برآورد انرژی لازم برای پخت مطلوب نان در تنور آزمایشگاهی از طریق انتقال حرارت و انتقال جرم و مقایسه بین آن ها

محمد داوود حیدری[۱]، اسداله اکرم[۲]، سید حسن پیشگر کومله[۱]، کیارش مشعشعی[۳]

۱ و ۲ و۳– به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون و استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

mdheidari@ut.ac.ir

چکیده

هدف از انجام این تحقیق محاسبه انرژی لازم برای پخت مطلوب نان در تنور آزمایشگاهی، از طریق انتقال حرارت مطلوب و جرم و مقایسه بین آن ها و تعیین ضرائب حرارتی موثر در انتقال انرژی گرمائی می باشد. خمیرهای نان در چهار دمای ۲۴۰، ۲۵۰، ۲۶۰ و ۲۷۰ درجه سانتیگراد در تنور آزمایشگاهی پخته شدند و تحت آزمایش حسی و عینی توسط متخصصین صنایع غذایی قرار گرفتند. قرص های نانی که در دمای ۲۵۰درجه سانتیگراد به مدت ۱۸دقیقه پخته شده بودند، مورد تایید قرار گرفتند. نتایج نشان می دهد که مقدار کل انرژی حرارتی لازم برای پخت یک کیلوگرم خمیر نان از طریق انتقال حرارت و در مدت ۱۸دقیقه، برابر با ۷۲۱کیلوژول می باشد. مقدار کل انرژی لازم برای پخت نان از طریق انتقال جرم برابر با ۶۷۵کیلوژول به دست آمد، که در مقایسه با حالت انتقال حرارت حدود ۶/۴۱ درصد اختلاف نشان می دهد. شار حرارتی حاصل از هدایت حرارتی، انتقال حرارت جابجایی و تابشی برابر با ۴۲۹۵، ۱۳۸۳ و ۱۱۹۴وات بر متر مربع به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انتقال جرم و حرارت، انرژی، تنور آزمایشگاهی، کیفیت پخت، نان

مقدمه

هدف اصلی از پخت نان عبارت است از به دست آوردن محصولی از آرد که دارای ظاهری جذاب، ماکول و قابلیت هضم زیاد و به علاوه در مورد برخی از انواع دارای تخلخل یکنواخت باشد. تولید نان شامل سه مرحله زیر است:

الف– مخلوط کردن آرد، آب و سایر مواد اولیه برای تشکیل شبکه گلوتن و بهبود کیفیت آن.

ب– ایجاد حجم و حالت اسفنجی به کمک گاز کربنیک سنتز شده توسط مخمرها در مرحله تخمیر و به کمک دما در مراحل بعدی جهت بهبود کیفیت فیزیکی نان.

ج- دما دادن خمیر پس از طی مراحل معنی برای تثبیت شبکه گلوتن خمیر که این عمل بوسیله انعقاد گلوتن و ژلاتینه شدن نشاسته صورت می گیرد.

تهیه نان خوب و ماکول نیاز به اطلاعات دقیق در شناخت آرد، روش های تهیه خمیر و عمل آوری آن و سیستم های پخت دارد. اگر آرد مناسب و خمیری با شرایط بسیار خوب از آن تهیه شود ولی وضعیت پخت خمیر و تهیه نان مطلوب نباشد، محصول از کیفیت خوبی برخوردار نخواهد بود(احمدی ندوشن، ۱۳۷۳). مهمترین نکته ای که در این زمینه باید مورد توجه قرار گیرد، درجه حرارت پخت و مدت زمانی است که خمیر در معرض آن قرار می گیرد. به دلیل اینکه شرایط ثابتی از لحاظ دما و رطوبت در داخل محفظه پخت تنورهای موجود در کشور وجود ندارد و با طراحی های غلط محفظه پخت این تنورها، در حین پخت، طبقات هوایی با دماها و رطوبت های مختلف تشکیل شده و باعث می گردد که نان ها در شرایط مطلوب پخت نشوند. در اغلب نان های پخته شده، یا مغز نان نپخته و یا قسمت های نازک آن سوخته است.

تغییراتی که هنگام پخت بر روی خمیر انجام می گیرد به دو گروه تغییرات فیزیکی و شیمیایی تقسیم بندی می شود. از جمله تغییرات فیزیکی، تشکیل پوسته خارجی، انبساط گازهای محبوس شده بین شبکه گلوتن، کاهش حلالیت گازها و تبخیر الکل و سایر مایعات است. تغییرات شیمیایی عبارتند از تشدید فعالیت مخمرها، سنتز گاز کربنیک، ژلاتینه شدن نشاسته، انعقاد گلوتن، کاراملیزه شدن نشاسته و سایر قندها و قهوه ای شدن رنگ نان(ویلیام و همکاران، ۱۹۷٤). انرژی گرمایی لازم برای پخت نان با حالت های مختلف هدایت، جابجایی و تابش و یا ترکیبی از آن ها به جسم منتقل می شود. انرژی گرمایی برای پخت نان به روش هدایت از سینی پخت به زیر خمیر نان منتقل می گردد. همچنین به روش های جابجایی و تابشی به ترتیب از هوای گرم داخل تنور و از دیواره های گرم جانبی و سقف تنور بر روی سطح بالایی و سطوح جانبی خمیر نان منتقل می شود(خشنودی و همکاران، ۱۳۷۲. فاهلول و همکاران، ۱۹۹۵ و استندینگ، ۱۹۷٤).

۱-۱- هدایت حرارتی

شدت انرژی گرمایی کل منتقل شده بر اساس انتقال حرارت بر روی خمیر نان به صورت یک بعدی، مجموع شدت انرژی گرمایی حاصل از هدایت، جابجایی و تابش می باشد و از رابطه۱ محاسبه می شود:

$$q_{ht} - q_{cd} + q_{cv} + q_{rd} \qquad (۱)$$

که در آن

qcd: شدت انتقال هدایت حرارتی (واتW)

qcv: شدت انتقال جابجایی (واتW)

qrd: شدت انتقال حرارت تابشی (واتW)

هدایت حرارتی طبق قانون فوریه صورت می گیرد. گرما از طریق هدایت از ناحیه با دمای بیشتر به ناحیه کمتر انتقال می یابد. شدت انتقال حرارت هدایتی، متناسب با گرادیان دما در جسم و اندازه سطح عبور می باشد. بنابراین رابطه۲ برقرار می باشد:

$$q_{cd} \alpha A \frac{dT}{dX} \qquad (۲)$$

که در آن؛

$\frac{dT}{dx}$: گرادیان دما **K/m**

A: مساحت سطح عبور گرما، $\mathbf{m^2}$

$\boldsymbol{\lambda}$ ضریب تناسب در رابطه بالا ضریب هدایت حرارتی است که یک خاصیت ترموفیزیکی جسم می باشد و در رابطه ۳ با نشان داده شده است.

$$q_{cd} = -\lambda A \frac{dT}{dx} \qquad (۳)$$

که در آن؛

$\boldsymbol{\lambda}$: ضریب هدایت حرارتی(**W/mK**)

علامت منفی به علت مخالفت جهت جریان گرما با گرادیان دماست.

۲-۱- انتقال حرارت جابجایی

هرگاه جسم جامدی در تماس مستقیم با مایع یا گاز در حال حرکت قرار گیرد، انتقال حرارت به روش جابجایی اجباری و یا طبیعی صورت می گیرد. در انتقال حرارت به صورت جابجایی آزاد، یک لایه مرزی حرارتی در مجاورت سطح آزاد ایجاد می شود(این کروپرا و همکاران، ۱۳۷۵ و خشنودی و همکاران، ۱۳۷۲).

شدت انتقال حرارت جابجایی از قانون سروایش نیوتن، طبق رابطه٤ بدست می آید.

$$q_{cv} - h_{cv} A (T_* - T_b) \qquad (٤)$$

که در این رابطه؛

$\mathbf{T_b}$: دمای صفحه(**K**)

$\mathbf{T_*}$: دمای سیال(**K**)

h_{cv} : ضریب انتقال حرارت جابجایی($W/m_2.K$)

در رابطه ٤، ضریب تناسب(h_{cv})، ضریب انتقال حرارت جابجایی است.

بنا به بررسی انجام شده، برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه فرآیند پخت شامل موارد زیر است:

ناصحی(۱۳۸۱)، ویژگی های حرارتی نان های بربری، سنگک و تافتون را مورد بررسی قرار داد. خصوصیات حرارتی در این تحقیق شامل آنتالپی، درصد افت جرم و دمای حداکثر بود. دمای پایانی تغییرات نیز به وسیله دستگاه **STA** اندازه گیری شد. نان های تازه دارای منحنی گرمازا می باشند و هرچه از مدت نگهداری آن ها می گذرد، منحنی به سوی گرماگیری پیش می رود. این نشان می دهد که که روند تغییرات در همه نان ها یکسان نمی باشد که به دلیل تفاوت در فرمول تهیه، شرایط تولید و به ویژه میزان آب به کار رفته می باشد.

کیلبورن و تیپلس(۱۹۸۱)، فرایند پخت نان حجیم را داخل چهر تنور مختلف مورد بررسی قرار دادند و اظهار کردند که به دلیل وجود شرایط گوناگونی مثل چرخش هوا و تشکیل طبقات هوایی با دماها و رطوبتهای مختلف، حتی زمانی که دمای پخت و زمان پخت، در تنورها یکسان باشد، این شرایط متغیر تاثیرات زیادی را روی خصوصیات نان می گذارند. به طوریکه نتیجه مشابهی در پخت نان به دست نمی آید. حتی موقعی که تنور مشخصی که درجه حرارت و زمان پخت یکسان برای خمیرهای دارای حجم و وزن و مشخصات یکسان در نظر گرفته می شود، حجم و وزن نان های پخته شده در آن بستگی به وضعیت و چرخش هوا در داخل تنور داشته و با تغییر سرعت چرخش هوا تغیی می یابند.

هستانی و همکارانش(۱۹۸۹)، مدل نظری انتقال حرارت در داخل یک قرص نان حجیم را در حین فرآیند پخت، بر اساس معادلات هدایت سه بعدی گذرا به دست آورده و نشان دادند در حالتی که نان در دمای زیر ۹۷درجه سانتیگراد پخت شود، تطبیق خوبی بین نتایج حاصل از آزمایش و محاسبه وجود دارد. ولی در حالت واقعی پخت اختلاف زیادی بین نتایج این دو روش دیده می شود. انتقال رطوبت، تغییر ساختار داخلی و انبساط تاثیر زیادی روی فرایند انتقال حرارت دارند.

فاهلول و همکارانش (۱۹۹۵)، جریان هوا را در داخل تنور و خشک کردن بیسکویت را مطالعه کرده و مدل توزیع دما و رطوبت نسبی هوا را شبیه سازی کردند و نشان دادند که دماهای پخت مختلف اثر خاصی روی کاهش وزن بیسکویت داشته و شدت خشک کردن ثابتی حین فرایند پخت مشاهده نمی شود.

زانونی و همکارانش (۱۹۹٤)، مدلی ریاضی برای پخت نان ارائه دادند که به وسیله روش عددی تفاضل های محدود حل می شود. این مدل بر اساس تغییرات در دما و رطوبت نان در حین پخت با تشکیل یک جبه تبخیر در$^{\circ}$**C** ۱۰۰ تعیین شده است. آن ها اظهار داشتند که دمای سطح نان بعد از خشک شدن به دمای تنور نزدیک می شود و جبه تبخیر به طرف مغز نان حرکت می کند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای داشتن روشی استاندارد جهت آزمایش حالتهای مختلف نان در تنورهای با طراحی های مختلف، از یک دستگاه تنور آزمایشگاهی مجهز به سنسورهایی برای اندازه گیری درجه حرارت با محفظه پختی در ابعاد ۱۹۰*۱۹۰*۲۹۰ که در گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران طراحی و ساخته شده است، استفاده شد. تنور آزمایشگاهی با الگوگیری از تنورهای مدرن پخت نان طراحی و ساخته شد. از آنجا که ضریب هدایت حرارتی یک خاصیت مهم حرارتی اجسام است که به نوع جسم بستگی دارد، جنس صفحات با توجه به خواص فیزیکی از جنس آلومینیوم انتخاب شده است، که دارای ضریب هدایت حرارتی بسیار بالایی می باشد. خواص فیزیکی در دمای ۲۰درجه سانتیگراد در جدول۱ آمده است:

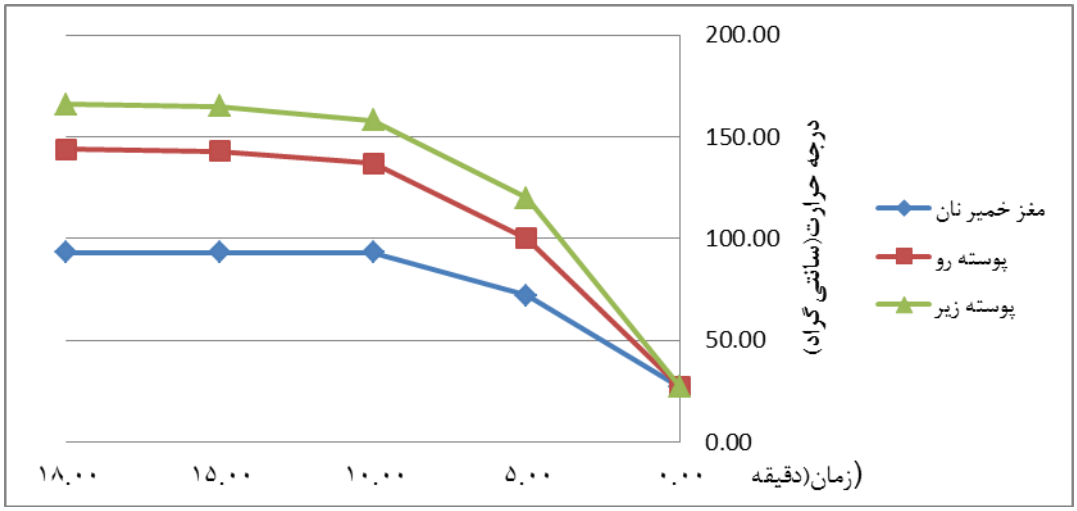
جدول۱- خواص فیزیکی آلومینیوم در دمای ۲۰درجه سانتیگراد

جنس	گرمای ویژه در فشار ثابت (J/kg.K)	جرم حجمی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی (W/mK)	ضریب نفوذ حرارتی (m^2/s)
آلومینیوم	۸۹٦	۲۷۰۷	۲۰٤	۸/٤۱۸

آرد گندم جهت آزمایش از گندم رقم پیشتاز، در آزمایش های پخت نان به کار برده شد. این آرد دارای ۱۱/۲ درصد پروتئین بوده و در آسیاب آبی تولید شده است. مواد اصلی تشکیل دهنده خمیر شامل آرد، نمک طعام و مخمر خشک انتخاب شد. ابتدا مخمر خشک در مقداری آب در دمای ۳۵درجه سانتیگراد حل گردید. به این محلول یک درصد نمک(نسبت به مقدار آرد) جهت تغذیه و تکثیر سلول های مخمر افزوده شد و به مدت ۱۵دقیقه در این شرایط نگهداری شد. نمک طعام در آب حل شده و محلول مخمر به آن افزوده شد، سپس آرد با این محلول مخلوط شده و اجزا مخلوط به مدت ۱۵دقیقه ورز داده شد تا خمیر آرد گندم به دست آمد. خمیر حاصل به منظور تخمیر اولیه به مدت یک ساعت در دمای ۲۷درجه سانتیگراد نگهداری شد. بعد از گذشت نیم ساعت از زمان تخمیر اولیه، خمیر زیر و رو شد. سپس سینی حاوی خمیر به مدت ۲۰دقیقه در محیطی با رطوبت بالا و دمای ۳۲درجه سانتیگراد نگهداری شد(تخمیر ثانویه). بعد از این مرحله روی خمیر رومال زده شد و برای پخت داخل تنور آزمایشگاهی قرار داده شد. خمیرهای نان در چهار دمای ۲٤۰، ۲۵۰، ۲٦۰ و ۲۷۰ درجه سانتیگراد در تنور پخته شدند و تحت آزمایش حسی و عینی توسط متخصصین صنایع غذایی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

از بین نمونه ها، قرص های نانی که در دمای ۲۵۰درجه سانتی گراد به مدت ۱۸دقیقه پخته شده بودند، مورد تایید قرار گرفتند. نمودارهای حاصل از اندازه گیری دما نسبت به زمان در دمای۲۵۰ درجه سانتی گراد که بهترین حالت پخت می باشد، در مکان های پوسته رو، زیر و مغز نان در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل۱- تغییرات دما نسبت به زمان در پوسته زیر، رو و مغز خمیر نان در دمای ۲۵۰درجه سانتی گراد تنور

با توجه به تغییرات دمای مغز نان نسبت به زمان، مشاهده می شود که در مدت زمان حدود ۸دقیقه، دمای مغز نان به شدت افزایش پیدا کرده و وقتی به نزدیکی ۱۰۰درجه سانتی گراد می رسد، حالت ثابتی به خود می گیرد. بر اساس نظریه پخت نان(کیلبورن و همکاران، ۱۹۸۱) و تا زمانی که در نان رطوبت وجود دارد دمای مغز نان افزایش نخواهد داشت. با توجه به اینکه کاهش رطوبت این نان در حدود ۲۰/۹درصد است و دمای نهایی مغز نان از ۱۰۰درجه سانتی گراد بالاتر نرفته و تقریبا حالت ثابتی پیدا کرده است، با نظریه پخت نان مطابقت دارد(این کروپرا و همکاران، ۱۳۷۵).

ضریب هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی خمیر نان، تابع رطوبت بوده و با تغییر میزان رطوبت خمیر نان در طی فرآیند پخت تغییر می کند. ضریب هدایت حرارتی مبتنی بر قدرت جذب آب تعیین می گردد، در این راستا مقدار جذب آب آرد گندم پیشتاز با آزمایش فارینوگراف برابر ٦٥/٢درصد به دست آمد و در طی فرآیند پخت به مقدار ۲۰/۹درصد کاهش پیدا کرد. ضریب هدایت حرارتی خمیر نان به طور متوسط برابر با ۰/٤٧ وات بر متر درجه کلوین محاسبه شد.

ضریب انتقال حرارت جابجایی

ضریب انتقال حرارت جابجایی با انتقال حرارت از هوای گرم بر روی سطح رو(سطح سرد رو به بالا)ی صفحه آلومینیومی محاسبه شد. با تغییرات دمای صفحه تنور(مطابق با دمای سطح خمیر نان)، ضریب انتقال حرارت جابجایی، به طور متوسط برابر با ۸/۵۹وات بر مترمربع درجه کلوین محاسبه شد. ضریب انتقال حرارت جابجایی طبیعی بین سیال هوا و اجسام در گستره ۵ تا ۲۵وات بر مترمربع درجه کلوین تغییر می کند. بنابراین ضریب انتقال حرارت جابجایی محاسبه شده در این محدوده قرار دارد(توکلی پور، ١٣٧٦ و استندینگ، ١٩٧٤).

محاسبه مقدار انرژی گرمایی از طریق انتقال حرارت

انرژی گرمایی در حالات جابجایی و تابشی به ترتیب از هوای گرم و سطوح گرم محفظه پخت تنور آزمایشگاهی در مدت زمان پخت(۱۸دقیقه) بر روی سطح بالای خمیر نان در گستره دمای خمیر نان از ۲۷درجه سانتی گراد(دمای اولیه خمیر) تا ۱۵۱درجه سانتی گراد(دمای نهایی سطح خمیر نان) انتقال یافته است. همچنین انتقال انرژی گرمایی در حالت هدایت از سینی مخصوص پخت نان به سطح زیر خمیر نان در گستره دمای خمیر نان ۲۷درجه سانتی گراد تا دمای ۱٦۸درجه سانتی گراد(دمای سطح زیر نان) صورت گرفته است. مجموع شدت انرژی گرمایی حاصل از هدایت، جابجایی و تابش است. شدت انرژی گرمایی از رابطه برابر با ۰/۳۸٤ به دست آمد. از تقسیم شدت انرژی گرمایی بر مساحت سطح خمیر نان، شار حرارتی برای پخت یک خمیر نان به جرم ۰/۵۷۵کیلوگرم برابر با ٦/۹۷۱کیلووات بر مترمربع حاصل شد. مقدار کل انرژی حرارتی لازم برای پخت یک کیلوگرم خمیر نان در دمای ۲۵۰درجه سانتی گراد(دمای محفظه پخت) به مدت ۱۸دقیقه برابر با ۷۲۱/۲کیلوژول به دست آمد.

محاسبه مقدار انرژی گرمایی از طریق انتقال جرم

مقدار انرژی حاصل از انتقال جرم برابر با مقدار انرژی جذب شده توسط خمیر نان می باشد، به طوری که این انرژی صرف افزایش دمای خمیر نان و نان و همچنین تبخیر رطوبت آن می گردد، ولی انرژی جذب شده برای تبخیر فرارهای غیر آب و حرارت های حاصل از کنش ها و واکنش ها نادیده گرفته می شود. شدت انرژی گرمایی حاصل از انتقال جرم برابر با ۰/۳۵۹کیلووات محاسبه شد. شدت انرژی گرمایی ویژه جذب شده، ٦/۵۲کیلووات بر متر مربع به دست آمد. مقدار انرژی حرارتی که یک کیلوگرم خمیر نان در دمای پخت ۲۵۰درجه سانتی گراد و مدت زمان ۱۸دقیقه جذب می کند، برابر با ٦۷۵کیلوژول محاسبه شد.

بنابراین مقدار انرژی گرمایی به دست آمده از طریق انتقال جرم در مقایسه با مقدار انرژی گرمایی حاصل از انتقال حرارت برای پخت هر کیلوگرم خمیر نان نسبت به یکدیگر حدود ٦/٤۲درصد اختلاف داشته که تطبیق خوبی نشان می دهد.

نتیجه گیری

در این تحقیق خمیرهای نان در چهار دمای ۲٤۰، ۲۵۰، ۲٦۰ و ۲۷۰ درجه سانتیگراد در تنور آزمایشگاهی پخته شدند و در هر درجه حرارت پخت مذکور، خمیرهای نان در سه تکرار در گستره مدت زمان پخت از شروع پختگی تا سوختگی پخته شدند و تحت آزمایش حسی و عینی توسط متخصصین صنایع غذایی قرار گرفتند و قرص های نانی که در دمای ۲۵۰درجه سانتی گراد به مدت ۱۸دقیقه پخته شده بودند، مورد تایید قرار گرفتند. نمودار توزیع حرارت در دمای ثابت ۲۵۰درجه سانتی گراد نشان می دهد که شدت تغییرات دما در پوسته زیر شدیدتر از تغییرات دما در پوسته رو می باشد، که این به

علت کوچک بودن محفظه خت تنور آزمایشگاهی می باشد. ضریب هدایت حرارتی خمیر نان، مبتنی بر قدرت جذب آب آرد تعیین می گردد. ضریب هدایت حرارتی خمیر نان در مدت زمان فرایند خت نان(۱۸دقیقه) به طور متوسط برابر با ۰/٤۷وات بر متر درجه کلوین محاسبه شد. مقدار کل انرژی حرارتی لازم برای پخت یک کیلوگرم خمیر نان از طریق انتقال حرارت در دمای ۲۵۰درجه سانتی گراد به مدت ۱۸دقیقه برابر با ۷۲۱کیلوژول به دست آمد. مقدار کل انرژی حرارتی لازم برای پخت یک کیلوگرم خمیر نان از طریق انتقال جرم برابر با ٦۷۵کیلوژول محاسبه شد، که در مقایسه با مقدار انرژی گرمایی حاصل از انتقال حرارت برای پخت هر کیلوگرم خمیر نان نسبت به یکدیگر حدود ٦/٤۱درصد اختلاف نشان می دهد. پیشنهاد می شود در تحقیقات بعدی ماشین پختی طراحی و ساخته شود که در طی فرایند پخت، نان را در دماها و رطوبت خای مختلف و مناسبی قرار دهد و از تشکیل سریع پوسته نان جلوگیری کرده و درصد رطوبت مغز نان را تا حد امکان کاهش دهد. همچنین پیشنهاد می شود تغییراتی در ساخت تنورهای سنتی مخصوصاً آجری یجاد شود و شرایط مناسب تری از لحظا پخ برای این تنورها تامین گردد و مکانیزمی برای محاسبه رطوبت محفظه پخت و کنترل رطوبت داخل تنور طراحی و پیاده سازی گردد.

مراجع

احمدی ندوشن، م. ۱۳۷۳. تغییر الگوی مصرف و صنعتی کردن تولید نان در کشور. مجموعه مقالات اجلاس تخصصی نان. نشر انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، تهران. صفحات ۱۹۵-۱۸٦.

ایرانی، پ. ۱۳۷۳. بررسی علل افت کیفیت و ضایعات نان و راه های برطرف کردن نارسائی ها. سومین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، شهریور۱۳۷۳. انتشارات دانشگاه تبریز. صفحات ۷۵-٤۵.

این کروپرا، ف.پ. و دویت، د.پ. ۱۳۷۵. مقدمه ای بر انتقال گرما جلد اول و دوم، رستمی، ع.ا. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

توکلی پور،ح. ۱۳۷٦. اصول مهندسی صنایع غذایی. انتشارات مرسا، تهران.

خشنودی، م. و نوعی باغبان، س.ح. ۱۳۷۲. انتقال حرارت، جلد اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

ناصحی، ب. ۱۳۸۱. بررسی تغییرات ویژگی نان های مسطح ایرانی طی مدت نگهداری. اولین کنگره ملی بین المللی گندم. انتشارات تحسین، تهران.

Fahlul, D., Trystram, G., Mcfarlance, I. and Duquenoy, A. 1995. Measurments and predictive modeling of heat fluxes in continuos baking ovens. Journal of food engineering. 26: 469-479.

Hasatani, M., Arai, N., Kasuyama, H., Harui, H. and Itaya, Y. 1991. Heat and mass transfer in bread during baking in an electric oven. In: During 91, Elsevier science publishers, Amesterdam, Holand. PP. 385-393.

Kilborn, R.H. and Tipples. 1981. Heat sink reference oven. American association of cereal chemicals. 58(4): 295-299.

Singh, R.P. and Heldman, R.D. 1993. Introduction of food engineering. Academic press Inc., California,USA.

Standing, C.N 1974. Individual heat transfer modes in band oven biscuit baking. Journal of food science. 39: 267-271.

William, J. and Sultan, K. 1974. Partical baking. Thired edition.

Zanoni, B., Pierrucci, S. and peri, C. 1994. Study of bread baking process. Mathematical modeling. Journal of food engineering. 23(3): 321-336.

Estimation of energy requirement for bread baking at lab oven by heat and mass transfers and compare them.

Abstract

The objective of this article is computing of energy requirement for bread baking at lab oven by suitable heat transfer and mass transfer and comparing them and also determination of effective thermal coefficient in transfer of thermal energy for bread baking. Bread dough's were baked in four temperatures of 240, 250, 260 and 270^0c at lab oven and was under sensing and observation experiment by export of food science. In among of samples, bread that bake in 250^0c at 18minutes was approved. The total of thermal energy were obtained equal to 721 and 675kJ for baking one kilogram of bread dough's heat and mass transfer at 250^0c(air temperature of oven) and during 18 minutes (baking time) that was showed 6.41% difference with compared together. Heat flux from thermal conductivity, convective and rediative heat transfer was obtained 4295, 1383 and 1194 W/m2, respectively.

Keywords: Energy, Bread, Lab oven, Baking quality, Heat and mass transfer.