مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۳ (ص ۸۷-۸۱)

اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد خمیر نان سنگک بر فعالیت مخمر و حجم نان سنگک

سیدوحید آیتی[۱]*، ناصر همدمی [۲]

۱. کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار و عضو هیئت علمی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۱۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱/۱۹)

چکیده

تکنولوژی خمیر منجمد از تمهیداتی است که با حداقل تخصص و امکانات، دست‌یابی به نان باکیفیت و تازه را امکان‌پذیر می‌سازد. در این تحقیق اثر سرعت انجماد و پیش‌تخمیر بر خصوصیات کیفی خمیر منجمد سنگک و نان حاصل از آن بررسی شد. مرحلهٔ پیش‌تخمیر بین صفر تا ۱۲۰ دقیقه (زمان تخمیر کامل)، با فواصل زمانی ۳۰ دقیقه انجام گرفت و زمان تخمیر نهایی پس از انجماد برابر با تفاوت زمان پیش‌تخمیر و تخمیر کامل درنظر گرفته شد. سپس ورقه‌های خمیر سنگک پیش‌تخمیرشده در دماهای ۲۰-، ۲۵-، و ۳۰- درجهٔ سلسیوس منجمد شدند. خمیر منجمد سنگک پس از ۲۴ ساعت نگه‌داری در دمای ۱۸- درجهٔ سلسیوس یخ‌زدایی شد و پس از طی تخمیر نهایی پخت گردید. بررسی‌های کیفی در قالب اندازه‌گیری درصد مخمر زنده‌مانده و توان تولید گاز مخمر پس از یخ‌زدایی خمیر منجمد و اندازه‌گیری دانسیتهٔ نان حاصل صورت گرفت. نتایج نشان داد که زنده‌مانی مخمر با افزایش سرعت انجماد در ابتدا سیر صعودی و سپس سیر نزولی داشته است و بالاترین زنده‌مانی در دمای ۲۵- درجه مشاهده گردید. زمان کوتاه پیش‌تخمیر (۳۰ دقیقه) بالاترین شاخص زنده‌مانی مخمر پس از انجماد را نشان داد. نتایج توان تولید گاز با زنده‌مانی مخمر رابطهٔ مستقیمی نشان داد. بررسی کیفیت نان حاصل از خمیر منجمد سنگک نشان داد که با انجام پیش‌تخمیر کوتاه و سرعت انجماد بالا، نانی با دانسیتهٔ پایین‌تر به‌دست می‌آید.

کلیدواژگان: توان تولید گاز، دانسیتهٔ نان، زنده‌مانی مخمر، نان سنگک.

مقدمه

نان و دیگر فراورده‌های غلات جایگاه مهمی در رژیم غذایی مناسب دارند و روزانه قسمت بزرگی از انرژی، پروتئین، املاح، و ویتامین‌های گروه B را تأمین می‌کنند. نان تازه زمان ماندگاری کوتاهی دارد و کیفیت آن شدیداً به فاصلهٔ بین پخت و مصرف وابسته است. پدیدهٔ بیاتی که کاهش مقبولیت نان را در پی خواهد داشت، خسارات فراوانی را به تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان وارد می‌کند (Payan, 2006). تکنولوژی خمیر منجمد از تمهیداتی است که دست‌یابی به نان باکیفیت و تازه با حداقل امکانات و تخصص را امکان‌پذیر می‌سازد (LeBail and Goff, 2008). نان سنگک به‌عنوان یکی از نان‌های برتر دنیا از نظر عطر و طعم (Armians, 1977)، در مقایسه با سایر نان‌های تولیدی در کشور جذابیت و قابلیت فراوانی برای استفاده در تکنولوژی خمیر منجمد و دیگر تکنولوژی‌های جدید نانوایی دارد. انجماد به سبب واردکردن تنش به مواد غذایی، کیفیت آن را تغییر می‌دهد. از میان آسیب‌های حاصل از انجماد می‌توان به کاهش درصد مخمرهای زنده در اثر آسیب سلولی حاصل از انجماد و متعاقباً کاهش میزان تولید گاز پس از خروج از انجماد و نیز سفت‌ترشدن نان حاصل از خمیر منجمد به‌دلیل واگشتگی سریع‌تر نشاسته اشاره کرد (Autio and Sinda, 1992; Kenny *et al.*, 1999). به همین سبب محققان زیادی برای بهبود این محصول تلاش کرده‌اند. اثر سرعت انجماد غالباً به‌عنوان پارامتری مهم از سوی پژوهشگران ذکر شده است. انجماد سریع به تشکیل کریستال‌های ریز یخ می‌انجامد و یکپارچگی شبکهٔ گلوتنی تحت این شرایط بیش‌تر حفظ می‌شود (Phimolsiripol *et al.*, 2008). با این وجود در انجماد سریع، زنده‌مانی مخمر کاهش بیش‌تری می‌یابد (LeBail *et al.*, 1998)، این بدین معناست که انتخاب دمای انجماد مناسب، شرایط بهینه‌ای از نظر پیوستگی شبکهٔ گلوتنی و زنده‌مانی مخمر فراهم می‌سازد. هدف از انجام مرحله پیش‌تخمیر (Pre-fermentation)، انجام بخشی از مرحلهٔ تخمیر در مقیاس صنعتی به‌منظور کاهش زمان تهیهٔ نان از خمیر منجمد توسط مصرف‌کننده و از طرف دیگر کاهش نیاز به شاخص زنده‌مانی مخمر پس از نگه‌داری در حالت

* نویسنده مسئول: sv.ayatinajafabadi@ag.iut.ac.ir

انجماد برای انجام تخمیر در مرحلهٔ تخمیر نهایی است (Gabric et al., 2011). Rasanen *et al.* (1995) گزارش کردند که دورهٔ کوتاه پیش‌تخمیر پایداری انجماد-خروج از انجماد خمیر را بهبود می‌دهد. Van Dijk *et al.* (2000) بیان کردند که اشکال بزرگ این دوره، کاهش سریع مقاومت مخمر به انجماد است. در این تحقیق اثر سرعت انجماد و پیش‌تخمیر بر خصوصیات کیفی خمیر منجمد سنگک و نان حاصل از آن به‌منظور بهینه‌سازی فرایند انجماد این محصول بررسی شد.

مواد و روش

تهیهٔ خمیر

آرد سنگک مصرفی از کارخانهٔ بهارستان اصفهان تهیه گردید. این آرد با رطوبت ۱۳/۲ درصد، چربی ۲/۰۳ درصد، پروتئین ۱۳/۷ درصد، کربوهیدرات ۷۰/۰۷ درصد، و خاکستر ۱/۰۱ درصد در سردخانه ۱۸- درجهٔ سلسیوس تا زمان آزمایش نگه‌داری شد. مخمر خشک فعال (Active dry yeast) لازم نیز از شرکت فریمان مشهد تهیه شد. خمیر نان سنگک شامل آرد مخصوص نان سنگک، ۱۰۰ درصد وزنی آب با دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس، ۱ درصد نمک، و ۱ درصد مخمر براساس وزن آرد تهیه شد. آرد مصرفی چند ساعت قبل از تهیهٔ خمیر در محیط قرار گرفت تا به دمای محیط برسد. برای تهیهٔ خمیر ابتدا آب و نمک به همزن (Hobart ساخت آمریکا) با دور متوسط ۴۵-۵۰ دور در دقیقه منتقل شد و سپس به تدریج آرد و در پایان مخمر اضافه گردید. مخلوط‌کردن به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه ادامه یافت تا در انتهای زمان مخلوط‌کردن، خمیر یکنواخت سنگک به‌دست آید.

شرایط تخمیر، انجماد، و یخزدایی

پس از مرحلهٔ اختلاط و تهیهٔ خمیر و سپری‌کردن زمان استراحت، پیش‌تخمیر در محفظهٔ تخمیر (Binder ساخت آلمان) با رطوبت اشباع و دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس انجام گرفت. زمان پیش‌تخمیر برحسب نمونهٔ مشخص‌شده صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و یا ۱۲۰ دقیقه بود. خمیر پس از گذراندن مرحلهٔ پیش‌تخمیر برای شکل‌دهی از محفظهٔ تخمیر خارج شد و در قالب‌های دایره‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر با ضخامت‌های ۹ میلی‌متر ریخته شد. پس از تخلیهٔ خمیر اضافی با وردنه، خمیر شکل‌دهی‌شده آمادهٔ انجماد بود. به‌منظور انجماد خمیر از فریزر جریان هوای سرد (ساخت ایران) استفاده شد. دمای انجماد ۲۰-، ۲۵-، و یا ۳۰- درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای سرد ثابت و ۲ متر بر ثانیه بود. پس از رسیدن دمای مرکز به ۱۸- درجهٔ سلسیوس، نمونه‌ها از فریزر خارج شدند، در بسته‌های پلی‌اتیلنی قرار گرفتند و به مدت ۲۴ ساعت در فریزر معمولی در دمای ۱۸- درجهٔ سلسیوس نگه‌داری شدند. خمیر منجمد پس از ۲۴ ساعت نگه‌داری در دمای ۱۸- درجهٔ سلسیوس از فریزر خارج و به درون قوطی یک کیلویی منتقل شد و برای یخزدایی در محفظهٔ تخمیر با رطوبت اشباع و دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس قرار گرفت. زمان یخزدایی برای نمونه‌ها به طور مجزا به‌صورت زمان لازم تا رسیدن دمای سطح خمیر به ۲۰ درجهٔ سلسیوس تعیین و اعمال شد. مرحلهٔ تخمیر نهایی به‌منظور تکمیل زمان تخمیر (۱۲۰ دقیقه) بی‌درنگ پس از یخزدایی انجام گرفت. زمان تخمیر نهایی برای نمونه‌های با پیش‌تخمیر متفاوت برابر با اختلاف زمان پیش‌تخمیر با زمان تخمیر کامل یعنی ۱۲۰ دقیقه بود. بر این اساس نمونه‌های با پیش‌تخمیر صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰، و ۱۲۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۲۰، ۹۰، ۶۰، ۳۰، و صفر دقیقه در محفظهٔ تخمیر در دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس و رطوبت اشباع قرار گرفتند.

شرایط پخت

خمیر پس از طی تخمیر نهایی از محفظهٔ تخمیر خارج و به درون قالب‌های مخصوص پخت به شکل دایره و به قطر ۱۰ سانتی‌متر و با ضخامت ۵ میلی‌متر منتقل شد. خمیر اضافی با وردنه حذف شد و سوراخ‌های منظمی توسط پانچر روی آن ایجاد گردید و در پایان برای پخت به مدت ۱۰ دقیقه در آون (Bosch ساخت آلمان) در دمای ۲۵۰ درجهٔ سلسیوس قرار گرفت. نان پس از پخت و سردکردن، به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس، در بسته‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شد و در انکوباتور (Wiscube ساخت کرهٔ جنوبی) ۲۵ درجهٔ سلسیوس نگه‌داری شد.

زنده‌مانی مخمر

از خمیر رفع‌انجمادشده برای سنجش درصد مخمر زنده‌ماندهٔ پس از انجماد استفاده شد. برای این منظور از روش AACC (2000) دستورالعمل شمارهٔ ۴۲-۵۰ همراه با اصلاحاتی استفاده گردید. ۱۱ گرم خمیر تحت شرایط استریل توزین و با ۹۹ سی‌سی سرم فیزیولوژیک ۰/۸۵ درصد استریل، در دستگاه Stomacher طی دو دقیقه مخلوط و همگن شد. با اضافه‌کردن یک سی‌سی از مخلوط حاصل به ۹ سی‌سی سرم فیزیولوژیک ۰/۸۵ درصد استریل موجود در لولهٔ آزمایش با استفاده از Sampler و همگن‌کردن آن‌ها با مخلوط‌کن، رقت‌های بالاتر و

مناسب برای کشت آماده شد. پس از مرحلهٔ رقیق‌سازی و تهیهٔ رقت مناسب تحت شرایط استریل، نیم سی‌سی از سوسپانسیون حاصل به روش سطحی روی پلیت حاوی ۱۵ سی‌سی محیط کشت Potato Dextrose Agar اسیدی‌شده با تارتاریک اسید ۱۰ درصد، کشت گردید. کشت مخمر برای هر یک از نمونه‌ها به طور مجزا در سه پلیت انجام می‌گرفت. پلیت‌ها در دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت انکوبه و سپس شمارش می‌گردید. با شمارش کلونی‌ها و ضرب آن در عکس ضریب رقت و عکس حجم نمونهٔ کشت‌داده‌شده، نتایج براساس درصد گزارش شد.

توان تولید گاز

به‌منظور اندازه‌گیری میزان گازی که مخمر تولید می‌کند طی تخمیر نهایی، ۲۰ گرم خمیر منجمد در محفظهٔ نگه‌داری خمیر قرار داده شد. سپس درب محفظه بسته شد و خروجی آن با یک لولهٔ رابط به دستگاه مانومتر دیجیتال (Lutron ساخت تایوان) وصل گردید و در پایان مجموعهٔ مذکور در درون حمام آب با دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس قرار گرفت. داده‌برداری (با احتساب زمان یخزدایی و آغاز تخمیر نهایی) از مانومتر متصل به رایانه در فواصل زمانی ۱۰ ثانیه‌ای انجام گرفت. در مورد نمونهٔ شاهد فشار پس از اختلاط و به مدت ۱۲۰ دقیقه ثبت شد. با دراختیارداشتن فشار گاز تولیدی، دمای حمام و حجم ظرف، حجم گاز تولیدی در فشار بارومتریک استاندارد محاسبه و ثبت گردید (AACC, 2000b).

حجم ظاهری و دانسیتهٔ نان

حجم ظاهری پس از پخت و سردکردن نان به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس، به روش جابه‌جایی دانهٔ کلزا (Seed displacement) اندازه‌گیری شد. نتایج براساس دانسیتهٔ نان گزارش گردید.

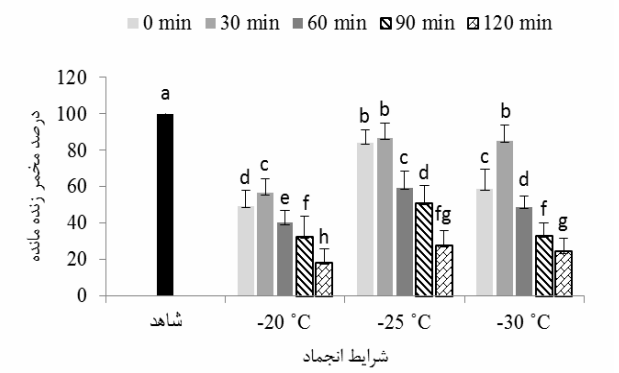
روش آماری

به‌منظور بررسی اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر خصوصیات کیفی خمیر منجمد سنگک و نان حاصل از آن آزمایش‌ها با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ سطح در فاکتور پیش‌تخمیر (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، و ۱۲۰ دقیقه) و ۳ سطح در فاکتور دمای انجماد (۲۰-، ۲۵-، و ۳۰- درجهٔ سلسیوس) انجام شد. به‌منظور تجزیهٔ آماری داده‌های به‌دست‌آمده از مدل‌های خطی عمومی (GLM) از نرم‌افزار SAS 8.0 استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌های هر صفت با آزمون LSD و برای اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد آزمون LSmeans در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

زنده‌مانی مخمر

شکل ۱ اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر درصد زنده‌مانی مخمر در خمیر منجمد سنگک و نمونهٔ شاهد را نشان می‌دهد. با مقایسهٔ درصد مخمر زنده‌مانده پس از انجماد با نمونهٔ خمیر شاهد که تحت انجماد قرار نگرفته است، اثر معنی دار تنش انجماد بر سلول مخمر مشاهده می‌شود. Dumont *et al.* (2003) بیان کردند که دو تنش عمدهٔ حرارتی و فشار اسمزی بالا (Hyperosmotic) در طی انجماد به طور هم‌زمان بر سلول مخمر وارد می‌شود. Meziani *et al.* (2012) با بررسی خمیر منجمد شیرین بیان کردند که به سبب افزایش غلظت قند تنش فشار اسمزی بالا، بیشتر و در نتیجه درصد زنده‌مانی کمتر در خمیر منجمد مشاهده می‌شود. با توجه به جدول مقایسهٔ میانگین (جدول ۱)، پیش‌تخمیر ۳۰ دقیقه به طور معنی‌دار درصد زنده‌مانی بالاتری در مقایسه با پیش‌تخمیر صفر دقیقه نشان می‌دهد، ولی پس از این، با افزایش زمان پیش‌تخمیر تا دقیقهٔ ۱۲۰، روند نزولی در این شاخص ادامه می‌یابد. این بررسی نشان می‌دهد که زمان کوتاه تخمیر قبل از انجماد می‌تواند سبب بهبود زنده‌مانی مخمر و کاهش مرگ آن در اثر تنش انجماد شود. به نظر می‌رسد با شروع تخمیر و خارج‌شدن مخمر از فاز تأخیری (Lag phase) و فعال‌شدن آن، به سبب ساز و کارهای درون‌سلولی رخ داده، مقاومت این میکروارگانیسم دربرابر تنش انجماد-خروج از انجماد افزایش می‌یابد ولی پس از این مرحله با افزایش زمان پیش‌تخمیر، به سبب افزایش درصد الکل تولیدشده طی تخمیر، توانایی تحمل تنش انجماد توسط مخمر کاهش می‌یابد. این نتایج مطابق با Rasanen *et al.* (1995) است که بهبود پایداری انجماد-خروج از انجماد خمیر را در پیش‌تخمیر کوتاه گزارش کردند.



شکل ۱. اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر درصد زنده‌مانی مخمر در خمیر منجمد سنگک و نمونهٔ شاهد

جدول ۱. مقایسهٔ میانگین اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر درصد زنده‌مانی مخمر در خمیر منجمد سنگک*

عوامل آزمایشی	صفت
پیش‌تخمیر (دقیقه)	مخمر زنده‌مانده (درصد)
۰	۶۴/۱۹۵[b]
۳۰	۷۶/۲۱۲[a]
۶۰	۴۹/۵۱۲[c]
۹۰	۳۸/۹۳۷[d]
۱۲۰	۲۳/۶۳۲[e]
دما (سلسیوس)	
-۲۰	۳۹/۴۹۹[c]
-۲۵	۶۱/۸۱۳[a]
-۳۰	۵۰/۱۸۰[b]

*در هر عامل و برای هر صفت، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ با آزمون LSD است.

با توجه به جدول ۱ با کاهش دمای انجماد از ۲۰- به ۲۵- درجهٔ سلسیوس ، درصد زنده‌مانی مخمر افزایش یافته است، ولی با ادامهٔ کاهش دمای انجماد، درصد زنده‌مانی مخمر به طور معنی‌دار تنزل یافته است. کاهش دمای انجماد به معنای افزایش سرعت انجماد است. بررسی منابع نشان می‌دهد، با افزایش سرعت انجماد، فرصت تبادل جرم بین سلول مخمر و محیط اطراف کاهش می‌یابد. در طول دورهٔ انجماد با تشکیل بلورهای یخ در خارج از سلول، فشار اسمزی در این ناحیه افزایش خواهد یافت. در سرعت انجماد پایین به سبب تبادل جرم بالاتر بین سلول و محیط بیرونی، آب درون‌سلولی که در شرایط فوق سرد (Supercool) قرار دارد به خارج از سلول کشیده خواهد شد که نتیجهٔ این تبادل، چروکیدگی (Plasmolysis) سلول است و مرگ آن را در پی خواهد داشت. با افزایش سرعت انجماد فرصت انتقال آب بین سلول و محیط بیرونی کمتر می‌شود و در نتیجه چروکیدگی و ازبین‌رفتن سلول در اثر آن کاهش خواهد یافت. با ادامهٔ روند افزایش سرعت انجماد شرایطی ایجاد خواهد شد که سرانجام آب درون‌سلولی که در حالت فوق سرد قرار دارد، شروع به انجماد و تشکیل بلورهای یخ درون‌سلولی می‌کند. بلور یخ درون‌سلولی برای سلول مرگبار خواهد بود و در نتیجه با افزایش سرعت انجماد بیش از حد معینی درصد زنده‌مانی مخمر شروع به کاهش می‌کند و این دلیل کاهش زنده‌مانی مشاهده‌شده در دمای ۳۰- درجهٔ سلسیوس است. این پدیده را Meziani *et al.* (2012) مشاهده کردند. روند مشاهده‌شده در درصد زنده‌مانی مخمر در خمیر منجمد سنگک، مطابق نتایج پژوهش اخیر است.

توان تولید گاز

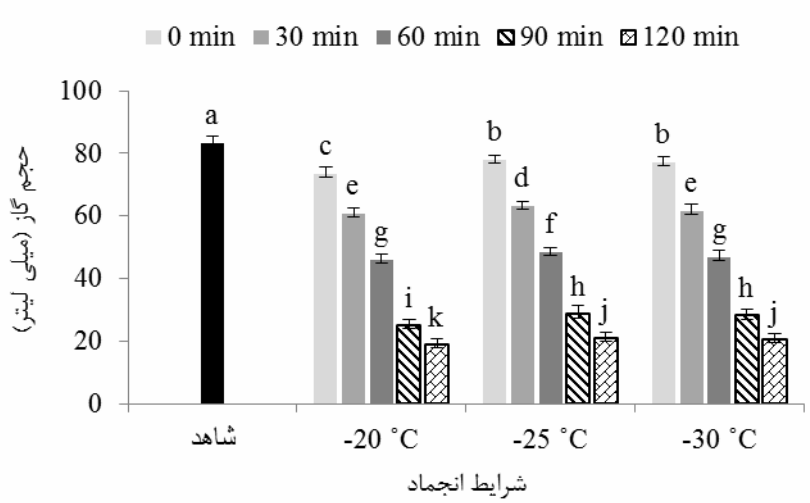
جدول ۲ مقایسهٔ میانگین اثر پیش‌تخمیر و دما بر حجم گاز تولیدی در خمیر طی تخمیر نهایی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول الگوی مشابه با درصد زنده‌مانی مخمر در این بخش نیز مشاهده می‌شود بدین ترتیب که کاهش دمای انجماد از ۲۰- درجهٔ سلسیوس به ۲۵- درجهٔ سلسیوس، میانگین حجم گاز تولیدشده روند صعودی نشان داده است و پس از آن در دمای ۳۰- درجهٔ سلسیوس میانگین حجم گاز تولیدشده تنزل یافته است. Yi *et al.* (2009) با بررسی اثر دمای انجماد و نگه‌داری خمیر منجمد بر خصوصیات کیفی خمیر منجمد و با افزایش سرعت انجماد چنین الگویی را مشاهده کردند. زمان کوتاه‌تر مرحلهٔ تخمیر نهایی با افزایش زمان پیش‌تخمیر، نتایج مقایسهٔ میانگین مشاهده‌شدهٔ اثر پیش‌تخمیر بر حجم گاز تولیدشده طی مرحلهٔ تخمیر نهایی (جدول ۲) را می‌تواند توضیح دهد.

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر میزان گاز تولیدی طی تخمیر نهایی*

عوامل آزمایشی	صفت
پیش‌تخمیر (دقیقه)	حجم گاز (میلی‌لیتر)
۰	۷۶/۱۷[a]
۳۰	۶۱/۸۵[b]
۶۰	۴۷/۰۸[c]
۹۰	۲۷/۱۰[d]
۱۲۰	۲۰/۰۱[e]
دمای انجماد (سلسیوس)	
-۲۰	۴۶/۸۱[a]
-۲۵	۴۷/۷۷[a]
-۳۰	۴۴/۷۵[b]

*در هر عامل و برای هر صفت، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ با آزمون LSD است.

شکل ۲ اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر توان تولید گاز مخمر در خمیر منجمد سنگک و نمونهٔ شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که انجماد سبب کاهش معنی‌دار حجم گاز تولیدی توسط مخمر می‌شود که دلیل آن می‌تواند به سبب مرگ مخمر در اثر انجماد باشد. ثبت حجم گاز در نمونه‌های با پیش‌تخمیر ۱۲۰ دقیقه (با زمان تخمیر نهایی ۰ دقیقه) به‌منظور بررسی اثر دمای انجماد بر توان تولید گاز، ۱۵ دقیقه پس از آغاز تخمیر انجام شد.



شکل ۲. اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر توان تولید گاز مخمر در خمیر منجمد سنگک و نمونهٔ شاهد

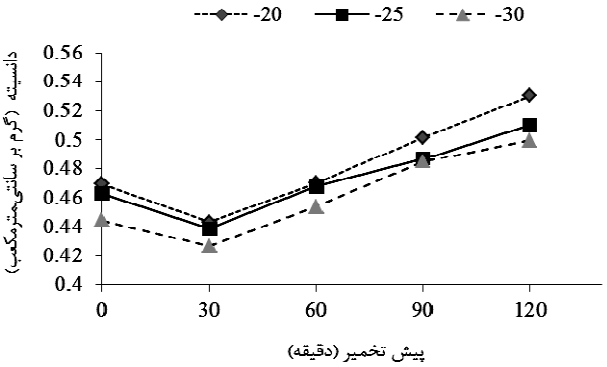
دانسیتهٔ نان

جدول ۳ شامل نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد سنگک است. شکل ۳ تغییرات دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد سنگک در پیش‌تخمیر و دمای انجماد متفاوت را نشان می‌دهد. با بررسی جدول ۳ و شکل ۳، با افزایش زمان پیش‌تخمیر تا ۳۰ دقیقه، میانگین دانسیتهٔ کاهش نشان داده است و پس از آن با افزایش زمان پیش‌تخمیر دانسیتهٔ نان افزایش یافته است. با درنظرگرفتن اینکه کاهش دانسیته در نان صفت مطلوب به‌شمار می‌آید، زمان پیش‌تخمیر کوتاه‌تر سبب اثر مطلوب‌تری شده است. دانسیته تابعی از جرم و حجم نمونه است. در ابتدای عمل پخت فعالیت مخمرها تشدید می‌یابد و در نتیجه تولید گاز افزایش می‌یابد. درصد بالاتر مخمر سبب تولید گاز بیش‌تر در خمیر طی مرحلهٔ پخت می‌شود که با انبساط آن در اثر حرارت، سبب زیادشدن حجم نان خواهد شد. با توجه به اینکه پایین‌ترین مقدار دانسیته در پیش‌تخمیر ۳۰ دقیقه مشاهده می‌شود، می‌توان درصد بیشتر مخمر زنده‌مانده در این سطح از پیش‌تخمیر را دلیل حجم بالاتر و دانسیتهٔ کمتر آن دانست. انطباق درصد زنده‌مانی مخمر بر دانسیتهٔ نان در سطوح دیگر پیش‌تخمیر نیز مشاهده می‌شود. مقایسهٔ میانگین اثر دمای انجماد بر دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد (جدول ۳)، نشان می‌دهد که با کاهش دمای انجماد میانگین دانسیتهٔ نان کاهش یافته است. دلیل چنین رفتاری را می‌توان به اتفاقاتی که در زمان پخت رخ می‌دهد، نسبت داد. توانایی شبکهٔ گلوتنی در حفظ حجم گاز و بخار آب حاصل در طی پخت، عامل تعیین‌کننده در حجم و متعاقباً دانسیته خواهد بود. شبکهٔ گلوتنی در طی انجماد متحمل آسیب خواهد شد. بخشی از این آسیب‌ها به سبب تشکیل بلورهای یخ در طول دورهٔ انجماد است که با ایجاد شکاف‌هایی در شبکهٔ گلوتنی توانایی آن را برای حفظ گاز کاهش خواهد داد. با افزایش سرعت انجماد به سبب کاهش اندازهٔ بلورهای یخ شکاف‌های ریزتری در شبکهٔ گلوتنی ایجاد خواهد شد و پیوستگی آن کمتر متحمل آسیب می‌شود و نتیجهٔ آن حفظ بیشتر گاز، حجم بیشتر نان، و دانسیتهٔ کمتر آن خواهد بود. LeBail *et al.* (2010) نیز با بررسی اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد، بیان کردند که در زمان کوتاه پیش‌تخمیر و دمای انجماد بالاتر کم‌ترین دانسیتهٔ نان حاصل شد.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین مربوط به اثر پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد سنگک*

عوامل آزمایشی	صفت
پیش‌تخمیر (دقیقه)	دانسیتهٔ نان (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰	۰/۴۶۰^{c}
۳۰	۰/۴۳۶^{c}
۶۰	۰/۴۶۳^{bc}
۹۰	۰/۴۹۰^{ab}
۱۲۰	۰/۵۱۵^{a}
دمای انجماد (سلسیوس)	
-۲۰	۰/۴۸۳^{a}
-۲۵	۰/۴۷۴^{a}
-۳۰	۰/۴۶۲^{a}

*در هر عامل و برای هر صفت، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ با آزمون LSD است.



شکل ۳. تغییرات دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد سنگک در پیش‌تخمیر و دمای انجماد متفاوت

جدول ۴. اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد سنگک و نمونهٔ شاهد*

پیش‌تخمیر (دقیقه)	دمای انجماد (سلسیوس)			شاهد
	-۲۰	-۲۵	-۳۰	
۰	۰/۴۷^{de}	۰/۴۶^{def}	۰/۴۴^{efg}	۰/۴۱^{h}
۳۰	۰/۴۴^{efg}	۰/۴۴^{fg}	۰/۴۳^{h}	
۶۰	۰/۴۷^{de}	۰/۴۷^{def}	۰/۴۵^{ef}	
۹۰	۰/۵^{bc}	۰/۴۹^{cd}	۰/۴۹^{cd}	
۱۲۰	۰/۵۳^{a}	۰/۵۱^{ab}	۰/۵^{bc}	

*در هر عامل و برای هر صفت، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ با آزمون LSD است.

جدول ۴ اثر متقابل پیش‌تخمیر و دمای انجماد بر دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد سنگک و نمونهٔ شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود انجماد به طور کل سبب افزایش دانسیتهٔ نان حاصل از خمیر منجمد می‌شود، به‌طوری‌که کم‌ترین دانسیته مربوط به نمونهٔ غیرمنجمد است.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق اثر سرعت انجماد و پیش‌تخمیر بر خصوصیات کیفی خمیر منجمد سنگک و نان حاصل از آن بررسی شد. نتایج نشان داد که انجماد سبب مرگ مخمر می‌شود و زنده‌مانی مخمر با افزایش سرعت انجماد در ابتدا سیر صعودی و سپس سیر نزولی دارد و بالاترین زنده‌مانی در دمای ۲۵- درجه مشاهده گردید. زمان کوتاه پیش‌تخمیر موجب بهبود زنده‌مانی مخمر گردید که بر این اساس خمیر با پیش‌تخمیر ۳۰ دقیقه، بالاترین شاخص زنده‌مانی مخمر پس از انجماد را نشان داد. حجم گاز تولیدی طی تخمیر نهایی همچون زنده‌مانی مخمر با افزایش سرعت انجماد روند صعودی و سپس نزولی نشان داد و بیش‌ترین حجم گاز در دمای ۲۵- درجهٔ سلسیوس مشاهده گردید. بررسی کیفیت نان حاصل از خمیر منجمد سنگک افزایش دانسیتهٔ آن را در مقایسه با نمونهٔ شاهد نشان داد. افزون بر آن در زمان کوتاه پیش‌تخمیر و سرعت انجماد بالا، نانی با کم‌ترین دانسیته حاصل می‌شود در حالی‌که کاهش سرعت انجماد و افزایش زمان پیش‌تخمیر به بیش از ۳۰ دقیقه موجب افزایش دانسیتهٔ نان می‌شود.

REFFERENCES

AACC. (2000a) AACC Method 42-50 Mold and yeasts counts (10th ed.). St. Paul MN: AACC.

AACC. (2000b) AACC Method 89-01 Yeast activity, gas production (10th ed.). St. Paul MN: AACC.

Armians, R. M. (1977). Effect of anti-staling compounds on Iranian Sangak bread. MSc. thesis, University of Shiraz, Shiraz. (In Farsi)

Autio, K., and Sinda, E. (1992). Frozen doughs: rheological changes and yeast viability. *Cereal chemistry,* 69(4), 409-413.

Dumont, F., Marechal, P. A., and Gervais, P. (2003). Influence of cooling rate on Saccharomyces cerevisiae destruction during freezing: unexpected viability at ultra-rapid cooling rates. *Cryobiology,* 46(1), 33-42.

Gabric, D., Ben-Aissa, F., Le-Bail, A., Monteau, J., and Curic, D. (2011). Impact of process conditions on the structure of pre-fermented frozen dough. *Journal of Food Engineering,* 105(2), 361-366.

Kenny, S., Wehrle, K., Dennehy, T., and Arendt, E. (1999). Correlations between empirical and fundamental rheology measurements and baking performance of frozen bread dough. *Cereal chemistry,* 76(3), 421-425.

LeBail, A., Grinand, C., Cleach, S. L., Martinez, S., and Quilin, E. (1999). Influence of storage conditions on frozen French bread dough. *Journal of Food Engineering*, 39(3), 289-291.

Le Bail, A., and Goff, H. D. (2008). Freezing of Bakery and Dessert Products. In J. A. Evans (Ed.), *Frozen Food Science and Technology*, (pp. 184-204). UK: Blackwell Publishing.

Le-Bail, A., Nicolitch, C., and Vuillod, C. (2010). Fermented frozen dough: impact of pre-fermentation time and of freezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread. *Food and Bioprocess Technology,* 3(2), 197-203.

Meziani, S., Ioannou, I., Jasniewski, J., Belhaj, N., Muller, J. M., Ghoul, M., and Desobry, S. (2012).

Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network integrity of sweet dough. *LWT-Food Science and Technology,* 46(1), 118-126.

Payan, R. (1998). *Introduction to Cereal Technology*. Tehran: Nopardazan. (In Farsi)

Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., and Cleland, D. J. (2008). Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Scince and Technology,* 43(10), 1759-1762.

Rasanen, J., Laurikainen, T., and Autio, K. (1997). Fermentation stability and pore size distribution of frozen prefermented lean wheat doughs. *Cereal chemistry,* 74(1), 56-62.

Van Dijck, P., Gorwa, M. F., Lemaire, K., Teunissen, A., Versele, M., Colombo, S., Dumortier, F., Ma, P., Tanghe, A., and Loiez, A. (2000). Characterization of a new set of mutants deficient in fermentation-induced loss of stress resistance for use in frozen dough applications. *International journal of food microbiology,* 55(1), 187-192.

Yi, J., and Kerr, W. L. (2009). Combined effects of freezing rate, storage temperature and time on bread dough and baking properties. *LWT-Food Science and Technology,* 42(9), 1474-1483.