DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.13378

بررسی تاثیر نوع روش و مکانیسم پخت نان مسطح روی خواص کیفی نهایی محصول

فرید بجایی[۱]، سید صادق سیدلو[۱*]، حبیبه نعلبندی[۱]، حمیدرضا قاسم‌زاده[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۷

۱- گروه مهندسی بیو سیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
* مسئول مکاتبه: ss_seiedlo@yahoo.com

چکیده

عمده‌ترین گروه غذایی در تأمین انرژی و پروتئین دریافتی در ایران، نان است. از بین نان‌های مسطح، ۳۴ درصد نان تولیدی نانوایی‌ها را نان لواش تشکیل می‌دهد. سالانه مقادیر زیادی از نان‌های لواش به دلیل نوع تکنولوژی و روش پخت دور ریز می‌شود. هدف از این مطالعه مقایسه نان تولیدی با استفاده از ماشین پخت نان با حرارت غیرمستقیم توسعه داده شده و ماشین متداول با حرارت مستقیم بود. پخت نان با هر دو ماشین اجرا و آزمون‌های مکانیکی و حسی و بیاتی نان صورت گرفت. اثر روش پخت و مدت زمان نگهداری نان روی شاخص کلی کیفیت نشان داد که اثر هر دو عامل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. نان پخته‌شده با حرارت غیرمستقیم از امتیاز بالاتری نسبت به نان پخته شده با حرارت مستقیم برخوردار بود و عمر نگهداری نان تولیدی با این روش بالاتر بود. در ماشین با حرارت غیرمستقیم، در نقاط مختلف بستر پخت که بیانگر نقاط مختلفی از یک نان می‌باشند یکنواختی قابل قبولی از نظر حرارت و به تبع آن یکنواختی پخت مشهود بود. تغییرات میزان نیروی لازم برای نفوذ پروب ۱۰ میلی‌متری در پنج لایه از نان نشان می‌دهد که سفتی سطحی نان‌ها از ساعت ۴۸ به بعد روند افزایشی داشت. هم‌چنین در روزهای اول نگهداری تفاوت محسوسی در نیروی نفوذ پروب بین دو روش پخت مشاهده نشده است ولی با گذشت زمان نگهداری، سفتی نسبی نان تولیدی با حرارت غیرمستقیم نسبت به حرارت مستقیم پایین‌تر و مطلوب‌تر بود. مهم‌ترین نتیجه کاربرد ماشین با حرارت غیرمستقیم، حذف آلاینده‌های نان مانند بنزوپرین‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: **آزمون نفوذ، آزمون برش کرامر، آزمون حسی، پخت صنعتی، حرارت‌دهی غیرمستقیم، نان مسطح**

Study of the Effect of Baking Mechanism on the Quality Characteristic of Flatbread

Farid Bejaei [1], Sadegh Seyedlou[*1], Habibeh Nalbandi[1], Hamid Reza Ghasemzadeh[1]

Received: 15 Aug 2021 Accepted: 29 Aug 2021

[1]Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[*]Corresponding author: ss_seiedlo@yahoo.com

Abstract

Bread is the main category of Iranians food that supply daily calorie and protein. Lavash flatbread consisted about 34% of total flatbreads produced in Iran. Large quantities of bread are wasted every year because of poor bread production technologies. The main objective of this study was the developing of a flatbread baking machine by changing from existing conventional direct heating system to indirect heating system and evaluation of the produced flatbread quality. Bread baking were conducted with both system and the instrumental, sensory, and staling characteristics of the produced flatbreads were evaluated. The effect of baking methods and storage time on the quality of the breads was significant and the bread produced with the indirect heating system had higher rating and longer shelf life compared to the ones produced by the conventional machines. In the indirect heating machine, there was acceptable uniformity on the baking bed as view point of heat distribution and baking uniformity. The variation of puncher force with 10 mm probe in the 5 layers of bread indicated that the surface firmness of the bread increased after 48 h of storage. In addition, in the first days of storage, no differences was observed in the puncher force for bread produced by two machines but during the storage, the firmness of the breads produced by indirect heating machine was lower than that for the direct heating machine. Also, the bread baked using the new machine was free of any contaminants such as PAHs.

Keywords: Flatbread, Indirect Heating system, Industrial backing, Kramer shear test, Puncher test, Sensory evaluation

How to cite:
Bejaei, F., Seyedlou S., Nalbandi, H., Ghasemzadeh, H. R., 2021. *Study of the Effect of Baking Mechanism on the Quality Characteristic of Flatbread*. Journal of Agricultural Mechanization 6 (3): 1-12.

۱- مقدمه

بررسی الگوی مصرف مواد غذایی در استان‌های مختلف کشور نشان می دهد که عمده‌ترین گروه غذایی در تأمین انرژی و پروتئین دریافتی روزانه، نان است که ۴۰ درصد انرژی دریافتی روزانه هر نفر را تأمین می کند. حتی در کشورهایی که تولید گندم آنها برای تأمین نیازهای داخلی آن کافی نیست (مانند برزیل و غنا)، نان تقریباً روزانه مصرف می‌شود. تنها ۳/۴ درصد از کل گندم مصرفی برای تهیه نان حجیم، روغنی، بیسکوئیت، شیرینی‌تر و خشک به‌کار می‌رود و بقیه به صورت نان مسطح مصرف می‌شود. از بین نان‌های مسطح، نان لواش مصرف بیشتری نسبت به بقیه دارد که بنا بر آمار منتشر شده از شرکت بازرگانی دولتی ایران، نان لواش ۳۴ درصد نان تولیدی نانوایی‌ها را تشکیل می‌دهد.

با صنعتی‌کردن تولید نان به لحاظ صرفه‌جویی در هزینه تولید، بهبود کیفی نان نیز به شکل چشم‌گیری افزایش خواهد یافت و در نهایت با ایجاد زمینه‌های مساعد در راستای کاهش ضایعات نان می‌توان مانع از اتلاف سرمایه‌های ملی شد. امروزه میزان دور ریز نان (ضایعات نان) در بخش نان مصرفی در سطح جامعه، حدود ۳۰ درصد است که در مقایسه با استانداردهای جهانی درحد غیرقابل قبول است. بیشترین ضایعات به نان‌های بربری، لواش و سنگک مربوط می‌شود (Ravanfar *et al.* 2013). عوامل موثر بر دور ریز نان، ناشی از ضایعات در مرحله تولید گندم، آرد، نان و سپس ضایعات در مرحله مصرف است. درحال حاضر تغییر در ساختار تولید نان از روش سنتی به روش صنعتی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین عوامل تولید نان بهداشتی و استاندارد و ارتقای کیفیت آن به شمار می‌رود.

برای بالا بردن کیفیت هرچه بیشتر نان باید اصلاحات بنیادی در روش و فرآیند پخت نان صورت گیرد. نوع حرارت‌دهی به بستر پخت، منابع انرژی بیرونی و نیز آهنگ انتقال گرما از بستر پخت به خمیر، از جمله عوامل اساسی مؤثر در کیفیت پخت است. می‌توان عنوان کرد که نحوه حرارت‌دهی در فرآیند پخت به دو صورت حرارت مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد. در حالت سنتی و نیز در ماشین‌های پخت نان فعلی، از حرارت مستقیم برای پخت نان استفاده می‌شود. در روش حرارت‌دهی مستقیم که همان انتقال گرمای همرفتی است حرارت مشعل مستقیماً با خمیر در تماس است. به‌طوری‌که گرمای حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی مانند گازوئیل و گاز طبیعی با هوای تامین شده توسط دمنده ادغام و در نتیجه آلایندگی محیط اطراف بستر پخت و نیز آلایندگی نان با گازهای حاصل از احتراق و نیز عدم یکنواختی پخت به وجود می‌آید. احتراق ناقص مواد نفتی و یا گازی و رسوب آن‌ها روی نان به‌ویژه در درجه حرارت بالا باعث می‌شود که هیدروکربن‌های آروماتیک به وجود آیند. برخی از هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs[1])، به‌ویژه آن‌هایی که دارای وزن مولکولی بالایی هستند مانند بنزوپیرن، توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، به‌عنوان عوامل سرطان‌زا برای انسان محسوب می‌شوند. اهمیت تعیین PAHs توسط اتحادیه اروپا باعث تنظیم حداکثر سطوح مجاز PAHs در مواد غذایی مانند غذاهای دودی شده است. نان نیز می‌تواند شامل این مواد شیمیایی سرطان‌زا شود. این موضوع شاخص‌های بهداشتی نان تولیدی به روش حرارت مستقیم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به دلیل اهمیت موضوع، محققین زیادی به بررسی میزان آلودگی نان تولید شده به روش حرارت مستقیم پرداخته‌اند. Rey-Salgueiro *et al.* (2008) در مقاله-ای با عنوان تأثیر روش‌های برشته‌کردن در سطح هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در نان برشته شده، PAHs تولیدشده در نان برشته (نان ساندویچ)، چندین تیمار شامل حرارت‌دهی مستقیم (شعله زغال‌چوب یا شعله گاز) و حرارت‌دهی غیرمستقیم (کوره الکتریکی) را مورد ارزیابی قراردادند. Eshaghi *et al.* (2016) طی مطالعه‌ای موجودیت و مقدار ۱۵ نوع هیدروکربن آروماتیک چندحلقه‌ای را در چهار نوع گوشت گریل شده مورد مصرف در رستوران‌های تهران بررسی کردند. Al-Rashdan *et al.* (2010) در تحقیقی به منظور تعیین سطح هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در نان تست‌شده با استفاده از طیف‌سنجی جرمی با کروماتوگرافی گازی، سطوح هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای را در نان تست تعیین کردند. Fasano *et al.* (2106) در مقاله‌ای موضوع شناسایی، نحوه توزیع و میزان هیدروکربن-های آروماتیک چندحلقه‌ای سرطان‌زا در غذاهای دود داده شده گیاهی و نیز توزیع و سطح هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای را در چند نوع ماده غذایی دود داده شده شامل، نان، پنیر، سوسیس گوشت و چاشنی فلفل قرمز آنالیز کردند. Singh & Agarwal (2018) در تحقیقی هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای را در رژیم غذایی مردم کشور هند، از دید سلامت عمومی مورد بررسی قرار دادند. نان هم به عنوان یکی از ارکان اصلی رژیم‌های غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در نان تست شده، ۲۲۶ میکروگرم در هر کیلوگرم گزارش شد. Eslamizad *et al.* (2016) در تحقیقی اعتبارسنجی یک روش تحلیلی برای تعیین بنزوپیرن نان با استفاده از کروماتوگرافی GcMass را انجام دادند. آنان برای تعیین BaP، ۲۹ نمونه نان سنتی و صنعتی از تهران تهیه کردند. نتایج همه این تحقیقات نشان داد که نان و سایر مواد غذایی‌های پخته شده با حرارت مستقیم دارای مقادیر بالای هیدروکربن‌های آروماتیک چند-حلقه‌ای می باشند که این امر از لحاظ استانداردهای صنایع غذایی قابل قبول نمی‌باشد.

[1] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

مطالعات نشان می‌دهد که اگر در فرایند پخت، احتراق ناقص سوخت صورت نگیرد، مواد شیمیایی مضر کمتری ایجاد می‌شوند. در حال حاضر با استفاده از امکانات و تجهیزات موجود در کشور، این امر تقریباً غیرممکن است. برای غلبه بر مشکل فوق استفاده از روش حرارت غیرمستقیم برای پخت نان و سایر فرآورده‌های غذایی پیشنهاد شده است. در این روش گرمای تولیدی حاصل از احتراق مواد سوختی ابتدا یک سطح واسط را گرم می‌کند و سپس از طریق تابش، انرژی موردنیاز پخت از سطح گرم تأمین می‌شود که همان انتقال گرمای تابشی یا مادون‌قرمز است. مزایای استفاده از گرمایش مادون‌قرمز در مقایسه با گرمایش همرفتی شامل امکان نفوذ گرما به داخل محصول، خروج رطوبت از مرکز، راندمان بالاتر، تضاد رنگ قابل قبول می‌باشند (Keskin *et al.*, 2004).

علی‌رغم آلودگی ناشی از پخت با حرارت مستقیم در نان‌های تولید شده در کشور، امروزه مساله دیگری که کمتر مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد، مصرف بالای انرژی، بازده پایین تنورهای نانوایی موجود و از همه مهم‌تر پایین بودن کیفیت نان و ماندگاری آن است. عوامل متعددی بر کیفیت نهایی نان تاثیرگذار است که شامل روش‌های انتقال گرما و بستر پخت و ترکیب آرد است. از بین فاکتورهای مؤثر روی کیفیت نان در تنورهای صنعتی دو عامل منبع و نحوه حرارت‌دهی و نوع بستر پخت که از عوامل مربوط به ماشین و تکنولوژی است دارای اهمیت زیادی است. هر دو مشخصه در تولید نانی با کیفیت بالا، بیاتی کم و میزان مصرف انرژی به ازای هر تن محصول تولیدی تأثیرگذار می‌باشند.

در طی فرآیند پخت تغییرات زیادی در خصوصیات حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی رخ می‌دهد که یکی از مهم‌ترین آنها رنگ محصول نهایی است. حجم نان، ویژگی بسیار مهمی در ارزیابی نان است که در ظاهر و بازارپسندی محصول نقش بسزایی دارد . هم‌چنین، پس از پخت تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی در نان اتفاق می‌افتد که منجر به بروز تغییرات در پوسته و مغز نان می‌شود که اصطلاحا به آن بیاتی می‌گویند. طی فرآیند بیاتی ویژگی‌های کیفی نان از قبیل بو، طعم و مزه و قابلیت جویدن محصول تغییر می‌کند و مواد آروماتیک و رطوبت از مغز نان به پوسته انتشار می‌یابد. مهم‌ترین تغییری که طی بیاتی نان اتفاق می‌افتد، افزایش تدریجی سفتی بافت است. سفتی نان یکی از مشخصه‌های مهم است که به‌طورکلی برای ارزیابی گسترش بیات شدن استفاده می‌شود.

برای ارزیابی کیفیت نان از آزمون‌های حسی و بیاتی استفاده می‌شود. ارزیابی حسی نان بر اساس آنالیز خصوصیات ماده غذایی به وسیله حواس انسان انجام می‌پذیرد و بر اساس نظرات شخصی افراد ارزیابی‌کننده نتایج استخراج می‌گردد. ارزیابی می‌تواند بسته هدف از آزمون به وسیله افراد آموزش دیده یا افراد فاقد آموزش انجام پذیرد که اظهارنظر براساس تجربه، سلیقه فردی، توانایی تشخیص و هم‌چنین ذائقه فرد انجام می‌گیرد (Azizi et al., 2006). آزمون بیاتی نان نیز با آزمون‌های فشار، نفوذ و یا برش کرامر و به کمک دستگاه کشش و فشار یونیورسال انجام می‌شود. در این آزمون ها مواد در معرض مقدار کنترل شده‌ای از نیرو قرار می‌گیرند که پاسخ آن به صورت نمودارهای نیرو-زمان، نیرو-تغییر شکل و تنش-کرنش ثبت می‌شود.

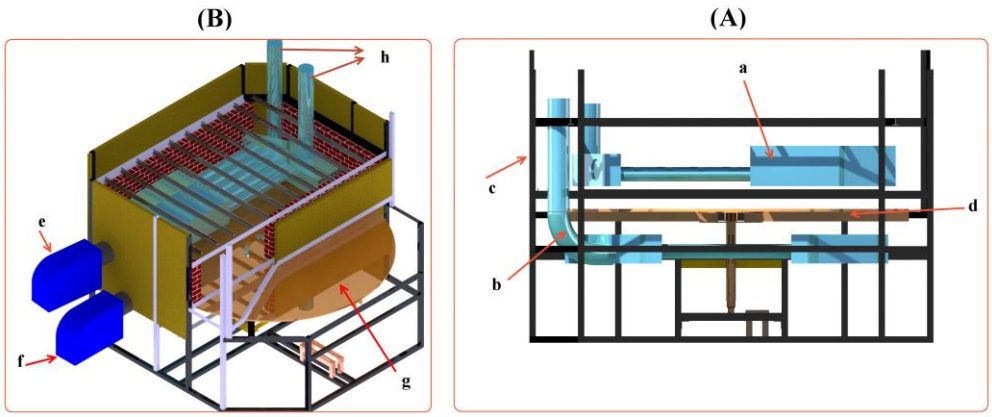
با توجه به اهمیت حذف آلودگی نان، در این تحقیق ماشین پخت نان مسطح به روش حرارت‌دهی غیرمستقیم و بر اساس فاکتورهای موثر بر کیفیت نان توسط تیم تحقیقاتی طراحی و ساخته شده بود. کیفیت نان تولید شده در این ماشین و ماشین پخت با حرارت مستقیم متعارف در جامعه، بر اساس استاندارهای بین المللی مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت تا بهبود یا حفظ کیفیت نان تولید شده در این روش نسبت به روش حرارت‌دهی مستقیم بررسی شود و در نهایت با حذف بقایای حاصل از احتراق و مواد سرطان‌زا از نان، سلامتی و مشتری‌پسندی افزایش یابد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات ماشین پخت نان با حراردت‌دهی غیر-مستقیم

ماشین پخت نان با حراردت‌دهی غیرمستقیم از شاسی، محفظه پخت، بستر پخت، دو عدد مبدل حرارتی، دو عدد مشعل، سیستم چرخش بستر پخت تشکیل شده است. شاسی اصلی این ماشین با ابعاد ۲۵۰ در ۲۵۰ سانتی‌متر و به ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر و با استفاده از پروفیل مربعی ۴×۴ سانتی متر ساخته شد. بستر پخت ماشین دارای ۸ عدد صفحه چدنی بود که با در کنار هم قرارگرفتن آنها، بستر دایره‌ای کاملی به قطر ۲۲۰ سانتی‌متر روی چرخ و فلک تشکیل می‌شود. برای سیستم چرخش بسترپخت و مجموعه چرخ و فلک از یک الکتروموتور سه فاز استفاده شد. به منظور پخت نان به روش غیرمستقیم، دو مبدل حرارتی متناسب با ابعاد و شکل محفظه پخت نان، در بالا و پایین صفحه چدنی در فاصله مناسب نصب شدند (شکل ۱-A). عایق‌کاری سقف و کف محفظه پخت نان با ترکیب پرلیت و سیمان سفید و عایق‌کاری دیواره‌های عمودی با یک لایه آجر نسوز و یک لایه پشم‌سنگ تواما صورت گرفت (شکل ۱-B). این ماشین قادر است با تغییر فرکانس برق ورودی، دور دورانی بستر پخت و متناسب با آن زمان پخت نان را تنظیم نماید به‌طوری‌که درجه حرارت پخت نان و در روی بستر پخت مورد قبول نانوای خبره باشد. مشخصات ماشین پخت نان با حرارت غیرمستقیم در جدول ۱ آورده شده است.

پس از تکمیل ساخت ماشین پخت نان با حرارت غیرمستقیم، مراحل ارزیابی اولیه پخت نان توسط این ماشین صورت گرفت. سپس پخت نان توسط افراد خبره برای انجام آزمایش‌های کیفی انجام شد و نان های پخته شده با سیستم ساخته شده، با نان پخت شده با سیستم-های مرسوم کشور (ماشین با حرارت مستقیم) بوسیله آزمون‌های مکانیکی و حسی مقایسه شدند.



شکل ۱- اجزای مختلف ماشین پخت؛ a: مبدل حرارت بالایی، b: مبدل حرارت پایینی، c: شاسی اصلی، d: بستر پخت، e: مشعل مبدل بالایی، f: مشعل مبدل پایینی، g: بستر پخت چدنی، h: دودکش‌های مبدل‌ها؛ A: دید از رو به رو و B: نمای سه بعدی

Fig 1. Different components of the baking machine; a: upper heat exchanger, b: lower heat exchanger, c: main chassis, d: baking bed, e: upper heat exchanger burner, f: lower heat exchanger burner, g: baking bed, h: outlet chimney of exchangers; A: front view and B: 3D view

جدول ۱- مشخصات ماشین پخت نان با حرارت غیرمستقیم

Table 1. Specifications of the indirect flatbread baking machine designed in this study

مشخصات **Characteristics**	مقدار **Specifications**
طول، عرض و ارتفاع Length, width and height	۲۵۰، ۲۵۰ و ۱۸۰ سانتی‌متر 250, 250 and 180 cm
جرم Mass	۱۷۰۰ کیلوگرم 1700 kg
سوخت مصرفی Fuel consumption	گاز طبیعی Natural gas
موتور الکتریکی Electric motor	۱/۵ اسب بخار (سه فاز) 1.5 hp (three phase)
نسبت گیربکس Gearbox ratio	۱ به ۶۴ 1 to 64
سیستم انتقال توان Power transmission system	گیربکس + تسمه پولی Gearbox + pulley belt
عایق Insulation	پشم سنگ به ضخامت ۴۰ میلیمتر 40 mm thick rockwool
بستر پخت Baking bed	صفحات چدنی با ضخامت ۱۸ میلی متر Cast iron plates with a thickness of 18 mm
قطر بستر پخت Baking bed diameter	۲۲۰ سانتیمتر 220 cm
مشعل **Burner**	ایران رادیاتور ۱۵۵۰۰۰ kcal/h Iran radiator 1 155000 kcal/h
سیستم کنترل سرعت دورانی بستر پخت Control system of the baking bed rotation speed	اینورتر تک فاز به سه فاز مارک Ls Single-phase to three-phase inverter Ls brand

۲-۲- ارزیابی اولیه ماشین پخت نان با حرارت غیرمستقیم

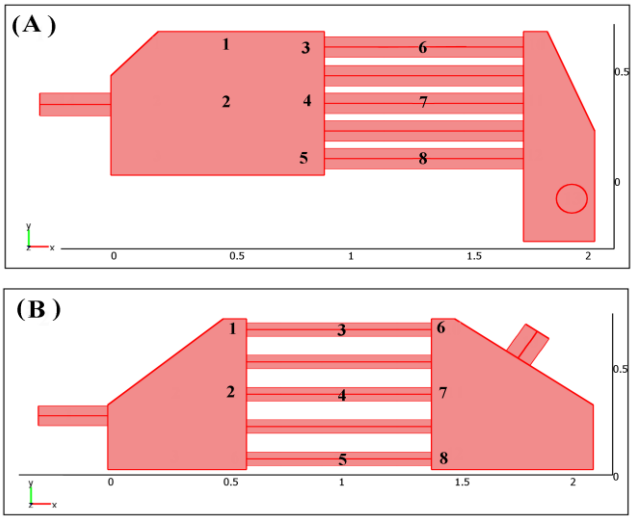
همان‌طوری‌که بیان شد در ماشین پخت، دو مبدل حرارتی یکی در بالا و یکی در پایین بستر پخت چدنی نصب شدند تا انتقال حرارت به صورت تابش به بستر پخت و خمیر صورت گیرد. برای پخت یکنواخت نان، باید توزیع دما و تابش مبدل‌ها به نحوی باشد که در طول چرخش حدود ۳۶۰ درجه‌ای خمیر روی بستر و داخل ماشین پخت، تمام قسمت‌های نان لواش با ابعاد تقریبی ۳۰×۵۰ سانتی‌متر، حرارت یکنواختی دریافت کند. به عبارت دیگر مقدار گرما در مقطع عرضی مبدل باید یکنواخت باشد. یعنی نقاط روی محیط دایره با نقاط نزدیک به مرکز دایره بستر پخت حرارت یکسانی را دریافت کنند. هم‌چنین در مناطقی خارج از محل قرارگیری خمیر و نان نباید چدن بیش از اندازه گرم شود. چرا که در کل مساحت بستر، عملیات پخت صورت نگرفته و گرمای اکتسابی چدن در نقاط خارج از محل قرارگیری خمیر، صرف گرمای نهان تبخیر و پخت نمی‌شود. بنابراین پس‌ماند یا هیسترزیس حرارتی ایجاد شده و انباشت حرارتی صورت می‌گیرد. در این صورت در حالتی‌که دو انتهای هر قطعه خمیر در حین پخت با این نواحی در تماس باشد حرارت بالایی دریافت کرده و موجب پخت بیش از حد و سوختن نان در نواحی انتهایی می‌گردد. بنابراین برای بررسی توزیع یکنواخت دما در بستر پخت ارزیابی اولیه ماشین با اندازه‌گیری دمای سطح مبدل‌ها و دمای بستر پخت انجام شد.

۲-۲-۱- اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطح مبدل در نقاط مختلف

دمای هوا در نقاط ۶، ۷ و ۸ و در مرکز لوله‌ها (شکل ۲) و نیز دمای سطح مبدل بالایی در همان نقاط، به‌وسیله ترموکوپل نوع K اندازه‌گیری شد تا یکنواختی دمای سطح مبدل در مقاطع عرضی آن بررسی شود. هم‌چنین دمای مشعل، دمای هوای خروجی و نیز دمای بدنه لوله خروجی هوا نیز اندازه‌گیری شد.

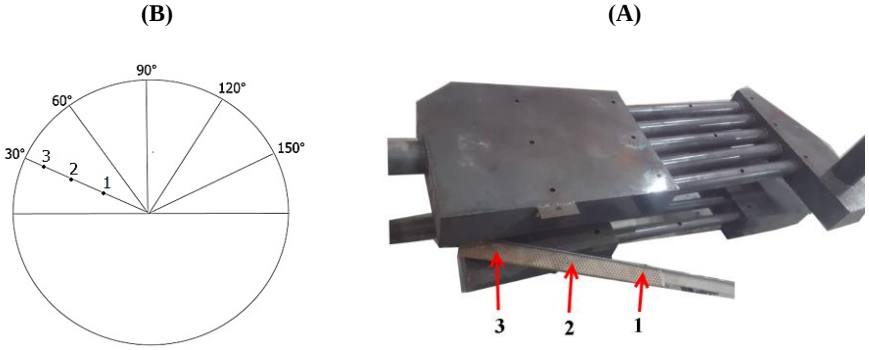
۲-۲-۲- اندازه‌گیری دمای بستر پخت

برای اندازه‌گیری دمای بستر پخت یک صفحه چدنی با ابعاد ۷×۷۵ سانتی‌متر در فضای بین دو مبدل دوران داده شد (شکل ۳-A) و دمای سه نقطه روی آن اندازه‌گیری شد (شکل ۳-B). این اندازه‌گیری‌ها ضمن اینکه توزیع دمای بستر پخت را در مقاطع عرضی مبدل‌ها نشان می‌دهد، دمای دریافتی هر نقطه از خمیر را در حین فرآیند پخت شبیه‌سازی می‌کند. به عبارت دیگر نشان می‌دهد که هر قسمت از خمیر در طول چرخش در داخل ماشین پخت با چه دمایی برخورد داشته و چه مقدار گرما دریافت کرده است. یکنواختی توزیع دما در طول پخت و در قوس-های مختلف بستر پخت، مبین یکنواختی پخت خواهد بود.



شکل ۲- محل اندازه‌گیری دمای هوا در داخل مبدل‌ها؛ A: مبدل بالایی و B: مبدل پایینی

Fig 2. Location for measuring temperature and air velocity in built-in exchangers; A: upper exchanger and B: lower exchanger



شکل ۳- اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف بستر پخت

Fig 3. Location for measuring temperature of baking bed

۲-۳- آماده‌سازی خمیر و فرآیند پخت نان

برای تهیه خمیر و پخت نان لواش از آرد ۱۸ درصد سبوس‌گیری شده استفاده شد. تهیه خمیر از آرد ۱۸ درصد به مقدار ۱۰ کیلوگرم در یک همزن خمیر ۴۰ کیلویی صورت گرفت. پخت نان لواش توسط ۲ نفر شاطر حرفه‌ای شاغل در شهر تبریز صورت گرفت. به منظور مقایسه خصوصیات کیفی نان تولید شده با دو روش حرارت غیرمستقیم و مستقیم، پخت نان در هر دو ماشین و با یک نوع خمیر انجام شد و هر دو نان‌های تولید شده در داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی دو لایه و در شرایط یکسان در یخچال با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نان‌های تولید شده در روز پخت و نیز پس از گذشت ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، تحت آزمون‌های مکانیکی و حسی توسط تست پانل با استفاده از افراد مجرب قرار گرفتند. پس از گذشت ۷۲ ساعت، نمونه‌ها از یخچال خارج شده و در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۹۶ ساعت دیگر نگهداری شدند و مجددا تحت آزمون مکانیکی و حسی قرار گرفتند.

۲-۴- ارزیابی خواص مکانیکی نان

به منظور ارزیابی خواص کیفی نان، آزمون برش کرامر و تست نفوذ روی نمونه‌ها انجام شد. برای انجام آزمون‌ها از دستگاه اینسترون استفاده شد.

در آزمون برش کرامر از لودسل ۵۰۰ تا ۵۰۰۰۰ نیوتنی و مقیاس ۲۰ استفاده شد. نان‌ها بصورت یک لایه با ابعاد ۶۵ در ۶۵ میلی‌متر در محفظه برش قرار داده شده و آزمون برش با سرعت ۸۰ میلی‌متر در دقیقه پروب روی آنها انجام گرفت. از منحنی نیرو- زمان، مشخصه حداکثر نیرو، برای مقایسه خصوصیات بافتی استفاده شد و حداکثر نیرو (بر حسب نیوتن N) جهت برش نمونه‌ها به عنوان مقاومت برشی نان در نظر گرفته شد. به منظور حذف خطا، آزمایش‌ها در ۶ تکرار انجام شدند. برای انجام آزمون نفوذ از یک پروب ۱۰ میلی‌متری و ۵ لایه نان به ابعاد ۸۰ × ۸۰ میلی‌متر استفاده شد که آزمون‌ها با لودسل ۵ تا ۵۰ نیوتنی و با مقیاس ۵ و سرعت ۸۰ میلی‌متر در دقیقه انجام شد. در این آزمایش نیز برای حذف خطا از ۵ تکرار استفاده شد. قطر پروب با سطح مقطع انتهایی تخت ۱۰ میلی‌متر انتخاب شد. در هر آزمایش تغییرات نیرو تابعی از عمق نفوذ ثبت شد و از روی نمودار مربوطه حداکثر نیرو برای نفوذ پروب در داخل نان انتخاب و ثبت گردید.

۲-۵- ارزیابی خواص حسی نان توسط تست پانل

در انجام ارزیابی حسی، از ۱۵ فرد مجرب و نیز نیمه‌آموزش دیده درخواست شد تا با در نظرگرفتن معیارهای کیفی نان و بر اساس استاندارد AACC ۷۴-۳۰/۰۱ (Anonymous, 2000)، کیفیت محصول را در همان روز پخت و نیز پس از گذشت زمان ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۱۶۸ ساعت بعد از پخت، ارزیابی کرده و امتیازهایی را از عدد یک (بسیار بد) تا عدد ۵ (بسیار خوب) به هر خصوصیت حسی اختصاص بدهند. هم‌چنین بر اساس ارزش خصوصیات مذکور در نان، ضرایب وزنی متناسب به هر کدام از خصوصیات داده شد. خواص مورد ارزیابی و ضرایب وزنی آن در جدول ۲ آورده شده است. اعداد بزرگتر ضرایب وزنی، بیانگر اهمیت بیشتر آن مشخصه در ارزیابی کیفیت نان است. هر کدام از اعداد مندرج در جدول ۲ 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 ۱۵ ارزیاب حاصل شد (G). هم‌چنین مقبولیت کلی هر نوع نان و در هر بازه زمانی از طریق رابطه ۱ و با اعمال ضرایب وزنی هر خصوصیت محاسبه شد.

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P} \qquad (۱)$$

در این رابطه P ضریب وزنی هر مشخصه، G متوسط امتیاز داده شده توسط ارزیاب‌ها برای هر مشخصه و Q امتیاز کلی هر نمونه نان در کل ویژگی‌ها و در زمان مورد نظر است. در نهایت امتیاز کلی هر نمونه نان پخته شده به‌وسیله ماشین حرارت مستقیم و غیرمستقیم و در پایان بازه‌های زمانی مختلف با یکدیگر مقایسه و روند تغییرات کیفیت کل نان مشخص شد.

۲-۶- تجزیه آماری داده‌ها

پس از انجام آزمایش‌های مکانیکی و ارزیابی حسی، داده‌های حاصل از هر کدام از آزمون‌ها با استفاده از طرح کاملا تصادفی در قالب آزمایش-های فاکتوریل تحلیل شدند. فاکتورهای مورد مطالعه شامل روش پخت نان (حرارت‌دهی مستقیم و غیرمستقیم) و مدت زمان نگهداری نان‌ها بودند. تحلیل‌ها در محیط نرم‌افزار MSTATC انجام و مقایسه‌های میانگین نیز با آزمون دانکن انجام شد.

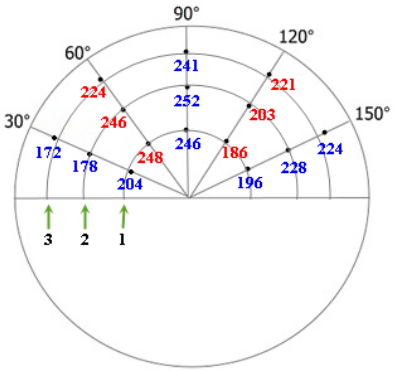
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج اندازه‌گیری دمای هوای گرم و دمای سطح مبدل

چنان‌که بیان شد یکنواختی دمای نقاط مختلف موجود روی مقطع عرضی مبدل‌ها، متضمن یکنواختی فرآیند پخت نان است. در جدول ۳ دمای هوای گرم عبوری از مبدل بالایی، دمای سطح و بدنه مبدل (شکل ۲) نشان داده شده است. انحراف استاندارد دمای سطح در مقاطع عرضی مبدل بالایی حدود ۶۱ درجه سانتی‌گراد بود که برای اهداف این تحقیق یکنواختی مناسبی است. انحراف استاندارد دمای سطح مبدل پایینی نیز در حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد بود که نتایج مربوط به اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطح بدنه آن در نقاط ۳، ۴ و ۵ (شکل ۲) در جدول ۴ ارایه شده است.

۳-۲- دمای بستر پخت

پس از اندازه‌گیری دمای سطح مبدل‌ها، دمای بستر پخت نیز اندازه‌گیری شد. در شکل ۴ دمای بستر پخت در حالت پایدار نشان داده شده است. انحراف استاندارد نقاط مختلف موجود روی هر کدام از شعاع‌هایی که با درجات ۳۰، ۶۰ ، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه مشخص شده‌اند برابر ۱۷، ۱۳/۳، ۵/۵، ۱۷/۵ و ۱۷/۴ است. اعداد بیانگر آن هستند که در نقاط مختلف بستر پخت در روی هرکدام از شعاع‌ها که بیانگر نقاط مختلفی از یک نان می‌باشند یکنواختی قابل قبول و مناسبی برای فرآیند پخت نان است.



شکل ۴- دمای نقاط مختلف بستر پخت

Fig 4. Surface temperature of baking bed

جدول ۲- خواص مورد ارزیابی و ضرایب وزنی آنها در ارزیابی خواص حسی و کیفی نان و امتیازهای داده شده توسط ارزیاب‌ها برای نان‌های مختلف در مدت زمان نگهداری

Table 2. Assigned scores by a sensory panel for the listed sensory attributes and their calculated weights to evaluate the sensory characteristics of different flatbread samples at different storage times

ویژگی‌های نان Attributes	ضرایب وزنی Weight coefficients (P)	روش پخت نان Baking method	روز پخت Baking day	۲۴ ساعت پس از پخت 24 h after baking	۴۸ ساعت پس از پخت 48 h after baking	۷۲ ساعت پس از پخت 72 h after baking	۱۶۸ ساعت پس از پخت 168 h after baking
			میانگین امتیاز ارزیاب‌ها (G) Mean sensory evaluation scores (G)				
فرم و شکل Form and shape acceptability	4	A	4.25	4.00	3.83	3.63	3.63
		B	4.33	4.04	4.25	4.00	3.92
خصوصیات سطح فوقانی Upper-level appearance acceptability	3	A	4.50	4.13	3.42	4.00	3.92
		B	4.42	4.29	4.33	4.25	4.00
خصوصیات سطح زیرین Subsurface appearance Acceptability	3	A	4.08	3.88	3.67	3.83	3.50
		B	3.83	3.83	4.00	4.00	3.92
پوکی و تخلخل Texture -porosity intensity	2	A	4.25	4.06	3.79	3.63	3.63
		B	3.42	3.08	3.33	3.17	3.04
سفتی و نرمی بافت Texture – hardness intensity	2	A	3.83	3.71	3.25	3.17	3.17
		B	3.33	3.73	3.54	3.54	3.29
قابلیت جویدن نان Texture – hardness intensity	1	A	4.50	4.13	3.83	3.58	3.67
		B	3.58	3.33	3.25	2.92	2.58
بو، طعم و مزه نان Flavor, taste, odor acceptance	5	A	4.42	4.23	3.88	3.79	3.88
		B	3.50	3.58	3.08	2.88	2.71

A: پخت به روش حرارت غیرمستقیم و B: پخت به روش حرارت مستقیم

A: Indirect heat baking method; B: Conventional (direct heat) baking method

جدول ۳- دمای هوا و دمای سطح مبدل حرارت بالایی

Table 3. Air temperature and surface temperature of the upper heat exchanger

محل اندازه‌گیری Measuring point	دمای سطح لوله (°C) Pip surface temperature (°C)	دمای هوا در مرکز لوله (°C) Air temperature in the center of the pipe (°C)
6	310	865
7	410	950
8	320	825

جدول ۴- دمای هوا و دمای سطح مبدل حرارت پایینی

Table 4- Air temperature and surface temperature of the lower heat exchanger

محل اندازه‌گیری Measuring point	دمای سطح لوله (°C) Pip surface temperature (°C)	دمای هوا در مرکز لوله (°C) Air temperature in the center of the pipe (°C)
3	285	450
4	300	460
5	310	520

۳-۳- نتایج آزمون مکانیکی نان

۳-۳-۱- آزمون نفوذ

ارزیابی نتایج حاصل از آزمون نفوذ نشان داد که بین محصول حاصل از دو روش پخت نان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در مورد مقاومت به نفوذ پروب وجود ندارد ولی تاثیر فاکتور مدت زمان نگهداری نان روی نیروی نفوذ، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- تجریه واریانس اثر روش پخت و زمان نگهداری روی نیروی نفود نان

Table 5. Summary of ANOVA for puncture test of flatbreads

منبع تغییرات S.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
روش پخت Baking methods	1	0.026 ns
زمان نگهداری Bread storage time	4	0.042 *
روش پخت× زمان نگهداری Baking methods × bread storage time	4	0.002 ns
خطا Error	20	0.013
کل Total	29	

* و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

*Significant difference at 5% probability level, ns – no significant

تغییرات میزان نیروی لازم برای نفوذ پروب ۱۰ میلی‌متری در پنج لایه از نان در شکل ۵-I نشان داده شده است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در هر دو نان، مقدار نیروی نفوذ پروب به نان‌ها در روزهای اولیه نگهداری تغییر چندانی نداشته و از مقدار پایینی برخوردار بود. ولی افزایش نیروی نفوذ در آنها از ۴۸ ساعت پس از نگهداری دارای روند صعودی و شیب بیشتری است. به عبارت دیگر سفتی سطحی نان‌ها از ساعت ۴۸ به بعد روند افزایشی داشته است. هم‌چنین در روزهای اول نگهداری تفاوت محسوسی در نیروی نفوذ پروب بین دو روش پخت مشاهده نشده است ولی با گذشت زمان نگهداری، نیروی مورد نیاز برای نفوذ پروب در نان پخته‌شده با حرارت مستقیم بیشتر از روش غیرمستقیم بود که بیانگر سفتی نسبی این نان و در مقابل مطلوبیت نان پخته شده با حرارت غیرمستقیم است. به عبارت دیگر روند بیاتی در نان پخته شده با استفاده از حرارت غیرمستقیم آهسته‌تر بوده است. جدول ۶ نتایج مقایسه میانگین تاثیر مدت زمان نگهداری روی نیروی نفوذ نان را نشان می‌دهد. بر این اساس زمان بهینه نگهداری ۴۸ ساعت است که در این مدت متوسط نیروی لازم برای نفوذ پروب ۱۰ میلی‌متری در نان ها در محدوده ۲/۱ الی ۲/۴ نیوتن بود.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر مدت زمان نگهداری نان روی نیروی نفوذ و برش کرامر

Table 6. Mean comparison of punture and Kramer shear force at different bread storage times

زمان نگهداری Bread storage time	نیروی نفوذ (N) Punture force	نیروی برش در آزمون کرامر(N) Kramer shear force
روز پخت Baking day	2.3 bc	472 c
۲۴ ساعت پس از پخت 24 h after baking	2.11 c	495 c
۴۸ ساعت پس از پخت 48 h after baking	2.4 abc	516 bc
۷۲ ساعت پس از پخت 72 h after baking	2.94 ab	583 b
۱۶۸ ساعت پس از پخت 168 h after baking	3.06 a	682 a

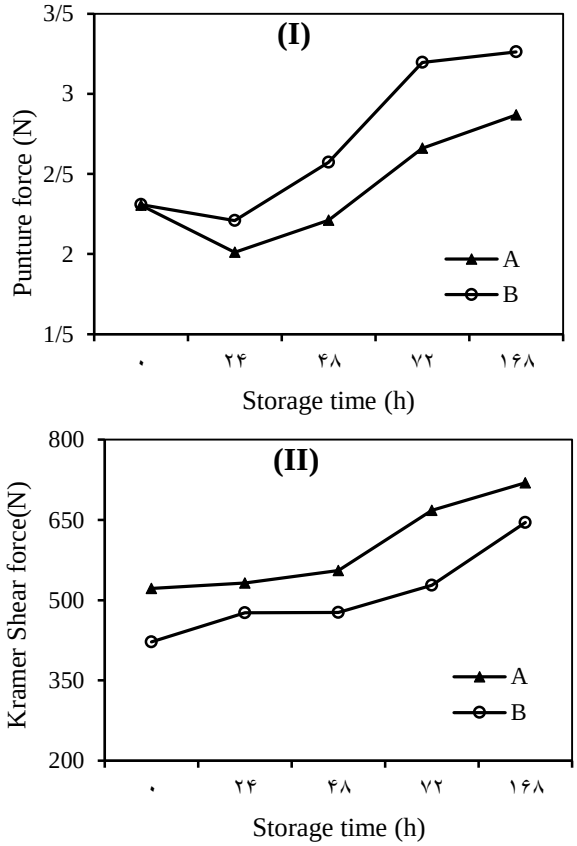
حروف متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Different letters indicates the significant differences at 1% probability level.

۳-۳-۲- آزمون برش کرامر

ارزیابی نتایج حاصل از آزمون برش کرامر نشان داد که بین محصول حاصل از دو روش پخت نان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۷). نان‌هایی که به روش حرارت غیرمستقیم تولید شده بودند دارای نیروی برش (۵۹۰ نیوتن) بیشتری نسبت به نان‌های پخته شده به روش حرارت‌دهی مستقیم (۵۰۹ نیوتن) بودند. در طول مدت نگهداری نان‌ها نیز نیروی برش در هر دو نان روند افزایشی داشت (شکل ۵- II). به‌طوری‌که در نان پخته شده با حرارت غیرمستقیم (A) با افزایش زمان نگهداری، نیروی برش از ۵۲۱ به ۷۱۹ نیوتن و در نان با روش مستقیم (B) از ۴۲۲ به ۶۴۵ نیوتن افزایش یافته است. هم‌چنین زمان نگهداری نان اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی نیروی برش هر دو نان داشت (جدول ۷) و بدین ترتیب تردی نان کاهش و بیاتی آن تسریع شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که از روز پخت تا ۴۸ ساعت نگهداری، مقدار نیروی برش در هر دو نان زیاد افزایش نیافته است و کاهش تردی و افزایش بیاتی تا ۴۸ ساعت جزیی بود. به‌طوری‌که بین نیروی برش کرامر در روز پخت تا ۴۸ ساعت نگهداری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶). ولی از ۴۸ ساعت به بعد، تغییرات نیروی برش و کاهش تردی نان صعودی بوده است. به نظر می‌رسد ۴۸ ساعت نگهداری زمان بهینه نگهداری برای هر دو نان بوده

است. Sahari *et al.* (2104) نیز نشان دادند که با افزایش زمان نگهداری نان تافتون، نیروی برش کرامر آن افزایش یافته و سختی نان بیشتر می‌شود. Izadi Najafabadi *et al.* (2015) نیز گزارش کردند که دمای پخت تاثیر زیادی روی نیروی برش کرامر نان سنگگ دارد.



شکل ۵- تاثیر روش پخت (A: پخت غیرمستقیم و B: پخت مستقیم) و مدت زمان نگهداری نان روی نیروی لازم برای I: آزمون نفوذ و II: آزمون برش کرامر

Fig 5. The effect of baking method (A: indirect baking and B: direct baking) and bread storage time on the force recorded using Kramer shear and puncher test

جدول ۷- تجریه واریانس اثر روش پخت و زمان نگهداری روی نیروی برش در تست کرامر

Table 7. Summary of ANOVA for Kramer shear force of flatbreads

منبع تغییرات S.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
روش پخت Baking methods	1	80251**
زمان نگهداری Bread storage time	4	71984 **
روش پخت× زمان نگهداری Baking methods × bread storage time	4	1941 ns
خطا Error	40	7747
کل Total	49	

**و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

*Significant difference at 1% probability level, ns: no significant

۳-۳-۳- نتایج ارزیابی حسی

با استفاده از امتیازهای داده شده توسط اعضای پانل به خصوصیات کیفی نان، شاخص کیفیت نهایی نان در هر دو روش پخت و در طول مدت زمان نگهداری آنها محاسبه شد (جدول ۸). نتایج تجزیه واریانس اثر روش پخت (A و B) و مدت زمان نگهداری نان روی شاخص کلی کیفیت نشان داد که اثر هر دو عامل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۸). نان پخته‌شده با حرار غیرمستقیم (A) با شاخص کل کیفی ۵/۰۹ از امتیاز بالاتری نسبت به نان پخته شده با حرارت مستقیم (B) با شاخص کل کیفی ۴/۵۴ برخوردار بود.

جدول ۸- تجریه واریانس اثر روش پخت و زمان نگهداری روی روی شاخص کیفی کلی نان

Table 8. Summary of ANOVA for the overall quality index of the flatbreads

منبع تغییرات S.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
روش پخت Baking methods	1	8.945 **
زمان نگهداری Bread storage time	4	6.739 **
روش پخت× زمان نگهداری Baking methods × bread storage time	4	1.445 *
خطا Error	110	0.603
کل Total	119	

**و * به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

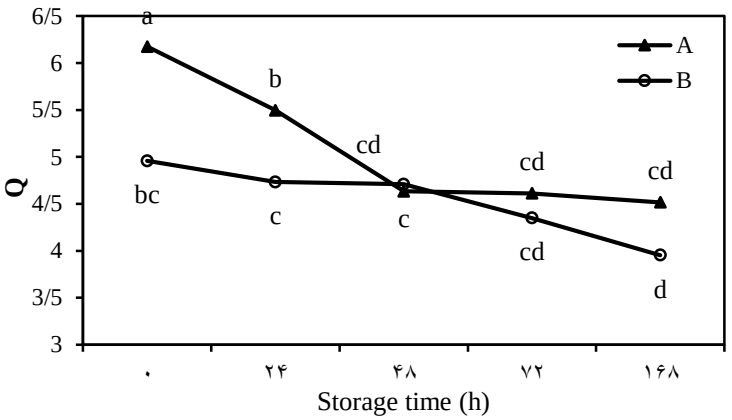
** and * shows the significant difference at 1% and 5% probability level.

در شکل ۶ اثر متقابل روش پخت و مدت زمان نگهداری نان روی شاخص کلی کیفیت آن نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود در تمام مدت نگهداری نان‌ها، نان پخته شده به روش حرارت‌دهی غیر-مستقیم از نظر ارزیاب‌ها دارای کیفیت بالاتری نسبت به نان پخته شده توسط حرارت مستقیم بوده و این کیفیت بالا در طول زمان نگهداری از روز پخت تا مدت ۱۶۸ ساعت پس از آن نیز حفظ شده است. تفاوت کیفیت کلی دو نوع نان تا ۴۸ ساعت بعد از پخت، خیلی بیشتر از مقادیر کیفی آن دو در روزهای بعدی بود. یکی از دلایل برتری نان A در روزهای اول پخت، بو، طعم و مزه آن و نیز پوکی و تخلخل آن بود. بعد از ۴۸ ساعت نگهداری، تغییرات کیفیت هر دو محصول کندتر بوده است. نان B در روزهای اول پس از پخت، از افت کیفی زیادی برخوردار نبود ولی بعد از ۴۸ ساعت، افت کیفیت با شیب تندتری صورت گرفته است که علت آن می‌تواند افزایش سختی نان و نیز نیروی نفوذ، پس از ۴۸ ساعت نگهداری باشد. در نان B بعد از ۱۶۸ ساعت نگهداری، آثار کپک‌زده‌گی نیز مشاهده شد. این در حالی است که در نان A بعد از ۴۸ ساعت، تغییرات محسوسی در کیفیت نان مشاهده نشد و این نان بدون کپک-زدگی، بیش از ۱۶۸ ساعت نیز ماندگاری داشت. باید توجه داشت که کپک‌زدگی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی است که ارزش آن می-تواند به همه شاخص‌های کیفی دیگر ارجحیت داشته باشد، هرچند در استانداردها به آن اشاره‌ای نشده است. در صورتی که نان دچار کپک-زدگی شود بطورکلی غیرقابل مصرف می‌گردد. چنان‌که می‌دانیم عامل اصلی کپک‌زدگی درصد رطوبت محصول در دوره نگهداری است. یکی از موارد شاخص در پخت نان با حرارت غیرمستقیم و با استفاده از امواج مادون‌قرمز در سطح رویی محصول، خشک‌شدن بیشتر نان و کاهش درصد رطوبت آن است. این امر موجب می‌شود در مراحل نگهداری کپک‌زدگی محصول کاهش یابد.

بر این اساس نان A که با حرارت غیرمستقیم تولید شده بود بهترین انتخاب برای تازه‌خوری و نیز اهداف نگهداری‌های طولانی مدت است.

یکی دیگر از ویژگی‌هایی که در نان‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت یکنواختی پخت همه قسمت‌های نان بود. این در حالی است که در ماشین‌های پخت نان صنعتی موجود در کشور و با حرارت غیرمستقیم، مشکل اصلی، سوختگی لبه‌های کناری نان به دلیل عدم متناسب‌بودن مبدل‌ها با فضای پخت و ابعاد نان و عدم طراحی صحیح آنها است. به-طوری‌که به دلیل عدم طراحی صحیح مبدل‌ها، پسماند حرارتی در نقاطی از بستر پخت که در خارج از محل قرارگیری خمیر است اتفاق می‌افتد. چرا که به دلیل عدم وجود خمیر در آن نقاط، سردشدن بستر و کاهش بار حرارتی آن به دلیل گرمای نهان تبخیر آب موجود در خمیر اتفاق می‌افتد. بنابراین موجب گرم‌شدن بیشتر آن نقاط و سوختن نان در نقاط انتهای آنها می‌شود. میزان یکنواختی در نان A با حرارت غیرمستقیم و با مبدل توسعه داده شده بسیار عالی و قابل قبول بود و سوختگی لبه‌های نان مشاهده نشد.

بطورکلی می‌توان بیان نمود که استفاده از ابزار شبیه‌سازی و طراحی و ساخت مبدل مناسب و نیز حرارت‌دهی یکنواخت اعمال شده به بستر پخت موجب شده است که نان پخته شده با روش حرارت‌دهی غیر-مستقیم دارای خواص کیفی بالا بوده و امکان نگهداری طولانی مدت نان فراهم شود. هم‌چنین نان تهیه شده با این روش عاری از هر گونه ماده آلاینده مانند PAHs است.



شکل ۶- تاثیر روش پخت و مدت زمان نگهداری روی شاخص کل کیفی نان (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

Fig 6. The effects of baking method and storage duration on bread quality index (different letters indicate a significant difference at 5% probability level); A: Flatbread baked with indirect heat, and B: Flatbread baked with direct heat

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ماشین پخت مناسب نان با حرارت غیرمستقیم با ماشین متداول با حرارت مستقیم در پخت نان مسطح مقایسه شد. بین نیروی لازم برای نفوذ پروب در نان‌های پخته شده به روش حرارت غیرمستقیم و حرارت مستقیم، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ولی نیروی لازم برای برش کرامر در نان پخته شده با حرارت غیرمستقیم بیشتر از نان پخته شده با حرارت مستقیم بود. در حالت کلی نان پخته شده با سیستم حرارت غیرمستقیم دارای امتیاز کیفی بالایی نسبت به روش متداول موجود بود و نیز عمر نگهداری نان تولیدی با این روش بالاتر بود. ماشین ساخته شده می‌تواند جایگزین مناسبی برای ماشین‌های موجود با حرارت مستقیم باشد. در این صورت میزان آلایندگی محصول نان به دلیل تماس با گازهای حاصل از احتراق به صفر رسیده و متضمن سلامتی مصرف کنندگان خواهد بود.

منابع

Al-Rashdan, A., Helaleh, M. I. H., Nisar, A., Ibtisam, A. and Al-Ballam, Z. (2010). *Determination of the Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Toasted Bread Using Gas Chromatography Mass Spectrometry*. International Journal of Analytical Chemistry, 20: 1–8.

Anonymous. (2000). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10 th edition. Vol 11. AACC method 74-10.02, and 74-30.01. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minn, U.S.A.

Azizi, M. H., Sayeddain, S. M. and Payghambardoost, S. H. (2006). *Effect of Flour Extraction Rate on Flour Composition, Dough Rheological Characteristics and Quality of Flat Bread***.** Journal of Agriculture Science and Technology, 8 (4): 323-330.

Eslamizad, S., Yazdanpanah, H., Javidnia, K., Sadeghi, R. , Bayat, M. , Shahabipour, S. and Kobarfard, F. (2016). *Validation of an Analytical Method for Determination of Benzo[a]pyrene Bread using QuEChERS Method by GC-MS*. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 15: 465–474.

Eshaghi, M., Ahmadkhaniha. R., Moazzen, M., Yunesian, M., Azari, A. and Rastkari, N. (2016). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in Iranian Kebabs Author links open overlay panel*. Food Control, 60: 57-63.

Fasano, E., Yebra-Pimentel, I., Martínez-Carballo, E. and Simal-Gándara, J. (2016). *Profiling, distribution and levels of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked plant and animal foods*. Food Control, 59: 581–590.

Izadi Najafabadi, L, Hamdami1, N., Le-Bail, A., Monteau, J. Y. and Keramat, J. (2015). *Impact of baking bed and baking temperature on staling of sangak Bbread*. Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, 17: 375-386.

Keskin, S. O., Sumnu, G. and Sahin, S. (2004). *Bread baking in halogen lamp-microwave combination oven*. Food Research, 37: 489–495.

Ravanfar, N., Mohammadzadeh Milani, J. and Amiri, Z. (2013). *The effect of barley malt flour on Barbari bread staleness*. Quarterly Journal of New Food Science and Technology, 1(2): 15-22. (In Persian). Ravula, S. R., Divyasree, A. and Ashis, K. D. (2019). *Estimation of heat flux in bread baking by Inverse problem*. Journal of Food Engineering, 271: 109774.

Rey-Salgueiro, L., García-Falcón, M. S., Martínez-Carballo, E. and Simal-Gándara, J. (2008). *Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread*. Food Chemistry, 108(2): 607–615.

Sahari, M. A., Mohammadi, R. and Hamidi Esfehani, Z. (2014). *Rheological and quality characteristics of taftoon bread as affected by Salep and Persian gums*. International Journal of Food Science, 2014: 1-7.

Singh, L. and Agarwal, T. (2018). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in diet: Concern for public health*. Trends in Food Science and Technology, 79: 160–170.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)