

# طراحی و ساخت دستگاه تخمیر تحقیقاتی به منظور پایش چگالی دینامیک خمیر نان

علیرضا سلیمانی پور<sup>۱\*</sup>، غلام رضا چگینی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۱۵)

## چکیده

بررسی میزان و سرعت حجم گرفتن خمیر نان طی فرایند فراوری و آماده سازی برای پخت، هم به لحاظ تعیین شرایط محیطی حاکم بر فرایند تخمیر، و هم از لحاظ بررسی کیفیت آرد و سایر محتویات خمیر نان از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این تحقیق، روش جدیدی بر پایه پردازش تصویر دیجیتال و تکنیک بازتاب شعاعی ارائه شده که، با استفاده از منحنی های بی اسپلین، حجم نمونه را به صورت سه بعدی بازسازی نموده و کمیت های حجم و سطح رویه در حال تغییر آن را برآورد می نماید. مقدار خطای تخمین حجم و مساحت سطح این روش برای نمونه کروی شکل به ترتیب برابر با ۱،۱۶٪ و ۳،۵۴٪ بود. همچنین، نتایج نشان داد که برای نمونه های کروی و بیضوی تست شده، فاصله زاویه ای تصویرگیری  $\pi/6$  رادیان بهترین حالت از لحاظ حجم محاسبات، مدت زمان تخمین، کیفیت بازسازی و دقت تخمین می باشد. روش ذکر شده در قالب یک دستگاه تحت عنوان «دستگاه تخمیر تحقیقاتی» توسعه و پیاده سازی شده است. به طور کلی نتایج نشان داد که از دستگاه ارائه شده می توان با اطمینان بالایی در تست های اندازه گیری چگالی خمیر نان استفاده کرد.

کلید واژگان: آرد گندم، تخمیر، چگالی دینامیک، پردازش تصویر.

\* مسئول مکاتبات: asoleimani@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

اصلاح این عوامل منجر به تولید نان با کیفیت مطلوبتر خواهد شد. تا کنون روش های متعددی برای مطالعه این تغییر در ظاهر خمیر نان توسعه یافته است و از آنجایی که خمیر نان یک ماده انعطاف پذیر بوده و اندازه گیری حجم آن با استفاده از روشهای اندازه گیری معمول ممکن نیست و یا حداقل نتیجه مطلوبی بدست نمی دهد، این موضوع به یک چالش تحقیقاتی بین محققان این حوزه بدل شده است.

بسیاری از فرایندهای مهندسی صنایع غذایی، بخصوص، فرایندهایی که مشتمل بر پدیده انتقال و ارزیابی کیفی هستند، اندازه گیری یا تخمین سطح رویه و حجم مواد غذایی را شامل می شوند. برای مثال، روشن است که ضرایب انتقال گرما و جرم به شکل و سطح رویه شیء ای که مورد تحلیل قرار می گیرد، بستگی دارد. علاوه بر این، خصوصیات وابسته به حجم، مانند چگالی، در صورتی که حجم به درستی اندازه گیری یا تخمین زده شود، به آسانی تعیین می شوند. بنابراین، تخمین سطح رویه و حجم یک موضوع بسیار مهم در حیطه مهندسی صنایع غذایی محسوب می شود. هر چند، تخمین این خصوصیات فیزیکی کار مشکل و خسته کننده ای است، به ویژه وقتی که محصول مورد نظر شکل نامنظمی داشته باشد. گذشته از این، برخی از محصولات کشاورزی و صنایع غذایی از لحاظ حالت ظاهری ناپایدار بوده و لذا امکان بررسی این خصوصیات، در حالتی که تماس با این محصولات اجتناب ناپذیر است، وجود ندارد [۱].

در فرایندهای صنایع غذایی زمان یک عامل کلیدی و معمولاً به شدت تاثیرگذار روی محصول فرایند است. از اینرو در اندازه گیری های خصوصیات فیزیکی سرعت انجام کار بسیار مهم می باشد. بدین صورت که اگرچه یک روش کار خاص ممکن است از دقت بالایی برخوردار باشد ولی اگر سرعت تعیین آن مطلوب نباشد، با وجود بالا بودن دقت، آن روش در عملیات های اندازه گیری زمان- واقعی، طی فرایندهای صنایع غذایی، کارایی چندانی نخواهد داشت. بنابراین، در بسیاری از عملیات های برآورد خصوصیت خاص در حین فرایند استفاده از روش هایی که در آنها انجام عمل داده گیری سریع است، اجتناب ناپذیر می نماید.

افزایش جمعیت جهان و رشد بی رویه آن نیاز به مواد غذایی را افزایش داده و گسترش صنایع به ویژه صنایع غذایی را ضروری نموده است. نان به عنوان یکی از ارکان اصلی تأمین احتیاجات غذایی انسان در طول تاریخ از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده است. بشر از بدو شروع دوره کشاورزی، گندم را به عنوان محصول اصلی کشاورزی کشت می کرده و همه روزه سعی در تکامل این راه داشته است و همواره در خلال کاشت و برداشت های متعدد، اصلاح بذر و مکانیزه کردن را مد نظر داشته و خواهد داشت. در سال های اخیر گندم به عنوان یک ماده غذایی اصلی ارزشی بالاتر از دیگر مواد اولیه پیدا کرده است. نقش نان در تغذیه، تأمین انرژی و مواد غذایی از جمله تیامین است. بدیهی است با توجه به محدودیت منابع و عدم امکانات تأمین مواد غذایی می بایست جهت رفع نیازهای تغذیه ای مردم به ویژه اقشار کم درآمد، از ساده ترین روش ها استفاده کرد.

کیفیت محصولات و تولیدات کشاورزی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. پایین بودن کیفیت این فراورده ها به لحاظ اثرگذاری های بهداشتی آنها، می تواند سلامت عمومی مردم یک جامعه را با خطر مواجه کند. خصوصاً محصولات فرآوری شده کشاورزی، مانند نان، که پس از گذراندن فرایندهایی پیچیده به یک محصول قابل مصرف تبدیل می شوند، خیلی بیشتر در معرض آسیب های منجر به افت کیفیت قرار دارند. بنابراین نیاز است به فرایندهایی که این محصولات طی می کنند توجه ویژه ای داشت.

به طور مشخص، طی فرایند تخمیر نمونه خمیر از لحاظ ظاهری متحمل تغییراتی می شود و حجم آن به حدود ۲ الی ۳ برابر افزایش پیدا می کند. متعاقب آن، چون تغییرات محسوسی در وزن نمونه رخ نمی دهد، چگالی نمونه کاهش می یابد. مطالعه نحوه تغییر چگالی و مقدار این تغییر می تواند در اصلاح روش های تخمیر، تعیین شرایط محیطی حاکم بر فرایند، زمان مورد نیاز برای انجام فرایند، و مقایسه کیفیت آردها و سایر افزودنی های مختلف مفید باشد. بدیهی است

تخمیر از روی تصاویر دو بعدی و ارتباط دادن آن با حجم، و نیز با اندازه گیری همزمان وزن نمونه، چگالی خمیر را به طور پیوسته در طی فرایند مذکور بدست می آورند. وردو و همکاران [۱۲] با استفاده از یک سیستم بینایی سه بعدی مبتنی بر نور ساختار یافته به بررسی و تحلیل اطلاعات در مورد ساختار درونی خمیر نان طی فرایند تخمیر پرداختند.

در این پروژه، با بهره گیری از روش پردازش تصویر و تکنیک بازتاب شعاعی، نمونه خمیر در حال تخمیر به شکل سه بعدی در فضای رایانه بازسازی شده و با روش های محاسباتی حجم و سطح رویه نمونه برآورد می شود. این روش تخمین حجم در قالب یک دستگاه مشتمل بر یک سیستم بینایی کامپیوتر پیاده سازی شده و به صورت یک دستگاه تحقیقاتی با قابلیت تنظیم و کنترل دقیق شرایط محیطی فرایند تخمیر (دمای هوا، رطوبت نسبی و زمان تخمیر) ارائه شده است.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- طراحی و مدل سازی دستگاه تخمیر

نرم افزار کتیا ابزاری قوی و کارآمد برای طراحی به کمک کامپیوتر (CAD)، مهندسی و تحلیل به کمک کامپیوتر (CAE) و ساخت به کمک کامپیوتر (CAM)، و از سیستم های مطرح روز دنیا در صنایع هوافضا، هواپیما سازی، دریایی، عمران، خودروسازی، طراحی سازه، ادوات صنعتی، کارخانجات لوازم خانگی و غیره است که از این نرم افزار در پروسه های طراحی صنعتی خود استفاده می کنند. در این پروژه به منظور طراحی دقیق و جانمایی صحیح قطعات دستگاه آون تخمیر، ابتدا قطعات بدنه دستگاه در محیط طراحی، ورق کاری و مونتاژ نرم افزار کتیا (CATIA V.5 R20) مدل سازی شدند. در شکل (۱) یک نقشه کلی از قطعات مدل سازی شده و مونتاژ شده دستگاه آون تخمیر تحقیقاتی آورده شده است.

از آنجایی که بسیاری از محصولات کشاورزی و غذایی مانند غلات، میوه ها و سبزیجات تقریباً شکل بیضوی گون دارند، محققان بسیاری روی توسعه یک معادله دقیق و ساده برای تخمین سطح رویه برای چنین مواردی کار کرده اند. این گونه کارها معمولاً با تشبیه شکل بی نظم محصول کشاورزی و غذایی به یک شکل منتظم هندسی، اقدام به برآورد خصوصیات فیزیکی ظاهری نموده اند. به عبارت دیگر، مقالات و کارهای پژوهشی چندانی روی تحلیل شکل و تخمین سطح رویه و حجم در مورد محصولات غذایی به شکل سه بعدی بی نظم انجام و منتشر نشده است.

به منظور ارتقای دانش در مورد فاز تخمیر، مطالعات بسیاری با استفاده از نقطه نظرها و تکنیک های مختلف به انجام رسیده است. میان آنها، کنترل های استاتیکی متغیرهایی مانند حجم، دانسیته و اندازه حباب وجود دارد [۲ و ۳]. همچنین مطالعاتی وجود دارد که به توسعه کاربردهای پایش دینامیکی همان متغیرها بر مبنای فناوری های فراصوت، تصویر برداری مغناطیس هسته (MRI)، تحلیل تصویر برداری دو بعدی و سه بعدی پرداخته شده است [۴ و ۵ و ۶]. اگر چه تحلیل تصویر دو بعدی، که در آن قطعه بندی تصاویر اعمال می شود، معمولاً به عنوان یک کنترل استاتیک برای بررسی اندازه حباب یا دانه بندی مغز نان، به منظور ارتباط دادن با دستورالعمل ها یا فرایندهای مختلف و به طور مشخص فرایند پخت به کار می رود [۳ و ۷ و ۸ و ۹].

تینوداک و همکاران [۱۰] سه روش مختلف برای اندازه گیری دانسیته دینامیک خمیر طی فرایند تخمیر را مورد تحقیق قرار دادند. این سه روش عبارت بودند از: پایش تغییر در جرم ظاهری یک قطعه خمیر معلق در روغن سیلیکون در دمای ۳۵ درجه سلسیوس؛ پایش تغییر در حجم خمیر در طی شرایط تخمیر واقعی با یک تکنیک نوین تصویر برداری با استفاده از نور ساختار یافته؛ و نهایتاً پایش تغییرات حجم خمیر در یک رئوفرمومتر در دمای ۳۵ درجه سلسیوس. سلیمانی پور و همکاران [۱۱] یک روش جدید برای پایش چگالی خمیر نان طی فرایند تخمیر بر پایه پردازش تصویر دیجیتال ارائه دادند. این محققان با اندازه گیری ارتفاع نمونه خمیر طی فرایند

- کاهش نویز با کاربرد یک فیلتر میانه  $3 \times 3$  برای تقویت کیفیت تصویر

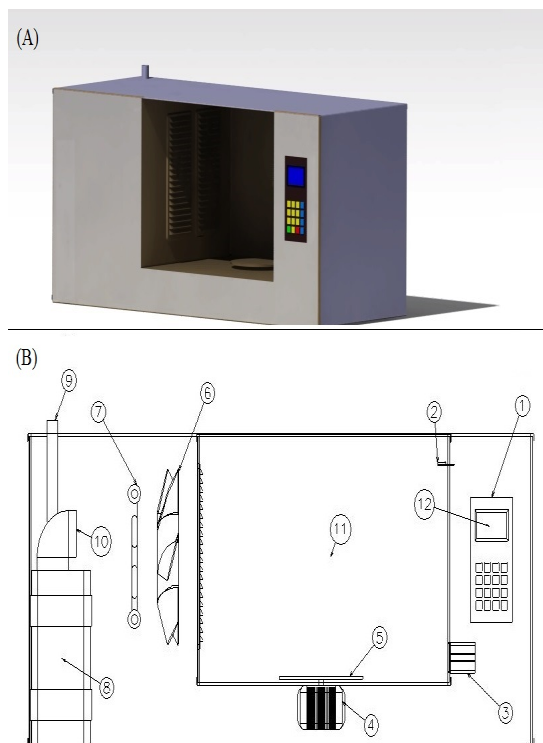
- قطعه بندی تصویر با استفاده از یک مقدار آستانه که از آنالیز هیستوگرام تصویر خاکستری به دست می آید. نتیجه این عمل یک تصویر دودویی خواهد بود که رنگ سیاه (با ارزش پیکسل برابر یک) پس زمینه را نشان می دهد و رنگ سفید (با ارزش پیکسل برابر صفر) نشانگر شیء می باشد.

- استخراج لبه و درون یابی یک زیرمجموعه از پیکسل های مرزی با استفاده از منحنی بی اسپلین بسته (نتیجه این عمل، یک تقریب پیوسته از مرز گسسته تصاویر دودویی خواهد بود) (شکل ۲).

در نهایت، منحنی های بی اسپلین که نشان دهنده مرزهای واقعی نمونه در یک زاویه دید خاص هستند، به ترتیب زاویه در کنار هم قرار داده می شوند تا حجم ایجاد کنند. با این کار، به واسطه منحنی های سطح مقطع بی اسپلین، یک سطح نرَبز بسته ایجاد می گردد. سطح حاصل به صورت یک شیء یکپارچه سه بعدی نمایش داده می شود. قابل ذکر است که تعداد بخش های منحنی های بی اسپلین باید با یکدیگر برابر باشد.

سپس با استفاده از یک ضریب تبدیل، اندازه های شیء از پیکسل به واحدهای (SI) در طی مرحله پردازش تصویر، تبدیل می شوند. این ضریب تبدیل با اندازه گیری مشخصات ابعادی یک شیء مرجع محاسبه می شود. نمایش محاسباتی شیء بازنمایی شده را می توان برای برآورد حجم و سطح رویه آن مورد استفاده قرار داد. همچنین از آن می توان به عنوان یک مدل هندسی در مدل سازی یک فرایند مهندسی و شبیه سازی و نیز بهینه سازی استفاده کرد.

برای محاسبه حجم و سطح رویه از روش قطعه بندی استفاده می شود. بدین صورت که، پس از بازسازی سه بعدی، شی در جهت ارتفاع بخش بندی شده و حجم و سطح رویه حاصل از مجموع حجم ها و سطح رویه های این بخش ها، و با استفاده از تابع انتگرال گیر نرم افزار (MATLAB) بدست می آید. بدیهی است که هر چه تعداد قطعات بیشتر باشد و به عبارتی فاصله بین قطعات کمتر شود، میزان دقت برآورد انجام شده بیشتر خواهد بود. در شکل (۲) مراحل مختلف پردازش تصویر، گرفته شده از شیء تحت یک زاویه معین، و تقریب مرز با یک منحنی بی اسپلین نمایش داده شده است.



**Fig 1.** (a) CAD model of the fermentation oven, (b) Schematic diagram of the fermentation oven; 1- Control box, 2- Temperature and humidity sensors, 3- Imaging camera, 4- Stepper motor, 5- Dough sample, 6- Propeller fan, 7- Heating element, 8- Humidifier, 9- Water inlet tube to the humidifier, 10- Humidity outflow tube, 11- Chamber, 12- Indicator

## ۲-۲- بازسازی سه بعدی

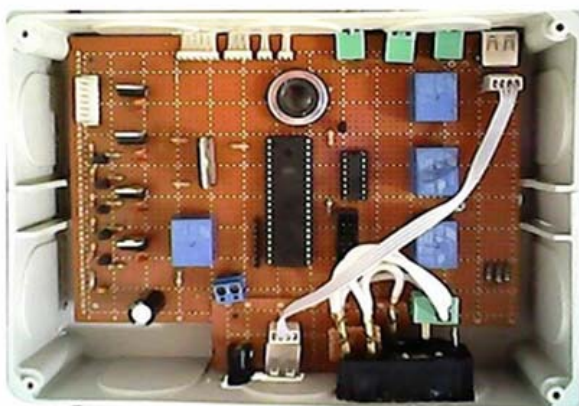
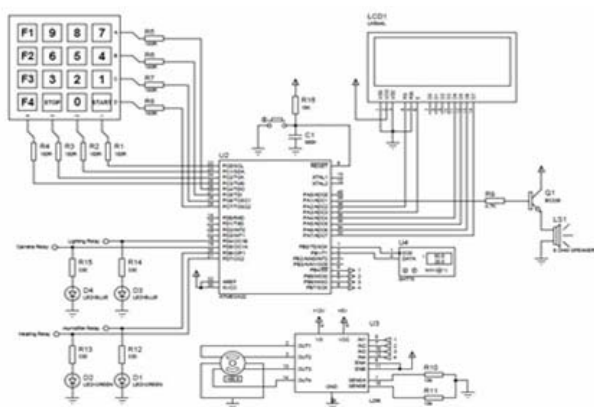
برای بازسازی نمونه خمیر به صورت سه بعدی در فضای رایانه، از نمونه مورد نظر در زوایای مختلف تصویر تهیه شد. برای این کار از یک سامانه بینایی کامپیوتر استفاده شد. این سامانه دارای یک دوربین دیجیتال است که به یک رایانه شخصی متصل می باشد و تصاویر پس از اخذ، در این رایانه با استفاده از برنامه از پیش نوشته شده پردازش می شوند. تصاویر با استفاده از یک صفحه پس زمینه که رنگ آن، رنگ مقابل رنگ نمونه است، گرفته شدند. انتخاب رنگ پس زمینه به منظور انجام موثر آشکارسازی مرزها موثر است، چرا که اگر کنتراست بین شیء و پس زمینه بدست آید، روند استخراج لبه شیء بهتر صورت می گیرد. هنگام تصویرگیری، لنز دوربین به طور عمود بر شیء قرار داده می شود.

در برنامه مورد نظر، لبه نامنظم تصاویر با روند زیر استخراج می شود:

- تبدیل تصاویر RGB اصلی به فرمت خاکستری (Gray-scale)

سازی های تخصصی و بر مبنای استانداردهای این حوزه می باشد.

پس از شبیه سازی و رفع عیوب احتمالی، کلیه مدارهای ذکر شده به صورت مجتمع و بر روی یک برد پیاده سازی شدند. بدین صورت که ابتدا برای اطمینان از سالم بودن تک تک قطعات، صحیح بودن مدارها و تست اولیه، مدار کلی روی چندین عدد برد پیاده شد و پس رفع اشکالات احتمالی، به یک برد فیبر مسی سوراخ دار انتقال داده شد. سپس محل ورودی ها و خروجی های جعبه تعیین و برد نهایی در داخل یک جعبه پلاستیکی  $15 \times 20 \times 7$  به طور ثابت قرار داده شد (شکل ۳).

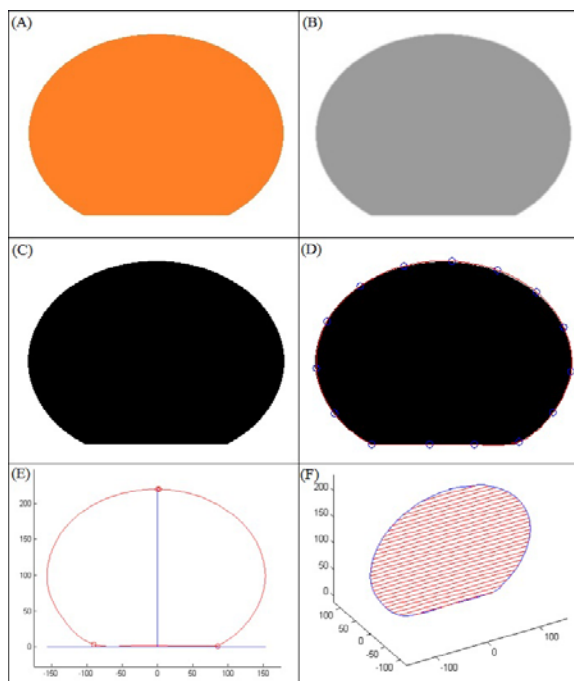


**Fig 3** Circuit simulation of the control panel in Proteus 8 software (up), Designed and implemented control circuit (down).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تاثیر فواصل زاویه ای

پس از پردازش تک تک تصاویر گرفته شده از زوایای مختلف، که بسته به فاصله زاویه ای متفاوت است، منحنی های بی اسپلاین حاصل برای تشکیل حجم و بازسازی نمونه در کنار



**Fig 2.** Image processing and boundary approximation over a dough sample; (a) Original RGB image was acquired from dough sample at a given angle, (b) Grey-scale representation of the RGB image, (c) Binary image obtained by thresholding of gray-scale image, (d) B-spline approximation of sample boundary using knots set, (e) B-spline curve of the sample and its central axis that the images taken at various angles are common, (f) 3D representation of the sample.

#### ۳-۲- شبیه سازی و پیاده سازی بخش کنترل

بخش کنترلی دستگاه آن تخمیر طراحی شده یکی از مهمترین قسمت های این دستگاه بوده و تأثیر زیادی روی عملکرد مناسب دستگاه خواهد داشت. قبل از پیاده سازی مدار کنترل حسگرهای دما و رطوبت نسبی و همین طور المنت حرارتی، دستگاه رطوبت ساز، رابط کاربری دستگاه، استپر موتور تصویرگیری و رابط اتصال به رایانه، با استفاده از نرم افزار پروتئوس بخش کنترلی دستگاه شبیه سازی شد (شکل ۳).

پروتئوس نرم افزاری برای طراحی خودکار مدارات الکتریکی است. این نرم افزار مجموعه ای از یک سیستم شبیه سازی مدارات بر مبنای مدل های اجزای الکتریکی در نرم افزار شبیه ساز مدارهای آنالوگ (Pspice) است. یکی از ویژگی های متمایز نرم افزار پروتئوس امکان مدل سازی از دستگاه های قابل برنامه ریزی مانند میکرو کنترلرها، میکرو پروسسورها، پردازشگرهای سیگنال دیجیتال (DSPs) و غیره می باشد. این برنامه شامل مدل هایی از اغلب قطعات الکترونیکی برای شبیه

همانطور که در جدول (۱ و ۲) مشاهده می شود، مقدار خطای چهار حالت تصویرگیری با فاصله زاویه ای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ پایین و نزدیک به هم بوده و تفاوت معناداری در میزان دقت تخمین آنها دیده نمی شود. اما در دو حالت تصویرگیری با گام چرخش ۱۵ و ۳۰ درجه نسبت به سه حالت گام چرخش ۴۵، ۶۰ و البته ۹۰ درجه، برنامه عملکرد بهتری در بازسازی سه بعدی داشت، بازسازی نمونه کروی با این دو گام چرخش توصیه می شود. از طرف دیگر چون در حالت تصویرگیری ۱۵ درجه تعداد تصاویر اخذ شده نسبت به حالت ۳۰ درجه دو برابر است و به همین ترتیب حجم و زمان محاسبات دو برابر می شود، بازسازی نمونه با فاصله زاویه تصویرگیری ۳۰ درجه از ارجحیت بیشتری برخوردار است. نکته دیگر عملکرد بهتر برنامه پردازش تصویر در تخمین حجم نسبت به تخمین مساحت سطح می باشد که در همه حالات تصویرگیری این برتری دیده می شود.

یکدیگر و حول محور مرکزی چیده می شوند. همانگونه که اشاره شد، برای برآورد سطح رویه و حجم، شیء در جهت ارتفاع قطعه بندی می شود. تعداد این قطعات قابل تنظیم بوده و باید به گونه ای باشد که افزایش تعداد تقسیمات تأثیر معناداری در مقادیر حجم و سطح رویه برآورد شده نداشته باشد. به عنوان نمونه، در شکل (۴) بازسازی شیء با استفاده از ۶ تصویر (با فاصله زاویه ای ۳۰ درجه) آورده شده است.

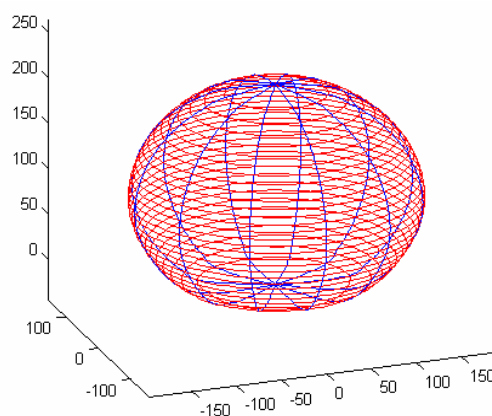


Fig 4 3D reconstruction of Dough sample using 6 images (with  $\pi/6$  rad of imaging span)

Table 1. Volume and surface area estimation errors for a spherical sample.

Imaging angular span	Volume (cm <sup>3</sup> )			Surface area (cm <sup>2</sup> )		
	measured	estimated	error	measured	estimated	error
$\pi/12$	523.60	517.64	1.14%	314.16	303.15	3.50%
$\pi/6$	523.60	517.55	1.16%	314.16	303.03	3.54%
$\pi/4$	523.60	517.84	1.10%	314.16	303.15	3.50%
$\pi/3$	523.60	519.18	0.84%	314.16	303.73	3.32%
$\pi/2$	523.60	525.30	0.32%	314.16	307.76	2.04%

Table 2. Volume and surface area estimation errors for a elliptical sample.

Imaging angular span	Volume (cm <sup>3</sup> )			Surface area (cm <sup>2</sup> )		
	measured	estimated	error	measured	estimated	error
$\pi/12$	628.32	579.72	7.73%	356.80	326.53	8.48%
$\pi/6$	628.32	579.20	7.82%	356.80	326.09	8.61%
$\pi/4$	628.32	577.49	8.09%	356.80	326.39	8.52%
$\pi/3$	628.32	567.26	9.72%	356.80	323.26	9.40%
$\pi/2$	628.32	578.23	7.97%	356.80	328.93	7.81%

همانگونه که از دو شکل (۵) و (۶) مشخص است، از تعداد تقسیمات ارتفاع ۵۰۰ به بعد بهبود چندانی در تخمین بهتر مقادیر حجم و مساحت سطح نمونه دیده نمی شود. تعداد تقسیم ارتفاع ۵۰۰ به معنای فواصل ارتفاعی ۰,۰۲ میلی متر می باشد و با توجه به اینکه ارتفاع نمونه مورد نظر ۱۰۰ میلی متر می باشد، انتخاب این فاصله ارتفاعی معقول به نظر می رسد. با انتخاب فاصله ارتفاعی ۰,۰۲ میلی متر، مقدار خطای برنامه در تخمین حجم نسبت به حجم واقعی ۱,۱۶٪، و مقدار خطا در تخمین مساحت سطح نسبت به مقدار واقعی ۳,۵۴٪ می باشد. قابل ذکر است، این شکل ها و مقادیر مربوط به تخمین حجم و مساحت سطح یک کره با قطر ۱۰ سانتی متر است که در حالت فواصل زاویه ای ۳۰ درجه تخمین زده شده اند.

#### ۴- نتیجه گیری

فرایندهای فراوری خمیر و آماده سازی آن برای تولید نان از اهمیت ویژه ای برخوردار است و تاثیر مستقیمی بر کیفیت و ماندگاری نان تولید شده خواهد داشت. در این تحقیق، طراحی، توسعه و ساخت یک آون تخمیر تحقیقاتی به منظور مطالعه رفتار یک نمونه خمیر طی فرایند تخمیر مورد نظر قرار گرفت. حجم خمیر نان، به لحاظ ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی این محصول و نیز به دلیل لزوم انجام اندازه گیری تحت شرایط واقعی فرایند، با روش های معمول اندازه گیری حجم و چگالی، از قبیل روش جابجایی در مایع، قابل اندازه گیری نمی باشد. لذا دستگاه تخمیر جدیدی، مبتنی بر بینایی کامپیوتر و پردازش تصویر دیجیتال ارائه شد. در این روش، حجم نمونه به صورت سه بعدی بازسازی شده و کمیت های حجم و مساحت سطح رویه در حال تغییر آن برآورد می شود. از این آون تخمیر می توان در آزمایشگاه های غلات، تحقیقات دانشگاهی و کارخانجات تولید آرد و سایر مواد افزودنی صنایع نانوایی استفاده کرد.

#### ۵- منابع

- [1] Goni, S.M., Purlis, E., & Salvadori, V.O., (2007), Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs, *Journal of Food Engineering*, 82, p. 536–547.
- [2] Upadhyay, R., Debjani, G., & Mehra, A. (2012), Characterization of bread dough:

قابل ذکر است که خطای تخمین برنامه طبق رابطه زیر محاسبه شد:

مقدار واقعی / (مقدار برآورد شده - مقدار واقعی) = خطای تخمین  
که در آن مقدار واقعی برابر با حجم و مساحت سطح محاسبه شده است.

#### ۳-۲- تاثیر فواصل ارتفاعی

پس از مدل کردن نمونه به صورت سه بعدی در محیط نرم افزار MATLAB، برای تخمین حجم و مساحت سطح، نمونه مدل شده به چند قطعه با ارتفاع برابر تقسیم شد. ارتفاع هر یک از این قطعات برابر ارتفاع کل مدل تقسیم بر تعداد قطعات خواهد بود. فواصل ارتفاعی می بایست به صورت بهینه تنظیم گردد تا هم به لحاظ دقت، برنامه بهترین تخمین را در مورد حجم و مساحت سطح رویه مدل بدست دهد، و هم اینکه با افزایش بی مورد در تعداد تقسیمات، باعث افزایش بی رویه حجم محاسباتی برنامه نشود (شکل ۵ و ۶).

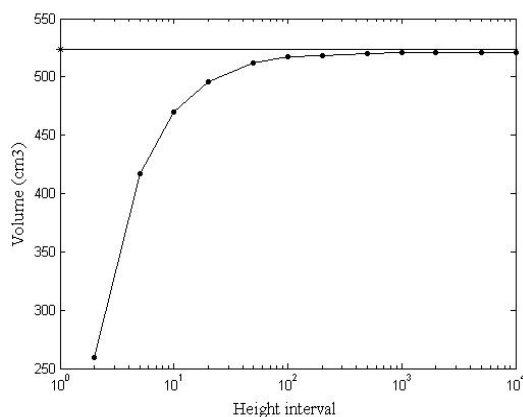


Fig 5 Effect of height fragmentation number on estimated volume.

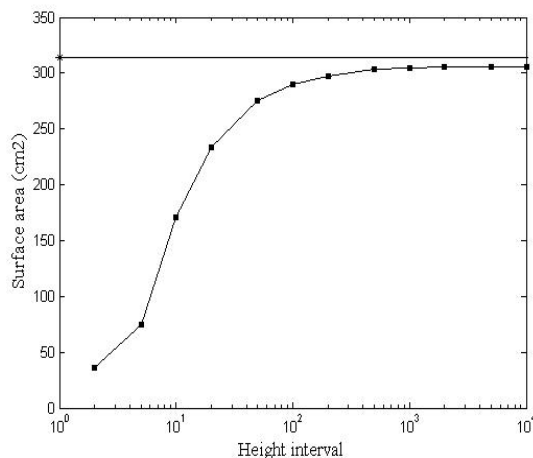


Fig 6 Effect of height fragmentation number on estimated surface area.

- digital images, *European Food Research Technology*, 226, p. 721–729.
- [8] Lassoued, N., Babin, P., Della Valle, G., Devaux, M.F., & Reguerre, A.L., (2007), Granulometry of bread crumb grain: contributions of 2D and 3D image analysis at different scale, *Food Research International*, 40, p. 1087–1097.
- [9] Scanlon, M.G., & Zghal, M.C., (2001), Bread properties and crumb structure, *Food Research International*, 34(10), p. 841–864.
- [10] Ktenioudaki, A., Butler, F., Gonzales-Barron, U., Mc Carthy, U., & Gallagher, E., (2009), Monitoring the dynamic density of wheat dough during fermentation, *Journal of Food Engineering*, 95, p. 332–338.
- [11] Soleimani Pour-Damanab, A., Jafary, A., & Rafiee, S., (2011), Monitoring the dynamic density of dough during fermentation using digital imaging method, *Journal of Food Engineering*, 107(1), p. 7-13.
- [12] Verdu, S., Ivorra, E., Sanchez, A.J., Barat, J.M., & Grau, R., (2015), Relationship between fermentation behaviour, measured with a 3D vision Structured Light technique, and the internal structure of bread, *Journal of Food Engineering*, 146, p. 227–233.
- Rheological properties and microstructure, *Journal of Food Engineering*, 109(1), p. 104-113.
- [3] Pérez-Nieto, A., Chanona-Perez, J.J., Farrera-Rebollo, R.R., Gutierrez-Lopez, G.F., Alamilla-Beltran, L., & Calderon-Dominguez, G., (2010), Image analysis of structural changes in dough during baking, *LWT Food Science and Technology*, 43, p. 535-543.
- [4] Falcone, P.M., Baiano, A., Zanini, F., Mancini, L., Tromba, G., & Dreoss D., (2005), Three-dimensional quantitative analysis of bread crumb by X-ray microtomography, *Journal of Food Science*, 70(4), p. 65–72.
- [5] Zuniga, R., & Le-Bail, A., (2009), Assessment of thermal conductivity as a function of porosity in bread dough during proving, *Food and Bioproducts Processing*, 87(1), p. 17–22.
- [6] Lucas, T., Grenier, D., Bornert, M., Challos, S., & Quellec, S., (2010), Bubble growth and collapse in pre-fermented doughs during freezing, thawing and final proving, *Food Research International*, 43, p. 1041–1048.
- [7] Gonzalez-Barron, U., & Butler, F., (2008), Fractal texture analysis of bread crumb



## Design and fabrication of a pilot fermentation oven for monitoring the dynamic density of bread dough

Soleimani Pour, A. R. <sup>1\*</sup>, Chegini, Gh. R. <sup>2</sup>

1. PhD Student of Agrotechnology Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Associate Professor of Agrotechnology Department, College of Aburaihan, University of Tehran. Tehran, , Iran.

(Received: 2016/04/03 Accepted: 2016/12/05)

Examination of amount and rate of bread dough expansion during its processing and preparing for baking has significant importance, due to both of determining environmental conditions governing to the process, and inspecting flour and other dough contents quality. In current research, a new approach is presented based on image processing and radial projection technique, which reconstruct the dough sample as 3D image by B-spline curves and estimate its changing volume and surface area during the fermentation process. The estimation error of volume and surface area of a virtual spherical sample was 1.16% and 3.54%, respectively. Also, the results showed that about tested standard samples,  $\pi/6$  rad of imaging span was the best condition, hence of computation volume, estimating time, reconstruction quality and estimation accuracy. The method is developed and implemented as a research devise under titled "pilot Fermentation Oven". We conclude that the presented oven could be confidently used in bread dough density testing's.

**Keywords:** Wheat flour, Fermentation, Dynamic density, Image processing.

---

\* Corresponding Author E-mail Address: [asoleimani@ut.ac.ir](mailto:asoleimani@ut.ac.ir)