مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی عوامل موثر در طراحی دستگاه پخت نان بر ویژگی‌های کیفی و بافتی نان مسطح خانگی

سید مهدی میرزابابایی[1*]، علی فائزیان[2]، علی رافع[3]، حسین زمانی[4]

۱- استادیار،گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۲- دانشیار، گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۳- دانشیار،گروه فرآوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۴- استادیار، گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱

کلمات کلیدی:

نان مسطح،

فرایند پخت،

طراحی،

ویژگی بافتی،

حسی.

DOI: 10.52547/fsct.18.09.19

* مسئول مکاتبات:

m.mirzababaee@rifst.ac.ir

چکیده

در این پژوهش پارامترهای موثر در طراحی و ساخت دستگاه پخت نان خانگی بر ویژگی‌های حسی و بافتی نان مسطح بررسی شد با انتخاب الگوی شار گرمایی، ضخامت‌های مختلف بستر و ارتفاع محفظه پخت، توزیع دما و جرم در سه ناحیه بستر پخت، نان و محفظه پخت بدست آمد. از طرف دیگر با اندازه‌گیری دمای چند نقطه در بستر، نان و محفظه پخت، توان مصرفی و نرخ تبخیر آب از نان در طی فرآیند پخت، داده‌های تجربی ارزشمندی برای اعتبارسنجی مدل‌سازی و تحلیل نرم‌افزاری بدست آمد. با استفاده از آزمون‌های پردازش تصویر، بافتی و حسی، ویژگی‌های نان پخته شده در شرایط مختلف ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ضخامت بستر ۰/۵ سانتیمتری عملکرد بهتری نسبت به ضخامت‌های بیشتر دارد. با افزایش ارتفاع محفظه در سه ارتفاع ۲، ٤ و ٦ سانتیمتر، متوسط دمای محفظه به ترتیب کاهش یافت. بنابراین، ارتفاع محفظه ۲ سانتیمتری مناسب‌تر بود. در بررسی کیفت پخت نان با دستگاه ساده مشخص شد زمان پخت ٦ دقیقه و دمای شروع پخت ۱٦۰ درجه سانتیگراد مناسب‌ترین شرایط پخت می‌باشد. همچنین آزمون‌های بافت‌سنجی نشان داد که مقدار سختی، صمغیت و قابلیت جویدن مربوط به الگوی شار گرمایی کاهشی، نزدیک‌ترین مقادیر را با نان شاهد دارد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]

[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

۱- مقدمه

کشور ما از لحاظ مصرف سرانه نان یکی از پرمصرف‌ترین کشورها به شمار می‌رود و با توجه به امکاناتی که در کشور وجود دارد، می‌بایست صنعت نان بزرگترین صنعت کشور را تشکیل دهد[۱]. در حال حاضر بخش اعظم نان مورد نیاز کشور (مسطح، نیمه‌حجیم و حجیم) در نانوایی‌های کوچک و به صورت دستی با ظرفیت حدود ۵۰۰ کیلوگرم در روز تهیه می‌گردد، در حالی‌که در کشورهای پیشرفته، تکنیک‌ها و روش‌های ماشینی و صنعتی در زمینه تولید نان بسیار رایج است[۲]. با توجه به مسائل ذکر شده، پایه‌ریزی، طراحی خطوط و تجهیزات مناسب جهت صنعتی شدن تولید نان امری ضروری بوده و ذهن محققان زیادی را به خود جلب کرده است.

یکی از مهمترین مراحل فراوری نان، پخت است که در آن خمیر به محصولی معطر با بافتی اسفنجی تبدیل می‌شود. در فرایند پخت سنتی، هیچ دستورالعملی برای کنترل فرایند پخت برای رسیدن به یک محصول با کیفیت بالا وجود ندارد[۳]. بنابراین، یکنواختی کیفیت محصول و افت انرژی طی فرایند همواره به عنوان چالشی بزرگ در صنعت نانوایی مطرح بوده است [٤]. امروزه یافتن روشهایی بر پایه معادلات، مدلسازی ریاضی و اصول مهندسی برای بهبود فرایند ضروری است. برای ایجاد چنین مدلهایی، درک عمیق فرایندهایی که در پخت نان رخ می‌دهد بخصوص فرایند انتقال جرم و انرژی الزامی است. فرایند پخت شامل انتقال همزمان جرم و حرارت در محیطی متخلخل است که در آن تغییر شکل‌های فازی آب مانند تبخیر و میعان و نیز بسیاری از تغییرات شیمیایی و فیزیکی مانند تشکیل پوسته نان، تغییر رنگ، ژلاتیناسیون نشاسته و دناتوراسیون پروتئین در خمیر صورت می‌گیرد [۵-۹].

در فرایند پخت تماسی، انتقال حرارت از طریق هدایت، همرفتی و تابش است. در این فرایند، رطوبت خمیر از طریق فرایندی که تبخیر-میعان خوانده می‌شود در فازها تغییر می‌کند[۱۰]. افزون براین، گرما در داخل خمیر افزایش می‌یابد که منجر به تبخیر رطوبت و نفوذ می‌شود. پخت تماسی از طریق تماس با یک سطح داغ و همرفت هوای گرم در آماده-سازی بسیاری از محصولات مانند پیتزا، تورتیلا و نان‌های مسطح ایرانی مانند سنگک، تافتون و بربری بکار برده می‌شود. در میان تحقیقات متعددی که در زمینه مدلسازی پخت نان انجام شده است، تعدادی از آنها به مدلسازی پخت تماسی نان مسطح پرداخته‌اند که می‌توان به نان چاپاتی [۱۱]، نان کرومپت [۱۲]، پنکیک [۱۳] و نان سنگک [۱٤] اشاره کرد.

همان طور که اشاره شد، تعداد تحقیقات اندکی به مطالعه فرایند تبخیر-میعان و تغییرات حجمی حین پخت پرداخته‌اند. صادقی و همکاران [۱٤] به مدلسازی عددی فرایند پخت نان سنگک پرداختند و پس از آن مدلسازی با نرم افزار کامسول دستگاه پخت نان مسطح خانگی طراحی و ساخته شد [۱۵]. بر این اساس پارامترهای لازم در طراحی و ساخت این دستگاه در این مقاله بررسی شد و در نهایت ویژگیهای ظاهری نان مانند رنگ و ویژگیهای بافتی آن مورد بررسی قرار گرفت. گسترش تغییر رنگ سطح نان در طی پخت مورد مطالعه قرار گرفت و تغییرات دما و فعالیت آبی توسط شبیه‌سازی عددی یک مدل ریاضی معتبر به دست آمد [۱٦]. در مطالعه دیگری توان یک مدل محاسباتی دینامیک سیالات برای پخت نان مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۷]. نقی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) اثر دما و زمان پخت بر خواص کمی و کیفی نان ببری نیمه حجیم را بررسی کردند [۱۸]. علی رغم تحقیقات متعددی که زمینه طراحی و ساخت تجهیزات نان انجام شده است، تاکنون به موضوع طراحی دستگاه پخت نان خانگی پرداخته نشده است. بنابراین، هدف این تحقیق، در طراحی دستگاه پخت نان خانگی، تولید نان با کیفیت، هزینه‌ی پایین دستگاه و سهولت در استفاده از آن می‌باشد به طوری که نیاز مصرف کننده را تامین کند و انگیزه‌ی لازم برای استفاده از این دستگاه را در آنها ایجاد کند. بدین منظور پارامترهای ارتفاع محفظه‌ی پخت (فاصله‌ی کف و سقف محفظه)، مقدار و نسبت نرخ انتقال حرارت از کف و سقف محفظه پخت، دمای محفظه‌ی پخت و ضخامت بستر پخت در عملکرد دستگاه پخت مسطح بررسی شدند.

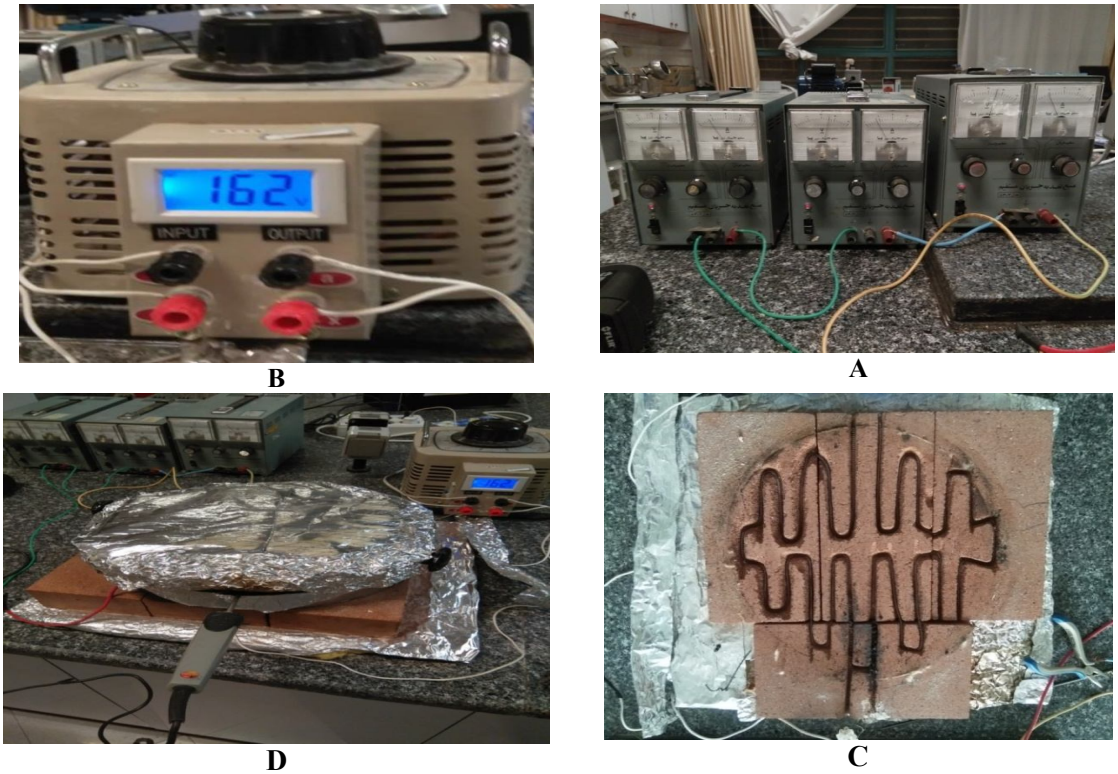
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طراحی دستگاه پخت نان

مطابق با بررسی انجام شده و مدلسازی ریاضی با نرم افزار کامسول دستگاه پخت نان طراحی و ساخته شد (شکل ۱) [۱۵]. در استفاده از منبع گرمایی الکتریکی، طراحی به گونه‌ای صورت گرفت تا سطح زیرین در معرض نرخ انتقال حرارتی ٤۵۰ وات قرار گیرد و منبع بالایی هم بیشینه حرارتی (حدود ٦۰ وات) را دریافت کند. انتخاب توان ٤۵۰ وات برای کف به طور تجربی بدست آمد که مناسب‌ترین توان برای پخت نان

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

تشخیص داده شد.



A B C D

Fig 1 Power source for lower plate (A), power soruce for upper plate (B), the shape of lower plate (C) and the baking device designed by the researchers (D).

منبع گرمایی سطح بالای محفظه پخت برای رنگ‌دهی سطح نان استفاده می‌شود و نقش کمتری در فرایند پخت دارد. انتخاب توان ۶۰ وات برای محفظه بالا براین اساس بود تا امکان طراحی و ساخت دستگاه پخت نان ترکیبی الکتریکی-خورشیدی بررسی شود. برای تامین توان الکتریکی سطح بالا و پایین از سه منبع تغذیه که به صورت سری به هم متصل شده‌اند استفاده شد (شکل ۱). برای تامین شار حرارتی ورودی به سطح زیرین از یک المنت[1] حرارتی که در آجر نسوز جانمایی شده استفاده شد (شکل ۱ C). آجرنسوز خود عایق حرارتی خوبی است؛ اما برای جلوگیری از اتلافات کف، آجرنسوز هم توسط پشم شیشه عایق می‌شود. در قسمت بالایی از یک المنت که روی صفحه آلومینیومی به ضخامت ۳ میلیمتر قرارگرفته استفاده شد و سطح رویی و اطراف این صفحه نیز عایق گردید. مجموعه دستگاه آزمایشگاهی در شکل (۱ D) نشان داده شده است.

برای صفحه‌ی پخت، دو صفحه از جنس چدن خاکستری به ضخامت‌های ۱/۵ و ۳ سانتی‌متر به طور تجربی انتخاب شدند. انتخاب این ضخامت‌ها به این دلیل است که علاوه بر اینکه دمای صفحه با سرعت قابل قبول افزایش یابد، صفحه حالت خازنی داشته باشد و افت دما در آن به کندی صورت گیرد. البته فلزات دیگری نیز هستند که این خواص در آنها از چدن بهتر است؛ اما استفاده از چدن به دلیل دارا بودن استانداردهای بهداشتی لازم جهت پخت نان صورت گرفت.

۲-۲- تهیه خمیر

روش تهیه خمیر مطابق با تحقیق پیشین انجام شد[۱۵]. اجزای اصلی فرمول خمیر شامل آرد کامل، آب، مخمر خشک و نمک بودند. ابتدا مخلوط این اجزا به مدت ۸ دقیقه ورز داده شدند و سپس به خمیر ۵ دقیقه استراحت داده شد، در نهایت به مدت ۲ تا ۳ دقیقه ورزدهی شد تا خمیر شکل خود را بدست آورد. آنگاه به مدت ۴۰ دقیقه خمیر به حال خود باقی ماند تا تخمیر کامل گردد. پس از آن، خمیرهای گرد به وزن متوسط ۳۵۰ گرم تهیه شدند. هر چانه خمیر ۳۵۰ گرمی حاوی ۴۰ درصد آب بود. تمامی چانه‌های خمیر به ضخامت ۱ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر به صورت ورقه پهن شدند و در دستگاه پخت قرار گرفتند. در این تحقیق، تخمیر (پروف خمیر) مطابق با استانداردها و روش‌های معتبر و نیز تهیه خمیر از آرد نول انجام گرفت[۱۵].

۲-۳- ثبت دما و وزن خمیر

برای اندازه‌گیری دمای محیط و محتویات ظرف در تمامی آزمایش‌ها از یک دماسنج دو کاناله (Testo922) با ترموکوپل

1. Element

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

نوع k استفاده شد که دقت این دماسنج ۰/۵± سانتی‌گراد است. در اندازه‌گیری وزن از ترازو با دقت g ۰/۰۱± و زمان‌سنج معمولی با دقت ۱± ثانیه استفاده شده است. در اندازه‌گیری دماهای صفحه و محفظه‌ی پخت، بازه‌ی زمانی با توجه به میزان تغییرات دما ۵ دقیقه بود و دمای محیط نیز هر ۱۰ دقیقه یکبار بررسی گردید. وزن خمیر یا نان نیز در بازه‌های یک دقیقه‌ای حین پخت وزن شدند.

۲-٤- ارزیابی حسی

به منظور بررسی عملکرد دستگاه پخت نان خانگی مسطح آزمون ارزیابی حسی روی نمونه‌های نان انجام گرفت. بدین منظور، آزمون حسی هدونیک پنج نقطه‌ای شامل طعم، رنگ، بو و پذیرش کلی روی نمونه‌های نان پخته شده نهایی انجام شد. ۷ نمونه نان در شرایط دما و زمان مختلف پخت ارزیابی شدند. در این آزمون ٦ نفر از کارشناسان و اعضای هیات علمی موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی شرکت کردند و کیفیت نان در چهار سطح عالی، خوب، مناسب و ضعیف درجه بندی شدند. علاوه براین، در بازه‌های زمانی یک دقیقه‌ای (خمیر اول یک دقیقه، خمیر دوم دو دقیقه بعد از قرارگیری در تنور و به همین شکل تا خمیر هفتم عکس‌برداری شدند) از خمیر طی فرایند پخت عکس‌برداری شد.

۲-۵- بررسی رنگ و میزان تخلخل

بررسی دو پارامتر کیفی رنگ و میزان تخلخل نان به روش پردازش تصویر انجام گرفت. روش ارزیابی این دو ویژگی مطابق با مقاله عبداللهی و همکاران (۲۰۱٦) انجام شد[۱۹]. به طور خلاصه نمونه‌های نان در داخل محفظه جعبه سیاه (مشخصات دستگاه و دوربین در مقاله به طور کامل آورده شده است)، قرار داده شد و با عکسبرداری از نمونه، پارامترهای روشنایی (L)، a و b اندازه‌گیری و شاخص کلی رنگ (ΔE) بدست آمد. برای تعیین میزان تخلخل، نمونه‌های نان به صورت طولی برش داده شد و با استفاده از نرم افزار Image J درصد تخلخل داخلی محاسبه گردید[۱۹].

۲-٦-ارزیابی بافت نان

آزمون‌های بافت‌سنجی با استفاده از دستگاه بافت‌سنجی موجود در موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی با مشخصات زیر انجام شد. سرعت انجام آزمون،۲ میلی‌متر بر ثانیه، پروب دیسکی با قطر ۷۵ میلی‌متر، و میزان فشردگی ۵۰ درصد ارتفاع نمونه تنظیم شدند. در این آزمون درک انسانی از بافت تقلید شده در اولین و دومین فشار مربوط به اولین و دومین گاز زدن است. پروب در دو تکرار به نمونه بار فشاری وارد می‌کند و هر تکرار تا ۵۰٪ ضخامت اولیه نان، آن را فشرده می‌کند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- انتخاب ضخامت بستر پخت

تغییرات دمای سطح بستر نسبت به زمان برای دو بستر پخت با ضخامت ۱/۵ و ۳ سانتیمتر در شکل ۲ آورده شده است. با مقایسه این دو منحنی می‌توان نتیجه گرفت که ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر برای رسیدن به دما و زمان مطلوب مناسب‌تر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زمان رسیدن دمای سطح به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در بستر با ضخامت ۱/۵و ۳ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۸ و ۲٤ دقیقه است.

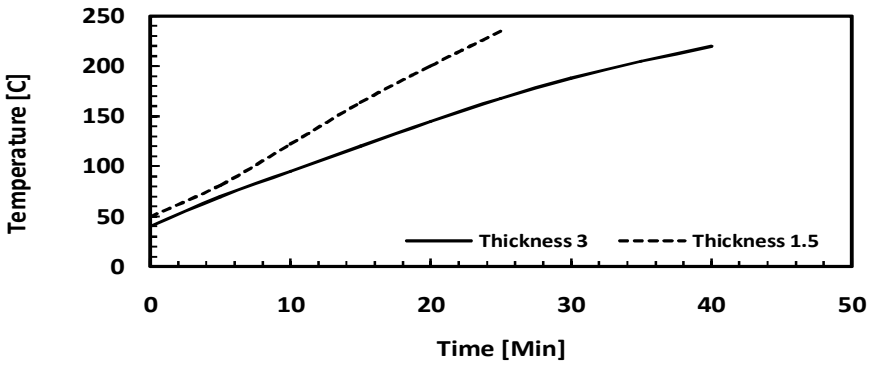


Fig 2 Temperature changes as a function of time at different thickness (1.5 and 3 cm).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

۳-۲- بررسی دمای محفظه پخت

کمینه و بیشینه دمای لازم برای تغییر رنگ سطح نان به ترتیب ۱۲۰ و ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد است [۷]. از طرفی افزایش دمای پخت بر کیفیت نان موثر می‌باشد [۱۶]. با توجه به طولانی شدن دوره پخت به پیش گرمایش سه دمای ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد برای ارزیابی انتخاب شدند. برای رسیدن به این شرایط با استفاده از آزمون و خطا، نرخ انتقال حرارتی ورودی از سطح بالایی را ۶۰ وات، ارتفاع محفظه ۲ سانتی‌متر و نرخ انتقال حرارتی ورودی به سطح پایین ۴۰۰ وات انتخاب شدند. در طی فرایند پخت نان در بازه‌های یک دقیقه‌ای وزن، نمونه‌ها از نظر وزن و شکل ظاهری توسط تصویربرداری ارزیابی شدند. وزن چانه‌ها حدود ۷۰ گرم بود. شکل ۳ تغییرات رطوبت نسبت به زمان دردماهای مختلف محفظه پخت را نشان می‌دهد. تغییر رنگ نان نسبت به زمان نیز در دماهای مختلف محفظه پخت در شکل ٤ آورده شده است. مشاهده گردید که در دمای محفظه ۱۵۰ و ۱۸۰درجه سانتی‌گراد قسمت‌هایی از نان خمیر است و برای تکمیل فرایند پخت باید نان را زیر و رو کرد. اما نانی که در دمای محفظه‌ی ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد پخت شده است، تقریباً هیچ جای آن خمیر نیست و نان مطلوبی به شمار می‌رود و دیگر نیاز به زیر و رو کردن هم ندارد. از طرفی با توجه به شکل ۳ زمان پخت برای دماهای ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ٦، ٤ و ۲ دقیقه است. نتایج آزمون حسی دمای پخت نان در ۲۱۰ را باکیفیت‌ترین نان و ۱۵۰ را بی‌کیفیت‌ترین نان نشان داد، پس با توجه به نتایج آزمون حسی، دمای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد برای محفظه پخت انتخاب گردید. نانی که در دمای محفظه‌ی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد پخت شده دارای فرآیند پخت ناقص بوده و همانطور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، قسمت های بالایی نان خمیر است.

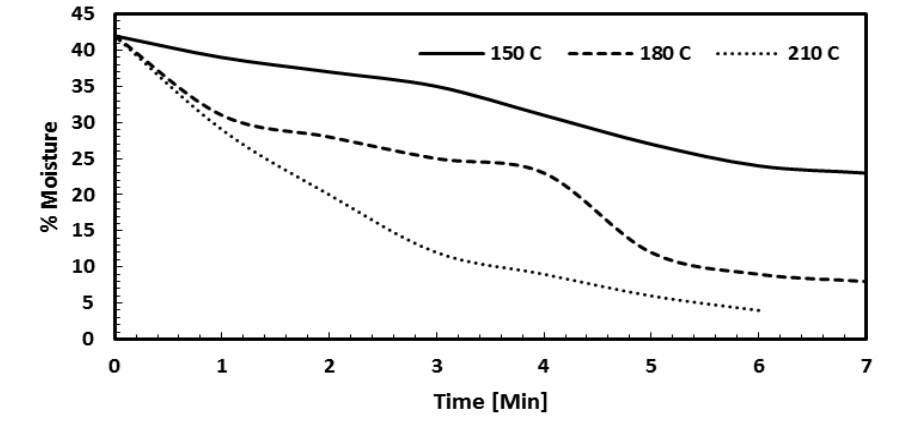


Fig 3 Moisture changes as a function of time at different temperatures (150, 180 & 210 °C).

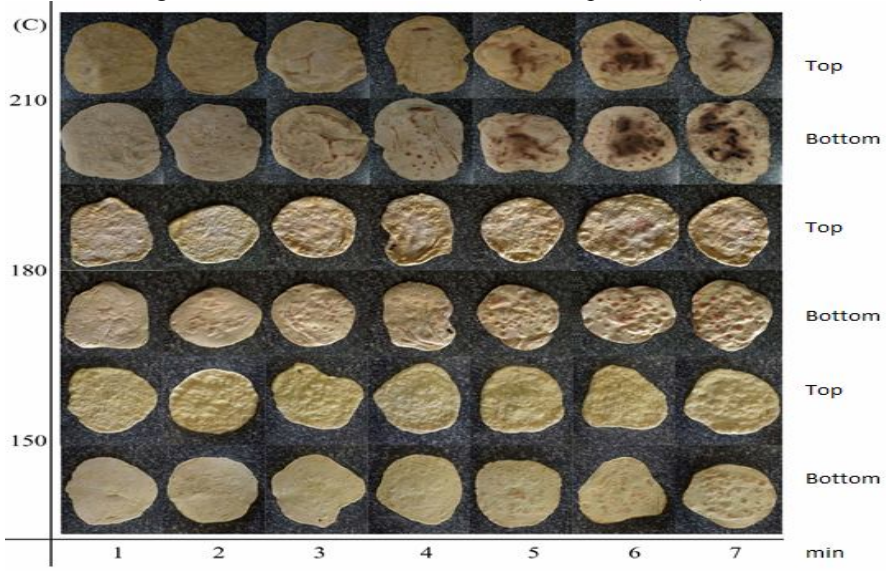


Fig4 Color changes of bread as a function of time at different temperatures (150, 180 & 210 °C).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

۳-۳- تاثیر نرخ انتقال حرارت بر کیفیت نان

یکی از عوامل موثر بر کیفیت پخت نان میزان حرارت اعمال شده به زیر و روی نان می‌باشد. برای این منظور در دستگاه ساخته شده المنت‌های الکتریکی در کف و سقف تعبیه گردیده است. هر یک از این المنت‌ها به صورت جداگانه قابل کنترل بوده و برای بررسی اثر میزان حرارت داده شده پروفیل‌های حرارتی مختلفی اعمال گردیده است. در مرحله اول پنج پروفیل گرمائی P11 تا P15 و تا ۱۰۰ درصد توان المنت و سپس در مرحله دوم هشت پروفیل گرمائی P21 تا P28 و این بار تا ۸۰ درصد توان المنت اعمال گردید. برای بررسی اثر پروفیل گرمایی تمامی حالت‌های پروفیل ثابت، پروفیل صعودی و پروفیل نزولی اعمال شده است. جدول ۱ مقدار درصد توان‌های الکتریکی اعمال شده را در پروفایل صعودی و نزولی نشان می‌دهد.

Table 1. Percentage of Impose Power, upward and downward.

Time (Min)	Upward (W)					Upward (W)							
	P11	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28
1	30	30	30	30	30	80	80	20	20	40	20	20	40
2	30	30	30	30	30	80	80	20	20	40	20	20	40
3	30	30	30	30	30	80	80	20	20	40	20	20	40
4	30	30	30	30	30	80	60	40	20	40	20	20	40
5	30	30	30	30	30	80	60	40	40	40	20	40	40
6	100	80	60	60	80	80	60	60	40	80	60	40	80
7	100	80	70	70	80	80	40	60	40	80	60	40	80
8	100	80	70	80	80	80	40	80	80	80	60	70	80
9	100	100	100	100	100	80	40	80	80	80	80	80	80
10	100	100	100	100	100	80	20	80	80	80	80	80	80

برای بررسی تاثیر نرخ انتقال حرارت بر کیفیت نان آزمایشی طرح ریزی شده است. در این آزمایش ارتفاع محفظه ۲ سانتی‌متر انتخاب و به سطح بالایی نرخ انتقال حرارت مورد نظر وارد شده و اجازه داده می‌شود تا دمای محفظه به ۲۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد. سپس پخت انجام می‌شود. نمونه‌ها طی بازه‌های یک دقیقه‌ای وزن شده و از آنها عکس‌برداری می‌شود. تغییرات دمای محفظه پخت و رطوبت در شکل ۵؛ و تغییر رنگ نان نسبت به زمان در شکل ٦ در سه توان الکتریکی ۰، ۳۰ و ٦۰ وات وارده از سطح بالایی محفظه و توان الکتریکی ثابت ٤۰۰ واتی وارده از بستر پخت آورده شده است. با توجه به شکل ۵ مشاهده می شود که تغییرات توان در سه مقدار ۰، ۳۰ و ٦۰ وات تاثیر زیادی بر تغییر دما و شیب آن نداشته و لکن برای شکل‌گیری پوسته اولیه روی سطح نان و حفظ دمای محفظه مهم بوده است. شکل b۵ کاهش رطوبت نان در طی زمان و برای توان٤۰۰ از کف و سه توان ۰، ۳۰ و ٦۰ از سطح بالا را نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که درصد کاهش رطوبت برای توان ٦۰ وات سرعت بیشتری نسبت به دو مقدار دیگر دارد.

همان‌طور که از شکل ٦ پیداست، هرچه نرخ انتقال حرارت ورودی به سطح بالایی افزایش یابد، سطح بالایی نان رنگ بهتری می‌گیرد؛ برشته تر شده و پخت یکنواخت‌تری صورت می‌گیرد. در حالت‌های بدون و با توان گرمایی ۳۰ وات نسبت به ٦۰ وات از سقف، دمای محفظه دیرتر به ۲۱۰ درجه سانتی-گراد می‌رسد. زمان پخت نان برای حالت‌های ۰، ۳۰ و ٦۰ وات به ترتیب ١٤٤، ١٤١ و ١٢٧ثانیه می‌باشد. نکته قابل توجه اینکه در حالت عایق بودن به دلیل اینکه از سطح بالایی نان حرارتی داده نمی‌شود همه حرارت کف صرف بالا رفتن دمای آن شده و باعث سوختن زیر نان می‌شود. بر همین اساس نتایج ارزیابی حسی نان‌ها نیز به ترتیب افزایش کیفیت نان را در توان‌های ۰، ۳۰ و ٦۰ وات نشان می‌دهد. علاوه بر این بعد از هر نوبت پخت دمای سطح در حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد افت می‌کند که این افت دما در حالت ٦۰ وات سریعتر جبران می‌گردد. در ادامه آزمایش‌ها توان گرمایی ٦۰ وات برای سطح بالایی محفظه پخت انتخاب می‌شود.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

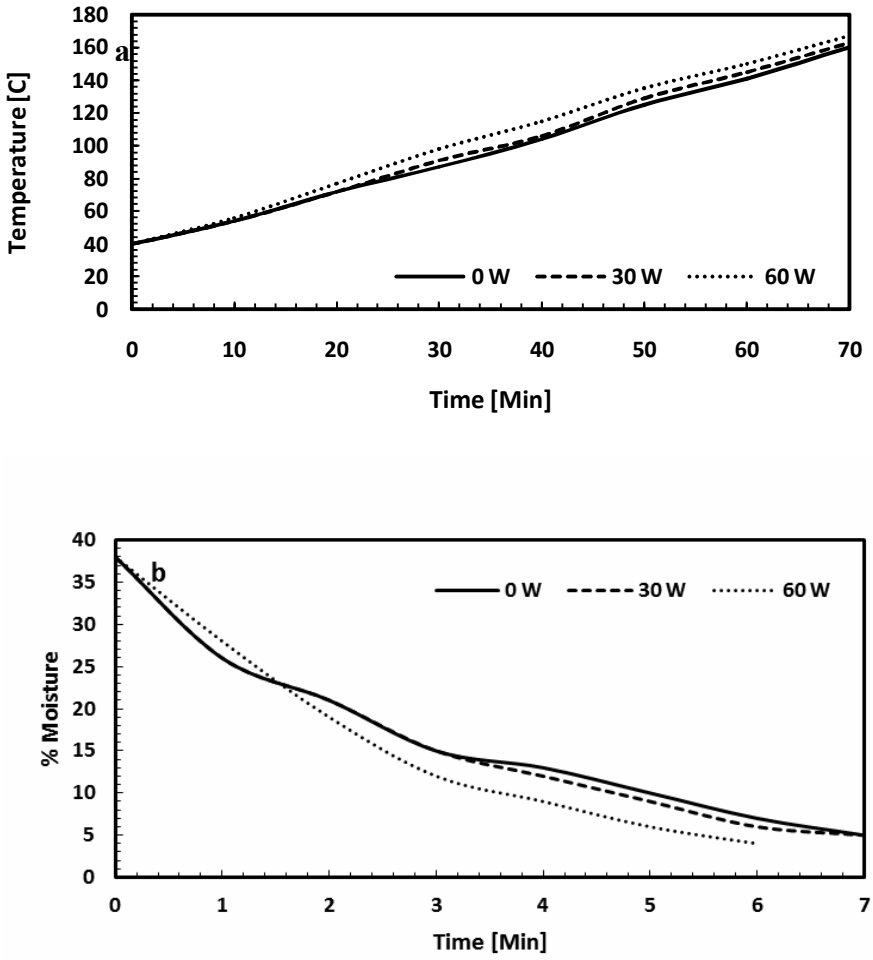


Fig 5 Temperature (a), and moisture changes (b) as function of time at different electric powers (0, 30 and 60 watt).

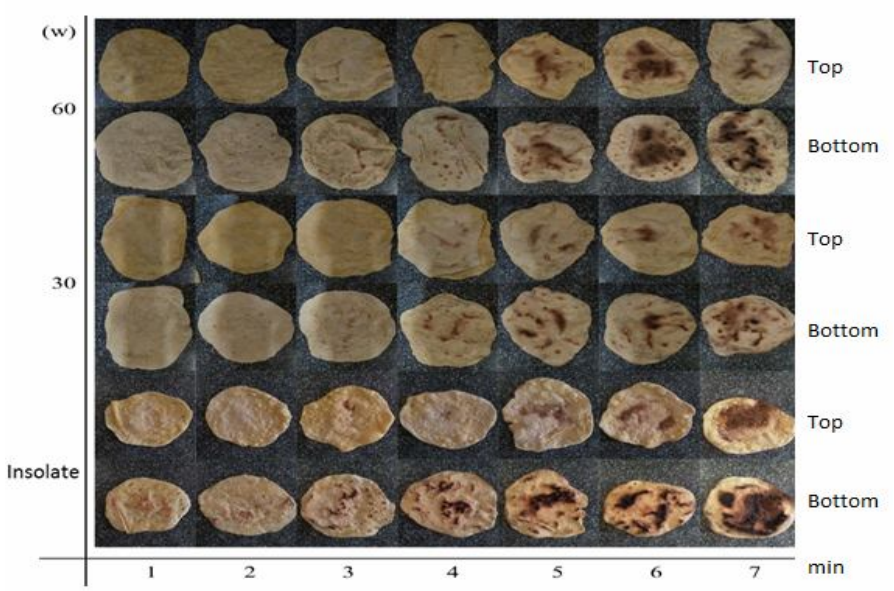


Fig 6 Color changes as a function of time at different electric powers (0, 30 and 60 watt).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

۳-٤-تعیین ارتفاع مناسب محفظه‌ی پخت

سه ارتفاع ۲، ٤ و ۸ سانتی‌متر برای محفظه‌ی پخت در نظر گرفته شد. حداقل ارتفاع ممکن محفظه ۲ سانتیمتر است و دو ارتفاع دیگر به گونه‌ای انتخاب شده که تغییرات محسوسی مشاهده شود. در این آزمایش‌ها نیز نان در بازه‌های زمانی یک دقیقه‌ای عکس‌برداری و وزن می‌شود. شکل ۷a نحوه افزایش دما بر حسب زمان را در محفظه با ارتفاع‌های مختلف را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود محفظه با ارتفاع ۲ سانتی‌متر با سرعت بیشتری به دمای مورد نظر رسید، این در حالی است که در محفظه با ارتفاع ٤ و ۸ سانتی‌متر زمان زیادی طول کشید که دمای محفظه به دمای مناسب پخت برسد و همین امر موجب افزایش بیش از حد دمای کف گردید که این دما برای پخت نان مطلوب نمی‌باشد.

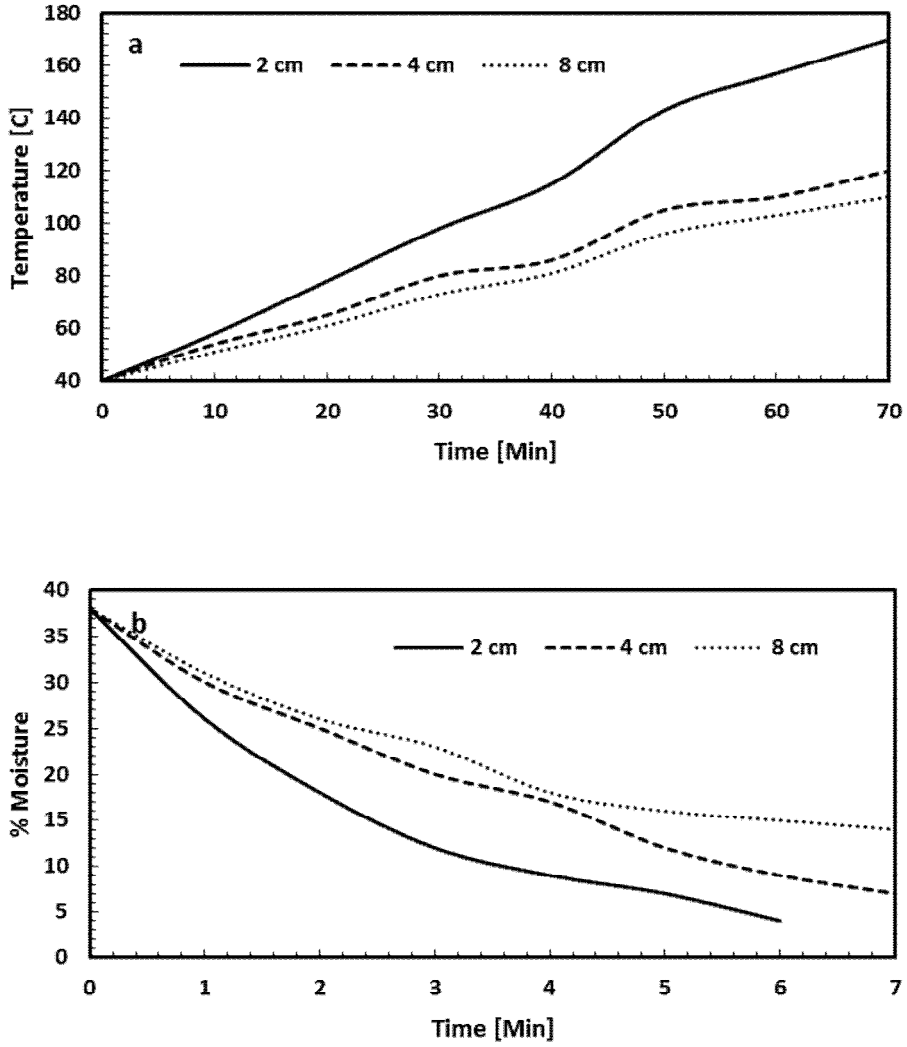


Fig 7 Champer temperature (a), and champer moisture changes (b) as a function of time at different heights (2, 4 and 8 cm).

در شکل ۷b دیده می‌شود در دقایق اولیه پس از قرار دادن نان، اختلاف ناچیزی در درصد کاهش رطوبت بین سه حالت ارتفاع محفظه ۲، ٤ و ۸ سانتی‌متر وجود دارد، اما با گذشت زمان، نان رطوبت خود در محفظه با سه ارتفاع ۲، ٤ و ۸ سانتی‌متر به ترتیب بیشتر از دست می‌دهد. از طرفی با هر بار برداشتن درب (یا سقف) محفظه زمان لازم برای رسیدن دمای محفظه به ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع‌های ۲، ٤ و ۸ سانتی‌متری به ترتیب برابر با ۱/۵ ، ٤ و ۷/۵ دقیقه ثبت شده است. با توجه به اینکه زمان پخت در حدود ۳ دقیقه است، پس نان در محفظه‌های ٤ و ۸ سانتی‌متری تقریباً با روش ساج (بدون محفظه) پخت می‌شود و نرخ انتقال حرارتی سطح بالایی را درک نمی‌کند و برای پخت یکنواخت نیاز به زیر و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

رو کردن دارد. زمان پخت در ارتفاع های ۲، ٤ و ۸ سانتی‌متر به ترتیب (۱۲۷، ۱۸۰ و ۲۲۰ ثانیه) است. شکل ۸ نان‌ها را به ترتیب افزایش کیفیت در محفظه‌های ۸، ٤ و ۲ سانتی‌متر نمایش می‌دهد.

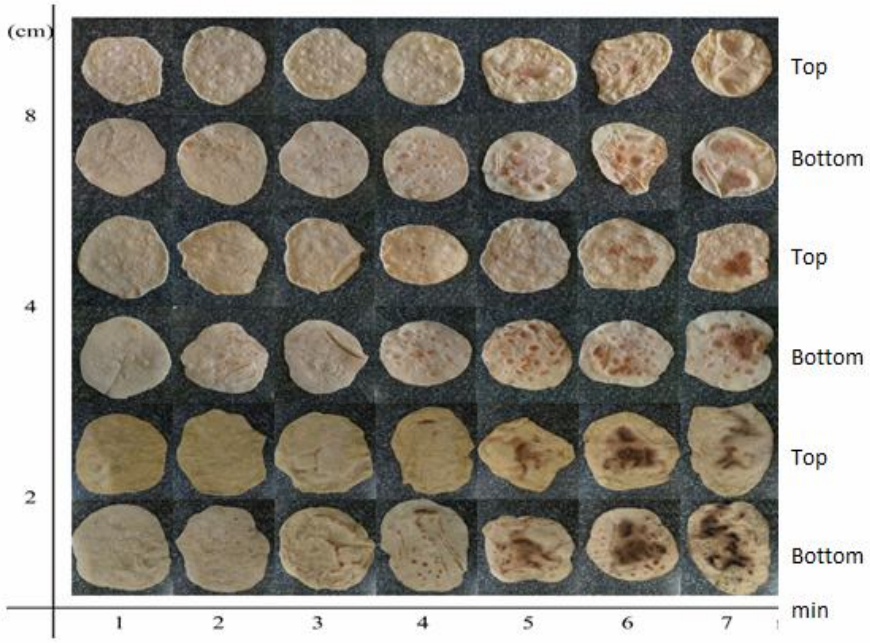


Fig 8 Color changesas a function of time at different at different heights (2, 4 and 8 cm).

۳-۵- بررسی عملکرد دستگاه پخت نان با ارزیابی حسی

در این دستگاه توان الکتریکی به طور دستی کنترل می‌شود. ارتفاع محفظه در این دستگاه ۲ سانتی‌متر می‌باشد. از این دستگاه برای بدست آوردن زمان پخت و اندازه‌گیری دما در چند نقطه از بستر پخت، یک نقطه از نان، یک نقطه از محفظه و اعتبار سنجی نتایج حل روش‌های عددی استفاده شده است. برای بررسی اولیه کیفیت نان پخت شده با این دستگاه تنها از روش ارزیابی حسی استفاده شده است. در اینجا با مشخص بودن ضخامت بستر (۰/۵ سانتی‌متر)، ارتفاع محفظه (۲ سانتی-متر)، نرخ گرما از سقف ۲۵۰ وات و از کف ۳۰۰ وات اعمال شده است. این شرایط برای رسیدن دمای بستر پخت به ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۳۳ دقیقه فراهم گردیده است در این آزمون‌ها دو حالت کلی برای پخت در نظر گرفته شده است. در حالت اول زمان پخت یکسان ٦ دقیقه و دمای محفظه در شروع پخت ۱۵۰، ۱٦۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و در حالت دوم دمای شروع پخت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان دوره پخت ۵/۵، ٦ و ٦/۵ دقیقه اعمال شده است (شماره‌های ۱ تا ٦ با دستگاه و نان شاهد در نانوایی پخت شده).

دو عامل دمای بستر و مدت پخت مطابق جدول ۳ بر کیفیت نان تاثیر دارند که با ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط نتیجه ارزیابی حسی برای ۷ نمونه برای سه شاخص کیفی طعم، بو، رنگ و پذیرش کلی در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج ارزیابی حسی نشان می‌دهد که نان شماره ۲ با زمان پخت ٦ دقیقه و دمای شروع پخت ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد بالاترین امتیاز پذیرش شاخص‌های کیفیت نان را داشته است.

Table 3 The different baking time and baking temperature in the baker machine.

Sample Number	Baking time (min)	Baking temperature (^{o}C)
1	6	150
2	6	160
3	6	180
4	5.5	170
5	6	170
6	6.5	170
control	control	control

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

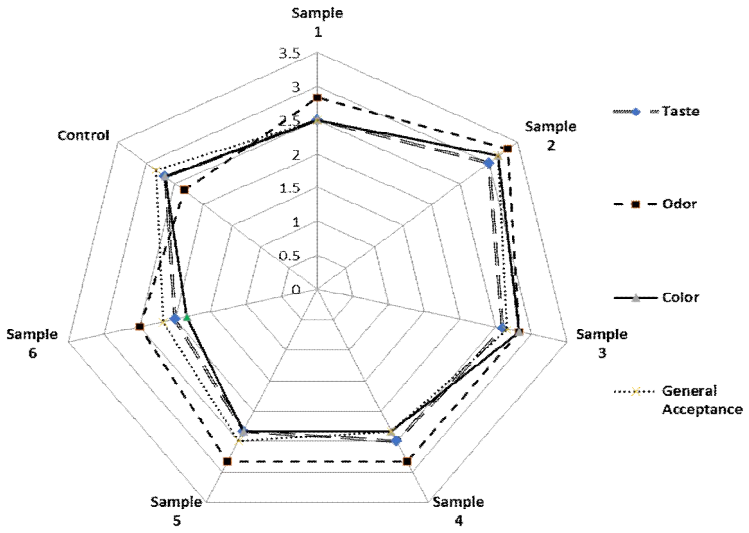


Fig 9 Organoleptic results from the baked bread at different conditions.

۳-۵-۱-ارزیابی حسی

ارزیابی حسی در آزمایشگاه ارزیابی حسی و رفتار مصرف کننده وابسته به موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی انجام شد. ارزیابی هدونیک پنج نقطه‌ای انجام شد. متوسط نتیجه ارزیابی حسی برای ۷ نمونه برای پنج شاخص کیفی طعم، رنگ، بو، بافت دهانی، بافت دستی و پذیرش کلی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. از میان شاخص‌های ارزیابی حسی، شاخص بافت در دست، رنگ، طعم و بافت دهانی برای پروفیل گرمایی P15 به ترتیب تطابق بیشتری با نمونه شاهد دارد. پس از آن سایر پروفیل‌های گرمایی P12 و P13 در بازه قابل قبولی قرار دارند.

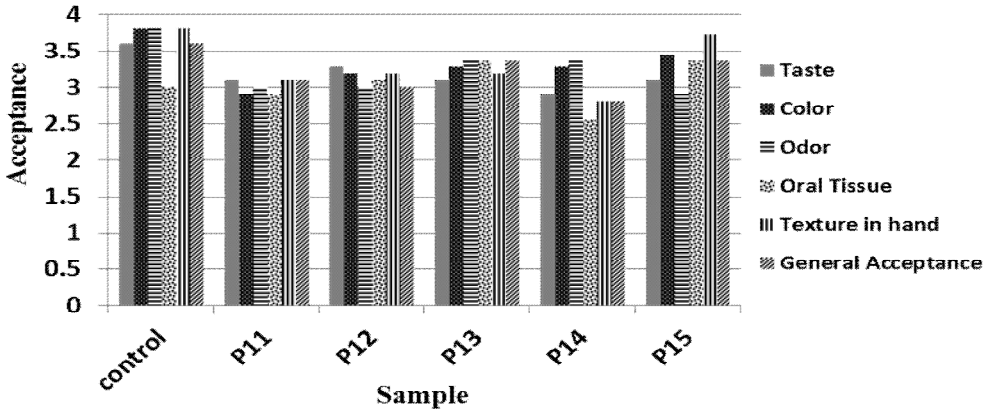


Fig 12 Organoleptic results from the baked bread at different conditions.

۳-٦ - ارزیابی تخلخل و ویژگیهای بافتی نان

در ارزیابی با روش پردازش تصویر رنگ سطح نان و میزان تخلخل نان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پردازش تصویر نان‌های آزمون و شاهد نشان داد که نان شاهد (نانوایی) ۵۰٪ و نمونه‌های آزمون حدود ۳۰٪ تخلخل دارد. در جدول ٤ مقادیر سختی، انسجام، صمغیت، قابلیت جویدن، فنریت و انعطاف پذیری چند نمونه از نان پخته شده توسط دستگاه با نان شاهد مقایسه شده‌اند. در این آزمایش نان‌ها تحت پروفیل-های مختلف دمایی شامل پروفیل دمایی ثابت، نزولی، صعودی و پلکانی قرار گرفته‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود نان نمونه پروفیل P22 با یک درصد خطا نزدیک‌ترین سختی را با نان شاهد دارد. در خصوص انسجام همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این شاخص همگرایی خوبی بین نمونه‌ها با نان شاهد

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

وجود داشته و میانگین درصد خطا حدود ۲/٦۷ می باشد. پارامتر صمغیت تطابق خوبی بین انسجام نمونه‌های پخت شده با نمونه شاهد نشان داد. ولکن به دلیل آن‌که سختی نمونه‌ها با سختی شاهد تفاوت دارد لذا نتیجه حاصل‌ضرب این دو کمیت از رفتار سختی بیشتر تبعیت می‌نماید. از این میان نمونه‌های پروفیل P11 و P22 به ترتیب با ۱/٤ و ۲/۲ درصد خطا تطابق بیشتری با نمونه شاهد دارند. در میان نمونه‌های مورد آزمایش نان شاهد به انرژی حدود ۲۵/٦ ژول برای جویده شدن نیاز داشت. پس از آن نمونه‌های پروفیل P11 و P22 به ترتیب با ۱/۲ ژول کمتر و ۰/۸ ژول بیشتر، نزدیک‌ترین فاصله را با نمونه شاهد دارند. برای ارزیابی میزان الاستیسیته نان از شاخص فنریت استفاده می‌شود. بر این اساس بافت نان باید از الاستیسیته کافی برخوردار باشد، به‌طوری که پس از وارد کردن نیرو و حذف آن شکل نان به آرامی به حالت اول برگردد و نیز درهنگام برش نباید به چاقوی برش بچسبد و قطعات بریده شده به راحتی ازهم تفکیک گردد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نمونه‌های پروفیل P11 تا P15 با دقت صدم درصد با نمونه شاهد تطابق دارد. و سایر نمونه‌ها نیز با حداقل و حداکثر ٤ تا ۷ درصد خطا از نمونه شاهد فاصله دارند.

انعطاف‌پذیری معیاری برای سنجش استهلاک انرژی در مرحله اول گاز زدن در طی فرآیند بارگذاری و باربرداری می‌باشد. با مقایسه نتایج نمونه پروفیل P11 با ۰/۱۸ درصد خطا نزدیکترین فاصله و نمونه پروفیل P24 با ۱۲ درصد خطا بیشترین فاصله را با نمونه شاهد دارد.

Table 4 Comparison of textural attributes of flatbread at different heating algorithm.

Sample	Hardness (N)	Cohesiveness (-)	Gumminess (N)	Chewiness (J)	Resilenece (-)	Springiness (mm)
C	31.11	0.82	25.57	25.58	0.41	1.0
P11	32.26	0.81	26.15	26.14	0.41	1.0
P12	65.80	0.80	53.17	53.13	0.41	1.0
P13	35.35	0.82	29.26	29.23	0.39	1.0
P14	134.05	0.72	97.01	97.09	0.31	1.0
P15	51.03	0.79	40.72	40.72	0.40	1.0
P21	39.00	0.84	32.69	30.89	0.46	1.0
P22	31.43	0.82	25.93	24.41	0.41	0.94
P23	75.32	0.79	59.67	56.26	0.39	0.94
P24	37.72	0.90	33.97	32.00	0.46	0.94
P25	63.61	0.82	52.51	48.65	0.42	0.94
P26	60.75	0.82	49.83	46.46	0.39	0.94

٤- نتیجه‌گیری

بررسی اثر پارامترهای فیزیکی دستگاه بر پخت نان نشان داد که ضخامت بستر ۰/۵ سانتی‌متری عملکرد بهتری نسبت به ضخامت‌های بیشتر دارد. زیرا زمان آماده‌سازی کوتاهتر و دمای سطح چدن و پخت در دوره پخت سریعتر افزایش می‌یابد. عملکرد محفظه در سه ارتفاع ۲، ٤ و ٦ سانتی‌متر با افزایش ارتفاع، متوسط دمای محفظه کاهش می‌یابد. بنابراین ارتفاع محفظه ۲ سانتی‌متری مناسب‌تر است. با توان گرمایی کف ثابت، از میان توان‌های گرمایی از سقف ۳۰، ۵۰ و ٦۰ وات، توان ٦۰ وات عملکرد بهتری نشان داد.

علیرغم عدم وجود شاخص‌های کمی در مراجع برای نان‌های سنتی و مسطح، آزمون TPA برای نان‌ها انجام و از ارزیابی‌های حسی برای اطمینان از هم‌گرائی نتایج نیز کمک گرفته شده است. مقدار سختی چند نمونه نان پخته شده توسط دستگاه نشان می‌دهد که از میان آهنگ‌های دمائی پروفیل P22 با یک درصد خطا نزدیک‌ترین سختی را با نان شاهد دارد. مقدار انسجام چند نمونه از نان پخته شده توسط دستگاه با آهنگ‌های دمایی مختلف با نان شاهد مقایسه شده و برای همه آهنگ‌ها همگرایی خوبی بین نمونه‌ها با نان شاهد وجود داشته و میانگین درصد خطا حدود ۲/٦۷ درصد می‌باشد. با مقایسه صمغیت نمونه‌های مختلف تطابق خوبی بین انسجام نمونه‌های پخت شده با نمونه شاهد وجود دارد. از این میان نمونه‌های پروفیل P11 و P22 تطابق بیشتری با نمونه شاهد داشتند. قابلیت جویدن نشان داد که نان شاهد به انرژی حدود ۲۵/٦ ژول برای جویده شدن نیاز دارد. پس از آن نمونه‌های پروفیل P11 و P22 نزدیکترین فاصله را با نمونه شاهد دارند. از مقایسه میزان فنریت برای نمونه‌های مختلف مشاهده شد که نمونه‌های پروفیل P11 تا P15 با دقت صدم درصد با نمونه شاهد تطابق دارد. و سایر نمونه‌ها نیز با حداقل و حداکثر ٤ تا ۷ درصد خطا از نمونه شاهد فاصله دارند.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

در مجموع به دلیل عدم وجود شاخص‌های ارزیابی کمی و کیفی نان مسطح در استاندارد ایران و سایر مراجع، نان شاهد به عنوان شاخص ارزیابی انتخاب گردیده و اینکه آیا نان شاهد خود از هر حیث دارای ویژه‌گی‌های مطلق و مناسب برای نان مسطح می‌باشد جای تامل و بررسی دارد. لذا از نزدیک بودن و دور بودن نتایج به نان شاهد نمی‌توان نتیجه قطعی اخذ نمود.

۵- منابع

[1] Salehifar, M., & Seyedin ardebili, S., & Azizi, M. (2011). the effects of bran particles variations of flour on quality, gelatinization and retrogradation of iranian flat breads. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 8(2 (30)), 5-14.

[2] Ghiafeh davoodi, M., & Karimi, M., & Naghipour, F., & Sheikholeslami, Z., & Mirmajidi, A., & Ahmadzadeh ghavidel, R. (2019). Evaluation of Baking Methods and Different Hydrocolloids Addition on Physicochemical and Textural Properties of Roti (Indian Flat Bread). *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 16(90), 353-364.

[3] Broyart, B., & Trystram, G. (2003). Modelling of Heat and Mass Transfer Phenomena and Quality Changes During Continuous Biscuit Baking Using Both Deductive and Inductive (Neural Network) Modelling Principles. *Food and Bioproducts Processing, 81*(4), 316-326.

[4] Wong, S.-Y., Zhou, W., & Hua, J. (2007). CFD modeling of an industrial continuous bread-baking process involving U-movement. *Journal of Food Engineering, 78*(3), 888-896.

[5] Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread baking - A review. *Journal of Food Engineering, 86*(4), 465-474.

[6] Vanin, F. M., Lucas, T., & Trystram, G. (2009). Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science and Technology, 20*(8), 333-343.

[7] Purlis, E., & Salvadori, V. O. (2009). Bread baking as a moving boundary problem. Part 2: Model validation and numerical simulation. *Journal of Food Engineering, 91*(3), 434-442.

[8] Sablani, S. S., Marcotte, M., Baik, O. D., & Castaigne, F. (1998). Modeling of Simultaneous Heat and Water Transport in the Baking Process. *LWT - Food Science and Technology, 31*(3), 201-209.

[9] Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International, 34*(10), 8, 41-46.

[10] Henry, P. S. H. (1939). Diffusion in absorbing media. *Proc. Roy. Soc., 171 A*, 215-241.

[11] Gupta, T. R. (2001). Individual heat transfer modes during contact baking of Indian unleavened flat bread (chapati) in a continuous oven. *Journal of Food Engineering, 47*(4), 313-319.

[12] Pyle, D. L. (2005). Crumpet structures: Experimental and modelling studies. *Food and Bioproducts Processing, 83*(2 C), 81-88.

[13] Feyissa, A. H., Gernaey, K. V., Ashokkumar, S., & Adler-Nissen, J. (2011). Modelling of coupled heat and mass transfer during a contact baking process. *Journal of Food Engineering, 106*(3), 228-235.

[14] Sadeghi, F., Hamdami, N., Shahedi, M., & Rafe, A. (2016). Numerical modeling of heat and mass transfer during contact baking of flat bread. *Journal of Food Process Engineering*. 39, 345-356.

[15] Hadi afkar , Ali kianifar & Hosein zamani (2020): Investigation of the effectof variable heat flux on energy consumption and bread quality in the flat bread baking processby experimental and numerical methods, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.

[16] Purlis, E. & Salvadori, V. O. (2009). Bread baking as a moving boundary problem. Part 1: Mathematical modeling, *Journal of Food Engineering*, 91: 428-433.

[17] Wong, S. Y., Zhou, W. & Hua, J. (2006). Robustness analysis of a CFD model to the uncertainties in its physical properties for a bread baking process, *Journal of Food Engineering,* 77: 784-791.

[18] Naghipoor, F., & Sahraiyan, B., & Sheikholeslami, Z. (2012). evaluation of time and temperature of baking on quantitative and qualitative properties of semi-bulk barbari bread. innovation in food science and technology. *Journal of Food Science and Technology*, 4, 3 (13), 9-16.

[19] Moghaddam, M.A., Rafe, A., & Taghizadeh, M. (2015). Kinetics of Color and Physical Attributes of Cookie during Deep-Fat Frying by Image Processing Techniques. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 91-99.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Effect of different parameters on the design of baking bread on the quality and textural properties of flat bread

Mirzababaee, S. M. [1*], Faezian, A. [2], Rafe, A. [3], Zamani, H. [4]

1. Assistant Professor, Department of Food Machinary Design , Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Machinary Design , Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
3. Associate Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Food Machinary Design , Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

ARTICIE INFO

Article History:

Received 2021/ 04/ 25
Accepted 2021/ 08/ 02

Keywords:

Flat bread,
Baking process,
Design,
Textural properties,
Sensory.

DOI: 10.52547/fsct.18.09.19

*Corresponding Author E-Mail:
m.mirzababaee@rifst.ac.ir

ABSTRACT

In this research design and manufacture of home baking machine with baking process control is followed. Therefore, the machine is designed and manufactured with the ability to produce an Iranian flatbread at each baking stage. By choosing the heat flux pattern and different thicknesses of the bed and the height of the baking chamber, the temperature and mass distribution in the three areas of the baking bed, bread and baking chamber is obtained. Image processing, texture analysis and sensory tests are used for evaluating of baked bread under different conditions. Geometrical conditions, boundary conditions and patterns of heat flux are the main factors that influence the baking process and quality of bread. The results showed that bed thickness performs better than higher thicknesses. By increasing the height of the chamber at three heights of 2, 4 and 6 cm, the mean temperature of the chamber decreases. Therefore, the height of the 2 cm chamber is the best one. In the study of bread baking with simple apparatus, it was found that the cooking time of 6 minutes and the beginning baking temperature of 160 °C are the most suitable cooking conditions. The porosity of the bread baked is much lower than that of the bakery one. The texture analysis tests showed that the hardness, gumminess, and chewiness of the heat flux pattern profile 22 had the closest values to the control bread.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.118.24.2]
[DOI: 10.52547/fsct.18.118.223]