بررسی پخت نان از طریق موج کوتاه و مقایسه آن با پخت معمولی

حسن پهلوانزاده - علی شعبانی سرخنی

دانشگاه تربیت مدرس ـ بخش مهندسی شیمی

چکیده

نان مهم‌ترین ماده غذایی در رژیم غذایی خانوارهای ایرانی می‌باشد.هرساله هزاران تن نان به دلیل پخت نامطلـــوب به دور ریخـــته می‌شـــود زیرا در روشهای سنتی پخت به دلیل‌حرارت‌دهی غیر یکنواخت قسمت‌هایی از نان می‌سوزد و در عین حال قسمت‌های دیگر ناپخته می‌ماند.

در روش جدید حرارت‌دهی مایکروویو به دلیل ویژگیهای خاص مکانیزم انتقال حرارت در آن از جمله عدم نیاز به گرادیان دما و پدیده خود- محدود سازی، امکان حرارت‌دهی یکنواخت کلیه نقاط نان فراهم می‌شود. در تحقیق حاضر، تغییرات رطوبت و دمای نان در طول پخت، زمان لازم برای پخت و میزان انرژی حرارتی مورد نیاز در دو روش سنتی و مایکروویو تعیین و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که زمان و انرژی حرارتی لازم برای پخت مایکروویو نان به ترتیب ۵/۶برابر و ۲۵ درصـــد کمتـــر از روش سنتـــی است و به دلیل پخت یکنواخت کلیه نقاط نان، ضایعات نان نیز در روش حرارت‌دهی مایکروویو کمتر است.

واژه‌های کلیدی : نان ایرانی، پخت سنتی، پخت‌مایکروویو، انتقال حرارت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

مقدمه

درزمینه پخت مایکروویو نان بسیار اندک است. نخستین بار چمبرلن در سال ۱۹۷۳ از گرمایش مایکروویو برای پخت نان استفاده کرد. [۳]

مانجین در سال ۱۹۷۷ [٤] و رمی در سال ۱۹۸۲[٥] و شیفمن در سال ۱۹۷۱ [٦] از مایکروویو برای پخت نان و کلوچه استفاده کردند. اودیا درسال ۱۹۹۵ به بررسی مقایسه‌ای روشهای پخت نان پرداخت و نشان داد که استفاده از روش پخت مایکروویو باعث می‌شود تا زمان پخت نسبت به روشهای معمول، حداقل۵۰٪ کاهش پیدا کند.[۷] تنگ در سال ۱۹۹۳ یک مدل کامپیوتری برای تخمین دما و رطوبت در حین حرارت دادن با مایکروویو، با بکار بردن روش تفاضل‌های محدود کرانک ـ نیکولسون ارائه داده‌است.[۸]

آقای اسدا..اکرم[۱] در سال ۱۳۷۷ پخت نان بربری در تنور الکتریکی را مورد بررسی قرار داد. دمای تنور $230^{\circ}C$ مدت پخت ٢٤ دقیقه و کاهش رطوبت برابر ۲۰/۳ درصد بود .

در روش‌های گرمادهی موجود حرارت‌دهی غیریکنواخت باعث سوختن و یا خمیر شدن نان تولید شده می‌شود. برای رفع این معضل می‌توان روش گرمادهی مایکروویو را به کار برد که سبب می‌شود تا خمیر در حال پخت در معرض حرارت‌دهی یکنواخت قرار گیرد و خصوصیات فیزیکی کلیه نقاط نان تولید شده مشابه یکدیگر باشد. انتظار می‌رود استفاده از پخت مایکروویو سبب کاهش انرژی لازم برای پخت شود. برای بررسی صحت فرضیات فوق نان به دو روش معمولی و مایکروویو پخته شد. برای‌محاسبه میزان انرژی لازم برای پخت، دمای نقاط مختلف نان و همچنین وزن نان در طول پخت اندازه‌گیری شد، تا میزان انرژی لازم برای پخت نان به دو روش فوق مشخص گردد.

تهیه مواد

مواد اصلی تشکیل‌دهنده خمیر شامل آرد، آب، نمک طعام و مخمر خشک می‌باشد. برای تهیه خمیر به ازای ۱۰۰۰ گرم آرد (مخلوط گندم‌های تجن (۷۵٪) و مهدوی (۲۵٪))، ٦٨٦ گرم آب، ۱۵ گرم نمک طعام و ۳۰ گرم مخمرخشک بکار می‌رود .

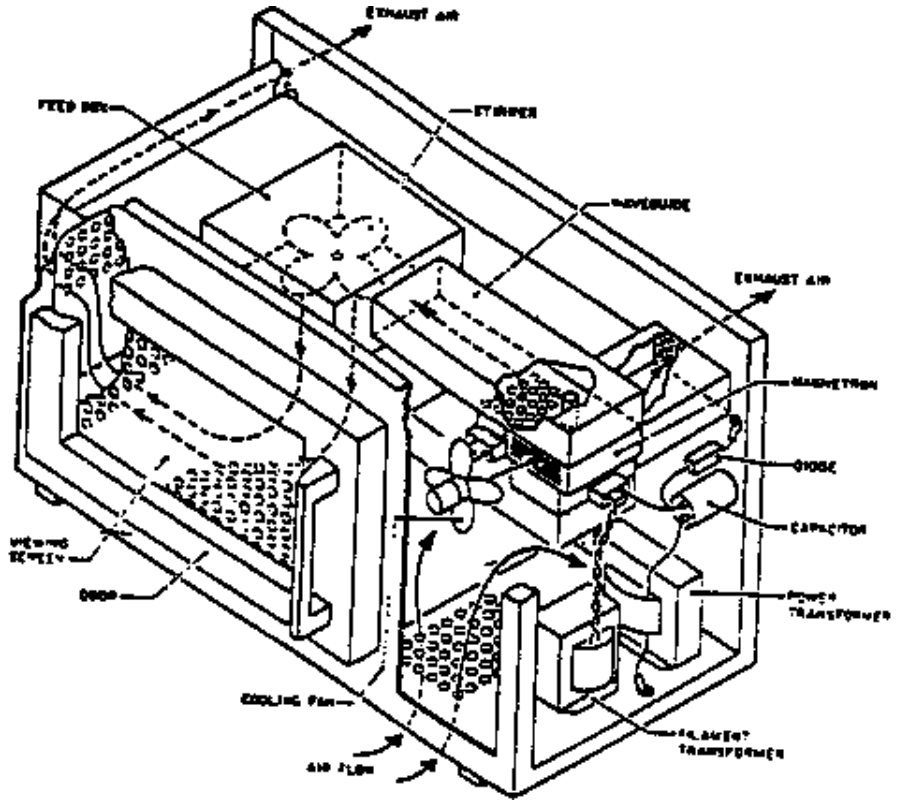
دمای خمیر در مدت زمان استراحت اولیه درحدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد . مخلوط یکنواخت اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده خمیر آرد گندم ابتدا به مدت ۸ دقیقه وپس از ٥ دقیقه استراحت، مجدداً به مدت ۲ تا ۳ دقیقه ورز داده شد تا خمیر آرد گندم تهیه گردید. پس از گذشت ۳ تا ٥ دقیقه، چانه‌های خمیر به‌وزن متوسط در حدود $320\ g$ به ابعاد نان با طول، عرض و ضخامت به ترتیب ۲۰، ۱۵ و $1/2\ Cm$ بر روی قالب مخصوص پخت از جنس آلومینیوم ،شکل و فرم داده شد. همچنین شیارهایی توسط شیارزن به فواصل حدود $3\ Cm$ در راستای طولی خمیر نان ایجاد گردید .

محفظه پخت نان

جهت پخت نان به روش گرمادهی معمولی از یک آون آزمایشگاهی به ابعاد داخلی $60\ Cm * 50 * 35$ با گنجایش کمی بیش از $0/1\ m^3$ استفاده شد. دمای داخل محفظه پخت در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

محدوده بین ۳۰ تا $^{\circ}C$ ۳۰۰ قابل تنظیم بود. برای پخت نان به روش مایکروویو از یک دستگاه فر مایکروویو با نام تجارتی میکرومات از نوع EEH-8223 استفاده شد که با برق V ۲۰۰ کار می‌کرد و در آن فرکانس ورودیHz۵۰ به فرکانس خروجی MHz ۲۴۵۰ تبدیل می‌شد و توان مصرفی دستگاه W ۱۲۰۰ بود. نمای داخلی‌دستگاه در شکل (۱) آورده شده است.



شکل (۱) اجزاء داخلی آون مایکروویو

اندازه‌گیری رطوبت و دما

برای اندازه‌گیری رطوبت، در پخت نان به روش گرمادهی معمولی و مایکروویو چانه خمیر پس از طی مدت زمان مورد نظر در محفظه پخت از آن خارج و توسط ترازوی الکتریکی توزین می‌شد و با کسر وزن بدست آمده از وزن اولیه خمیر، مقدار رطوبت تبخیر شده در بازه زمانی مورد نظر بدست می‌آمد. (نمودارهای ۱ و ۲) در فرمایکروویو دما در شش نقطه مختلف از نان که در زیر آورده می‌شود اندازه‌گیری شد :

الف ـ نقطه واقع بر محور تقارن طولی نمونه و درفاصله Cm ۲ از کناره نان. (نمودار ۳)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

ب ـ نقطه واقع بر محور تقارن عرضی در فاصله Cm ۱/۵ از کناره نان. (نمودار ٤)
ج ـ نقطه تلاقی محورهای تقارن عرضی و طولی نان و مغز نان. (نمودار ٥)
د ـ زیر سطح رویی نان در نقطه تلاقی محورهای تقارن عرضی و طولی نان. (نمودار ٦)
هـ ـ بالای سطح زیری نان در نقطه تلاقی محورهای تقارن عرضی و طولی نان.(نمودار ۷)
و ـ سطح رویی نان،محل تلاقی محورهای تقارن عرضی و طولی نان. (نمودار ۸)

اندازه‌گیری دما با اندازه‌گیر حرارتی دیجیتالی انجام شد. برای اندازه‌گیری دمای خمیر در داخل آون در سه نقطه سطح، مغز (مرکز) و زیر خمیر نیز از دماسنجهای جیوه‌ای که قادر به اندازه‌گیری دما تا $^{\circ}C$ ۲۰۰ بودند، استفاده شد.(نمودار ۹)

محاسبات

میزان حرارت لازم برای پخت نان با کمک رابطه‌زیر محاسبه شد : [۸]

$$Q = M_w \bar{C}_{Pw}(\bar{T} - T_b) + M_f \bar{C}_{Pf}(\bar{T} - T_i) + M\lambda \qquad (۱)$$

که در آن $\bar{T}$ دمای متوسط نهایی نان بوده که می‌توان آنرا از منحنی توزیع دما در داخل نان تعیین نمود و یا اینکه از طریق آزمایش بدست آورد.

برای تعیین توزیع دما در داخل خمیر فرضیات زیر را در نظر گرفته :

۱ـ میزان رطوبت و دمای اولیه در سراسر ماده یکنواخت است.
۲ـ ضریب انتقال حرارت در سطح ثابت در نظر گرفته می‌شود.
۳ـ محصول پخته شده دارای ترکیب همگن بود.
٤ـ ابعاد محصول را به صورت صفحه نیمه بینهایت و گرادیان رطوبت دما یک بعدی است.
٥ـ تغییر حجم در هنگام پخت ناچیز در نظر گرفته می‌شود.
٦ـ گرمای نهای تبخیر آب تابع میزان رطوبت ماده نمی‌باشد.

با بکار بردن فرضیات بالا براساس موازنه انرژی وجرم روابط زیر حاصل می‌گردند :

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(k \frac{\partial T}{\partial X}) + \lambda \frac{\partial M}{\partial t}\rho_s + Q_{abs} \qquad (۲)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}[D_{eff} \frac{\partial M}{\partial X}] \qquad (۳)$$

برای حل معادلات بالا شرایط مرزی و اولیه زیررا در نظر گرفته :

$$T(X,0) = T_0 \quad 0 \le X \le L \qquad (٤)$$

$$M(X,0) = M_0 \quad 0 \le X \le L \qquad (٥)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial X} = h_c[T(L,t) - T_\infty] \qquad (٦)$$

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial X} = \frac{\partial M(0,t)}{\partial X} = 0 \qquad ۷)$$

$$M(L.t) = M_\infty \qquad (۸)$$

ضریب هدایت حرارتی K از رابطه زیر استفاده شده است:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

$$K = K_{d'} \frac{1}{1+M_w^*} + K_{w^\circ} \frac{M_w^*}{1+M_w^*} \qquad (۹)$$

که در آن $K_d = ۰/٤$ w/m.k و $K_w = ۰/٦$ w/m.k می‌باشند.

سیستم معادلات بالا به همراه شرایط اولیه و شرایط مرزی را با استفاده از روش تفاضل محدود کرانک ـ نیکولسون که دارای پایداری بسیار خوبی بوده قابل حل می‌باشند و توزیع دما و رطوبت در داخل خمیر برحسب زمان بدست می‌آید. با استفاده از متدهای محاسبه متوسط ،مقدار متوسط نهایی دما و رطوبت را تعیین نموده و می‌توان آنها را در رابطه (۱) استفاده نمود.

میزان انرژی ورودی به خمیر در پخت معمولی با استفاده از معادله ارائه شده توسط آقای اکرم محاسبه شد : [۱]

$$□''_{□□} = ۱۸۲۴۰/۶ - ۲۱/۴□_{□۱} - ۱۴/۹□_{□۲} \qquad (۱۰)$$

میزان انرژی ورودی به خمیر در پخت مایکروویو، برابر مجموع میزان حرارت لازم برای گرم کردن خمیر و حرارت خروجی به روشهای جابجایی و تشعشعی می‌باشد. حرارت جابجایی با استفاده از معادله زیر محاسبه شد : [۲]

$$q_c = h_c A (T_\infty - T_b) \qquad (۱۱)$$

برای بدست آوردن hc از روابط زیر استفاده کرده

$$۳/٦ \times ۱۰^{٤} < Ra_L < ۱۰^{۷} \qquad (۱۲)$$

$$\bar{N}u = ۰/٥٤\, Ra_L^{۱/٤} \qquad (۱۳)$$

که در آن عدد بدون بعد رایلی Ra عبارت استاز:

$$R_a = \frac{□\ (□_□ - □_\infty)□_□^{۳}}{□^{۲}} \qquad (۱٤)$$

β عبارت است از ضریب انبساط حجمی گاز که مقدارش برابر $\frac{1}{T_\infty}$ می‌باشد.

مقدار انتقال حرارت تشعشعی با استفاده از قانون استفان ـ بولتزمن و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$q_{r-b} = \sigma A S_{r-b} (T_r^{\,4} - T_b^{\,4}) \qquad (۱٥)$$

که در آن S_{r-b}، نسبتی است که شامل ضریب شکل و ضریب نشر می‌شود. و برابر است با :

$$S_{r-b} = 1/[\frac{1}{F_{r-b}} + \frac{1}{\varepsilon_b} - 1) + \frac{A_r}{A_b}(\frac{1}{\varepsilon_r} - 1)]$$

ضریب نشر برای دیواره آهنی با لعاب سفید و شیشه مات که در آزمایشات بکار رفته‌اند به ترتیب برابر ۰/۹ و ۰/۹٤ در نظر گرفته شده است و ضریب نشر خمیر نیز ۰/۸۸ بکار رفته است.

بررسی نتایج

در طول پخت نان از طریق موج کوتاه، کلیه نقاط داخل خمیر دارای دمایی نزدیک به هم می‌باشند، زیرا در گرمایش مایکروویو، با تبدیل انرژی موج ورودی به انرژی گرمایی، حرارت در داخل خمیر تولید شده و نیازی به انتقال حرارت از خارج نمی‌باشد و از آنجا که کلیه نقاط

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

داخل‌خمیر همزمان تحت تاثیر موج ورودی قرار می‌گیرند حرارت در کلیه نقاط تولید می‌شود و گرادیان دمایی پدید نمی‌آید.

در صورتی که موج ورودی به صورت یکنواخت وارد خمیر نشود و بعضی از نقاط بیشتر از سایر نقاط تحت تأثیر موج ورودی قرار بگیرند دمای آن نقاط بیشتر می‌شود اما پس از مدتی تحت تأثیر مکانیزم خود ـ محدود سازی میزان تولید انرژی در آن نقاط کمتر شده و دمایشان با دمای سایر نقاط برابر می‌شود. (نمودار ۱۰)

مکانیزمهای اصلی تولید حرارت در پخت نان به‌روش مایکروویو شامل دو پدیده حرکت یونی و چرخش دو قطبی می‌باشد. که به صورت یکنواخت در تمام خمیر عمل می‌کند. یونهای موجود در خمیر که از یونیزاسیون نمک طعام حاصل شده‌اند به شکل همگن در داخل خمیر پخش شده‌اند و در طول پخت نیز میزان یونهای موجود تغییر نمی‌کند. پس حرارت تولید شده ازطریق مکانیزم هدایت یونی در تمام نقاط یکسان است.

از طرف دیگر رطوبت و دمای خمیر در ابتدای پخت در کلیه نقاط خمیر یکسان است و با شروع پخت و ورود امواج الکترو مغناطیس به داخل خمیر، به دلیل یکسان بودن غلظت رطوبت و یونها گرمای تولید شده در کلیه نقاط برابر است. اما به دلیل ورود غیر یکنواخت موج به داخل خمیر، حرارت تولید شده و دما در بعضی نقاط بیشتر می‌شود و رطوبت موجود در آن نقاط بیشتر تبخیر می‌شود. با کم شدن رطوبت، میزان گرمای تولیدی در این نقاط کمتر از سایر نقاط داخل خمیر می‌شود. این پدیده باعث می‌شود تا نرخ تبخیر در این نقاط کم شده و در انتهای پخت میزان رطوبت و دمای کلیه نقاط داخل نان تقریباً یکسان شود، ضمن اینکه از سوختن و یا خمیرشدن نقاط مختلف نان جلوگیری کرده، باعث کاهش ضایعات نان می‌شود.

در پخت مایکروویو مقداری از حرارت تولید شده در خمیر به صورت جابجایی و تابشی به محیط اطراف منتقل می‌شود. ضریب انتقال حرارت جابجایی و نسبت ضریب شکل به ضریب نشر در انتقال حرارت تشعشعی(S_{r-b}) به ترتیب برابر $5/76\ W/m^2K$ و ۰/۹۶۵ دست‌آمد. همچنین میزان رطوبت بحرانی نان در پخت مایکروویو تقریباً ۳٤٪ می‌باشد. (نمودار ۱۱)

در این نمودار با استفاده از رطوبت متوسط ماده نسبت به زمان، شدت تبخیر ارائه شده است. این نمودار نشان می‌دهد که در ابتدای عمل حرارت‌دهی که ماده گرم می‌شود و شدت تبخیر افزایش می‌یابد و بعد شدت تبخیر تقریباً ثابت می‌ماند و بعد از آنکه مقدار رطوبت ماده کاهش پیدا می‌کند و به رطوبت بحرانی می‌رسد، شدت تبخیر رطوبت ماده کاهش می‌یابد و از این لحظه به بعد مرحله خشک شدن با شدت تبخیر نزولی شروع می‌شود تا اینکه به تعادلی رطوبتی رسیده و در ضمن ماده پخته می‌شود.

دمای نهایی محصول در پخت مایکروویو (نمودار۱۰) پایین‌تر از پخت معمولی (نمودار ۹) می‌باشد. به همین دلیل میزان انرژی لازم برای گرم کردن خمیر، در پخت مایکروویو (نمودار۱۲) حدود ٦٪ کمتر از پخت معمولی (نمودار۱۳) می‌باشد همچنین به دلیل پخت نان دردماهای پایین‌تر اتلاف انرژی کمتری (به صورت‌جابجایی‌و تابشی) اتفاق می‌افتد که باعث می‌شود تا کل انرژی ورودی برای پخت مایکروویو (نمودار ١٤) حدود ۲۵/۷٪ کمتر ازپخت معمولی (نمودار ۱۵) باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

با توجه به توان مصرفی دستگاه مایکروویو (۱۲۰۰ W)، مدت پخت (۲۲۰ s) و نیز کل حرارت تولید شده به روش مایکروویو (٤٦٦ KJ/Kg)، بازده انرژی در پخت به روش‌مایکروویو، برای خمیری به وزن ۳۲۰ گرم و با رطوبت اولیه ٦٨/٦ درصد، برابر ٥٦/٥ درصد کل توان مصرفی دستگاه می‌باشد. به بیان دیگر از آنجا که در پخت مایکروویو تنها خمیر در معرض گرم شدن قرار می‌گیرد و دیواره، ظرف و هوای داخل محفظه پخت انرژی موج ورودی را جذب نمی‌کنند، بازده تبدیل انرژی بالا می‌باشد و از کل انرژی الکتریسته ورودی به دستگاه حدود ٥٦/٥٪ آن جذب خمیر می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توان گفت که پخت دو مرحله‌ای نانهای سنتی ایرانی (بربری) با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی، به صرفه نمی‌باشد ضمن آنکه پخت نان به روش مایکروویو تقریباً ٦/٥ برابر سریعتر از پخت نان به روش معمولی، انجام می‌شود. (نمودار ١٦)

نمادها

A: سطح حرارتی (m^2)
C_{Pw}: گرمای ویژه متوسط آب، (J/kg.K)
λ : گرمای نهان تبخیر آب، (J/kg)
M_w: جرم آب اولیه (kg)
q_{rd}: شدت انتقال حرارت تابشی، (W)
T: دمای نان، (K)
$T_{b۲}$: دمای متوسط پوسته بالایی در طول پخت،(K)
T_r: دمای سطح، (K)
$\bar{N}u$: نوسلت متوسط
Q: کل حرارت لازم (j)
ρ: دانسیته توده نموه $kg/m^۳$
C_p: ظرفیت حرارت نمونه J/K.kg
λ: گرمای نهان تبخیر آب J/kg
Q_{abs}: توان جذب شده در واحد حجم $w/m^۳$
x: محور طولی m
h_c: ضریب انتقال حرارتی $w/m^۲.K$
M_∞: میزان رطوبت تعادلی محیط kg/kg
K_w: ضریب هدایت حرارتی آب w/m.K
G: شتاب ثقل در زمین $m/s^۲$
L_c: بعد مشخصه m
T_∞: دمای گاز $^\circ K$
_ : بالانویس به معنی متوسط است.

C_{Pf}: گرمای ویژه متوسط آرد، (J/kg.K)
ε : ضریب نشر
M_f: جرم آرد، (kg)
M'w: جرم آب تبخیر شده (Kg)
σ: ثابت استفان ـ بولتزمن، ($W/m^۲K^٤$)
$T_{b۱}$: دمای متوسط پوسته زیرین در طول پخت، (K)
T_i: دمای اولیه خمیر، (K)
q″ : شدت انرژی ورودی به خمیر (W)

Ra: عدد بدون بعد رایلی
S_{r-b}: نسبت ضریب شکل به ضریب نشر
ρs: غلظت جرمی جامد $kg/m^۳$
k: ضریب هدایت حرارتی w/m.K
M: میزان رطوبت بر مبنای خشک kg/kg
D_{eff}: ضریب نفوذ مؤثر $m^۲/s$
L: اندازهٔ x در سطح نان (نصف ضخامت) m
T_∞: دمای هوای اطراف $^\circ K$
K_d: ضریب هدایت حرارتی ماده خشک w/m.K
M_w^*: رطوبت مطبق ماده kg/kg
ν: گرانروی سینماتیکی $m/s^۲$

ß: ضریب انبساط حجمی گرمایی $\frac{1}{K}$
S: نسبتی که شامل ضریب شکل و ضریب نشر است

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

منابع

۱ – اکرم، ا. ۱۳۷۷. مدل ریاضی انتقال حرارت در نان ایرانی و در طراحی ماشین پخت، پایان نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

۲ـ نوعی باعبان، س . ج . و خشنودی، م. ۱۳۷٤.انتقال حرارت، جلد دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

3 - Chamberlain, N. 1973. Microwave Energy in The Baking of Bread, Bread Baking , 20 July, PP. 14-16.

4 - Mangin, M., Lefeuvre, S. 1977.Emploi des Micro-Ondes Dans lesFours de Boulangerie. ColloqueInternational des Journees dElectronique de Toulouse. 7-11 Mars1977. Communication IV - 5.

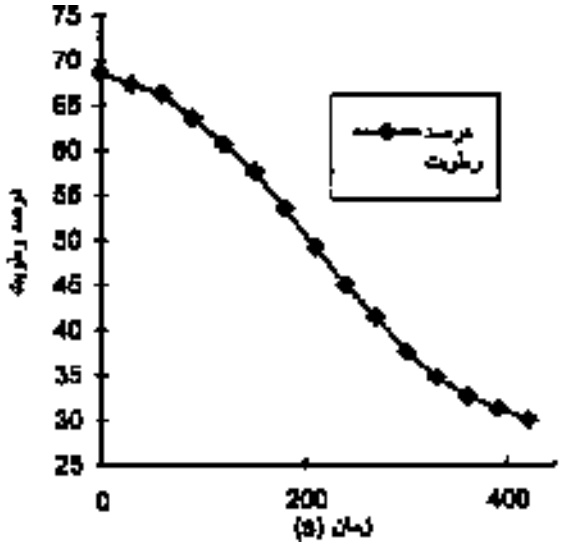
5 - Remy, R.1982. Four per Feotionne,a Rayonnements Dits "Micro-Ondes"et "Infra-Rouges" Combines,Notamment Pour la Boulangerie et laPatisserie.Brever Francais. 11 Mai1982. n 2531 828 (82 08130).

6 - Schiffmam, R. Stein, E. and Kavfman, H. 1971. The Microwave Proofing of Yeast-Raised Cloughnets.Bakers Diggest. Vol. 45(1) PP. 55-61.

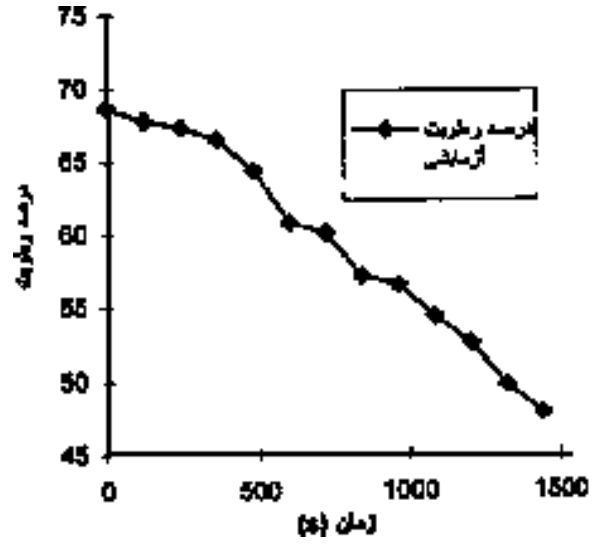
7 - Ovadia, D.Z. and Walker, C.E.1995. Microwave Baking of Bread. I. of Microwave Power. Vol 30 (2):81-89.

8 - Tong, C.H. and Lund, D.B. 1993. Microwave Heating of Baked Dough Products with Simultaneous Heat and Moisture Transfer. I. of Food Engineering Vol. 19(4): 319-339.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

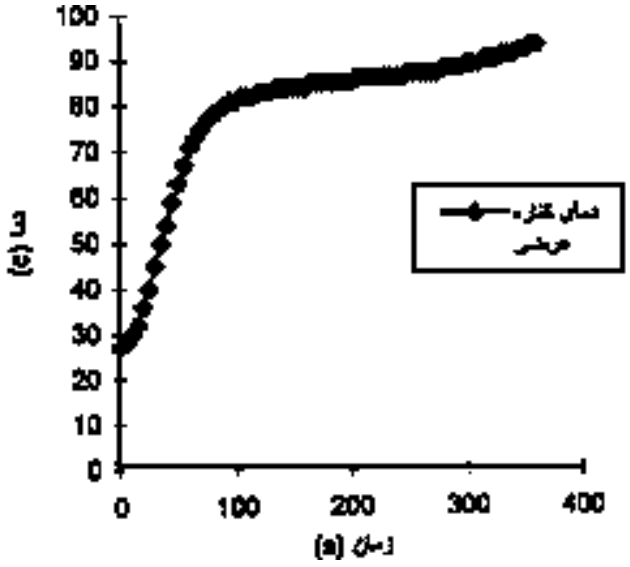


نمودار ۱ـ تغییرات درصد رطوبت در طول مدت پخت معمولی

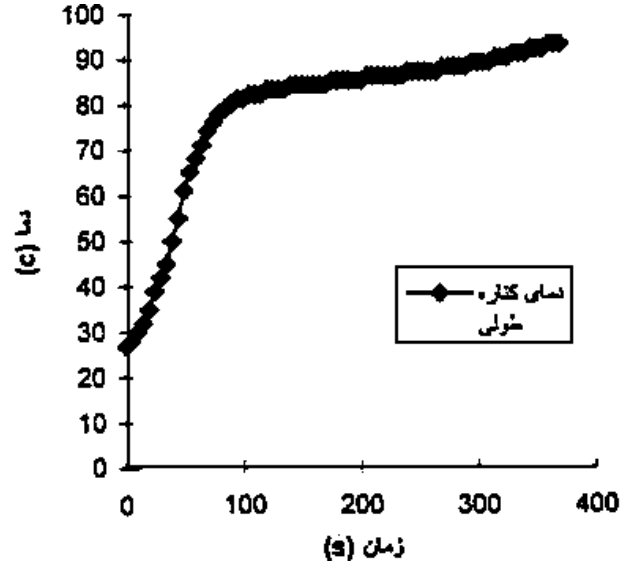


نمودار ۲ـ تغییرات درصد رطوبت نسبت به زمان در پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

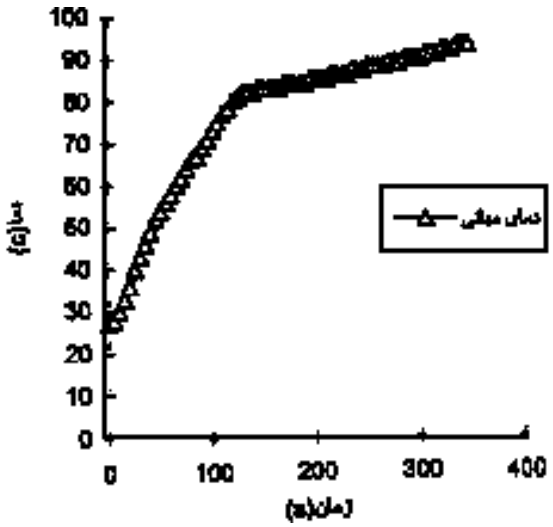


نمودار ۳ـ تغییرات دمای کناره عرضی خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

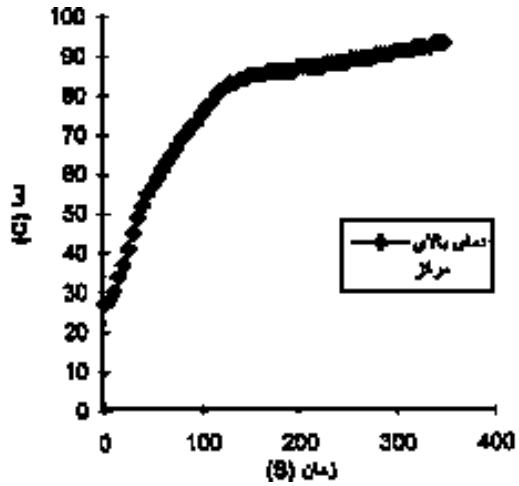


نمودار ۴ـ تغییرات دمای کناره طولی خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

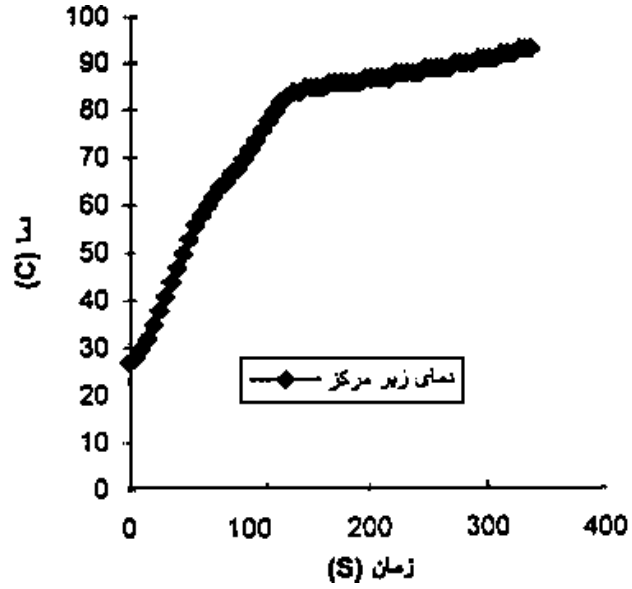


نمودار ۵ـ تغییرات دمای میانی مرکز خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

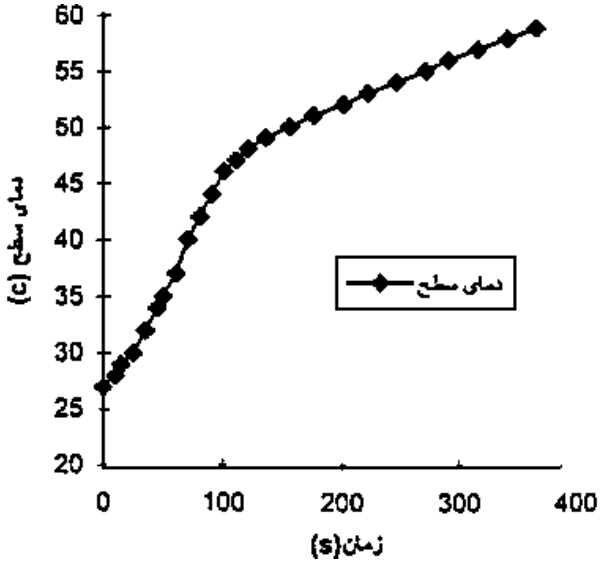


نمودار ۶ـ تغییرات دمای بالای مرکز خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

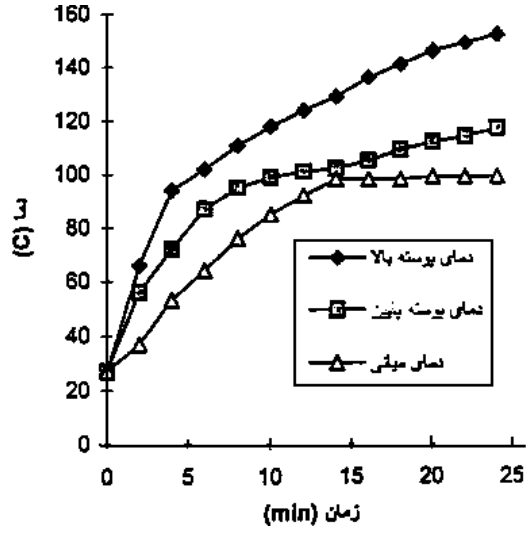


نمودار ۷ـ تغییرات دمای زیر مرکز خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

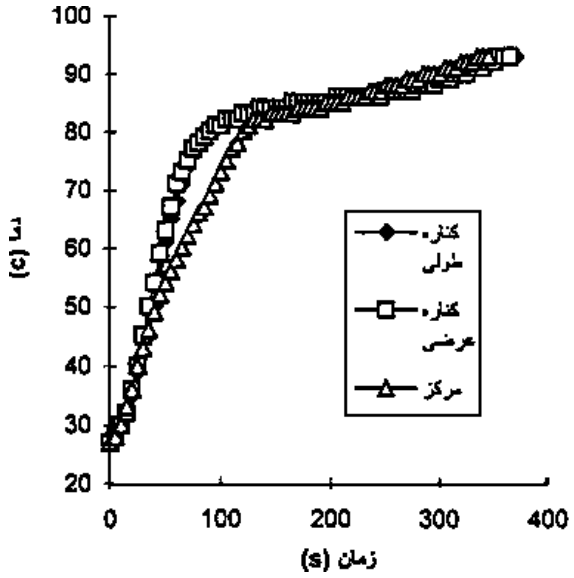


نمودار ۸ـ تغییرات دمای سطح خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

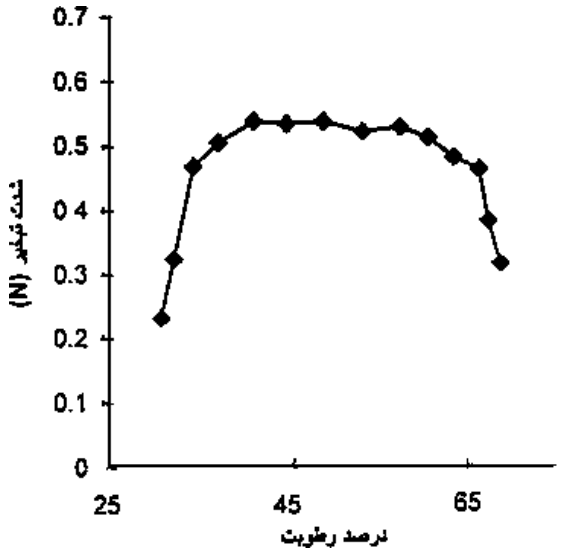


نمودار ۹ـ مقایسه تغییرات دمای پوسته بالا، پائین و مغز نان نسبت به زمان در پخت معمولی

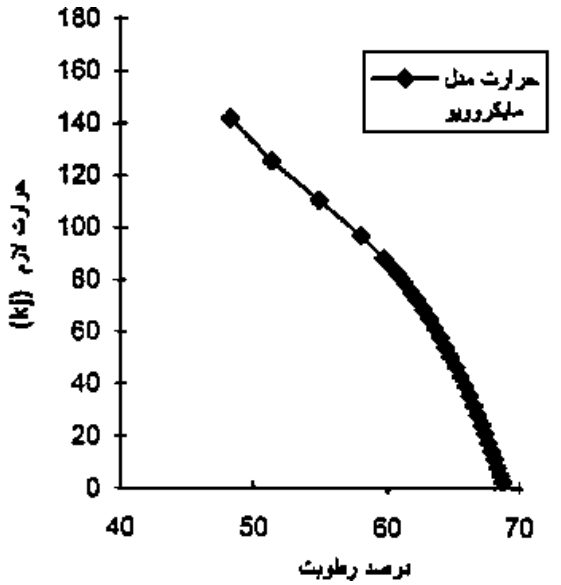


نمودار ۱۰ـ مقایسه تغییرات دمای کناره طولی، عرضی و مرکز خمیر نسبت به زمان در پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

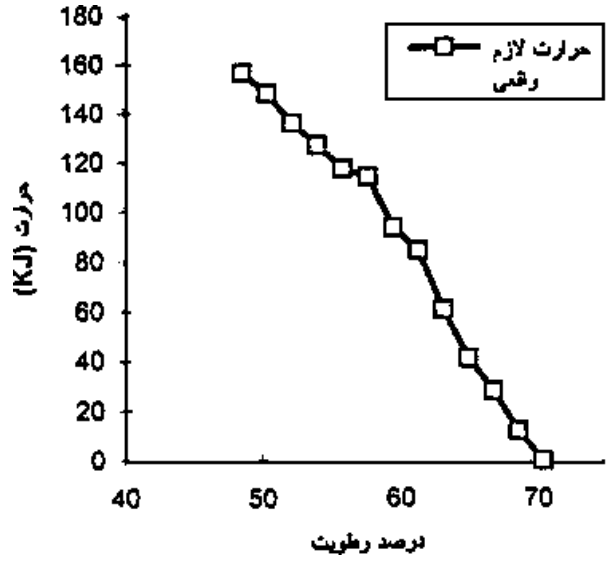


نمودار ۱۱ـ تغییرات شدت تبخیر نسبت به درصد رطوبت در طول پخت مایکروویو

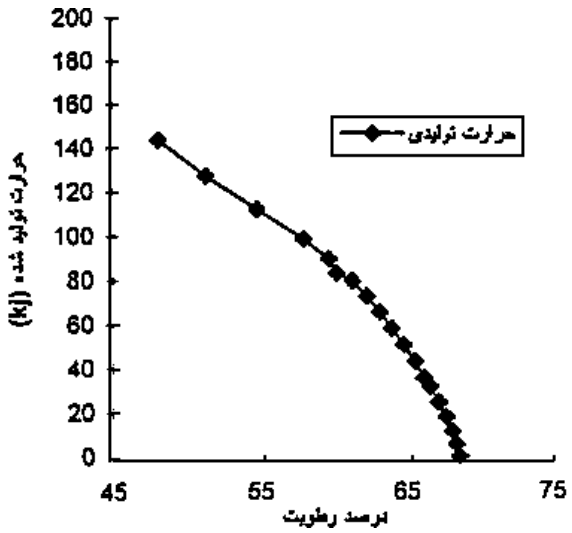


نمودار ۱۲ـ میزان حرارت لازم نسبت به کاهش درصد رطوبت در طول پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

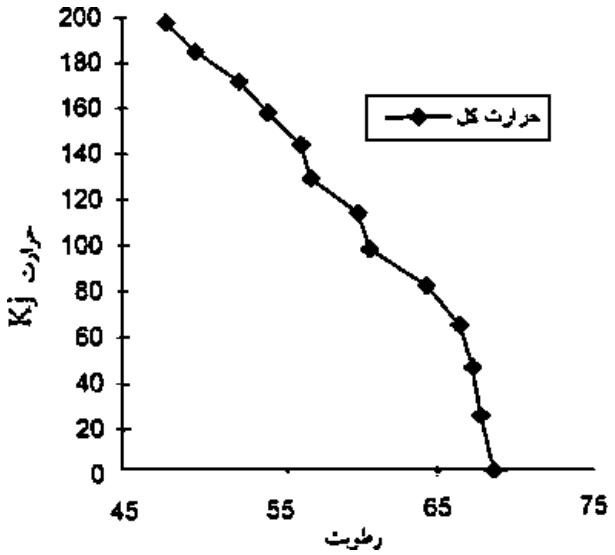


نمودار۱۳ـ میزان حرارت لازم نسبت به کاهش درصد رطوبت در طول پخت معمولی

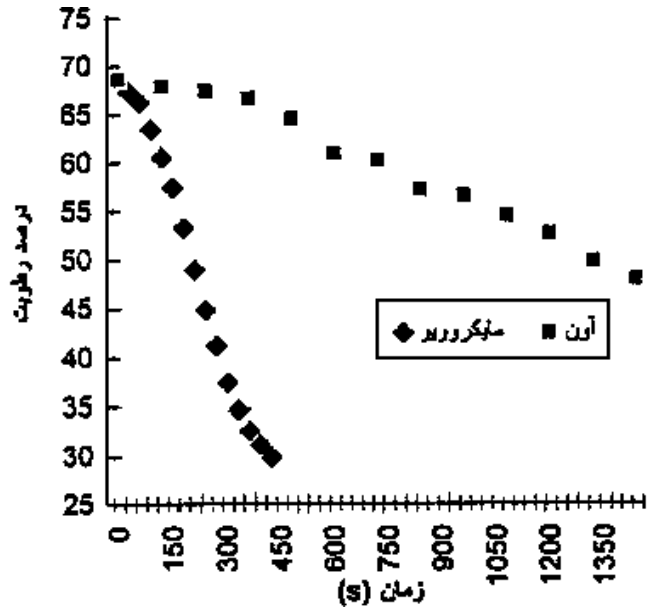


نمودار ۱۴ـ میزان کل حرارت تولید شده نسبت به کاهش درصد رطوبت در طول پخت مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]

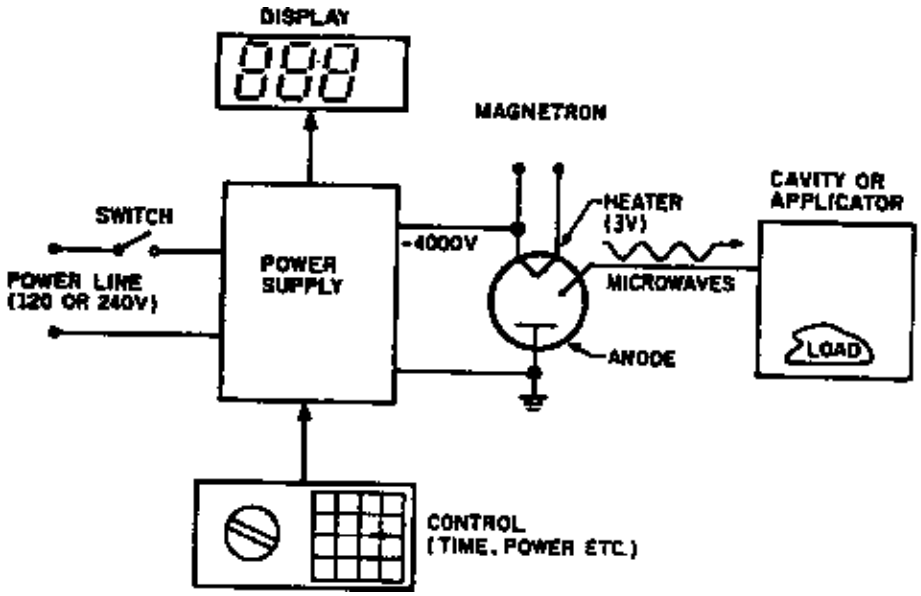


نمودار ۱۵ـ میزان حرارت کل ورودی نسبت به کاهش درصد رطوبت در پخت معمولی



نمودار ۱۶ـ مقایسه تغییرات درصد رطوبت نسبت به زمان در پخت معمولی و مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]



شکل ۲ـ۲ـ نمای کلی یک سیستم مایکروویو

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-30]