مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۳ شماره ۳/ سال ۱۴۰۲/ صفحات ۴۹ تا ۶۶
DOI: 10.22034/FR.2023.53931.1853

مقایسه تطبیقی عملکرد بسترهای فلزی و غیرفلزی در پخت صنعتی نان از نظر کاربردپذیری و خواص کیفی محصول نهایی

صادق سیدلو[۱]، حبیبه نعلبندی[*۱]، سینا علیزاده[۲] و فرید بجایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰/۱۱/۸

[۱] به‌ترتیب استاد و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[۲] به‌ترتیب فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[*] مسئول مکاتبه: Email: h.nalbandi@tabrizu.ac.ir ; habibehnalbandi@yahoo.com

چکیده

زمینه مطالعاتی: نان در اکثر کشورهای درحال توسعه و توسعه‌نیافته، غذای اصلی محسوب می‌شود. عوامل مختلفی در کیفیت و ماندگاری آن تاثیرگذار است. از جمله دلایل پایین‌آمدن کیفیت و تسریع بیاتی نان در ایران، استفاده از تجهیزات و روش‌های پخت نامناسب است که بستر پخت از تاثیرگذارترین است. امروزه در ایران، غالبا از بسترهای پخت چدنی استفاده می‌شود که ضمن افزایش بیاتی نان، موجب انتقال فلزات سنگین از بستر به خمیر و نان می‌شود. **روش کار:** در این تحقیق، بستر پخت چدنی با دو بستر پخت سفالی و سرامیکی (کوردریت – مولایت) جایگزین شد و در مقیاس صنعتی مورد آزمون قرار گرفته و کیفیت و ماندگاری نان‌های حاصل سنجیده شد. بنابراین یک ماشین دوار پخت نان مسطح با بسترهای پخت جدید ساخته شد. مقاومت به تنش‌های حرارتی، سختی سطح و استحکام خمشی هر دو بستر غیرفلزی مورد ارزیابی قرار گرفت. دو نوع ارزیابی نیز روی نان تولیدی شامل ارزیابی حسی و آزمون نفوذ نان‌ها در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از پخت صورت گرفت. **نتایج:** مقاومت به تنش‌های حرارتی و سختی سطح دو بستر غیرفلزی در حین پخت نان، کاملا قابل قبول بوده و از استحکام خمشی قابل‌قبولی نیز برخوردار بودند. امتیازات حاصل از ارزیابی حسی نان‌های پخته شده در روی بستر سفالی و کوردریت – مولایت، نشان‌دهنده مقبولیت و ارجحیت نسبی پخت روی این دو بستر غیرفلزی بود و در اکثر موارد کیفی از امتیاز بالاتری برخوردار بود. ماندگاری و عدم بیاتی نان نیز در طول زمان نگهداری، بیشتر از نان‌های پخته شده روی بستر چدنی بود. نتایج حاصل از آزمون نفوذ نان‌های پخته شده روی دو بستر مذکور نیز در مقایسه با بستر چدنی، نشان داد که نان‌های پخته شده روی آنها از نیروی نفوذ کمتری نسبت به نان‌های شاهد (چدن) برخوردار می‌باشند. **نتیجه‌گیری نهایی:** نان‌های پخته‌شده روی بسترهای سفالی و کوردریت – مولایت از کیفیت بسیار بالاتر و ماندگاری بیشتری برخوردار بوده و قابلیت صنعتی‌شدن دارند.

واژگان کلیدی: نان لواش، بستر پخت، سفال، کوردریت، کوردریت – مولایت، ماشین پخت

مقدمه

مصرف غلات توسط انسان و در مراحل ابتدایی، به صورت دانه بوداده شروع شده و سپس مراحل تکاملی خود را به شکل خمیر و نان مسطح و نازک طی نموده است و امروزه در فرم نان حجیم و متخلخل نقش عمده‌ای را در تغذیه به عهده دارد. تهیه نان با استفاده از خمیر ترش و به صورت نازک و مسطح سبب شد که در اثر تخمیر، نان حاصل پوک و از حالت سفت و سخت خارج و قابلیت جویدن بهتری پیدا نماید. نان‌های سنتی ایران، نان‌های نازک و مسطحی مانند لواش، تافتون و سنگک هستند به‌طوری‌که از کل گندم مصرفی کشور ۸۴٪ به نان‌های مسطح و ۳/٤٪ آن به نان‌های حجیم اختصاص می‌یابد و بقیه به صورت مستقیم و یا در تهیه رشته و ماکارونی استفاده می‌شود. می‌توان گفت که ۳٤٪ از کل نان تولیدی در ایران مختص نان لواش است. در کشورهای سوئیس، لهستان و سوئد نیز در اوایل قرن بیستم، نان‌هایی مشابه با نان لواش وجود داشته است. هم‌چنین نان‌های مسطحی مانند تافتون در کشورهای عربی و نیز بربری در آسیای میانه متداول است. این در حالی است که نان سنگک، نان اصیل ایرانی است (رجب‌زاده ۱۳۸۲).

سرانه مصرف نان ایرانیان حدود ۱۷۰ کیلوگرم در سال است، درحالی‌که میانگین سرانه جهانی ٦۰ الی ۷۰ کیلوگرم می‌باشد. متاسفانه میزان دور ریز نان (ضایعات نان) در ایران، حدود ۳۰ درصد برآورد شده است که در مقایسه با استانداردهای جهانی بسیار بالاتر است. بیشترین ضایعات به نان‌های بربری، لواش و سنگک مربوط می‌شود که بیشترین مصرف را در ایران دارند (روانفر و همکاران ۱۳۹۲). عوامل موثر بر دور ریز نان، ناشی از ضایعات در مراحل تولید گندم، تولید آرد، نان و سپس ضایعات در مرحله مصرف است که ادامه روند فعلی برای دولت و جامعه، مقرون به صرفه نبوده و توجه به این مهم به صور مختلف اجتناب‌ناپذیر است. شناخت عوامل موثر در کاهش کیفیت و نیز افزایش ضایعات نان، امری ضروری است تا با شناخت عوامل موثر بتوان در خصوص حل مشکل اقدام نمود.

فرآیند تهیه نان شامل تهیه خمیر، آماده‌سازی خمیر برای پخت و مرحله پخت نان است (طاهری و قربانی ۱۳۹۰؛ صالحی ۱۳۹۲). فرآیند پخت، یکی از مهم‌ترین مراحل تهیه نان و تعیین‌کننده کیفیت نهایی آن است زیرا نان ویژگی‌های خاص خود را در این مرحله استحصال می‌کند. بنابراین تولید محصول مرغوب، مستلزم انتخاب درست و توجه به نوع بستر پخت، درجه حرارت پخت و رطوبت می‌باشد (هویی و چنگ ۲۰۰٦). فرآیند تولید نان به دو روش سنتی و صنعتی امکان‌پذیر است که درحال حاضر تغییر در ساختار تولید نان از روش سنتی به صنعتی، از مهم‌ترین و اساسی‌ترین عوامل تولید نان به صورت بهداشتی و استاندارد و ارتقای کیفیت آن به شمار می‌رود. مطالعات انجام شده روی مقایسه این دو روش تولید نان نشان می‌دهند که در روش صنعتی با بهره‌گیری از تجهیزات اتوماتیک در تمامی مراحل تولید، امکان کنترل کیفی و کمی مواد، دما و زمان فرآیند و کاهش خطای نیروی انسانی و نیز کاهش مصرف انرژی و افزایش وضعیت بهداشتی محصول نهایی فراهم می‌شود. باید توجه داشت که تولید صنعتی نان صرفا به معنای تولید نان‌های حجیم نیست که با ذائقه بسیاری از مردم سازگاری ندارد، بلکه هدف تولید نان‌های سنتی مانند سنگک، بربری، لواش و تافتون می‌باشد که قابلیت تولید انبوه و متمرکز را دارا می‌باشند (ممرآبادی و همکاران ۱۳۹٦).

علاوه بر تجهیزات و بستر پخت، استفاده از آرد با ترکیبات مختلف و نیز نحوه آماده‌سازی خمیر نیز روی خواص کیفی محصول نهایی تاثیرگذار است. ترابی‌زاده (۱۳۷٦) در تحقیقی تاثیر کیفیت آرد و نوع آماده‌سازی خمیر شامل انجماد سریع و کند خمیر قبل از تهیه نان را روی کیفیت محصول نهایی بررسی کردند که روش انجماد سریع و استفاده از آرد با محتوی گلوتن بالا نسبت به بقیه ارجح‌تر بود. هم‌چنین پیغمبردوست

(۱۳۷۵) در پژوهشی تاثیر درجه استخراج آرد، خواص رئولوژیک خمیر در نان‌های مسطح ایران (لواش، تافتون و بربری) را روی شدت بیاتی نان‌های تولیدی مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد اکثر خواص کیفی تحت تاثیر درجه استخراج آرد می‌باشد. مطلوب‌ترین درصد استخراج برای تولید نان‌های لواش، تافتون و بربری به ترتیب ۸۸، ۹۰ و ۸۸ درصد می‌باشد. مردانی قهفرخی و یارمند (۱۳۹۵) دریافتند که وجود سبوس در آرد موجب اصلاح کیفیت نان می‌شود. شیخ‌الاسلامی و همکاران (۱۳۹۶) خواص کیفی، رئولوژیکی و ماندگاری نان قالبی ترکیبی را بررسی کردند. آنان نشان دادند که افزودن آرد ترتیکاله سبب کاهش نرمی بافت و حجم مخصوص نان شد.

همان‌طوری‌که اشاره شد یکی از اجزاء مهم و تاثیرگذار در تنور پخت نان سنتی، بستر پخت سفالی است که این‌گونه سفال‌ها به تنهایی، مقاومت به تنش حرارتی و استحکام مکانیکی پایینی دارند به همین دلیل از گذشته تاکنون برای جبران این عیوب و جلوگیری از شکست یا ترک‌خوردن آن، از پرکننده‌هایی سنتی مثل موی بز، پنبه‌نی و ماسه بادی در ساختار آنها استفاده شده است (پاسکالونه ۲۰۱۸؛ پارکر و اوزل ۲۰۰۷). اما امروزه این پرکننده‌ها به دلایل بهداشتی در حال منسوخ‌شدن هستند و علاوه بر این تنورهای سنتی نیز به دلیل تناژ تولیدی پایین آنها، قادر به پاسخگویی به نیازهای بازار نیستند. لذا در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از پخت صنعتی و مدرن با بسترهای فلزی افزایش یافته است. از سالیان گذشته فلز چدن به عنوان یکی از مناسب‌ترین مواد برای بستر پخت تشخیص داده شده است به‌طوری‌که این فلز دارای هدایت حرارتی بالایی بوده و مقاومت به خمش بالایی دارد. اما استفاده از چدن، مشکلاتی را در رابطه با کیفیت و ماندگاری نان‌ها به وجود آورده است (ایزدی نجف‌آبادی و همکاران ۲۰۱۵). در گذشته نان به صورت لایه نازک در تنورهایی از جنس سفال پخته می‌شد و حرارت داخل تنور و هم حرارت دیواره تنور در پخت آن دخالت داشتند. به این ترتیب آهنگ پخت به دلیل استفاده از سفال با هدایت حرارتی پایین، کمتر بوده و نان به صورت کامل مغز پخت شده و ماندگاری آن بالا بود. اما در تنورهای صنعتی به‌دلیل امکان افزایش دمای پخت، سرعت چرخش بستر پخت و نیز استفاده از چدن با ضریب هدایت گرمایی بالا، سرعت پخت نان بسیار بالاتر از تنورهای سنتی می‌باشد که این امر موجب عدم پخت کامل نان شده و تقریبا محصول به جای پختن، خشک می‌شود به‌طوری‌که رطوبت بالای مرکز نان عامل اساسی بیاتی مطرح می‌شود (ناصحی و همکاران ۱۳۸۸؛ رجب‌زاده ۱۳۸۲). ایزدی نجف‌آبادی و همکاران (۲۰۱۵) طی مطالعه‌ای اثر نوع بستر پخت (پخت بر روی بستر سنگ‌ریزه و بستر فلزی) و نیز دمای پخت (°C ۲۸۰، °C ۳۱۰، °C ۳۴۰) را بر بیاتی نان سنگک در طی نگهداری در دمای °C ۲۰ مورد بررسی قرار دادند. میزان سفتی نان‌های پخته‌شده بر روی بستر سنگ‌ریزه به طور معنی‌داری کمتر از سفتی نان‌های پخته شده روی بستر فلزی طی دوره نگهداری بودند. پخت روی بستر سنگ‌ریزه، آهنگ حرارت‌دهی را کاهش داده و کاهش سرعت حرارت‌دهی منجر به کاهش سینتیک بیاتی گردید. بجایی و همکاران (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) بیان داشتند که علاوه بر بستر پخت، روش حرارت‌دهی و انتقال گرما به بستر نیز روی خواص کیفی نان لواش موثر است. آنان ماشین پخت نان دوار با حرارت‌دهی غیرمستقیم را طراحی و ساختند. نتایج به دست آمده نشان داد نان‌های پخته‌شده با روش حرارت‌دهی غیر-مستقیم از کیفیت و ماندگاری بالاتری نسبت به نان‌های پخته‌شده با ماشین‌های متداول با حرارت‌دهی مستقیم برخوردار بودند.

در خصوص مدل‌سازی عددی موضوع پخت نان به منظور تعیین مشخصه‌های عملکردی موثر در پخت برای افزایش کیفیت محصول، تحقیقاتی در دنیا صورت گرفته است و این مدل‌ها براساس روش‌های مختلف

شامل اجزاء محدود بسط داده شده‌اند. به عنوان مثال در یک نمونه از این مدل‌ها، پیش‌بینی انتقال گرما، محتوای آب، فشار و تغییر شکل گاز در درون نان صورت گرفته است. هم‌چنین در این تحقیق یک رویکرد تجربی به منظور مقایسه نتایج عددی و نتایج تجربی (پیش‌بینی رطوبت و گرما) انجام شده است. نتایج این پژوهش‌ها باعث بهبود کیفیت تولید نان، حفظ بیشتر مواد مغذی نان، کاهش مصرف انرژی در پخت نان و کاهش هزینه‌ها شده است (نیکولاس و همکاران ۲۰۱٤؛ ژانگ و داتا ۲۰۰٦).

غالبا نان به صورت یک محیط متخلخل فرض می‌شود که از یک سیستم ناهمگن تشکیل شده است که شامل یک ماتریس جامد به همراه فضای خالی به عنوان تخلخل است به‌طوری‌که گازهای مختلف در داخل آن فضا قرار می‌گیرند. بدین صورت که نسبت مجموع فضاهای خالی شامل روزنه‌ها و شکاف‌ها بر حجم قسمت جامد، برابر واحد است. تشکیل گازهای مختلف و محبوس بودن آنها در داخل نان در طول پخت یکی از دلایل کیفیت بالای نان تولیدی است (نادری بلداجی ۱۳۹٦).

مصرف انرژی در تولید نان تابع هندسه محیط پخت، شرایط دمایی و نیز صور مختلف انرژی مورد استفاده در پخت مانند هدایت، همرفت و تابش است. هاشمی و همکاران (۱۳۹۹) با برآورد سهم مکانیزم‌های مختلف انتقال گرما در پخت نان‌های مختلف اذعان نمودند که می‌توان راهکارهایی برای بهبود کیفیت نان و کاهش مصرف انرژی ارائه نمود. آنان با محاسبات تحلیلی و آزمایش‌های تجربی، سهم مکانیزم‌های مختلف انتقال گرما در پخت نان‌های مختلف سنتی مسطح (سنگک، بربری و تافتون) را تعیین و سپس با توجه به نتایج، برای تنورهای مربوطه پیشنهادهای نظری برای بهینه‌سازی عملیات پخت ارائه دادند. این بهینه‌سازی‌ها شامل اصلاح هندسه تنور، کنترل سهم هوای اضافی، بهبود خواص ترموفیزیکی بستر تنور و خواص تشعشعی دیواره‌ها و سقف تنور بود.

با مرور و بررسی مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که جایگزین یک بستر جدید پخت نان مسطح با بسترهای فلزی در مقیاس صنعتی، برای بالا بردن کیفیت نان مسطح و به تبع آن کاهش تلفات و هزینه‌های مازاد، امری ضروی و حیاتی است. تنورهای سنتی سفالی در شرایط فعلی به دلیل عدم رعایت تمهیدات بهداشتی در ساخت آن‌ها، ظرفیت پایین و استحکام ضعیف آن‌ها، قابلیت صنعتی شدن را ندارند. لذا در تحقیق حاضر تلاش شده است تا با امکان‌سنجی استفاده از مواد غیرفلزی مانند مواد سرامیکی به عنوان بستر پخت در ماشین‌های پخت نان مسطح دوار، کیفیت و ماندگاری نان را از این طریق افزایش داده و بدین ترتیب در کاهش ضایعات نان‌های مسطح که سهم عمده‌ای را در تلفات غذایی کشور به خود اختصاص داده‌اند، نقشی را ایفا نمود. در این تحقیق بسترهای غیرفلزی توسعه داده شده از نظر خواص مکانیکی شامل استحکام، کاربردپذیری و نیز کیفیت نان حاصل با یکدیگر و نیز با بسترهای متداول فلزی که در اغلب موارد از جنس چدن هستند، مقایسه شده است.

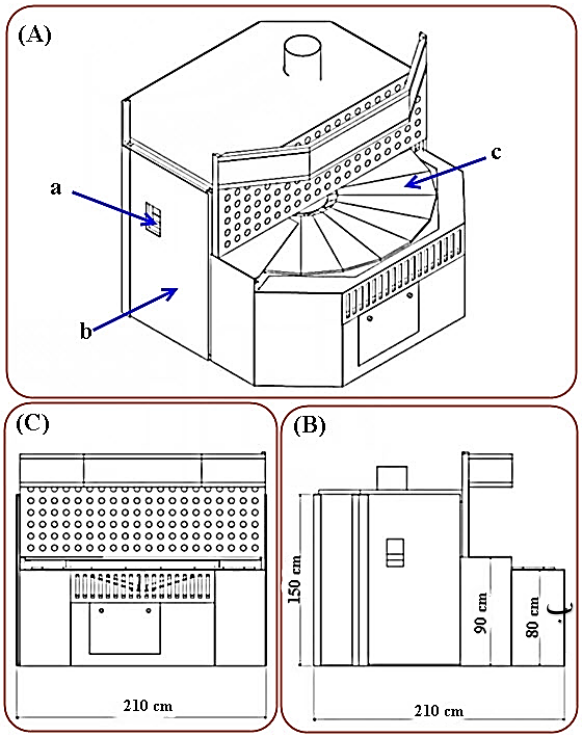
مواد و روش‌ها

تهیه تجهیزات و آماده‌سازی نمونه‌ها

ماشین پخت

این پژوهش با هدف پیاده‌سازی و نصب بسترهای مختلف پخت روی یک ماشین پخت دوار و با حرارت مستقیم برای ارزیابی کیفیت نان‌های تولیدی انجام شده است. شاسی و چارچوب اصلی ماشین پخت به ابعاد تقریبی ۲۱۰ × ۲۱۰ سانتی‌متر و با ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر و دارای گردونه‌ای با قطر ۱۹۰ سانتی‌متر ساخته شد. دیواره‌های این ماشین از ورق آهنی به ضخامت ۲ میلی‌متر بوده و عایق‌بندی آن با پشم‌سنگ فشرده ۵۰ میلی‌متری به همراه یک لایه آجر ساخته شد

(شکل ۱). گرمای موردنظر برای پخت از دیواره سمت چپ آن با یک مشعل دمنده‌دار با سوخت گاز طبیعی (ساخت شرکت گرم‌ایران مدل GNG-90) و با ظرفیت ۲۰۰۰۰–۲٤۰۰۰kcal/h تامین شد. دریچه دیگری نیز در پایین آن تعبیه شد تا مشعل دیگری نیز در پایین صفحه دوار نصب شود. گردش چرخ‌وفلک یا گردونه با یک موتورالکتریکی سه فاز ساخت شرکت کوپر با توان یک اسب‌بخار و با سرعت دورانی موتور معادل ۱٤۲۰ دوربردقیقه و یک جعبه‌دنده متصل به موتور با نسبت ۱ به ۱۰۰، ساخت همان شرکت صورت گرفت. جعبه‌دنده به یک دستگاه مبدل تیپ IC 5 متصل شد. مبدل مذکور برق AC تک‌فاز را به برق سه‌فاز تبدیل کرده و نیز فرکانس آن بر اساس نیازهای پخت و سرعت‌های دورانی مورد نیاز گردونه، قابل تنظیم می‌باشد. انتقال توان از موتور الکتریکی به گردونه ماشین نیز با سیستم تسمه و پولی صورت گرفت.



شکل ۱– A: نمایی از ماشین پخت دوار با حرارت مستقیم،a: مشعل، b: دیواره های عایق و c: بستر پخت یا گردونه B: نمای جانبی ماشین، C: نمای روبه‌رویی ماشین

Figure 1- A: 3 D view of baking machine with direct heat baking method, a: burner, b: isolated walls and c: baking bed; B: Side view; C: Front view

نان لواش

نان لواش مانند دیگر نان‌های مسطح از مخلوط‌کردن آرد، آب، نمک طعام و مخمر تشکیل می‌شود. نسبت‌های استفاده شده در این مطالعه به صورت یک کیلوگرم آرد ۱۸ درصد، ٦۰۰ گرم آب، ۲/۵ گرم مخمر و ۵ الی ۱۰ گرم نمک برای تهیه خمیر موردنظر استفاده شد. بعد از تهیه خمیر با ۱۵ کیلوگرم آرد و پس از ور آمدن خمیر که به معنی تکمیل عمل تخمیر است، چانه‌ها با وزن تقریبی ۲۵۰ الی ۳۰۰ گرم تهیه شدند. چانه‌ها با یک دستگاه خمیر پهن‌کن غلتکی، پهن و روی بالشتک مخصوص پخت قرار داده شد و عمل پخت روی بستر صورت گرفت. روی هر کدام از بسترها حدود ۲۰ تا ۳۰ عدد نان پخته شد.

تهیه بستر پخت

در این مطالعه از چهار نوع بستر پخت متفاوت برای پخت نان لواش استفاده شد تا اولا کاربردپذیری و

امکان استفاده از آنها در مقیاس صنعتی مورد آزمون واقع شده و ثانیا تاثیر این بسترها روی خواص کیفی نان‌های پخته شده ارزیابی شود. بسترهای مذکور شامل بستر چدن خاکستری، بستر سفالی سنتی (ذوزنقه‌ای شکل)، بستر سفالی دایره‌ای شکل و بستر سرامیکی (کوردریت – مولایت) بودند.

بستر چدنی

همان‌طوری‌که اشاره شد بستر چدنی که عمدتا از نوع چدن خاکستری می‌باشد، متداول‌ترین بستر پخت در اغلب ماشین‌های پخت دوار در ایران می‌باشد. این بسترها به‌طورکلی از طریق ریخته‌گری در قالب‌هایی با شکل‌ها و اندازه‌های مختلف ساخته شد و در حدود یک‌سوم از مساحت گردونه توسط این بسترها تجهیز شد (a در شکل ۲).

بستر سفالی سنتی (ذوزنقه‌ای شکل)

برای ساخت بسترهای پخت سفالی ابتدا قالب‌های ذوزنقه‌ای شکل فلزی با ابعاد مناسب تهیه شدند و خاک رس (با ترکیب ۵۰٪ (SiO_2)؛ ۱۰٪ (Al_2O_3)؛ ۴۰٪ (MgO, Fe_2O_3, CaO)) با آب مخلوط شده و با دستگاه ورزدهنده گل خاک رس به خوبی ورز داده شده و سپس قالب‌ریزی شدند (b در شکل ۲).

شکل ۲- قطاع‌های a: چدنی و b: سفالی ذوزنقه‌ای شکل

Figure 2- Circular sectors of a: cast iron and b: trapezoidal earthenware

بستر سفالی دایره‌ای شکل

قطاع‌های ذوزنقه‌ای شکل رسی پس از خشک‌شدن به طور قابل‌توجهی دچار چروکیدگی شدند. براساس مشاهدات تجربی استحکام آن‌ها نیز در حین نصب روی دستگاه بسیار پایین بود. لذا برای حل مشکل شکستگی، گل خاک رس با ترکیب مذکور به جای قالب‌های ذوزنقه‌ای در قالب‌های دایره‌ای شکل با قطر ۵۰ سانتی‌متر ریخته شد و برای جلوگیری از چروکیدگی خاک قالب‌ریزی شده در حین خشک‌شدن و نیز به حداقل رساندن خلل و فرج توده خاک، از یک دستگاه پرس ۵۰۰ کیلوگرمی برای فشرده کردن گل در داخل قالب دایره‌ای استفاده شد. قطعات خام سفال پس از خشک‌شدن، از داخل قالب درآورده شده و در دمای حدود ۴۰۰°C به مدت ۱۲ ساعت تحت تف‌جوشی قرار گرفتند. پس از آماده‌سازی صفحات رسی، قطعات روی ماشین پخت نصب شدند. نصب این بسترهای دایره‌ای – شکل توسط مخلوط شن و سیمان روی گردونه ماشین پخت انجام شد (شکل ۳-A).

بستر سرامیکی (کوردریت – مولایت)

چهارمین نوع بستر در این آزمایش‌ها، از نوعی سرامیک پیشرفته با پایه خاک رس استفاده شد که کوردریت – مولایت (با ترکیب $5\ SiO_2 . 2\ Al_2O_3 . 2\ MgO - 3\ (Al_2O_3 . 2\ SiO_2)$ نام داشت. کوردریت – مولایت (در حالت ایده‌آل با درصد وزنی ۷۰٪ کوردریت و ۳۰٪ مولایت) به دلیل کاربرد وسیعی که دارد به سرامیک دیرگداز، مهم و با ارزشی در صنعت تبدیل شده است. این سرامیک‌ها به عنوان مواد نسوز کاربرد زیادی دارند چرا که می‌توانند در عملیات‌های پخت محصولات سرامیکی دیگر مانند مواد بهداشتی، کاشی‌ها در حرارت های بسیار بالا به عنوان تکیه‌گاه و نگهدارنده قطعات در کوره عمل کنند (فرضعلی‌پورتبریز و قاسمی‌کاکرودی ۲۰۱۰). اما استفاده از آن در صنایع غذایی و برای پخت نان، تاکنون در هیچ مطالعه‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است. در این آزمایش از این سرامیک پیشرفته به شکل

صفحاتی با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر استفاده شد و مطابق با ابعاد گردونه ماشین پخت، قطعات برش داده شده و همان‌طوری‌که در شکل ۳-B نشان داده شده است، روی گردونه نصب گردیدند.

شکل ۳- A: صفحات سفالی دایره‌ای شکل و B: صفحات کوردریت – مولایت پس از نصب در روی ماشین

Figure 3- A: Circular earthenware and B: Cordierite-Mullite plate after installation on the baking machine

آزمون پخت نان

در اجرای آزمایش اصلی پخت نان مسطح لواش، گردونه ماشین مورد نظر به سه قسمت تقسیم‌بندی شد که در یک سوم از دایره ماشین پخت، دو عدد قطاع چدنی نصب گردید. در یک سوم دیگر دو قطعه سفال دایره‌ای شکل و در قسمت باقی‌مانده سطح گردونه (بستر پخت)، صفحات سرامیک کوردریت – مولایت برش داده شده، نصب شدند. لازم به ذکر است سفال-های ذوزنقه‌ای شکل با توجه به نتایج به دست آمده و به دلیل احتمال بالای شکستگی و قابلیت پایین سوراخ-کاری آنها، از مطالعات حذف شدند که دلایل آن به تفضیل در بخش نتایج و بحث بیان شده است. بنابراین آزمون پخت نان روی این بستر انجام نشد. با نصب هر سه بستر روی گردونه ماشین پخت، امکان آزمون هم‌زمان پخت روی هر ۳ بستر فراهم شد به‌طوری‌که شرایط پخت، خمیر آماده شده و اپراتورها، همگی برای هر ۳ بستر پخت دقیقا یکسان بود بنابراین خطای آزمایشی کمینه می‌شد. پس از آماده‌سازی خمیر، آزمایش پخت نان لواش توسط دو نانوای ماهر در روی ۳ بستر ذکر شده به طور هم‌زمان انجام گرفت. در نتیجه ۳ نوع نان لواش مختلف از این آزمایش پخت بیرون آمد که در بخش‌های بعدی نحوه ارزیابی و مقایسه آنها آورده شده است.

علاوه بر ارزیابی نان‌های تولید شده، خواصی از قبیل مقاومت به تنش حرارتی، استحکام سطحی و سختی سطحی بسترها و نیز نچسبی نان به بستر (سهولت جدا کردن نان از بستر) نیز در حین آزمون پخت نان سنجیده شده و با یکدیگر مقایسه شدند. تنش حرارتی به دلیل تنش‌های ناشی از گرم و سردکردن سریع ماده (سیکل حرارتی) رخ می‌دهد. این موضوع به دلیل بالا بودن دمای پخت در ماشین‌های پخت نان حائز اهمیت است.

ویژگی سختی سطحی هم در پخت نان نقش چشم‌گیری دارد. اگر سختی سطح سفال بالا نباشد، انتقال ماده بین نان و بستر زیاد شده و در نان حاصل شده مشکلات بهداشتی به وجود می‌آید (که هم‌اکنون در بسیاری از تنورهای سفالی سنتی نیز دیده می‌شود) و نیز سایش سفال با کاردک در هنگام جداسازی و برداشتن نان از روی بستر، می‌تواند آسیب‌های شدیدی به بستر سفالی وارد کرده و کاهش عمر مفید آن را سبب شود. بنابراین مقاومت به سایش بسترها در مقابل کاردک، صرفا با

استفاده از مشاهدات بصری و نظر فرد خبره مقایسه شد.

یکی از دلایل اصلی چسبیدن نان به سطح بستر پخت خنک‌بودن بستر و کاهش دمای آن است. به‌دلیل مصرف انرژی، گرمای نهان تبخیر آب موجود در خمیر، سطوح پخت را خنک کرده و موجب چسبیدن خمیر می‌شوند. در آزمایش‌های اولیه پخت نان روی بسترهای غیرفلزی که حرارت‌دهی به وسیله مشعل تنها از بالای بسترها انجام می‌شد، جدا کردن نان از سطح بستر بنا به دلیل مذکور به سهولت انجام نمی‌شد بنابراین بایستی روند انتقال گرما از قسمت زیرین بسترهای پخت بهبود و اصلاح می‌شد. بدین منظور حرارت‌دهی به طور هم‌زمان از بالا و پایین بسترها انجام شد.

روش‌های آزمون

آزمون بافت نان

در کنار آزمون های حسی و کیفی، استفاده از آزمون‌های کمّی یکی از روش‌های مطمئن برای بیان کیفیت مواد غذایی است. به منظور ارزیابی بافت نان‌های لواش بر طبق استاندارد AACC ۷٤-۱۰/۰۲، از دستگاه سفتی‌سنج مدل (LUTRON-FR-5120) استفاده شد (بی‌نام ۲۰۰۰). بدین ترتیب که در آزمون نفوذ، نیروی لازم توسط یک پروب با مقطع دایره‌ای (با قطر ۳۸ میلی‌متر) با سرعت پیشروی ۱ میلی‌متر در ثانیه و عمق نفوذ ۲/۵ میلی‌متر در داخل نمونه‌های نان با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر اعمال و مقدار نیروی آن قرائت شد. قابل ذکر است که چون ضخامت یک نان مسطح لواش بسیار کمتر از حداقل مقدار ضخامت نمونه مورد نیاز در استاندارد مذکور می‌باشد، برای تهیه نمونه‌های مورد آزمایش نان، علاوه بر اینکه آنها به صورت مربعی شکل با ابعاد ۵ × ۵ سانتی‌متر برش داده شدند، چند لایه از هر نوع نان لواش پخته شده در ۳ بستر موردنظر، روی هم قرار داده شدند تا ضخامت توصیه شده در استاندارد، تحقق یابد.

برای انجام آزمایش، نان‌های پخته شده روی بسترهای ذکر شده، چند دقیقه بعد از پخته‌شدن در داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌دار نگهداری شدند تا در معرض جریان هوای بیرون قرار نگرفته و خشک نشوند. قابل ذکر است که این کار نباید بلافاصله بعد از بیرون آمدن نان از ماشین انجام شود چرا که در این‌صورت حرارت باقی‌مانده در داخل بافت نان، نمی‌تواند از داخل آن رها شده و درون کیسه پلاستیکی باقی می‌ماند و این امر روی بافت نان اثرات مخربی دارد. طبق استاندارد مذکور، آزمون نفوذ نان‌ها در سه زمان متفاوت و در فواصل زمانی ٢٤، ٤٨ و ٧٢ ساعت بعد از پخت و در دمای آزمایشگاه (٢٥ °C) انجام شد. داده‌های حاصل از آزمون نفوذ نان در زمان‌ها و بسترهای مختلف، مورد آزمون آماری قرار گرفتند.

ارزیابی حسی نان‌های تولیدی

در انجام ارزیابی حسی از ۱۵ نفر ارزیاب نیمه – آموزش دیده درخواست شد تا با در نظر گرفتن معیارهای کیفی نان براساس استاندارد AACC ۷٤-۳۰/۰۱، پس از گذشت زمان ٢٤، ٤٨ و ٧٢ ساعت بعد از پخت، هر یک از نان‌ها را ارزیابی کرده و امتیازهایی را از یک (بسیار بد) تا ۵ (بسیار خوب) به هر خصوصیت حسی آورده شده در جدول ۱ اختصاص دهند. خصوصیات حسی ارزیابی شده نان از قبیل فرم و شکل، خصوصیات سطح فوقانی، خصوصیات سطح زیرین، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن و بو، طعم و مزه، در استاندارد مذکور به ترتیب دارای ضرایب وزنی ٤، ٣، ٣، ٢، ٢، ١ و ٥ می‌باشند که اعداد بزرگتر، بیانگر اهمیت نسبی آن مشخصه نسبت به بقیه خواص کیفی است. هر کدام از اعداد مندرج در جدول ۱ بیانگر ارزش کیفی کلی و نهایی آن مشخصه در زمان مورد نظر است که مقدار آن از متوسط‌گیری امتیازات ارایه شده در هر خصوصیت و در هر زمان توسط ارزیاب‌ها حاصل شد (G). هم‌چنین مقبولیت کلی هر نوع نان و در هر کدام از زمان‌های مختلف نگهداری

از طریق رابطه ۱ و با اعمال ضرایب وزنی هر خصوصیت محاسبه شد. قابل ذکر است شرایط و محیط انجام ارزیابی نمونه‌ها برای کلیه ارزیاب‌ها کاملاً یکسان در نظر گرفته شد. در نهایت امتیاز کلی هر نمونه نان پخته‌شده در روی هر بستر مجزا، با یکدیگر مقایسه شد.

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P} \quad [۱]$$

که در آن P ضریب وزنی هر مشخصه؛ G امتیاز داده شده توسط ارزیاب برای هر مشخصه و Q امتیاز کلی هر نمونه نان در کل ویژگی‌ها است.

جدول ۱-خواص مورد ارزیابی و ضرایب وزنی آنها و امتیازهای داده شده توسط ارزیاب‌ها به خصوصیات کیفی نان

Table 1- Sensory attributes and their calculated weights and assigned scores by a sensory panel for the quality characteristics of flatbread

Attributes	Weight coefficient (P)	Mean of sensory evaluation scores (G)								
		Baking day	24 h after baking			48 h after baking			72 h after baking	
		Baking Surface	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Form and shape acceptability	4		4.1	4.3	4.5	3.9	4.1	4.2	3.6	3.9	4.2
Upper-level appearance acceptability	3		4.4	4.8	4.7	4.3	4.8	4.7	4.1	4.4	4.4
Subsurface appearance acceptability	3		4.4	4.4	4.1	4.3	4.4	4.1	3.8	4.4	4.0
Texture -porosity intensity	2		4.6	4.7	4.3	3.9	4.5	4.0	3.3	4.2	3.8
Texture – hardness intensity	2		4.3	4.1	4.6	3.4	3.9	4.4	2.7	3.0	3.5
Chew ability acceptance	1		3.7	4.7	4.4	3.5	4.7	4.0	2.7	3.5	3.6
Flavour, taste, odour acceptance	5		4.0	4.5	4.6	3.9	4.3	4.3	3.6	4.2	4.3
Q			4.2	4.5	4.5	4	4.3	4.3	2.7	2.9	2.9

A: Cast iron, B: Circular earthenware and C: Cordierite-Mullite

مقایسه مقاومت خمشی صفحات کوردریت – مولایت و قطعات سفالی دایره‌ای شکل

آزمون خمش نوعی آزمون برای تعیین خواص مکانیکی مواد است که در آن مقاومت قطعه در برابر خم‌شدگی مورد سنجش قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مواد چدنی از مقاومت خمشی بالایی برخوردار هستند (۴۲۱ تا ۶۴۱ مگاپاسکال) آزمون خمش روی آن انجام نشد ولی اندازه‌گیری و ارزیابی مقاومت خمشی مواد سفالی و سرامیکی تولیدی جهت اطمینان از دوام و عمر کاری آنها تحت حرارت‌های بالا و نیز ضرباتی که توسط نانوا برای چسباندن خمیر در روی بستر صورت می‌گیرد، ضروری است. در این تحقیق از دستگاه آزمون خمش سه نقطه‌ای (دستگاه آزمون کارا صنعت با ظرفیت ۳۰۰۰ کیلوگرم) برای آزمون مقاومت خمشی قطعات کوردریت – مولایت و قطعات سفالی دایره‌ای شکل استفاده شد (شکل ٤). مواد موردنظر، مواد ترد و شکننده می‌باشند. در مواد بسیار ترد، مانند بسیاری از سرامیک‌ها، مقاومت تسلیم، مقاومت کششی و مقاومت شکست در یک مقدار به خصوصی از بار اعمالی اتفاق می‌افتند.

آزمایش‌ها براساس استاندارد ASTM C 1211-18 انجام شدند. با توجه به استاندارد موردنظر در آزمون خمش، نیرو از قسمت بالا توسط سمبه به قطعات موردنظر که در دمای بالا حرارت‌دهی شده بودند، اعمال شد. به‌طوری‌که سمبه با سرعتی معادل با ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه به سمت قطعه مورد آزمون حرکت

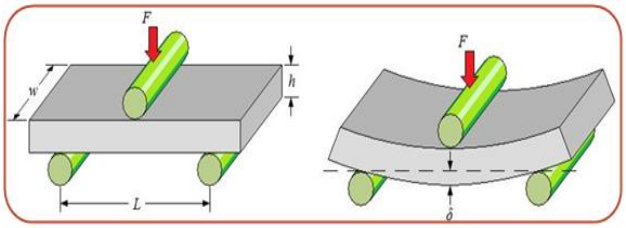
داده شد. در حین آزمون‌ها، در سطح بالایی قطعه تنش فشاری و در سطح پایینی آن تنش کششی ایجاد می‌شد و به دلیل اینکه معمولا مقاومت کششی موادی مانند سفال و کوردریت – مولایت کمتر از مقاومت فشاری آنها است، بنابراین مواد سفالی و سرامیکی استفاده شده در این پژوهش نیز از طرف سطح پایین آن دچار ترک شدند. با انجام این آزمایش روی نمونه‌های سفال دایره‌ای شکل و کوردریت – مولایت، مقدار بار شکست (تنش شکست) آنها مشخص شده و مقاومت شکست آن‌ها از رابطه (۲) محاسبه شد و مقادیر به‌دست‌آمده برای مواد موردنظر، مورد مقایسه قرار گرفت.

$$\sigma = \frac{3\,F{\cdot}L}{2\,w{\cdot}h^2} \qquad [۲]$$

که در آن σ مقاومت شکست (خمشی) (MPa)، F حداکثر نیرو در زمان شکست (N)، L فاصله تکیه‌گاه‌ها (mm)، w عرض نمونه (mm) و h ضخامت نمونه (mm) است. شکل ۵، طرح‌واره‌ای از نحوه انجام آزمون استحکام خمشی سه – نقطه‌ای مواد را نشان می‌دهد.

شکل ۴- دستگاه آزمون مقاومت خمشی

Figure 4- Flexural strength testing machine



شکل ۵- طرح‌واره آزمون خمش سه – نقطه‌ای

Figure 5- Schematic of three-point bending test

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی خواص مکانیکی و حرارتی بسترها

یکی از ویژگی‌های مکانیکی مهم در بستر پخت سختی سطح است. سختی سطح چدن و سرامیک کوردریت – مولایت طبق مطالعات انجام شده بسیار بالا است (هیپدینگر و همکاران ۲۰۰٤) و این امر در حین آزمایش‌های پخت نان در تحقیق حاضر نیز مشهود بود. اما سختی سطح سفال هیچ‌گاه نمی‌تواند مانند فلزات و سرامیک‌های صنعتی باشد. قطعات سفالی اولیه (ذوزنقه‌ای شکل) که بدون پرس قالب‌ریزی شده بودند، سختی سطح بسیار پایینی داشتند و در حین آزمایش پخت نان انتقال ماده بین بستر و نان مشخص و اثرات کاردک نانوا روی آنها مشهود بود اما در قطعات سفالی دایره‌ای شکل که همراه با یک پرس ۵۰۰ کیلوگرمی قالب‌ریزی شده بودند، با اینکه آزمایش دقیق سختی‌سنجی سطوح انجام نشد ولی آزمایش‌های تجربی نشان داد که سختی سطح بسترهای سفالی دایره‌ای شکل پس از تف‌جوشی نسبتا زیادتر شده و می‌توان آنها را در پخت نان لواش در ماشین‌های صنعتی نان به کار برد.

مقاومت به تنش حرارتی چدن خاکستری و سرامیک کوردریت – مولایت در حین آزمایش پخت نان و آزمایش‌های قبل از آن (حرارت‌دهی پیوسته بسترها روی گردونه در حال دوران ماشین پخت با دمای ۳۰۰°C تا ۳۵۰°C به مدت ۱۲ تا ۱٤ ساعت) بسیار بالا تشخیص داده شد و این مواد در حرارت‌های پخت کرنش زیادی از خود نشان ندادند. این نتیجه با یافته‌های تاردیل و همکاران (۲۰۰٤) مطابقت دارد.

سلیمانی (۱۳۸۵) نیز از کوردریت - مولایت جهت ساخت پشت‌بند برای جوشکاری استفاده کرد که به دلیل خواص مکانیکی و مقاومت به تنش حرارتی خوب سرامیک‌های پایه کوردریتی، پژوهش او موفقت‌آمیز بود. قطعات سفالی اولیه (ذوزنقه‌ای شکل) نه تنها از استحکام مکانیکی پایینی برخوردار بودند، بلکه مقاومت به تنش حرارتی آنها چندان بالا نیست و در دوره‌های حرارت‌دهی بلندمدت ساختار آنها دچار کرنش بالا شده و ترک برمی‌دارند. اما سفال‌های پرس‌شده (دایره‌ای شکل) به دلیل شیوه ساخت آنها چه در طول آزمایش‌ها و چه در حرارت‌دهی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت مانند عملیات تف‌جوشی سفال‌های خام، هیچ آسیبی را متحمل نشدند و همان‌طوری‌که تصور می‌شد این قطعات دارای مقاومت به تنش‌های حرارتی بالاتری بودند.

نچسبی نان به بستر جزو ملاک‌های مهم ارزیابی و انتخاب بستر است. پس از آزمایش‌های مکرر با اقدام ابتکاری انجام شده در ساخت ماشین پخت، یعنی حرارت‌دهی از دو طرف بستر، مشکل چسبیدن نان‌ها به بستر کاملا مرتفع شد و نان‌ها بعد از یک دور دوران ماشین بعد از گذشت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه، هم پخته شده و هم به راحتی از روی بسترهای سفالی و سرامیکی جدا شدند. تفاوت چندانی بین سطوح مورد مطالعه از نظر نچسبی مشاهده نشد.

با توجه به نتایج به دست آمده و به دلیل احتمال بالای شکستگی و قابلیت پایین سوراخ‌کاری سفال‌های ذوزنقه‌ای شکل، این بستر از مطالعات حذف شدند.

نتایج اندازه‌گیری استحکام خمشی بسترها

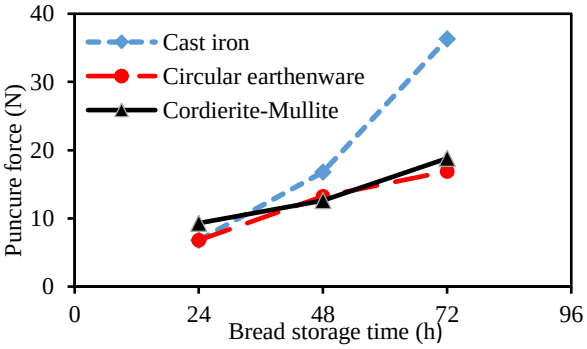
نتایج آزمون استحکام خمشی مطابق با استاندارد مربوطه و با استفاده از دستگاه خمش سه- نقطه‌ای در جدول ۲ آورده شده است. بار شکست مندرج در جدول برابر با مقدار نیرویی است که در آزمایش خمش سه – نقطه‌ای، ماده مورد آزمایش در این مقدار نیرو، شروع به ترک‌خوردن و شکستن می‌کرد. با آزمون دو قطعه کوردریت – مولایت و سفال دایره‌ای شکل، بار شکست آنها به ترتیب ۵/۳ کیلونیوتن و ۲/۸ کیلونیوتن به‌دست آمد و سپس با استفاده از رابطه (۱) مقاومت خمشی هر یک از این نمونه‌ها طبق ابعاد استاندارد تعریف شده محاسبه شد که مقادیر آن در جدول ۲ آورده شده است. چدن خاکستری که هم اکنون به عنوان بستر پخت در ماشین‌های دوار پخت نان استفاده می‌شود، دارای مقاومت خمشی در محدوده ٤٢١ الی ٦٤١ مگاپاسکال می‌باشد که مقادیر مقاومت این ماده در مقایسه با انواع سفال و سرامیک بسیار بالا است. با این حال نکته‌ای که قابل‌توجه می‌باشد این است که سرامیک کوردریت – مولایت با مقاومت خمشی ۲۳/۵ مگاپاسکال نیز برای به کارگیری به عنوان بستر پخت در ماشین‌های دوار پخت نان، دارای استحکام کافی است و توانست اولا در برابر ضربه‌ای که از طریق بالشتک پخت و توسط نیروی دست نانوا برای قرار دادن خمیر نان روی سطح بستر وارد می‌شود، مقاومت نموده و ثانیا در مقابل نیروهای وارد شده به آن در حین نصب صفحات بستر در روی گردونه ماشین از استحکام کافی برخوردار بود.

با مقایسه نتایج مقاومت خمشی (σ) و شکست (F) دو قطعه سرامیک کوردریت – مولایت و سفال دایره‌ای شکل می‌توان مشاهده نمود که مقادیر این مشخصه‌ها در کوردریت – مولایت نسبت به سفال دایره‌ای شکل به ترتیب تقریبا ۲/۵ و ۲ برابر است که همین امر ارجح‌تر بودن استفاده از کوردریت – مولایت را نسبت به سفال دایره‌ای شکل به عنوان بستر پخت در ماشین‌های دوار پخت نان نشان می‌دهد. با این نتیجه می‌توان دریافت که عمر عملیاتی بسترهای کوردریت – مولایت بیشتر از عمر عملیاتی بسترهای سفالی بوده و احتمال شکستگی این سرامیک در طولانی مدت بسیار پایین خواهد بود. این نتیجه مطابق با نتیجه پژوهش سلیمانی (۱۳۸۵) در استفاده از کوردریت جهت ساخت پشت‌بند برای جوشکاری نیز می‌باشد که به‌دلیل خواص مکانیکی و مقاومت به تنش حرارتی خوب سرامیک‌های پایه کوردریتی، پژوهش او موفقت‌آمیز بود. هم‌چنین باید

اشاره کرد که با اینکه مقاومت خمشی فاکتور مهمی برای انتخاب بستر مناسب برای پخت نان می‌باشد اما تنها عامل برای انتخاب نیست و باید عوامل دیگری مانند کیفیت نان تولید شده نیز مدنظر قرار گیرد.

نتایج آزمون بافت نان

نتایج ارزیابی بافت نان‌های نگهداری شده در سه بازه زمانی ۲٤، ٤٨ و ۷۲ ساعت پس از پخت و نیز در روی سه بستر متفاوت پخت در شکل ٦ نشان داده شده است.



شکل ۶- تاثیر بستر پخت و زمان نگهداری روی نیروی نفوذ نان

Figure 6- The effect of baking bed and bread storage time on the puncture force of bread

جدول ۲- مقدار مقاومت خمشی دو نمونه سرامیک کوردریت – مولایت و سفال دایره‌ای شکل از آزمون خمش سه – نقطه‌ای

Table 2- Bending strength of Cordierite-Mullite and circular earthenware plate in the three-point bending test

Baking Plate	Dimension	Tested properties	Test results)
Cordierite-Mullite	2×15×18 cm	Bending strength Fracture load	23.5 (M Pa) 5.3 (kN)
Circular earthenware	3×10×20 cm	Bending strength Fracture load	9.3 (M Pa) 2.8 (kN)

چنان‌که مشاهده می‌شود میزان نیروی موردنیاز برای نفوذ پروب در داخل نان‌ها با گذشت زمان و افزایش بیاتی نان‌ها روی هر سه بستر پخت روند افزایشی دارد. ولی شیب تغییرات در سه نوع بستر متفاوت است. در روز اول (۲٤ ساعت پس از پخت) نیروی نفوذ لازم یا سفتی بافت نان حاصل از نمونه‌های بستر کوردریت – مولایت و سفال دایره‌ای شکل، دارای تفاوت محسوسی با یکدیگر نمی‌باشند به عبارت دیگر سه نوع نان تولیدی روی سه نوع بستر متفاوت، دارای بافت تقریبا یکسانی هستند. اما برای نتیجه‌گیری کلی بایستی روی شرایط بافت نمونه‌های نان در ۲ روز بعدی نیز بحث شود. واضح است که به دلیل سینتیک بیاتی، پس از گذشت ٤٨ ساعت از زمان پخت، نیروی لازم در آزمون نفوذ نان‌ها افزایش پیدا کرده است و در نمودار مورد نظر نیز این امر مبرهن است. همانند روز اول بین میزان نیروی لازم نمونه نان‌های پخته‌شده روی بسترهای سفالی دایره‌ای شکل و کوردریت – مولایت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ولی میزان نیروی لازم برای نفوذ در نان‌های شاهد (چدن) نسبت به دو نمونه نان دیگر تقریبا ۳/٥ تا ٤ نیوتن بیشتر می‌باشد. در حالت کلی متوسط نیروی لازم برای نفوذ در نان‌ها، در ٤٨ ساعت نگهداری نسبت به ۲٤ ساعت نگهداری، تقریبا ٦٤ درصد افزایش یافته است به عبارت دیگر نان‌ها سفت‌تر شده‌اند. بیشترین مقدار نیروی لازم در ٤٨ ساعت پس از پخت مربوط به بستر چدن و کمترین مقدار مرتبط با دو بستر دیگر است. براساس نتایج شکل ٦، پس از گذشت ۷۲ ساعت از پخت، نیروی لازم نسبت به روز اول به طور متوسط ١٦٥/٦درصد افزایش پیدا کرده است که این افزایش در دو نان پخته شده روی بسترهای کوردریت – مولایت و سفالی دایره‌ای شکل کمتر و در بستر چدنی بیشتر است به عبارت دیگر نان‌های تهیه شده روی بستر چدنی قابلیت نگهداری کمتری دارند و سه روز پس از تولید دارای بافت سفت‌تر و روند بیاتی بیشتری هستند. در حالی‌که محصول تولیدی روی دو بستر سفالی دایره‌ای شکل و کوردریت، تفاوت چندانی ندارند. لذا می‌توان نتیجه

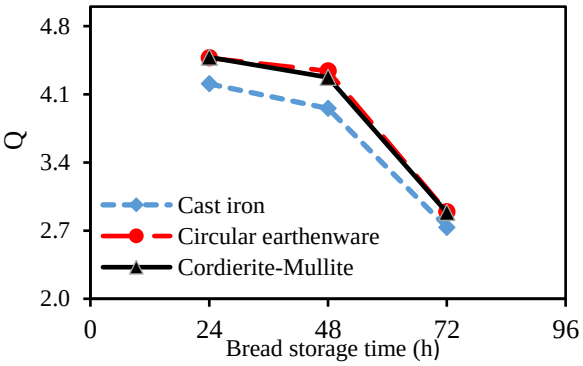
گرفت که بافت نان‌های پخته‌شده روی بسترهای جدید با نگهداری در شرایط محیطی یکسان، دارای کیفیت بهتری نسبت به نان‌های پخته‌شده روی بستر فلزی است. بدیهی است که با افزایش زمان نگهداری، عدد قرائت شده روی دستگاه آزمون نفوذ افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر با گذشت زمان، به دلیل بیاتی، مقداری نیروی لازم برای نفوذ پروب افزایش می‌یابد که نتایج مطالعات دیگر نیز تاکید بر این امر دارد (میارکیانی و فرمانی ۱۳۹۰؛ مومچیلووا و زیوانووتیز ۲۰۱۶). در ادامه تاثیر تغییر در سفتی بافت نان روی نتایج ارزیابی حسی توسط ارزیابان مشخص و بیان خواهد شد.

نتایج ارزیابی حسی نان‌ها

نتایج این ارزیابی‌ها برای سه نوع نان پخته‌شده روی بسترهای پخت شامل بستر چدنی، سفالی دایره‌ای شکل و کوردریت – مولایت در سه بازه زمانی ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت پس از پخت در جداول ۱ آورده شده است.

نتایج ارزیابی پس از گذشت ۲٤ ساعت از زمان پخت (جدول ۱) نشان داد که امتیازات داده شده برای نان‌های پخته‌شده روی بسترهای کوردریت – مولایت و بسترهای سفالی دایره‌ای شکل در اکثر صفات کیفی، تفاوت فاحشی با یکدیگر ندارند. اما قابل‌توجه این است که امتیازات نان‌های شاهد (پخته شده روی چدن) در اکثر موارد کمتر از نان‌های پخته‌شده روی سفال دایره‌ای شکل و کوردریت – مولایت است. در مورد ویژگی بو، طعم و مزه و قابلیت جویدن این تفاوت نسبتا زیادتر بوده و به ترتیب ۱۵ و۲۷ ٪ می‌باشد. به عبارت دیگر نان‌های پخته‌شده روی سطوح جدید نسبت به شاهد طعم خوبی داشته و از قابلیت جویدن بهتری برخوردار هستند. با مشاهده شاخص کیفی هر نان در ۲٤ ساعت پس از پخت می‌توان دریافت که شاخص کیفی نان‌های پخته‌شده روی بستر سفالی دایره‌ای شکل و کوردیت – مولایت ۷/۱٤٪ از شاخص کیفی نان پخته‌شده روی بستر چدنی بیشتر است که این امر دلالت بر مطلوب بودن دو نان پخته‌شده در روی بسترهای جدید از نظر ارزیابان دارد. در روز دوم یا ٤۸ ساعت پس از انجام پخت، می‌توان مشاهده کرد که امتیازات داده شده برای هر سه سطح پخت، نسبت به روز اول (۲٤ ساعت پس از پخت) کاهش یافته است به‌طوری‌که به طور متوسط شاخص کیفی نان‌ها برای بستر چدنی ٤/۷ درصد و بستر سفالی دایره‌ای شکل ٤ درصد و بستر کوردریت – مولایت ٤/۷ درصد بوده است. به عبارت دیگر کیفیت نان تابعی از زمان نگهداری کاهش می‌یابد. با این حال کیفیت نان‌های هر دو بستر جدید نسبت به بستر چدن در ٤۸ ساعت پس از پخت، باز بیشتر و شاخص کیفی بالاتر است. به‌طوری‌که نان‌های روی بستر جدید از نظر طعم و قابلیت جویدن باز از نان‌های تولید شده روی بستر چدنی بهتر و دارای امتیاز بالاتری هستند. همان‌طوری‌که می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد در روز سوم و پس از گذشت ۷۲ ساعت از زمان پخت نان‌ها، باز هم امتیازات داده شده به ویژگی‌های کیفی نمونه‌های تولید شده روی بسترهای جدید و شاهد (چدن) نسبت به روز اول (در تمامی موارد) و روز دوم (در اغلب موارد)، با کاهش مواجه شده‌اند. مقدار شاخص کیفی روی بستر چدنی در روز سوم نگهداری نان نسبت به روز اول ۳۵/۷ ٪، روی بستر سفالی دایره‌ای شکل و کوردریت – مولایت ۳۵ ٪ کاهش یافته است. روند کاهش کیفیت در نان‌های تولیدی روی همه بسترهای پخت از روز دوم به بعد با شیب بیشتری همراه بوده است و تفاوت فاحشی در شاخص‌های کیفی ندارند. (شکل ۷). در حالت کلی نان پخته‌شده روی بستر کوردریت – مولایت و سفال دایره‌ای شکل با بیشترین شاخص کیفی بهترین نمونه نان مسطح لواش از نظر کیفیت و ماندگاری است و شاخص کیفی آن پس از دو روز نگهداری، ٤/۳ برآورد شد که نسبت به کامل‌ترین امتیاز ممکن یعنی ۵، در حد رضایت‌بخشی می‌باشد. دلیل این نتیجه، این حقیقت است که بستر کوردریت – مولایت براساس خصوصیات حرارتی مناسب، نان لواش را مغزپخت کرده و پس از دو روز نگهداری نان،

بافت داخل و بیرونی نان به‌طور بهتری حفظ می‌شود و آثار بیاتی در آن کمتر به چشم می‌خورد. اختلاف شاخص کیفی نان پخته‌شده روی بستر چدنی با دو بستر غیر فلزی ۷/۵ ٪ می‌باشد. لذا می‌توان فهمید که پس از دو روز نگهداری نان پخته شده روی بستر چدنی، روند بیاتی و از بین رفتن مطلوبیت بر اساس نظر ارزیابان نسبت به دو نان پخته‌شده روی بسترهای غیرفلزی سریع‌تر می‌باشد.



شکل ۷- تاثیر بستر پخت و مدت زمان نگهداری روی شاخص کیفی نان

Figure 7- The effects of baking bed and storage duration on bread quality index

نتایج ارزیابی حسی انجام شده در پژوهش کمالی‌روستا و همکاران (۲۰۱۷) که با هدف تدوین شاخص‌های کیفی به عنوان معیار ارزیابی کیفیت نان سنگک انجام شده بود نیز بیانگر این امر بود که در سه نوع نان سنگک با درجات مختلف کیفیت آرد شامل قوی، متوسط و ضعیف (به ترتیب با نام‌های سنگک ۱، ۲ و ۳) با افزایش زمان نگهداری، میانگین امتیازهای تمام ویژگی های حسی مورد بررسی کاهش یافتند. همچنین در روزهای یکسان نگهداری، نان سنگک ۱ نسبت به نان سنگک ۲ و نان سنگک ۲ نسبت به نان سنگک ۳ میانگین امتیازهای حسی بیشتری داشتند. تحقیقات کریمی و همکاران (۱۳۸۵) نشان داد که با افزایش زمان نگهداری، کیفیت نان کاهش می‌یابد. افزودن موادی مانند سدیم استئاروئیل لاکتیلات (SSL) روند بیاتی نان را کندتر کرده بود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که بستر کوردریت – مولایت می‌تواند جایگزین مناسبی در روی ماشین‌های پخت نان مسطح باشد چرا که شاخص‌های کیفی نان تولیدی بالا است.

نتیجه‌گیری

مقایسه بسترهای پخت نان مسطح شامل بستر فلزی (چدن) و غیرفلزی (سفالی دایره‌ای شکل و بستر کوردریت – مولایت) نشان داد که بستر کوردریت – مولایت همزمان دارای خواص حرارتی و مکانیکی مطلوبی می‌باشد. این ماده سختی سطح بالایی داشته، دارای قابلیت ماشین‌کاری خوبی است و حرارت را با آهنگ مناسبی به نان منتقل کرده و به تنش‌های حرارتی وارد شده که در ماشین‌های دوار پخت نان بسیار مقاوم می‌باشد. در عین حال استحکام خمشی آن به دلیل وجود مولایت بسیار بالاتر از سفال و دیگر مواد سرامیکی مشابه است که این امر نیز کوردریت – مولایت را به تنش‌های وارد شده در حین نصب و به بارهای مکانیکی وارد شده از ماشین و نانوا (فشار دست نانوا در حین پهن کردن خمیر نان) در حین عملیات مقاوم‌تر می‌سازد. محصولات نهایی (نان لواش) خارج‌شده از این نوع بسترها با توجه به نتایج ارزیابی‌های حسی و مکانیکی انجام شده در روی آنها، با کیفیت و ماندگاری بسیار خوبی تشخیص داده شدند. بنابراین بسترهای کوردریت – مولایت مناسب‌ترین گزینه برای جایگزینی با بسترهای چدنی متداول در ماشین‌های دوار پخت نان هستند.

منابع مورد استفاده

بجایی ف، سیدلو ص، نعلبندی ح و قاسم‌زاده ح ر، ۱٤۰۱. توسعه ماشین پخت نان دوار با حرارت غیرمستقیم برای افزایش کیفیت محصول با استفاده از تکنیک عددی، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۲ (۲)، ۸۹-۱۰۷.

بجایی ف، سیدلو ص، نعلبندی ح و قاسم‌زاده ح ر، ۱٤۰۰. بررسی تاثیر نوع و مکانیسم پخت نان مسطح روی خواص کیفی نهایی محصول، نشریه مکانیزاسیون کشاورزی، ٦ (۳)، ۱-۱۲.

پیغمبردوست س ه، ۱۳۷۵. بررسی تاثیر درجه استخراج آرد روی ترکیب آرد، خواص رئولوژیک خمیر و کیفیت نان‌های مسطح ایران، مجله بین المللی علوم و فناوری کشاورزی، ۸، ۳۲۳ – ۳۳۰.

ترابی‌زاده ن، ۱۳۷٦. بررسی استفاده از خمیرهای منجمد برای تهیه نان‌های مسطح ایرانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

رجب‌زاده ن، ۱۳۸۲. مبانی فرآوری غلات، جلد ۲، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

روانفر ن، محمدزاده‌میلانی ج و امیری ز، ۱۳۹۲. بررسی تاثیر آرد مالت جو بر بیاتی نان بربری، فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، ۱(۲)، ۱۵ – ۲۲.

سلیمانی ف، ۱۳۸۵. بررسی خواص و ساخت پشتبندهای سرامیکی پایه کوردریتی مورد استفاده در صنعت جوشکاری، دهمین کنگره سالانه انجمن مهندسین متالورژی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

شیخ‌الاسلامی ز، رجبی ح، قدسی م، آریانفر ا و هجرانی ت، ۱۳۹٦. بررسی خواص کیفی، رئولوژیکی و ماندگاری نان قالبی ترکیبی (تریتیکاله- گندم)، علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۱۲(٤)، ٦۵-۷۲.

کریمی م، عزیزی م ح وحسینی م، ۱۳۸۵. ارزیابی بیاتی نان تافتون حاوی سدیم استئاروئیل لاکتیلات با روش‌های مختلف، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۳(۳)، ۱۹-۲۸.

صالحی م، ۱۳۹۲. نکات بهداشتی در نانوایی هتل، هفته‌نامه تخصصی هتل، ۳۸، ۱- ۱۸.

طاهری ا و قربانی ص، ۱۳۹۰. تعیین درصد اثرگذاری عوامل موثر بر کیفیت نان، مرکز پژوهش‌های غلات، صفحه ۱۷-۲۳.

مردانی قهفرخی ا و یارمند م س، ۱۳۹۵. بررسی اثر افزودن سبوس گندم بر خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان بربری، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۳(۵۰)، ۱۱-۲۱.

ممرآبادی م، سلامی م، گاراژیان ر، خراسانیان ف، ۱۳۹٦. تولید و بسته‌بندی فراورده‌های غلات، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، شرکت چاپ و نشرکتاب‌های درسی ایران.

میارکیانی ف و فرمانی ج، ۱۳۹۰. بررسی اثر بهبود دهنده‌های مختلف بر کیفیت و بیاتی نان‌های مسطح ایرانی، همایش ملی صنایع غذایی، قوچان.

ناصحی ب، عزیزی م و هادیان ز، ۱۳۸۸. روش‌های مختلف اندازه‌گیری بیاتی نان، فصل‌نامه علمی پژوهشی علوم و صنایع غذایی، ٦(۱)، ۵۳-٦۳.

نادری بلداجی م، ۱۳۹٦. بررسی مدل‌سازی انتقال حرارت و جرم در محیط متخلخل در صنعت پخت نان، دومین کنفرانس ملی تحقیقات بین‌رشته‌ای در مهندسی کامپیوتر، برق، مکانیک و مکاترونیک، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد.

هاشمی س ع، استاجلو م و صدری پور س، ۱۳۹۹. تحلیل مکانیزم‌های انتقال‌حرارت در پخت نان‌های سنتی مسطح به‌منظور بهبود کیفیت نان و کاهش مصرف سوخت، نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر،۵۲(۱۱)، ۳۳۲٤-۳۳۰۷.

Anonymous, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Edition. Vol. II. AACC Methods 74-10.02, and 74-30.01. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minn, U.S.A.

Farzalipour Tabriz M and Ghassemi Kakroudi M, 2010. Thermo-mechanical design optimization of cordierite-mullite based kiln furniture. Iranian Journal of Materials Science and Engineering 7(4): 35-41.

Hipedinger NE, Scian AN and Aglietti EF, 2004. Magnesia–ammonium phosphate bonded cordierite refractory castables: Phase evolution on heating and mechanical properties. Cement and Concrete Research 34: 157–164.

Hui YH and Chang M, 2006. Bakery products science and technology. Chapter 15, Black well. pp: 273-283.

Izadi Najafabadi L, Hamdami N, Le-Bail A, Monteau JY and Keramat J, 2015. Impact of baking bed and baking temperature on staling of Sangak bread. Journal of Agricultural Science and Technology 17(2): 375-386.

Kamaliroosta L, Seyedain Ardebili M, Asadi GH H and Ghiasi Tarzi B. Azizinejad R, 2017. Determination of quality indices as criteria to assess traditional Sangak bread quality. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology 11(4): 55-69.

Momchilova M and Zsivanovits G, 2016. Instrumental texture characterization of bread. Bulgarian Chemical Communications 48: 435 - 441.

Nicolas V, Salagnac P, Glouannec P, Ploteau JP, Jury V and Boillereaux L, 2014. Modelling heat and mass transfer in deformable porous media: Application to bread baking. Journal of Food Engineering 130: 23–35.

Parker BJ and Uzel MB, 2007. The tradition of *tandır* cooking in Southeastern Anatolia: an ethnoarchaeological perspective. In: Ethnoarchaeological investigations in rural Anatolia 4: 7-43.

Pasqualone A, 2018. Traditional flat breads spread from the Fertile Crescent: productive process and history of baking systems. Journal of Ethnic Foods 145: 10-19.

Tardeil C, Gavriliul G and Hagiopol M, 2004. Ceramic backing materials used in one-side welding method. Key engineering materials, pp: 264-268.

Zhang J and Datta AK, 2006. Mathematical modeling of bread baking process. Journal of Food Engineering 75: 78–89.

Journal of Food Research, 2023,33(3):49-66
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir
OPEN ACCESS

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
DOI: DOI: 10.22034/FR.2023.53931.1853

Comparison of different flatbread baking beds in terms of their feasibility and qualitative properties of the final product

S Seyedlou[1], H Nalbandi [1*], Sina Alizadeh[2] and Farid Bejaee[2]

Received: January 28, 2022 Accepted: November 13, 2022
[1]Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2]MSc and PhD Graduated Students, respectively, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[*] Corresponding author: Email: h.nalbandi@tabrizu.ac.ir

Introduction: In most countries, especially developing and underdeveloped, bread has high nutritional importance. Bread provides 40 to 45% of bioavailable carbohydrates, is an essential source of proteins, and plays a vital role in the digestive system (Aminpour and Shariatzadeh, 2013). Traditional Iranian bread is usually thin, flat and compact, and non-porous, and their bake has become commonplace in the past in Iran. The average per capita global consumption of bread is 60 to 70 kg. Large quantities of bread are wasted every year because different factors affect the number of waste products, including flour quality, bread production technology, and the storage condition of the bread. Among the factors affecting the quality of the flatbread, technological factors, including the source and method of heating the dough and the type of baking bed, are very critical. Those factors affect the quality and staleness of the bread and the amount of energy consumed per ton of the produced flatbread. Cast iron baking bed is used in industrial flatbread production in Iran. The heat transfer coefficient of cast iron is high and accelerates the baking process, which leads to drying the bread instead of baking. Therefore, lack of deep baking will result in staling of bread. Baking bread on this bed increases its staling rate and leads to the transfer of the heavy metal from the bed to the dough and bread. The objective of this study was to introduce the new baking bed, improve existing systems and increase product quality and storability.
Materials and methods: In this research, it has been attempted to replace the two new baking beds with a cast iron one. These new baking beds were circular earthenware and ceramic (Cordierite-Mullite). The circular earthenware has made from 50% of SiO_2, 10% of Al_2O_3, and 40% of MgO, Fe_2O_3, and CaO. The formulation of Cordierite-Mullite was $5SiO_2.2Al_2O_3.2MgO\text{-}3Al_2O_3.2SiO_2$. Thermal shock resistance, surface hardness, and bending strength of the circular earthenware and Cordierite-Mullite were evaluated. A rotary bread-baking machine with a size of 210× 210 cm and a height of 150 cm is selected to install the new beds and cast iron ones. After installing the baking bed, they were evaluated by baking the flatbread. Baking the flatbread was conducted with wheat flour (18% bran). For this purpose, the dough was prepared according to the common practices in the industry and baked by a skillful operator. The flatbread was also baked simultaneously in the

baking machine on all the all using the same dough and was stored in double-layer plastic bags in the same conditions in the refrigerator. To examine the changes in the physical and sensory attributes over time in the same product and the differences between the flatbreads baked using different beds, the bread underwent mechanical tests (using instrumental measurements) and sensory evaluations (by an experienced panel) three times: on the 24, 48 and 72hr after baking. Thus, the quality measurements of the flatbreads (both mechanical and sensory) were conducted during the storage of the products so that the variations in the quality of the flatbreads over time were determined. A puncture test was performed to evaluate the mechanical properties of the flatbread. In performing the sensory evaluations, 15 semi-trained judges (from daily users of flatbread) were asked to assign scores from one (very bad) to 5 (very good) to each identified sensory attribute. Attributes were selected based on the quality criteria of the product according to the AACC standard 01/30-74 (American Association of Cereal Chemists, 2000). The sensory panel evaluated the product 24, 48, and 72hr after baking. In addition, based on the scores assigned to each listed attribute in the quality and customer acceptance evaluations of the flatbreads, weight coefficients were developed for each attribute. The overall acceptability of each type of flatbread was calculated separately for the data from each evaluation date. It is noteworthy that the criteria and environmental conditions for conducting the sensory evaluations were the same during all sensory evaluations. Finally, the total score for each type of flatbread, baked on each baking bed at each time point, was compared with each other, and the trends of changes in the quality of the bread were determined.

Results and discussion: Bending strength of Cordierite-Mullite and circular earthenware plate in the three-point bending test were 23.5, and 9.3 kN, respectively, and their Fracture load was 5.3 and 2.8 kN, respectively. The bending strength of cast iron was higher, but the Cordierite-Mullite plate has enough strength for the baking process. Thermal shock resistance of the Cordierite-Mullite and cast-iron beds during the baking operations was too high, and no strain was observed during the heating process at 300 to 35 ◦C for 12 to 14 h. Therefore, the thermal shock resistance, surface hardness, and bending strength of new beds during the baking operations were acceptable. The results showed that these beds were suitable for installation on the baking machine and had enough strength for a long baking operation. The quality index of bread baked on the circular earthenware, and Cordierite-Mullite beds were 4.5, 4.3, and 2.9 at 24, 48, and 72 hours after baking, respectively. It was 4.2, 4, and 2.7 for bread that were baked on the cost iron bed at the exact times, respectively. These results indicated the durability and satisfactory quality of bread baked on the circular earthenware and Cordierite-Mullite beds. The compression force of baked bread on the circular earthenware, and Cordierite-Mullite beds at 24, 48, and 72 hours after baking were 10.4, 12.6, and 16.9 N, 9.3, 13.2, and 18.8 N, respectively. Compared with the bread baked on a cast-iron bed, the compression or stiffness values on the two new beds were relatively lower, implying a good marketable, and shelf life of bread. These results showed that the baked bread on these new beds not only had higher quality but also had a longer shelf life.

Conclusion: In general, the results of the current study indicated that the circular earthenware and Cordierite-Mullite beds have acceptable thermal shock resistance, surface hardness, and bending strength. In addition, bread baked on these beds had higher quality and longer shelf life.

Keywords: Baking bed, Baking machine, Cordierite, Cordierite-Mullite, Earthenware, Flatbread