب بر اساس خصوصیات کیفی و ماندگاری نان تولیدی پرداختند. محققین مذکور دریافتند که مایه تلقیح حاوی *لاکتوباسیلوس کازئی*[2]، *لاکتوباسیلوس فرمنتوم*[3] و *ساکارومایسس سرویزیه*[4] در مقایسه با نمونهٔ شاهد باعث افزایش سرعت اسیدی شدن در خمیرترش مایع و همچنین افزایش حجم مخصوص نان تولیدی گردیده اما بیاتی آن در مقایسه با استفاده از آغازگر *لاکتوباسیلوس کازئی* و *ساکارومایسس سرویزیه* سریع‌تر اتفاق می‌افتد. صادقی و همکاران (۱۳۸۷) نیز تأثیر استفاده از خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس سانفرانسینسیس*[5] را بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسّی و همچنین کاهش بیاتی در نان بربری به‌عنوان تابعی از شرایط تخمیر (دما، زمان و نوع کشت آغازگر) موردِمطالعه قرار داده‌اند. بر اساس یافته‌های پژوهش مذکور، سویه‌های میکروبی مورد استفاده در صورت کنترل شرایط تخمیر می‌توانند به شکل معنی‌داری، بیاتی، سفتی بافت، فساد قارچی و باکتریایی نان بربری را در مقایسه با نمونهٔ شاهد، کاهش داده و سبب بهبود حجم مخصوص پس از پخت، تخلخل، احساس دهانی، عطروطعم و درنهایت پذیرش کلی آن شوند. پیغمبردوست و همکاران (۱۳۸۹) نیز به مقایسهٔ اثرات

[1] *Lactobacilli*

[2] *Lactobacillus casei*
[3] *Lactobacillus fermentum*
[4] *Saccharomyces cerevisiae*
[5] *Lactobacillus sanfransicenis*

خمیرترش خشک و تازه حاوی آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس روتری* بر ویژگی‌های حسی و بیاتی نان قالبی پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهشگران، نان حاصل از خمیرترش خشک حاوی *لاکتوباسیلوس روتری*، بیشترین حجم و مطلوب‌ترین صفات حسّی را در مقایسه با نان تهیه شده توسط *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* دارا بود. همچنین کمترین میزان سفتی مغز نان در نمونهٔ حاصل از خمیرترش تازه و خشک حاوی *لاکتوباسیلوس روتری* نسبت به نمونه‌های دیگر مشاهده شد. خراسانچی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به بررسی استفاده از *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*[1] و *لاکتوباسیلوس روتری*[2] به‌عنوان آغازگر اختصاصی در تهیهٔ خمیرترش پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهشگران، استفاده از خمیرترش حاوی *لاکتوباسیلوس روتری* باعث تولید نان حجیمی با خصوصیات حسی بهتر، نرخ بیاتی پایین‌تر و زمان ماندگاری بیشتر نسبت به نان تهیه شده با *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* شد. هدف اصلی از انجام این پژوهش، مقایسهٔ ویژگی‌های نان‌های بربری حاصل از آردهای ستاره و سبوس گرفته گندم تحت تأثیر درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش دارای کشت آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* جدا شده از یک نمونه خمیرترش سنّتی بود.

مواد و روش‌ها

مواد خام

آردهای گندم مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه آرد زاهدی استان گلستان تهیه شد (۱۳۸۱). سپس خصوصیات آردهای مصرفی بر اساس روش‌های مدون (AACC، ۲۰۱۰: روش‌های آزمون ۱۹-۴۴ رطوبت، ۱۰-۴۶ پروتئین، ۱۲-۳۸ گلوتن، ۰۱-۰۸ خاکستر) تعیین گردید. مخمر خشک فعال *ساکارومایسس سرویزیه* از شرکت ایران ملاس فریمان تهیه گردید. محیط‌های کشت مصرفی شامل MRS Broth، MRS Agar، Nutrient Broth، Nutrient Agar و Potato Dextrose Agar (PDA) نیز از شرکت‌های مرک آلمان و آکومدیای آمریکا تأمین شدند. مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش نیز از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

تأمین آغازگر اختصاصی خمیرترش و فعال‌سازی آن

آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* مورد استفاده در این پژوهش از تک پرگنه کشت خطی جدایه‌های سوسپانسیون میکروبی خمیرترش حاصل از آرد کامل گندم که با توالی‌یابی محصولات PCR دارای پرایمر اختصاصی، تأیید شناسایی گردیده بود، تأمین شد. شایان ذکر است که آغازگر مذکور در پژوهش پیشین به نحو مؤثری در به تأخیر انداختن بیاتی نان‌های قالبی حاصل از آرد کامل گندم مؤثر بود (عابدفر و همکاران، ۱۳۹۵).

تهیهٔ تیمارهای خمیرترش

برای تهیهٔ خمیرترش با آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، باکتری مذکور در محیط کشت MRS Broth در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا ایجاد 10^8 واحد تشکیل دهندهٔ پرگنه در گرم (در مقایسه با لوله ۰/۵ مک فارلند) کشت داده شد. سپس با سانتریفوژ زیست‌توده تولیدی در g ۵۰۰۰ (هانیل[3]، Combi 514R، کره جنوبی)، ۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه، سلول‌های تازه میکروبی از محیط کشت جدا گردید (Dal Bello *et al*., 2007). تیمارهای خمیرترش دارای کشت آغازگر اختصاصی مذکور با تأثیر زمان‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت تخمیر و همچنین مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد شکر تهیه شدند.

ارزیابی میزان pH و اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش

سوبسترای تشکیل شده از آب و آرد با راندمان ۳۰۰ با آغازگر خالص شده به میزان 10^8 باکتری در هر گرم خمیر تلقیح گردید. فرایند تخمیر در گرمخانهٔ شیکردار (فراز طب تجهیز، مدل Vs-8480، ایران) در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد با دور همزن ۳۰۰ rpm تا رسیدن به pH=۴/۳۳ صورت گرفت (Gaggiano *et al*., 2007). روند تغییرات pH خمیرترش با استفاده از

[1] *Lactobacillus plantarum*
[2] *Lactobacillus reuteri*
[3] Hanile

دستگاه pHمتر (کنیک[1] ۷۶۶، آلمان) ارزیابی گشت و برای تعیین اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش (برحسب اسید لاکتیک)، معادل ۱۰ گرم از خمیرترش مورد نظر با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر، مخلوط و یکنواخت گردید. سپس محلول مذکور با NaOH دارای نرمالیته ۰/۱ تا pH معادل ۸/۵ تیتر شد و اسیدیته برحسب میلی‌لیتر NaOH مصرفی محاسبه گردید (Katina, 2005).

تهیهٔ نان‌های خمیرترشی و نان فاقد خمیرترش

برای تهیهٔ نان فاقد خمیرترش (شاهد) از مخلوط آرد، آب و ۱/۵ درصد وزنی از مخمر خشک فعال *ساکارومایسس سرویزیه* استفاده شد (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۱). درصد استخراج آردهای گندم سبوس گرفته و ستاره به ترتیب معادل ۶۹ و ۷۶ بود و شرایط مخلوط کردن برای تهیهٔ خمیر نان‌های بربری حاصل از آردهای مذکور با استفاده از فارینوگراف (برابندر، آلمان) تعیین گردید. خمیر نان شاهد، فاقد خمیرترش بود و مرحلهٔ نخست تخمیر این مخلوط در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه و تخمیر نهایی آن پس از تقسیم کردن و شکل دادن به قطعات ۱۵۰ گرمی در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ الی ۹۰ دقیقه صورت پذیرفت. سپس نمونه‌های تولیدی در دمای ۵ ±۲۴۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷ الی ۱۰ دقیقه در فر پخت (مدل Leisure، ایتالیا)، پخته شدند (Meignen *et al*., 2001). برای تهیهٔ نان خمیرترشی نیز نسبت ۲۵ درصد وزنی از خمیرترش به خمیر مشابه نمونهٔ شاهد افزوده شد و سپس تحت شرایط یکسان تخمیر و پخت با نمونهٔ شاهد، فراوری گردید. مقدار خمیرترش مذکور قبل از تخمیر نهایی به خمیر نان افزوده شد (Katina *et al*., 2007).

ارزیابی سفتی بافت نان‌های تولیدی

برای تعیین تغییرات سفتی بافت نان‌های تولیدی به‌عنوان معیار بیاتی از آزمون بافت‌سنجی استفاده شد. بدین‌منظور آزمون نفوذ در نمونه‌ها به‌وسیلهٔ دستگاه بافت‌سنج (مدل TAXT Plus Stable Micro System، انگلستان)، با پروب استوانه‌ای به قطر ۱/۲۷ سانتی‌متر، سرعت پروب ۱ میلی‌متر در ثانیه و نقطهٔ شروع ۵۰ گرم انجام گرفت. نیروی لازم جهت ایجاد ۵۰ درصد فشردگی در ضخامت اولیه با رسم منحنی نیرو-فاصله، به‌عنوان سفتی بافت مغز نان اندازه‌گیری گردید. برای هر نمونه نان تولیدی، آزمون مذکور با سه تکرار در دمای اتاق انجام شد. تعیین میزان سفتی بافت مغز نان‌های تولیدی در تناوب‌های زمانی ۲، ۴۸ و ۹۶ ساعت پس از پخت برای تخمین بیاتی آنها موردِارزیابی قرار گرفت (Pedreschi *et al*., 2001).

اندازه‌گیری میزان تخلخل مغز نان

برای ارزیابی میزان تخلخل مغز نان در فواصل زمانی ۲، ۴۸ و ۹۶ ساعت پس از پخت، از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین‌منظور برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از مغز نان تهیه گردید و به‌وسیلهٔ اسکنر (مدل Scanject 3110، چین) با وضوح ۳۰۰ پیکسل، تصویربَرداری شد. سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. تصاویر موجود در این نرم‌افزار، مجموعه‌ای از نقاط تاریک و روشن است که با محاسبهٔ نسبت نقاط روشن به تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل در نمونه‌ها برآورد می‌گردد (Data *et al*., 2007).

اندازه‌گیری میزان حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نان‌های تولیدی در فواصل زمانی ۲، ۴۸ و ۹۶ ساعت پس از پخت، به‌طور جداگانه و در شرایط معین (درون بسته‌های استریل پلی‌اتیلنی درب‌دار و دمای گرمخانه‌گذاری ۲۸ درجه سانتی‌گراد در گرمخانهٔ مدل بهداد، ایران) به روش جایگزینی دانهٔ کلزا (بر اساس استاندارد A-A-20126E METRIC) تعیین و با نمونهٔ شاهد مقایسه گردید. نمونه‌های مورد استفاده دارای وزن یکسان بوده و از مرکز هندسی نان تهیه شدند (Katina, 2005).

ارزیابی خصوصیات حسی نان‌های تولیدی

خصوصیات حسی نان‌های تولیدی در حالت تازه‌خوری یا دو ساعت پس از پخت، از طریق آزمون چشایی بر اساس روش AOAC, 2003 ارزیابی شد. ده داور از بین افراد آموزش دیده، خصوصیات نان‌های تولیدی را

[1] Knick

جهت تعیین میزان پذیرش کلی، رنگ پوستهٔ نان، قابلیت جویدن، سفتی بافت، طعم اسیدی، تخلخل و خاصیت ارتجاعی بر مبنای مقیاس ۵-۱ (۱ کمترین و ۵ بالاترین امتیاز) ارزیابی کردند.

آنالیز آماری نتایج

نتایج حاصل از این پژوهش بر اساس طرح آماری پایه کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل، در سه تکرار جهت ارزیابی اسیدیتهٔ قابل تیتر و pH خمیرترش و همچنین طرح کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در سه تکرار برای آنالیزهای بافت‌سنجی، تخلخل و حجم مخصوص با استفاده از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹.۱)، Microsoft Office Excel (۲۰۱۳)، Design expert و Curve expert مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) و آزمون دانکن در سطح ۹۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

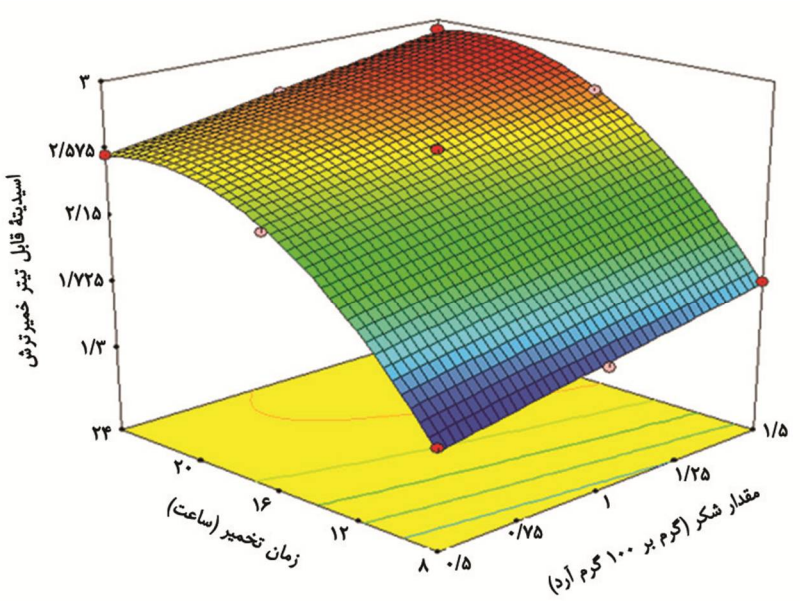
ارزیابی میزان pH و اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش‌های تولیدی از آردهای ستاره و سبوس گرفتهٔ گندم

خصوصیات آردهای مورد استفاده برای تهیهٔ خمیرترش در این پژوهش، در جدول ۱ ارائه شده است. روند تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر و pH خمیرترش به‌عنوان تابعی از زمان تخمیر و مقدار شکر در خمیرترش حاصل از آرد ستاره و سبوس گرفتهٔ گندم نیز به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. براین‌اساس با افزایش زمان تخمیر در محدودهٔ ۸ تا ۲۴ ساعت و افزایش مقدار شکر در محدودهٔ ۰/۵ تا ۱/۵ درصد در دمای ثابت تخمیر (۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد) با تلقیح *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، اسیدیتهٔ قابل تیتر هر دو خمیرترش با روند مشخصی افزایش و pH آنها کاهش یافت. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات اسیدیته در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش دارند. همچنین تأثیر زمان تخمیر بر روند تغییرات pH بیشتر از تأثیر درصد شکر بود. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش بر روند تغییرات pH در سطح ۵ درصد نیز رابطهٔ معنی‌داری را با گذشت زمان تخمیر در یک مقدار ثابت شکر تأیید نمود (شکل ۲).

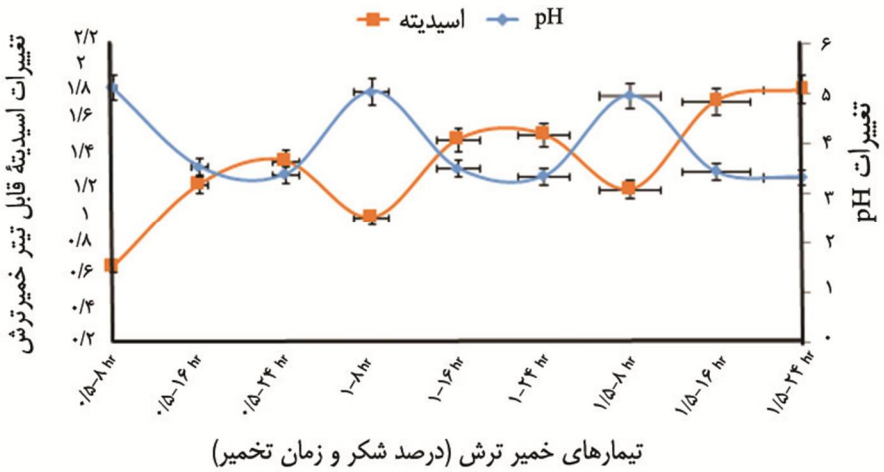
بیشترین و کمترین مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش به ترتیب در نمونه‌های حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر و همچنین ۸ ساعت تخمیر و محتوی ۰/۵ درصد شکر در آرد ستاره مشاهده گردید. بر اساس مقایسهٔ صورت گرفته بین دو نوع آرد مذکور، خمیرترش تهیه شده از آرد ستاره به دلیل درصد خاکستر، میزان پروتئین و درصد جذب آب بیشتر، نسبت به خمیرترش تهیه شده از آرد سبوس گرفته، اسیدیتهٔ قابل تیتر (برحسب اسید لاکتیک) بیشتری داشت. این نتایج با یافته‌های Meignen و همکاران (۲۰۰۱) و Katina (۲۰۰۵)، همخوانی دارد. براین‌اساس، در شرایطی که با افزایش زمان تخمیر، pH کاهش می‌یابد معمولاً حضور *لاکتوباسیلوس‌های* هموفرمنتاتیو محتمل‌تر است.

جدول ۱- خصوصیات آردهای مورد استفاده

نوع آرد	درصد استخراج	درصد رطوبت	درصد پروتئین	درصد گلوتن مرطوب	اسیدیته	درصد خاکستر
سبوس گرفته	۶۹	۱۴/۲	۱۰/۵	۳۰/۵	۲/۴	۰/۵۸
ستاره	۷۶	۱۳/۸۰	۱۰/۹۰	۲۵/۸۵	۳/۵	۰/۷۵



شکل ۱- بررسی تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر (برحسب اسید لاکتیک) تحت تأثیر زمان تخمیر و مقدار شکر در خمیرترش حاصل از آرد ستاره.



شکل ۲- بررسی تغییرات pH و اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش حاصل از آرد سبوس گرفته (برحسب اسید لاکتیک) تحت تأثیر زمان تخمیر و درصد شکر.

بر اساس نتایج تحقیقات Barber و همکاران (۱۹۹۲)، تغییرات بیوشیمیایی در حین تخمیر خمیرترش مانند تولید اسید، پروتئولیز، تولید متابولیت‌های خارج سلولی و تغییر در ترکیبات سوبسترا بر رئولوژی خمیر مؤثر بوده و درنهایت بر روی طعم نان نیز تأثیر می‌گذارد.

ارزیابی سفتی بافت نان‌های تولیدی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی بافت مغز نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره تولید شده توسط تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دورهٔ نگهداری (۲، ۴۸ و ۹۶ ساعت پس از پخت) در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نیروی لازم برای فشردن نان با گذشت زمان افزایش می‌یابد. براین‌اساس، تأثیر زمان تخمیر خمیرترش در مقدار ثابت شکر و همچنین تأثیر درصد شکر در زمان ثابت تخمیر در طی بازهٔ نگهداری چهار روزه بر سفتی بافت نان بربری حاصل از آرد ستاره، معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) بود. در بین نمونه‌های تولیدی، کمترین مقدار سفتی

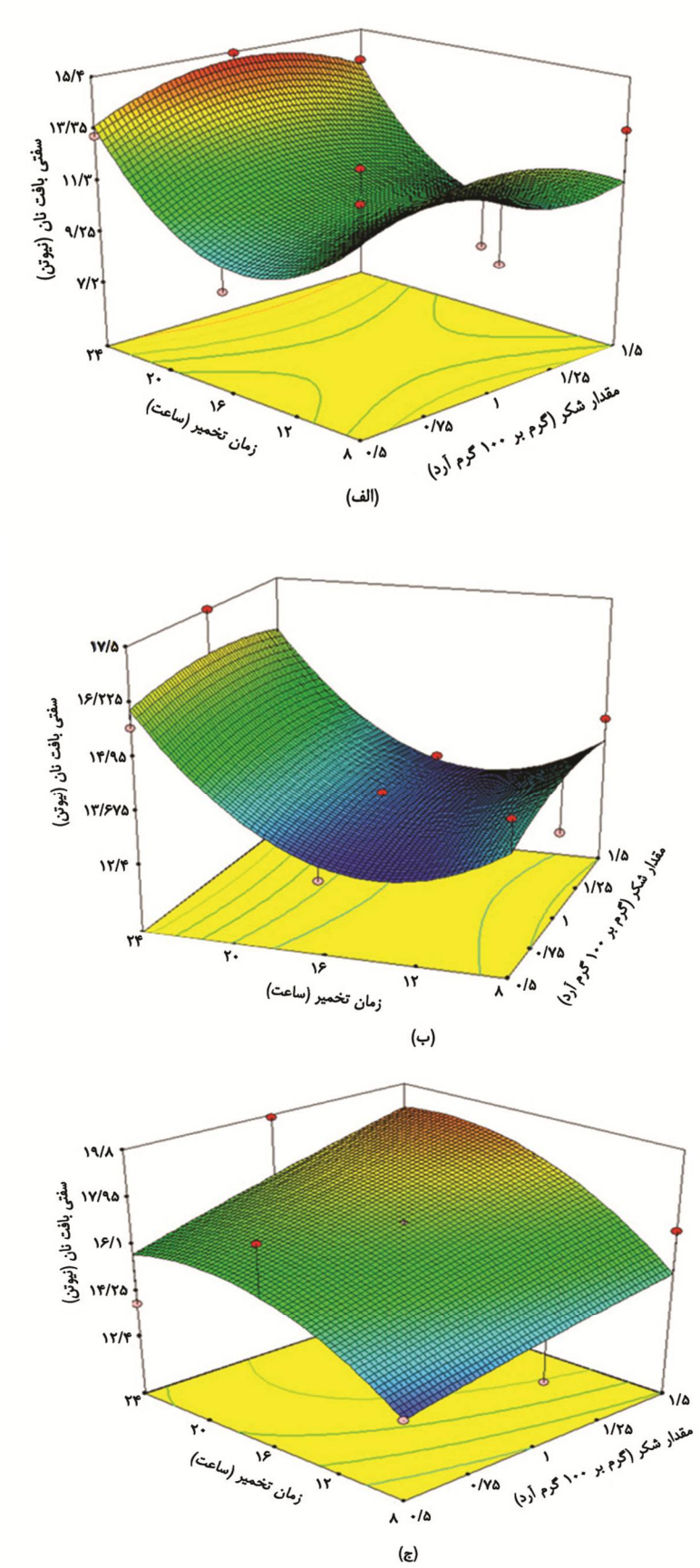
بافت در نمونهٔ فراوری شده طی ۸ ساعت تخمیر و مقدار ۰/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت (تازه‌خوری) مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سفتی بافت در بین نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره در نمونهٔ فراوری شده طی ۱۶ ساعت تخمیر و مقدار ۱ درصد شکر، ۹۶ ساعت پس از پخت مشاهده گردید. شایان ذکر است که سفتی بافت مغز تمام نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره فراوری شده با خمیرترش به مراتب کمتر از نان بربری حاصل از آرد ستاره فاقد خمیرترش بود. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات سفتی بافت نان نیز نشان داد که در شرایط اعمال شده در این پژوهش، درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات سفتی بافت نان بربری حاصل از آرد ستاره دارند.

جدول ۲- ارزیابی تغییرات سفتی بافت نان بربری حاصل از آرد ستاره تحت تأثیر مقدار شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طول زمان نگهداری

درصد شکر	زمان تخمیر	تخلخل مغز نان در طول نگهداری (برحسب درصد)		
		۲ ساعت	۴۸ ساعت	۹۶ ساعت
۰	۰	۱۳/۷۱۷±۱/۲۶۳^{a}	۱۶/۹۳۶±۵/۶۶۵^{a}	۱۷/۱۹۲±۲/۴۶۹^{a}
	۸	۴/۲۶۴±۰/۴۸۲^{f}	۵/۵۹۲±۰/۷۴۵^{de}	۷/۴۹۴± ۰/۹۳۳^{de}
۰/۵	۱۶	۷/۷۴۷±۰/۵۰۹^{bc}	۸/۴۲۱±۰/۰۹۶^{c}	۹/۸۶۶±۱/۸۵۰^{cd}
	۲۴	۵/۹۵۲±۱/۰۲۹^{d}	۶/۳۶۷±۰/۵۶۰^{de}	۸/۷۳۷±۰/۳۵۹^{de}
	۸	۵/۵۰۲±۰/۳۲۸^{de}	۶/۴۱۷±۰/۸۴۸^{de}	۹/۰۲۰±۰/۷۹۰^{d}
۱	۱۶	۱۰/۷۰۵±۲/۹۹۴^{a}	۱۱/۶۹۲±۳/۸۷۷^{b}	۱۳/۴۲۵±۱/۸۰۶^{b}
	۲۴	۴/۵۶۵±۰/۵۴۹^{ef}	۵/۰۹۴±۰/۶۵۴^{e}	۵/۹۲۰±۰/۲۶۳^{e}
	۸	۷/۳۸۷±۰/۵۴۴^{c}	۷/۳۸۰±۰/۳۶۴^{cd}	۸/۱۰۷±۱/۶۱۳^{de}
۱/۵	۱۶	۹/۳۲۷±۱/۱۶۹^{b}	۱۰/۰۶۴±۱/۷۵۸^{bc}	۱۲/۳۹۰±۱/۷۷۸^{bc}
	۲۴	۷/۲۵۱±۰/۴۰۵^{cd}	۷/۹۹۱±۰/۶۸۷^{cd}	۹/۹۶۲±۲/۳۲۴^{c}

حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ($P\leq$۰/۰۵) می‌باشد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی بافت مغز نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفتهٔ تولید شده توسط تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دورهٔ نگهداری نیز در شکل (۳) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نیروی لازم برای فشردن نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته با گذشت زمان افزایش یافت. براین‌اساس، تأثیر زمان تخمیر خمیرترش در مقدار ثابت شکر و همچنین تأثیر درصد شکر در زمان ثابت تخمیر در زمان‌های نگهداری ۴۸ و ۹۶ ساعت بر سفتی بافت نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته، معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) بود اما در نان تازه‌خوری این روند مشاهده نگردید. در بین نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته نیز کمترین مقدار سفتی بافت در نمونهٔ فراوری شده طی ۱۶ ساعت تخمیر و مقدار ۱/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سفتی بافت در نمونهٔ فراوری شده طی ۲۴ ساعت تخمیر و مقدار ۱/۵ درصد شکر، ۹۶ ساعت پس از پخت مشاهده گردید. سفتی بافت مغز نان تمام نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته فراوری شده با خمیرترش نیز به مراتب کمتر از نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته فاقد خمیرترش بود. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات سفتی بافت نان در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که در شرایط اعمال شده در این پژوهش، درصد شکر و زمان ماندگاری، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات سفتی بافت نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته دارند. باتوجه‌به تحقیقات Martin & Hoseney (۱۹۹۱) پس از متورم شدن نشاسته در حین پخت، پیوندهای عرضی ایجاد شده بین نشاسته و گلوتن در طی نگهداری نان و کاهش انرژی جنبشی باعث تغییرات فیزیکوشیمیایی و سفتی بافت مغز نان می‌گردد.



شکل۳- ارزیابی تغییرات سفتی بافت نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته تحت تأثیر درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طول زمان نگهداری (الف: ۲ ساعت، ب: ۴۸ ساعت و ج: ۹۶ ساعت پس از پخت).

Hammes و Brandt (۲۰۰۵) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های اسید لاکتیک در خمیرترش، اثرات مثبتی بر بیاتی نان داشته و حجم قرص نان را بهبود می‌بخشد که با کاهش سرعت بیاتی آن، ارتباط دارد. اثرات ضدبیاتی خمیرترش، به سویهٔ آغازگر مورد استفاده و نحوهٔ کاهش pH نیز بستگی دارد. پیغمبردوست و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی سفتی بافت مغز نان حاصل از خمیرترش تازه و خشک طی ۴ روز نگهداری با دستگاه اینستران نشان دادند که میزان سفتی مغز نان تهیه شده از خمیرترش خشک حاوی *لاکتوباسیلوس روتری* پس از ۷۲ ساعت نگهداری، به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود. بلوریان و همکاران (۱۳۸۷) نیز با ارزیابی تأثیر خمیرترش حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر شاخص بیاتی در طول یک هفته نگهداری دریافتند که تیمار ۱۵ درصد خمیرترش، دارای کمترین تغییرات کیفی بود. محققین مذکور علت این پدیده را به تولید اسید لاکتیک بیشتر و افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز نسبت دادند که سبب تجزیهٔ نشاسته به دکسترین‌های با وزن مولکولی پایین می‌گردد. Gaggiano و همکاران (۲۰۰۷) با مدل‌سازی فعالیت کشت‌های آغازگر اختصاصی در حین تخمیر خمیرترش نشان دادند که به موازات افزایش زمان تخمیر، اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش نیز افزایش یافته و سبب ایجاد تغییراتی در رفتار گلوتن می‌گردد که یکی از دلایل اصلاح رئولوژی خمیر و تغییرات بافتی در نان حاصل از خمیرترش محسوب می‌شود. مقایسهٔ سفتی بافت مغز نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره و آرد سبوس گرفتهٔ گندم توسط تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دورهٔ نگهداری چهار روزه نشان داد که نیروی لازم برای فشردن نان با گذشت زمان افزایش یافت و در بین نمونه‌های تولیدی حاصل از دو نوع آرد گندم، کمترین مقدار سفتی بافت در نان بربری فراوری شده با آرد ستاره طی ۸ ساعت تخمیر و مقدار ۰/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سفتی بافت در نان بربری فراوری شده با آرد سبوس گرفته طی ۲۴ ساعت تخمیر و مقدار ۱/۵ درصد شکر، ۹۶ ساعت پس از پخت مشاهده گردید. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات سفتی بافت نان‌های بربری خمیرترشی حاصل از آرد سبوس گرفته و آرد ستاره در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که در شرایط اعمال شده در این پژوهش، درصد شکر، زمان تخمیر و زمان ماندگاری، تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات سفتی بافت نان دارند. براین‌اساس، تیمارهای خمیرترش تأثیر بسزایی در به تأخیر انداختن بیاتی نان‌های تولیدی طی زمان نگهداری در مقایسه با نمونهٔ شاهد داشتند. مقدار نیروی لازم برای فشردن بافت نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته تحت تأثیر تغییرات محتوی شکر در یک زمان ثابت تخمیر در حالت تازه‌خوری از روند مناسبی پیروی نکرده و نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش محسوسی نداشت. درحالی‌که تأثیر مقدار شکر در زمان ثابت تخمیر، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات سفتی بافت نان طی مدت ۴۸ و ۹۶ ساعت نگهداری داشت. همچنین تأثیر زمان تخمیر در یک مقدار ثابت شکر در سفتی بافت مغز نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته در نمونهٔ تازه‌خوری مشهود نبود اما در طی بازهٔ نگهداری چهار روزه، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات سفتی بافت این نان نشان داد.

علاوه‌براین، نیروی لازم برای فشردن بافت نان بربری حاصل از آرد ستاره تحت تأثیر زمان تخمیر در مقدار ثابت شکر، روند کاهشی داشت. براین‌اساس، زمان تخمیر خمیرترش در طی بازهٔ نگهداری چهار روزه تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات سفتی بافت نان داشت. همچنین مقدار نیروی لازم برای فشردن بافت نان بربری حاصل از آرد ستاره تحت تأثیر تغییرات محتوی شکر در یک زمان ثابت تخمیر نیز نسبت به نمونهٔ شاهد، روند کاهشی داشت. براین‌اساس، تغییرات محتوی شکر در خمیرترش در طی بازهٔ نگهداری چهار روزه تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر میزان تغییرات سفتی بافت نان نشان داد.

به‌طورکلی زمانی که بافت نان فشرده می‌گردد حباب‌های تولید شده در ساختار درونی نان مقاومت کمی داشته و نمی‌توانند گاز تولیدی را در شبکه گلوتنی به دام بیندازند لذا دی‌اکسیدکربن در نان به‌طور مناسب توزیع نمی‌گردد. زمانی که اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش تا حدی افزایش یابد ساختمان گلوتن خمیر، تقویت شده و متعاقباً کشش‌پذیری آن

بیشتر می‌گردد که این امر نگهداری گاز را افزایش داده و باعث تأخیر در سفت شدن بافت نان می‌گردد. در آرد ستاره گندم، بیشترین میزان اسیدیتهٔ قابل تیتر و کمترین سفتی بافت نان مشاهده شد که با نتایج Barber و همکاران (۱۹۹۲) همخوانی دارد.

Lacaze و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Arendt و همکاران (۲۰۰۷) در این خصوص، نتایج مشابهی به دست آورده‌اند. در پژوهش‌های مذکور به دنبال افزایش زمان تخمیر بخصوص در کشت‌های آغازگر حاوی گونه‌های *لاکتوباسیلوس* هموفرمنتاتیو، سفتی بافت نان تولیدی به مراتب نسبت به نمونهٔ شاهد کمتر بود. البته در کشت‌های آغازگر حاوی گونه‌های *لاکتوباسیلوس* هتروفرمنتاتیو به دلیل تغییر در تولید متابولیت‌های اصلی و افزایش تولید ترکیبات فرار در مورد گونه‌های مختلف، نتایج متفاوتی مشاهده شده است (Thiele *et al*., 2002).

بررسی روند تغییرات سفتی بافت نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره و آرد سبوس گرفته در طول زمان انبارمانی نشان داد که سفتی بافت اکثر نمونه‌ها از نمونهٔ شاهد کمتر بود. این روند در نمونهٔ حاصل از ۸ ساعت تخمیر مشاهده نشد که دلیل اصلی آن را می‌توان به تخمیر ناقص و عدم تولید متابولیت‌های میکروبی در طی فرایند تخمیر در این زمان تخمیر نسبت داد (Corsetti *et al*., 1998). Crowely و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی عملکرد متابولیت‌های میکروبی تولید شده توسط باکتری‌های اسید لاکتیک در حین تخمیر خمیرترش دریافتند که این ترکیبات، مانع انتقال رطوبت از مغز به پوستهٔ نان و به تعویق انداختن بیاتی آن می‌گردند. علاوه‌براین، ترکیبات مذکور، تاثیر قابل‌توجهی در افزایش حجم، کاهش سفتی بافت و بهبود زمان ماندگاری نان داشتند. همچنین Siljestrom و همکاران (۱۹۸۸) گزارش کردند فلور میکروبی خمیرترش با تأثیر بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز آرد باعث کاهش هیدرولیز نشاسته و آزاد شدن محدود دکسترین‌های دارای وزن مولکولی پایین می‌شوند که تمایل کمتری به برگشت به عقب دارند. به‌طورکلی در مقادیر اسیدی شدن پایین‌تر و زمان تخمیر طولانی‌تر، هیدرولیز نشاسته در نان حاصل از خمیرترش بیشتر از نان تهیه شده با مخمر نانوائی صورت گرفته و لذا بافت نرم‌تری حاصل می‌گردد. البته سویهٔ باکتری مورد استفاده نیز حائز اهمیت است به‌نحوی که آغازگرهای مختلف از بین باکتری‌های اسید لاکتیک، دارای تأثیر متفاوتی در به تأخیر انداختن بیاتی نان هستند (Corsetti *et al*., 1998).

ارزیابی میزان تخلخل مغز نان تولیدی

نتایج آنالیز واریانس تغییرات تخلخل بافت مغز نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته تحت تأثیر تیمارهای درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طول زمان نگهداری ۴ روزه در جدول ۳ ارائه شده است. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات تخلخل مغز نان در سطح ۵ درصد نشان داد که در محدودهٔ شرایط اعمال شده در این پژوهش، زمان تخمیر و درصد شکر، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تخلخل (برحسب درصد) بافت نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته در حالت تازه‌خوری و ۴۸ ساعت نگهداری نداشتند. این در حالی است که ۹۶ ساعت پس از پخت، ارتباط معنی‌داری بین زمان تخمیر و درصد شکر با تخلخل مغز نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته مشهود بود. از بین نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته نیز بیشترین مقدار تخلخل در نمونهٔ حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر و محتوی ۰/۵ درصد شکر، ۹۶ ساعت پس از پخت و کمترین مقدار آن نیز در نمونهٔ حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر با محتوی ۱/۵ درصد شکر، ۴۸ ساعت پس از پخت مشاهده گردید.

جدول ۳- ارزیابی تغییرات تخلخل نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته تحت تأثیر مقدار شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طی زمان نگهداری

درصد شکر	زمان تخمیر	تخلخل مغز نان در طول نگهداری (برحسب درصد)		
		۲ ساعت	۴۸ ساعت	۹۶ ساعت
۰	۰	۰/۰۹۲±۰/۰۰۴^{a}	۰/۱۱۸±۰/۰۰۳^{a}	۰/۱۸۲±۰/۰۱۹^{b}
	۸	۰/۱۲۱±۰/۰۱۰^{a}	۰/۱۰۷±۰/۰۰۲^{a}	۰/۱۰۰±۰/۰۲۴^{b}
۰/۵	۱۶	۰/۹۳۷±۰/۰۱۰^{a}	۰/۰۸۴± ۰/۰۰۸^{a}	۰/۰۷۹±۰/۰۱۶^{c}
	۲۴	۰/۱۰۰±۰/۰۱۷^{a}	۰/۰۶۷±۰/۰۰۴^{a}	۰/۳۳۸±۰/۲۷۸^{a}
	۸	۰/۱۰۸±۰/۰۱۱^{a}	۰/۱۱۰±۰/۰۰۴^{a}	۰/۱۰۹±۰/۰۰۶^{b}
۱	۱۶	۰/۰۸۹±۰/۰۰۶^{a}	۰/۱۲۸±۰/۰۲۱^{a}	۰/۰۹۱±۰/۰۱۷^{c}
	۲۴	۰/۰۹۰±۰/۰۰۸^{a}	۰/۱۱۳±۰/۰۶۱^{a}	۰/۱۰۶±۰/۰۱۰^{b}
	۸	۰/۰۸۴±۰/۰۰۸^{a}	۰/۱۰۷±۰/۰۲۱^{a}	۰/۰۸۱±۰/۰۰۷^{c}
۱/۵	۱۶	۰/۰۸۰±۰/۰۱۶^{a}	۰/۰۸۵±۰/۰۱۰^{a}	۰/۰۹۶±۰/۰۱۲^{b}
	۲۴	۰/۰۷۶±۰/۰۱۳^{a}	۰/۰۳۷±۰/۰۰۲^{b}	۰/۱۰۵±۰/۰۱۴^{b}

حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ($P\leq$۰/۰۵) می‌باشد.

جدول ۴- ارزیابی تغییرات تخلخل مغز نان بربری حاصل از آرد ستاره تحت تأثیر مقدار شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طی زمان نگهداری

درصد شکر	زمان تخمیر	تخلخل مغز نان در طول نگهداری		
		۲ ساعت	۴۸ ساعت	۹۶ ساعت
۰	۰	۰/۰۸۰±۰/۰۲۰^{c}	۰/۰۶۰±۰/۰۱۰^{b}	۰/۰۳۳±۰/۰۱۵^{b}
	۸	۰/۱۶۰±۰/۰۳۶^{b}	۰/۱۲۶±۰/۰۳۰^{a}	۰/۰۵۶± ۰/۰۱۵^{a}
۰/۵	۱۶	۰/۰۷۶±۰/۰۱۵^{c}	۰/۰۶۰±۰/۰۱۰^{b}	۰/۰۳۶±۰/۰۱۵^{b}
	۲۴	۰/۰۵۰±۰/۰۱۰^{d}	۰/۰۲۳±۰/۰۰۵^{c}	۰/۰۳۸±۰/۰۱۷^{b}
	۸	۰/۱۵۳±۰/۰۱۵^{bc}	۰/۱۲۶±۰/۰۳۲^{a}	۰/۰۹۸±۰/۰۳۷^{a}
۱	۱۶	۰/۱۰۶±۰/۰۱۵^{c}	۰/۰۵۰±۰/۰۱۰^{c}	۰/۰۴۰±۰/۰۲۰^{b}
	۲۴	۰/۰۴۰±۰/۰۱۰^{d}	۰/۰۳۰±۰/۰۱۰^{c}	۰/۰۲۶±۰/۰۰۵^{b}
	۸	۰/۱۸۰±۰/۰۳۰^{b}	۰/۱۱۰±۰/۰۱۰^{a}	۰/۰۶۰±۰/۰۲۶^{a}
۱/۵	۱۶	۰/۲۷۶±۰/۱۶۵^{a}	۰/۱۰۳±۰/۰۵۰^{ab}	۰/۰۶۶±۰/۰۲۵^{a}
	۲۴	۰/۰۶۳±۰/۰۲۰^{c}	۰/۰۴۰±۰/۰۲۶^{c}	۰/۰۳۶±۰/۰۲۰^{b}

حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ($P\leq$۰/۰۵) می‌باشد.

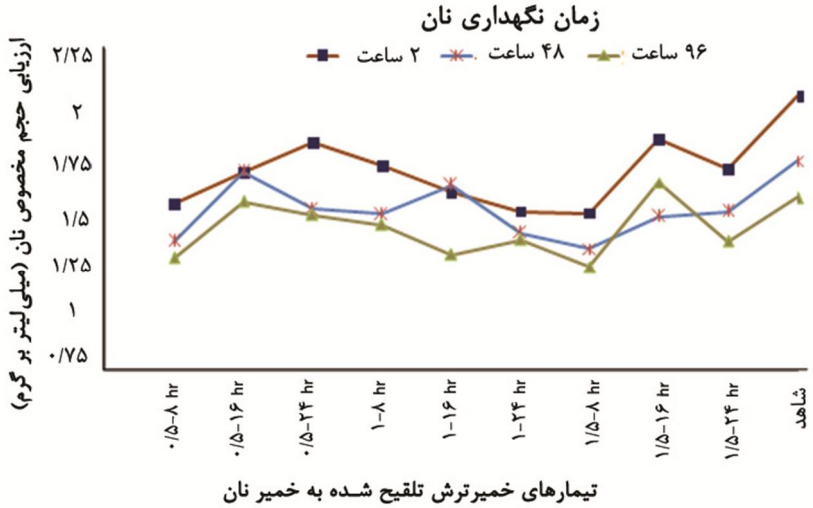
نتایج آنالیز واریانس تغییرات تخلخل بافت مغز نان بربری حاصل از آرد ستاره تحت تأثیر تیمارهای مقدار شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طول زمان نگهداری ۴ روزه در جدول ۴ ارائه شده است. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات تخلخل مغز نان بربری حاصل از آرد ستاره در سطح ۵ درصد نشان داد که در محدودهٔ شرایط اعمال شده در این پژوهش، زمان تخمیر و درصد شکر، تأثیر معنی‌داری بر میزان تخلخل بافت نان در طی دورهٔ نگهداری داشتند. از بین نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره نیز بیشترین مقدار تخلخل در نمونهٔ حاصل از ۱۶ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت و کمترین مقدار آن نیز در نمونهٔ حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر و محتوی ۰/۵ درصد شکر، ۴۸ ساعت پس از پخت مشاهده گردید. شهیدی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی تصاویر مغز نان به‌وسیلهٔ نرم‌افزار Image J نشان دادند که با افزایش زمان نگهداری و توسعهٔ تغییرات فیزیکوشیمیایی در بافت نان، تخلخل آن کاهش پیدا می‌کند با این حال، ساختار فشردهٔ نان‌های مسطح و نیمه‌حجیم به دلیل وجود هوای

کمتر منجر به تغییرات محسوسی در اندازهٔ این حفرات یا میزان تخلخل نشده ولی در نان‌های حجیم، با افزایش زمان نگهداری، رطوبت از مغز به سطح، منتقل گردیده و باعث تغییر در ساختمان شبکهٔ پروتئین می‌شود. این تغییرات با کاهش استحکام و کاهش حجم نیز همراه بوده و منجر به کاهش اندازه حفرات یا میزان تخلخل نان می‌گردد.

نتایج حاصل از تلقیح خمیرترش حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به خمیر نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره و آرد سبوس گرفته در این پژوهش با نتایج شهیدی و همکاران (۱۳۸۷) مغایرت داشت زیرا بافت نان طی گذشت زمان به دلیل از دست دادن رطوبت، فشرده و شکننده شده و تخلخل موجود در بافت نان، مقاومت کافی جهت نگهداری دی‌اکسیدکربن در شبکهٔ گلوتنی را نخواهد داشت. بنابراین، گاز دی‌اکسیدکربن در نان به‌طور مناسب توزیع نگردیده و ناهمگونی در اندازهٔ حفرات بافت نان را پدید خواهد آورد. زمانی که اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش افزایش می‌یابد ضمن ضعیف‌تر شدن ساختار گلوتن خمیر نان، کشش‌پذیری آن بیشتر می‌شود که این امر نگهداری گاز را کاهش داده و درنتیجه باعث سفت و شکننده شدن بافت نان تولیدی طی بازهٔ نگهداری می‌گردد (Razavizadegan jahromi *et al*., 2013). البته این امر بعضاً ممکن است افزایش میزان تخلخل بافت نمونه‌های تولیدی در طی مدت ماندگاری را نیز به دنبال داشته باشد (Shehzad *et al*., 2010).

ارزیابی میزان حجم مخصوص نان‌های تولیدی

نتایج حاصل از ارزیابی حجم مخصوص نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته با استفاده از تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دورهٔ نگهداری در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان انبارمانی، ضخامت نمونه‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) کاهش یافت که از نمونهٔ شاهد به مراتب ضخامت بیشتری داشت. همچنین روند کاهش ضخامت در حالت تازه‌خوری مشهودتر بود. براین‌اساس، کمترین ضخامت در بین نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته به نمونهٔ حاصل از ۸ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر بعد از ۹۶ ساعت ماندگاری تعلق گرفت و همچنین بیشترین مقدار آن در نمونهٔ حاصل از ۱۶ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت مشاهده گردید.



شکل ۴- بررسی روند تغییرات حجم مخصوص نان بربری حاصل از آرد سبوس گرفته تحت تأثیر درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طی زمان نگهداری.

جدول ۵ نتایج حاصل از ارزیابی حجم مخصوص نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره تهیه شده با استفاده از تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دورهٔ نگهداری را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش زمان انبارمانی، حجم مخصوص نان‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) کاهش یافت اما همواره از نمونهٔ شاهد بیشتر بود که با یافته‌های Clarke و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد. Arendt و همکاران (۲۰۰۷) و Gaggiano و همکاران (۲۰۰۷) نیز نتایج مشابهی گزارش نموده‌اند. باتوجه‌به گزارش‌های این محققین، مهم‌ترین دلیل کاهش بیاتی در نان فراوری شده توسط خمیرترش، متابولیت‌های تولیدی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک نظیر اسیدهای آلی، آنزیم‌ها و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی است که سبب افزایش میزان تخلخل، غیرفعال‌سازی آنزیم آلفا آمیلاز و افزایش نرمی بافت نان می‌گردد. سرافراز و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی خصوصیات اسیدیفیکاسیون کشت‌های آغازگر مختلف در تخمیر خمیرترش مایع نشان دادند که نان تهیه شده توسط خمیرترش مایع حاصل از کشت آغازگر *لاکتوباسیلوس کازئی*، *لاکتوباسیلوس فرمنتوم* و *ساکارومایسس سرویزیه* حجم مخصوص بالاتری نسبت به نمونهٔ شاهد داشت. پیغمبردوست و همکاران (۱۳۸۹) نیز با بررسی نان‌های تهیه شده از خمیرترش خشک حاوی آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس روتری* و مخلوطی از این دو آغازگر دریافتند که این نان‌ها نسبت به نمونه‌های حاصل از خمیرترش تازه، حجم مخصوص بیشتری دارند که دلیل آن را تولید بیش از حد اسیدهای آلی در خمیرترش‌های مایع عنوان نمودند.

جدول ۵- بررسی تغییرات حجم مخصوص نان بربری حاصل از آرد ستاره تحت تأثیر درصد شکر و زمان تخمیر خمیرترش در طی زمان نگهداری

درصد شکر	زمان تخمیر	حجم مخصوص نان در طول نگهداری (میلی‌لیتر در گرم)		
		۲ ساعت	۴۸ ساعت	۹۶ ساعت
۰	۰	۲/۱۰۲±۰/۵۵^{d}	۱/۷۳۰±۰/۲۶^{de}	۱/۵۰۳±۰/۱۴^{c}
	۸	۲/۷۶۴±۲/۲۳^{a}	۲/۵۸۶±۰/۳۴^{a}	۲/۳۲۵± ۰/۰۷^{a}
۰/۵	۱۶	۲/۲۸۸±۰/۶^{c}	۲/۰۲۵±۰/۲۵^{cd}	۱/۸۵۹±۰/۰۸^{bc}
	۲۴	۲/۵۱۴±۰/۶۶^{b}	۲/۳۲۵±۰/۴۹^{b}	۱/۹۴۰±۰/۰۷ ^{b}
	۸	۲/۳۵۹±۰/۵۴^{bc}	۲/۰۸۳±۰/۲۰^{c}	۱/۸۹۵±۰/۰۹^{bc}
۱	۱۶	۲/۱۰۵±۰/۶^{d}	۱/۷۴۷±۰/۱۲^{e}	۱/۶۵۶±۰/۰۵^{c}
	۲۴	۲/۲۶۱±۰/۹۳^{cd}	۲/۰۷۱±۰/۶۲^{c}	۱/۷۳۹±۰/۱۳۵^{c}
	۸	۲/۲۷۸±۰/۵۳^{c}	۲/۰۳۹±۰/۱۷^{cd}	۱/۸۴۱±۰/۰۱^{bc}
۱/۵	۱۶	۲/۰۱۹±۰/۲۴^{d}	۱/۸۸۷±۰/۱۰^{de}	۱/۶۸۷±۰/۱۸^{c}
	۲۴	۲/۳۸۳±۰/۴۷^{bc}	۲/۰۹۲±۰/۰۵^{c}	۱/۹۵۲±۰/۰۵^{b}

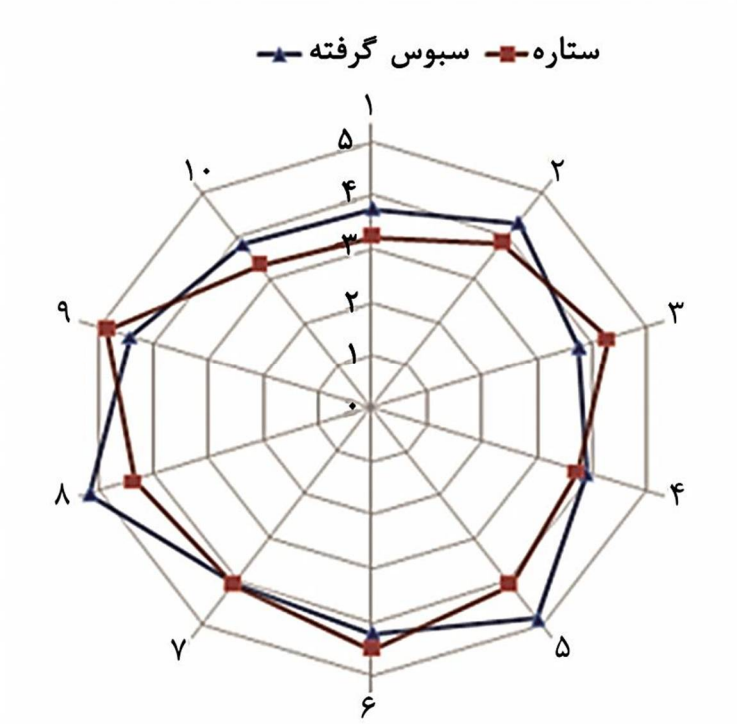
حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ($P\leq$۰/۰۵) می‌باشد.

اسید تولید شده در تخمیر خمیرترش بر اجزای نشاسته و پروتئین آرد، تأثیر گذاشته و سبب افزایش تخلخل و نرمی بافت نان خمیرترشی می‌شود. از سوی دیگر خمیرترش با تنظیم فعالیت آنزیمی آرد، درنهایت باعث کاهش بلوری شدن نشاسته و کاهش بیاتی نان می‌گردد (Katina, 2005).

ارزیابی ویژگی‌های حسی و پذیرش کلی نان‌های تولیدی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل آماری، سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان پذیرش نهایی نان‌های تازه‌خوری داشتند. میزان پذیرش نهایی نمونه‌های تولیدی با افزایش زمان تخمیر و درصد شکر، بهبود یافت. تیمارهای مورد نظر با اعداد ۱ تا ۹ نشان داده شده است که تیمار ۱ بیانگر (۰/۵ درصد شکر و ۸ ساعت

تخمیر) و تیمار ۹ بیانگر (۱/۵ درصد شکر و ۲۴ ساعت تخمیر) می‌باشد. باتوجه‌به نمودار عنکبوتی ترسیم شده در شکل ۵ از مقایسهٔ پذیرش کلی نان‌های تولیدی، بیشترین و کمترین امتیاز پذیرش نهایی نان‌های تازه‌خوری مربوط به نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته و ستاره بود. بااین‌وجود در برخی از تیمارهای خمیرترش تلقیح شده به خمیر نان در آرد ستاره، امتیاز پذیرش نهایی بالاتری نسبت به نان حاصل از آرد سبوس گرفته به دست آمد. نتایج تحقیقات Thiele و همکاران (۲۰۰۲) بر روند پذیرش نهایی نان‌های تازه خوری به‌عنوان تابعی از زمان تخمیر و مقدار شکر در شرایط تخمیر کنترل شده بر اساس تجزیه‌وتحلیل آماری نشان داد که سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر تأثیر معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بر میزان پذیرش نهایی نان‌های تازه‌خوری داشتند. میزان پذیرش نهایی نمونه‌های تولیدی با افزایش زمان تخمیر بهبود یافت که دلیل این موضوع به افزایش تخلخل، بهبود احساس دهانی و تولید ترکیبات مولّد عطروطعم با گذشت زمان تخمیر نسبت داده شد. بر اساس نتایج پیغمبردوست و همکاران (۱۳۸۹) نیز با گذشت زمان نگهداری، امتیاز حسّی در تمامی تیمارها کاهش یافت درحالی‌که نان‌های حاصل از خمیرترش تازه در مقایسه با خمیرترش خشک از نظر ویژگی‌های حسّی امتیاز بیشتری را به خود اختصاص دادند که دلیل آن، تولید مقادیر کمتر اسیدهای آلی در خمیرترش خشک بود که بر فعالیت آنزیمی، مؤثر بوده و منجر به تغییر کیفیت نان تولیدی گردیده بود.



شکل ۵- مقایسهٔ پذیرش کلی نان‌های تولیدی تحت تأثیر زمان تخمیر و درصد شکر در حالت تازه‌خوری در نان‌های بربری حاصل از آرد سبوس گرفته و ستاره گندم.

فعالیت‌های متابولیکی سینرژیستی میکروارگانیسم‌ها بر روی ویژگی بافت نهایی نان تأثیر دارد و طول زمان ماندگاری محصول را با کاهش رشد کپک افزایش می‌دهد. Di Cagno و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که نان تهیه شده با استفاده از *لاکتوباسیلوس سانفرانسینسیس* هتروفرمنتاتیو، بو و مزه مطلوب دارد، درحالی‌که استفاده از *لاکتوباسیلوس روتری* هموفرمنتاتیو، طعم ترش فلزی نامطلوب ایجاد می‌کند. وقتی خمیرترش جانشین مخمر *S.cerevisiae* می‌شود، نان طعم آروماتیک بیشتری پیدا می‌کند.

نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر مقدار شکر (۰/۵، ۱و ۱/۵درصد) و زمان تخمیر (۸ ،۱۶و ۲۴ ساعت) خمیرترش حاوی کشت آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی نان‌های بربری حاصل از آرد ستاره و آرد سبوس گرفته موردِارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از اندازه‌گیری روند تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش به‌عنوان تابعی از زمان تخمیر و مقدار شکر در دو نوع آرد گندم ستاره و سبوس گرفته نشان داد که با افزایش درصد خاکستر، پروتئین و درصد جذب آب آرد، اسیدیتهٔ قابل تیتر با روند مشخصی افزایش و pH کاهش یافت. آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین تغییرات اسیدیته در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بر میزان تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر خمیرترش حاصل از دو نوع آرد گندم ستاره و سبوس گرفته دارند. همچنین بررسی‌ها نشان داد که نان‌های خمیرترشی حاصل از آردهای با درصد خاکستر و پروتئین بالاتر، رطوبت خود را به مدت بیشتری حفظ نموده و دیرتر سفت و بیات می‌شوند. همچنین تخلخل، حجم مخصوص نان حاصل از آرد ستاره به مراتب نسبت به آرد سبوس گرفته بالاتر و خصوصیات حسی نان بربری خمیرترشی حاصل از آرد ستاره کمتر بود. باتوجه‌به تغییرات معنی‌دار اسیدیتهٔ قابل تیتر در تخمیرهای کنترل شدهٔ خمیرترش حاوی جدایه مورد استفاده در این پژوهش می‌توان دریافت که آغازگر میکروبی مذکور در کنار سایر عوامل مؤثر بر تخمیر خمیرترش نظیر زمان و ترکیب سوبسترا، نقش غیرقابل انکاری در کنترل این تخمیر پیچیده دارد. تولید نان بربری خمیرترشی با ماندگاری بیشتر و خصوصیات حسی مطلوب‌تر نیز مستلزم کنترل مؤثر فعالیت آغازگر میکروبی و عوامل مؤثر بر تخمیر آن است.

منابع

۱- پیغمبردوست، س.ه.، گلشن‌تفتی، ا.، خراسانچی، ن.، حجازی، م.ا. و رافت، س.ع. ۱۳۸۹. مقایسهٔ اثرات خمیرترش خشک با خمیرترش تازه روی ویژگی‌های حسی و بیاتی نان قالبی. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۰(۳):۱۶۳-۱۷۵.

۲- خراسانچی، ن.، پیغمبردوست، س.ه.، حجازی، م.ا. و رافت، س.ع. ۱۳۹۲. استفاده از *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (ATCC 1058) و *روتری* (ATCC 1655) به عنوان آغازگر در تهیهٔ خمیرترش. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۳(۱):۸۱-۹۵.

۳- سرافراز، ا.، عزیزی، م. ح.، حمیدی‌اصفهانی، ز.، کریمی‌ترشیزی، م.ا. و ظفری، ع. ۱۳۸۷. اثرات متقابل باکتری‌های لاکتیک اسید و مخمر نانوایی در تخمیر خمیرترش مایع. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۳(۲):۷۳-۸۰.

۴- صادقی، ع.، شهیدی، ف.، مرتضوی، س.ع.، نصیری محلاتی، م. و صادقی، ب. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر استفاده از خمیرترش بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۹(۳): ۱۵۳-۱۷۰.

۵- عابدفر، ع.، صادقی، ع.، کاشانی‌نژاد، م.، خمیری، م. و اعلمی، م. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر آغازگر *لاکتوباسیلوس* غالب جدا شده از خمیرترش سنّتی بر میزان بیاتی نان قالبی حاصل از آرد کامل گندم. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، در نوبت چاپ.

۶- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۸۱. غلات و فراورده‌های آن، نان بربری. استاندارد ملی ایران، شماره ۵۸۰۹، چاپ اول.

7- Approved methods of the American association of cereal chemists (AACC). 2010. AACC methods 46-30. 11th ed. The St Paul.

8- Arendt, E.K., Ryan, L.A.M., & Dal Bello, F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. Food Microbiology, 24(2):165-174.

9- Association of official analytical chemists (AOAC). 2003. 17th ed. Arlington, Virginia.

10- Barber, B., Ortola, C., Barber, S., & Fernandez, F. 1992. Storage of packaged white bread. Effect of sourdough and addition of acids on bread characteristics. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 194(5):442-449.

11- Clarke, C.I., Schober, T.J., & Arendt, E.K. 2002. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. Cereal Chemistry, 79(5):640-647.

12-Clarke, C.I., & Arendt, E.K. 2005. A review of the application of sourdough technology to wheat breads. Advance in Food and Nutrition Research, 49:137-161.

13-Corsetti, A., Gobbetti, M., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L., & Rossi, J. 1998. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. Journal of Food Science, 63(2):347–351.

14- Crowely, P., Schober, T.J., Clark, C.I., & 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.

15- Dal bello, F., Clarke, C.I., Ryan, L.A.M., Ulmer, H., Schober, T.J., Strom, K., Sjogren, J., van Sinderen, D., Schnurer, J., & Arendt, E.K. 2007. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. Journal of Cereal Science, 45(3):309-318.

16- Datta, A.K., Sahin, S., Sumnu, G., & Ozge Keskin, S. 2007. Porous media characterization of breads baked using novel heating modes. Journal of Food Engineering, 79(1):106-116.

17-De Vuyst, L., & Neysens, P. 2005. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. Trends in Food Science & Technology, 16(1):43–56.

18-Di Cagno, R., De Angelis, M., Corsetti, A., Lavermicocca, P., Arnault, P., Tossut, P., Gallo, G., & Gobbetti, M. 2003. Interactions between sourdough lactic acid bacteria and exogenous enzymes: effects on the microbial kinetics of acidification and dough textural properties. Food Microbiology, 20(1):67–75.

19-Gaggiano, M., Di Cagno, R., De Angelis, M., Arnault, P., Tossut, P., Fox, P.F., & Gobbetti, M. 2007. Defined multi-species semi-liquid ready-to-use sourdough starter. Food Microbiology, 24(1):15-24.

20- Galvez, A., Abriouel, H., Lucas Lopez, R., & Ben Omar, N. 2007. Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. International Journal of Food Microbiology, 120(1-2):51-70.

21-Hammes, W.P., Brandt, M.J., Francis, K.L., Rosenheim, M., Seitter, M.F.H., & Vogelmann, S.A. 2005. Microbial ecology of cereal fermentations. Trends in Food Science & Technology, 16(1-3):4–11.

22-Katina, K., Poutanen, K., & Autio, K. 2004. Influence and interactions of processing conditions and starter culture on formation of acids, volatile compounds, and amino acids in wheat sourdoughs. Cereal Chemistry, 81(5):598–610.

23-Katina, K. 2005. Sourdough a Tool for the Improved Flavour, Texture and Shelf-life of Wheat Bread. *VTT* Publication (Technical Research Centre of Finland), Helsinki.

24-Katina, K., Heinio, R.L., Autio, K., & Poutanen, K. 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. LWT-Food Science and Technology, 39(10):1189-1202.

25-Katina, K., Liukkonen, K.H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.M., Lampi, A.M., Pihlava, J.M., & Poutanen, K. 2007. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. Journal of Cereal Science, 46(3):348–355.

26-Lacaze, G., Wick, M., & Cappelle, S. 2007. Emerging fermentation technologies: development of novel sourdoughs. Food Microbiology, 24(2):155-160.

27-Martin, M.L., & Hoseney, R.C. 1991. A mechanism of bread firming. II. Role of starch hydrolyzing enzymes. Cereal Chemistry, 68(5):503-507.

28- Meignen, B., Onno, B., Gelinas, P., Infantes, M., Guilois, S., & Cahagnier, B. 2001. Optimization of sourdough fermentation with *Lactobacillus brevis* and baker's yeast. Food Microbiology, 18(3):239-245.

29- Pedreschi, F., Aguilera, J.M., & Pyle, L. 2001. Textural Characterization and kinetics of potato strips during frying. Journal of Food Science, 66(2):314–318.

30- Razavizadegan jahromi, S.H., Karimi, M., Tabatabaee yazdi, F., & Mortazavi, S.A. 2013. Response surface optimization of barbari bread-making process variables: interrelationship of texture, image and organoleptic characteristics; using image analysis for quality and shelf life prediction. Journal of Food Processing and Preservation, 38(4):1608-1621.

31- Schnurer, J., & Magnusson, J. 2005. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. Trends in Food Science & Technology, 16(1-3):70-78.

32- Shehzad, A., Chiron, H., Della Valle, G., Kansou, K., Ndiaye, A., & Reguerre, A.L. 2010. Porosity and stability of bread dough during proofing determined by video image analysis for different compositions and mixing conditions. Food Research International, 43(8):1999–2005.

33- Siljestrom, M., Bjorck, I., Eliasson, A.C., Lonner, C., Nyman, M., & Asp, N.G. 1988. Effect of polysaccharides during baking and storage of bread- In vitro and in vivo studies. Cereal Chemistry, 65(1):1-8.

34- Spicher, G. 1983. Baked goods. P. 1-80. In J.H. Rehm & G. Reed (eds.) Biotechnology. Vol. 5. 1st ed. Verlag Chemie, Weinheim.

35- Thiele, C., Ganzle, M.G., & Vogel, R.F. 2002. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. Cereal Chemistry, 79(1):45–51.

Comparison of the Effect of Sugar Percentage and Fermentation Time of Sourdough Containing Specific Starter Culture (*Lactobacillus plantarum*) on Quality of Barbari Bread Produced with Two Different Extraction Rate Flours

Alireza Sadeghi[1*], Abbas Abedfar[2]

1- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Corresponding author (sadeghi.gau@gmail.com)
2- Former M.Sc. student of Food Microbiology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

This study was carried out to compare the influence of sugar contents (0.5, 1, 1.5%) and fermentation times (8, 16, 24 h) of *Lactobacillus plantarum* as sourdough specific starter culture on properties and staling of Barbari breads produced with two different extraction rate flours (69 and 76%). The effect of the above mentioned parameters on properties of sourdoughs prepared from these two types of wheat flour was evaluated in a split plot design. The results showed that, different fermentation times and sugar contents had significant effect ($P\leq0.05$) on sourdoughs total titerable acidity. After processing of Barbari breads with sourdough treatments, the specific volume, crumb firmness (texture analysis) and porosity (Image j method) were examined during 4 days of storage. Based on the results, 96 h after baking the lowest and highest amounts of crumb firmness were observed in Barbari bread prepared from 76% extraction rate flour and 24 h sourdough fermentation and 1% sugar content and also Barbari bread prepared from 69% extraction rate flour and 24 h sourdough fermentation and 1.5% sugar content, respectively. Furthermore, most of Barbari breads prepared from 76% extraction rate flour had higher specific volume and porosity and also less total acceptance than the Barbari breads prepared from 69% extraction rate flour.

Keywords: Barbari bread, Crumb firmness, Flour extraction rate, Porosity, Sourdough starter