



بررسی تغییر بافت ورقه‌های نازک سیب طی فرایند خشک شدن در خشک کن هیبریدی هوای داغ-مایکروویو پالسی با استفاده از پردازش تصویر و روش سطح پاسخ

ناهد عقیلی ناطق^{۱*}، ابولفضل قلیخانی^۲، شاهین رفیعی^۳، سلیمان حسین پور^۳، محمود امید^۳ و سید سعید محتسبی^۳
۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری، کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری
دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: n.aghili@ut.ac.ir

چکیده

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است ولی به علت امکان بروز برخی تغییرات نامطلوب در ماده غذایی خشک شده، کنترل این فرآیند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق، تغییرات بافت لایه نازک سیب با استفاده از تکنیک پردازش تصویر در خشک کن ترکیبی هوای داغ-مایکروویو پالسی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های هوای داغ-مایکروویو پالسی با در نظر گرفتن بازه سرعت ۱-۲ متر بر ثانیه، دمای ۸۰-۴۰ درجه سلسیوس، توان مایکروویو ۶۰۰-۲۰۰ وات و نسبت پالس ۶-۲، با استفاده از روش سطح پاسخ تعیین گردیدند. تحلیل نتایج نشان داد که باگذشت زمان و کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها، مقادیر درصد انرژی و آنتروپی باند جریبات حاصل از تبدیل موجک و انرژی حاصل از ماتریس همرویدادی و انرژی طیف فوریه کاهش یافت که این مطلب نشان‌دهنده ایجاد اعوجاج، چین و چروک و همچنین توزیع نامنظم رنگ بر روی سطح نمونه‌ها در طول فرایند خشک کردن می‌باشد.

کلید واژگان: پردازش تصویر، خشک کن ترکیبی، ماتریس همرویدادی، تبدیل فوریه و تبدیل موجک

مقدمه

خشک کردن یکی از روش‌های اصلی، نگهداری مواد غذایی می‌باشد. هدف از خشک کردن، کاهش آب تا یک سطح مشخص برای کاهش فعالیت میکروبی است (اکپینار و همکاران، ۲۰۰۵). خشک کردن به روش هوای داغ از قدیمی‌ترین روش‌های خشک کردن است. بیش از ۸۵ درصد خشک کن‌های صنعتی از این نوع می‌باشند. معایب این خشک کن‌ها مصرف بالای انرژی و کیفیت پایین است (اکپینار و همکاران، ۲۰۰۵؛ متولی و همکاران، ۲۰۱۱). به نظر می‌رسد کاربرد



انرژی میکروویو در ترکیب با این روش خشک کردن، روش مناسبی برای غلبه بر این مشکلات است (ودیومبال و جایس، ۲۰۰۷؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۴). در نمونه‌های کوچک اثر تجمعی میکروویو بصورت تابعی از زمان می‌تواند باعث بیش داغی در محصول گردد. در چنین مواردی گرمادهی پالسی مناسب است (گونایکاران و یانگ، ۲۰۰۷). بافت یکی از شاخص‌های کلیدی مواد غذایی است. بافت نامناسب بر خواص ماده غذایی خشک شده مانند طعم، قابلیت هضم، توانایی جذب مجدد آب و قابلیت انبارداری و جابجایی تاثیر می‌گذارد. و این خواص ممکن است بازار پسندی محصول را کاهش دهند. بنابراین شناخت و کنترل کردن پارامترهای بافت در طی خشک نمودن اهمیت زیادی برای مهندسی مواد غذایی دارد (حسین پور و همکاران، ۲۰۱۵). در سال‌های اخیر با پیشرفت صنعت مواد غذایی و نیاز به روش‌های نوین برای کنترل کیفیت، توجه زیادی به استفاده از بینایی ماشین در اتوماسیون کنترل کیفیت محصولات غذایی معطوف شده است. در سال ۲۰۰۵ مارتینکو از کشور کانادا در رساله دکتری خود با عنوان کنترل فرایند خشک شدن گیاه دارویی جینسینگ مبتنی بر ماشین بینایی، کنترل فرایند خشک شدن این گیاه را با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و با استفاده از تغییر سطح و تغییر رنگ بررسی نمودند (مارتینکو، ۲۰۰۵). محبی از دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۸۵ در رساله دکتری خود با عنوان کاربرد ماشین بینایی در خشک کردن میگو، فرایند سینتیک خشک کردن و آبرگیری مجدد میگو را بررسی کرده است (محبی و همکاران، ۱۳۸۵). در سال ۲۰۱۱ حسین پور از ایران در رساله دکتری خود با عنوان طراحی، ساخت و ارزیابی سیستم کنترل بهینه مبتنی بر ماشین بینایی و منطق فازی برای فرایند خشک کردن لایه نازک میگو از ماشین بینایی برای کنترل فرایند خشک نمودن و با استفاده از تغییر سطح، تغییر رنگ، یافت استفاده کرد (حسین پور، ۱۳۹۰). ابراهیمی و همکاران در سال ۲۰۱۳ از تکنیک پردازش تصویر جهت بررسی پدیده قهوه‌ای شدن لایه نازک موز در خشک کن هوای داغ استفاده نمودند (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها، روش سطح پاسخ می‌باشد. این روش مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توسعه، بهبود و بهینه‌سازی فرآیندهایی به کار می‌رود که در آن‌ها سطح مورد نظر تحت تاثیر متغیرهای بسیاری قرار داشته و هدف بهینه کردن پاسخ مزبور است. یکی از کاربردهای مهم این روش استفاده از آن به منظور کاهش تعداد آزمایش‌ها در صنایع مختلف است (سجادی، ۱۳۸۵). روش سطح پاسخ و تکنیک‌های هوش مصنوعی (همانند منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک) مدل‌های مبتنی بر تجربه هستند که به طور گسترده در مدل کردن فرآیندهای غذایی با توجه به پیچیدگی واکنش‌ها و ساختار ناهمگون محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (کارگذاری، ۱۳۸۶). تاکنون تحقیقی در زمینه استفاده از ماشین بینایی در فرایند خشک کردن مواد غذایی در خشک کن میکروویو و خشک کن‌های ترکیبی میکروویو-هوای داغ انجام نشده است. این در حالی است که به دلیل خشک شدن سریع نمونه در خشک کن میکروویو و افزایش سریع دمای نمونه در آن، ممکن است با خروج نمونه از خشک کن و عکس گرفتن، دقت کار به شدت کاهش یابد بنابراین بصورت بر خط در حین خشک شدن نمونه در خشک کن ترکیبی هوای داغ-میکروویو پالسی، به بررسی تغییر شاخص یافت نمونه‌ها پرداختیم.



مواد و روش‌ها

روش تهیه نمونه

در این تحقیق از سیب رقم رد دلشز که از بازار میوه و تره بار کرج تهیه شد، استفاده کردیم و به منظور کاهش تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی تا لحظه آزمایش در یخچال نگه‌داری شدند. برای تعیین وزن خشک سیب، ابتدا سیب پوست گرفته و بدون هسته را وزن کرده و سپس در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۸ ساعت قرار داده شدند (بی نام، ۲۰۰۱). محتوای رطوبت اولیه سیب در حدود ۸۴٪ - ۸۶٪ بر پایه تر بدست آمد.

نحوه انجام آزمایش‌ها

۲ آزمایش هوای داغ- مایکروویو پالسی با در نظر گرفتن بازه سرعت ۲-۱ متر بر ثانیه، دمای ۸۰-۴۰ درجه سلسیوس، توان مایکروویو ۶۰۰-۲۰۰ وات و نسبت پالس ۶-۲ با استفاده از روش سطح پاسخ و طرح باکس بنکن تعیین گردیدند. بطوری که نسبت پالس به کمک رابطه زیر تعریف گردید:

$$PR = (t_{on} + t_{off})/t_{on} \quad (1)$$

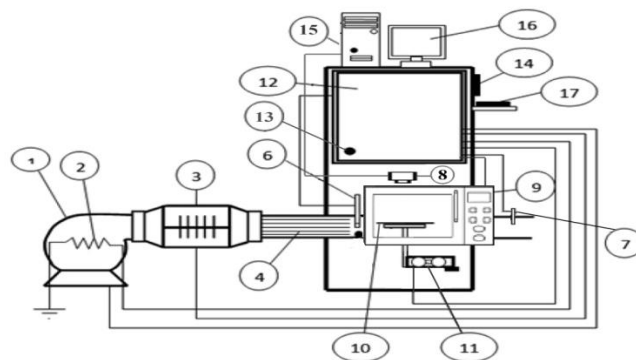
۳۰ ثانیه روشن و ۳۰ ثانیه خاموش (نسبت پالس = ۲)، ۲۰ ثانیه روشن و ۴۰ ثانیه خاموش (نسبت پالس = ۳) و ۱۰ ثانیه روشن و ۵۰ ثانیه خاموش (نسبت پالس = ۶)

برای انجام هر یک از آزمایش‌ها مقدار جرم نمونه سیب داخل دستگاه ۱۳۰ گرم و ضخامت ورقه‌های سیب ۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای انجام آزمایش‌ها، از یک خشک‌کن ترکیبی (شکل ۱) لایه نازک آزمایشگاهی ساخته شده در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی استفاده شد [۹، ۱۴ و ۱۵]. خشک‌کن ترکیبی شامل مایکروویو، فن سانتریفوژ (دمنده، BEF- 25/25F4T, 6300 m³/hr)، کانال عبور جریان هوا، ۴ المنت حرارتی (یک عدد المنت ۷۵۰ وات در بالای فن به منظور پیش گرم کردن جریان هوا، ۳ المنت ۲۰۰۰ وات در طول کانال به منظور گرم کردن جریان هوا)، لوله های مستقیم کننده، واحد کنترل، لودسل تک نقطه‌ای (TedeA, Huntleigh, model 1004)، حسگرهای اندازه گیری دما (PT-100 temperature sensor)، محفظه خشک‌کن و محفظه روشنایی و تصویر برداری است. واحد کنترل شامل کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی (PLC, FATEK, Fbs-20MA)، مبدل دیجیتال به آنالوگ (FATEK, Fbs-4DA)، مبدل آنالوگ به دیجیتال (FATEK, Fbs- 6AD)، یک منبع ولتاژ ۱۲ ولتی (Acro, AD1048-24FS)، فرستنده لودسل (ESiTT, TR- 3,turkey)، یک متناوب‌ساز^۱ کنترل سرعت فن (Rhymebus, RM5E-2002)، کنترل کننده (Autonics, SPCI-35) به منظور کنترل ولتاژ المنت ها و برد حسگرهای دما و رطوبت است. تمام اطلاعات مورد نیاز، در یک یارانه (PC) از طریق PLC و برنامه نوشته شده در Matlab 2014a، انتقال و ذخیره می‌شود. یک دوربین وب کم برای گرفتن تصاویر از نمای بالا به ابعاد ۱۶۰۰×۲۰۰۰

^۱ inverter



پیکسل مورد استفاده قرار گرفت که محل قرارگیری آن در بالای محفظه نمونه‌ها قرار داشت. شرایط روشنایی به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای گرفتن عکس‌های با کیفیت بالاست، بدین منظور، برای نورپردازی محیط جهت عکاسی از ۳ مجموعه SMD استفاده شد. در نهایت تصاویر گرفته شده و اطلاعات ارسالی از حسگرها در یک رایانه ذخیره سازی شد. ابعاد خارجی اتاقک میکروویو خانگی (ساخت شرکت LG) $26 \times 30 \times 38$ سانتی‌متر بود. اجزای تشکیل دهنده میکروویو عبارت بودند از مگنترون (ساخت شرکت Samsung، مدل OM75P) با فرکانس 2465 مگا هرتز، ترانسفورماتور ولتاژ بالا (220 ولت به 2100 ولت)، خازن ولتاژ بالا ($0.95 \mu F AC$) و دیود.



شکل ۱- شماتیک کن هیبریدی استفاده شده: ۱- فن سانترفیوژ ۲- المنت حرارتی فن ۳- المنتهای حرارتی ۴- لوله‌های مستقیم کننده ۶- حسگر رطوبت نسبی و دما (قبل سینی نمونه‌ها) ۷- حسگر دما (بعد سینی نمونه‌ها) ۸- دوربین نمای فوقانی ۹- میکروویو ۱۰- سینی نمونه‌ها ۱۱- نیروسنج ۱۲- واحد کنترل ۱۳- حسگر دما هوا ۱۴- رابط گرافیکی کاربر (HMI) ۱۵- رایانه ۱۶- مانیتور ۱۷- صفحه کلید (حسین پور، ۱۳۹۰؛ عابدینی، ۱۳۹۲؛ قلیخانی، ۱۳۹۳).

استخراج پارامترهای بافت تصویر

بررسی تغییر بافت تصویر نمای فوقانی نمونه‌های روی سینی در طول فرایند خشک کردن با استفاده از سه روش ماتریس هم‌رویدادی^۲ (روش آماری)، تبدیل فوریه و تبدیل موجک (روش‌های طیفی) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. به منظور استخراج ویژگی‌های بافت سیب و بررسی تغییر آن‌ها در طول فرایند خشک کردن ابتدا بایستی برگه‌های سیب از زمینه جدا گردند و سپس برای اصلاح عدم یکنواختی‌ها، عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر صورت گیرد و در نهایت با استفاده از الگوریتم‌های طراحی شده و کدنویسی شده در محیط نرم‌افزار متلب (MATLAB 2014a) پارامترهای مربوط به بافت نمونه‌ها محاسبه می‌گردد.

¹ Co-occurrence matrix



پارامترهای مختلفی از قبیل انرژی، تقابل، همبستگی و یکنواختی حاصل از ماتریس هم‌رویدادی، انرژی طیف فوریه و همچنین میانگین درصد انرژی و درصد آنتروپی باندهای جزییات به دست آمده از تبدیل موجک به منظور بررسی سینتیک تغییر بافت نمونه‌ها مد نظر قرار گرفتند. در این تحقیق نیز مانند روشی که فرناندز و همکاران (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۵) برای بررسی سینتیک بافت تصویر ورقه‌های سیب در طول فرایند خشک کردن به کار بردند از فاصله یک پیکسلی و تعداد ۲۵۶ سطح روشنایی برای استخراج ماتریس هم‌رویدادی استفاده شد با این تفاوت که ماتریس‌های هم‌رویدادی برای راستاهای مختلف صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه محاسبه و سپس از پارامترهای به دست آمده برای راستاهای مختلف میانگین گرفته شد. لازم به ذکر است که برای بررسی انرژی جزییات تصویر، از انرژی به دست آمده از طیف فوریه بدون در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به فرکانس صفر استفاده شد. با استفاده از موجک Daubechies2 در سه سطح اطلاعات مربوط به اعوجاج و چین و چروک روی سطح نمونه‌ها را در طول فرایند خشک کردن استخراج نمودیم. پارامتر انرژی بدست آمده از ماتریس هم‌رویدادی نشان دهنده میزان توزیع یکنواخت رنگ در سطح نمونه است در حالی که تقابل معیاری از مقدار تنوع‌های محلی در تصویر است و مقدار آن برابر صفر برای تصویر یکنواخت است. همچنین پارامترهای همبستگی و یکنواختی میزان وابستگی‌های خطی تن خاکستری و یکنواختی پیکسل‌ها با مقدار غیر صفر در یک تصویر را نشان می‌دهند.

شکل‌های (۲) تا (۹) نمودارهای پارامترهای استخراج شده انرژی، تقابل، همبستگی و یکنواختی به دست آمده از ماتریس هم‌رویدادی را در مقابل نسبت رطوبت یک نمونه در طی فرایند خشک کردن را نشان می‌دهند. همانطور که از شکل‌های مذکور به دست می‌آید، با گذشت زمان و کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها، مقادیر انرژی و یکنواختی کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند نتیجه توزیع غیریکنواخت شدت رنگ بر روی نمونه‌های سیب باشد. که دلیل آن می‌تواند زمان طولانی خشک شدن و یا انعکاس نامناسب نور به دلیل خمش نمونه‌ها و تولید محصول غیریکنواخت باشد. با گذشت زمان و کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها، مقدار تقابل افزایش می‌یابد که زمان طولانی خشک شدن و ایجاد تغییرات فیزیکی شیمیایی دلایل اصلی برای تنوع محلی بزرگ‌تر و تولید محصول غیریکنواخت بودند. نتایج فوق نشان می‌دهند که با کاهش محتوای رطوبتی، نمونه‌هایی با بافت نامنظم در سطح تولید شدند. فرناندز و همکاران نیز نتایج مشابهی را در مورد تغییر بافت تصویر ورقه‌های سیب (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۵) و حسین پور و همکاران نیز در مورد تغییر بافت تصویر میگو در طول فرایند خشک کردن با هوای داغ گزارش کردند (حسین پور و همکاران، ۲۰۱۵). اثر هیچ یک از پارامترهای دما، توان، سرعت و نسبت پالس بر همبستگی، تقابل، یکنواختی و انرژی بدست آمده از ماتریس هم‌رویدادی معنی‌دار نبود.

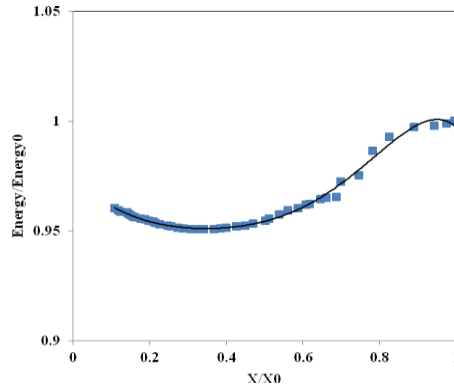
نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی



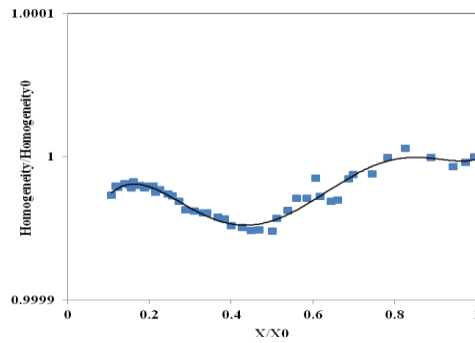
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

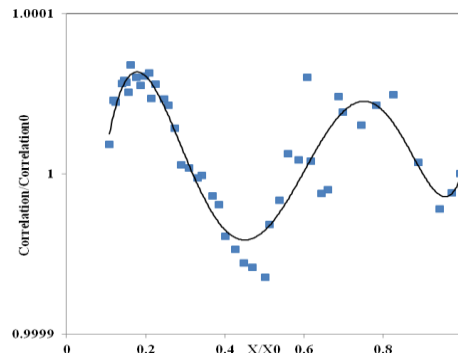
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



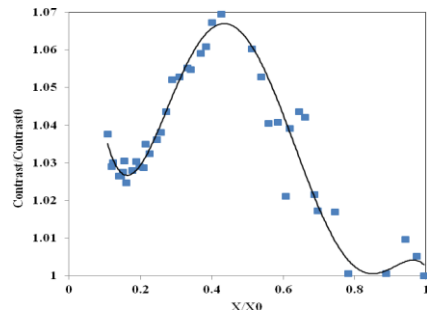
شکل ۲- اندازه نرمال شده انرژی به دست آمده از ماتریس هم‌رویدادی



شکل ۳- اندازه نرمال شده یکنواختی به دست آمده از ماتریس هم‌رویدادی

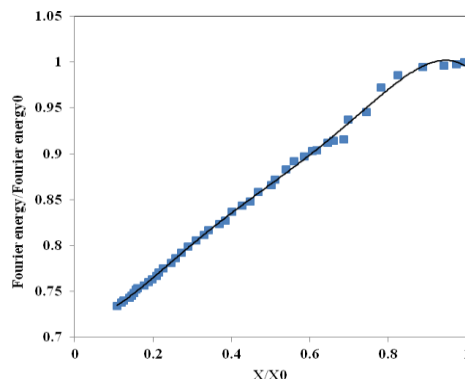


شکل ۴- اندازه نرمال شده همبستگی بدست آمده از ماتریس هم‌رویدادی

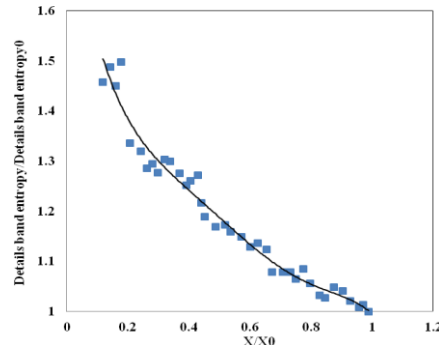


شکل ۵- اندازه نرمال شده تقابل بدست آمده از ماتریس هم‌رویدادی

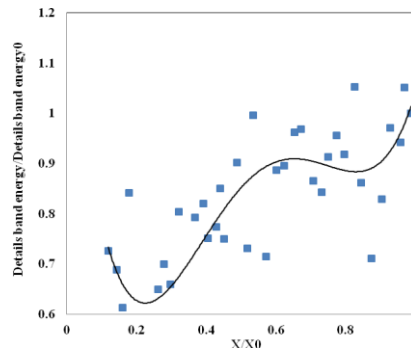
انرژی طیف فوریه نشان دهنده میزان غیریکنواختی و نامنظمی الگوی بافت بر روی سطح محصول حین خشک شدن است. نمودار مربوط به تغییرات انرژی طیف فوریه در مقابل نسبت رطوبت در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با گذشت زمان و کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها انرژی حاصل از طیف فوریه کاهش یافت. نتیجه به دست آمده نشان دهنده نامتناوب‌تر و نامنظم‌تر شدن جزئیات مربوط به تصویر سطح فوقانی نمونه‌های موجود بر روی سینی در طول فرایند خشک کردن می‌باشد. این نتیجه احتمالاً به دلیل تشکیل منافذ بزرگ و تنش‌های باقی‌مانده داخل نمونه باشند، جوشیدن سریع آب و انبساط بخار دلایل اصلی توسعه منافذ هستند. پارامتر توان اثر معنی‌داری را در سطح ۱٪ بر روی انرژی حاصل از طیف فوریه نشان داد ($P < 0.01$). بطوری‌که با افزایش آن انرژی طیف فوریه کاهش یافت. یک مدل درجه یک بر این پارامتر برازش و معنی‌دار گردید. با توجه به این مدل توان بیشترین تاثیر را بر پارامتر مذکور با توجه به ضریب رگرسیونش داشتند. خروجی تبدیل موجک در سه سطح بر روی تصاویر آزمایش‌ها یک تصویر با وضوح پایین (حاصل از باند تخمین) و ۹ تصویر جزئی (حاصل از باند جزئیات) بود. از آنجا که تصویر حاصل از باند تخمین دارای انرژی پایینی است از آن نمی‌توان جهت بررسی سیتیک تصویر استفاده نمود (سملر و همکاران، ۲۰۰۵؛ وور و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین از میانگین تصاویر جزئی ایجاد شده جهت بررسی بافت تصویر توسط شاخص‌های انرژی و آنتروپی استفاده گردید.



شکل ۶- اندازه نرمال شده انرژی به دست آمده از طیف فوریه



شکل ۷- اندازه نرمال شده میانگین آنژی به دست آمده از باندهای جزئیات



شکل ۸- اندازه نرمال شده میانگین آنژی به دست آمده از باندهای جزئیات

نمودارهای مربوط به مقادیر نرمال شده پارامترهای میانگین آنژی و انرژی باند جزئیات حاصل از تبدیل موجک را مقابل نسبت رطوبت در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با گذشت زمان و کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها، مقدار میانگین انرژی باند جزئیات کاهش یافت در حالی که آنژی آن افزایش یافت که این مطلب نشان‌دهنده نامنظم‌تر شدن توزیع رنگ بر روی سطح نمونه‌ها در طول فرایند خشک کردن می‌باشد. توان اثر معنی‌داری را در سطح ۱٪ بر روی میانگین آنژی باند جزئیات حاصل از تبدیل موجک نشان داد. بیشترین تاثیر را با توجه به ضریب رگرسیون آن در مدل خطی برآزش شده، توان نشان داد. مدل خطی با ضریب تعیین ۴۵٪ معنی‌دار گردید. هر سه روش ماتریس هم‌رویدادی، تبدیل فوریه و موجک نتایج مشابهی مبنی بر افزایش غیر یکنواختی توزیع رنگ و افزایش چین و چروک بر روی نمونه‌ها نشان دادند.

نتیجه‌گیری

باگذشت زمان و کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها، مقادیر درصد انرژی و آنژی باند تخمین کاهش یافت که این مطلب نشان‌دهنده ایجاد اعوجاج، چین و چروک و همچنین توزیع نامنظم‌تر رنگ بر روی سطح نمونه‌ها در طول فرایند خشک



کردن می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد به کمک ماشین بینایی در خشک کن هیبریدی (هوای داغ- مایکروویو) میتوان به بررسی سینتیک تغییر بافت محصول پرداخت.

منابع

۱. حسین پور، س. ۱۳۹۰. طراحی، ساخت و ارزیابی سیستم کنترل بهینه مبتنی بر ماشین بینایی و منطق فازی برای فرایند خشک کردن لایه نازک میگو. رساله دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۲. سجادی، س. ج. ۱۳۸۵. بهینه‌سازی در طراحی آزمایشات. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
۳. عابدینی، م. ۱۳۹۲. توسعه و ارزیابی خشک کن هوای داغ و مایکروویو. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۴. قلیخانی، ا. ۱۳۹۳. توسعه و ارزیابی خشک‌کن لایه نازک مجهز به سامانه تولید امواج مایکروویو و تصویربرداری روی خط. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۵. کارگذاری، م. ۱۳۸۶. بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی هویج با استفاده از روش سطح پاسخ. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.
۶. محبی، م. اکبرزاده توتونچی، م.ر. شهیدی ف. و پورشهایی، م.ر. ۱۳۸۵. بررسی امکان کاربرد ماشین بینایی و شبکه عصبی در پیش‌بینی میزان رطوبت میگوی خشک شده. چهارمین کنفرانس ماشین‌بینایی و پردازش تصویر ایران، ۲۶-۲۵ بهمن، دانشگاه فردوسی مشهد.
7. Akpinar, E.K. Midilli, A. and Bicer, Y. 2005. Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer. *Energy Conversion and Management*, 46, 2530–2552.
8. Anonymous. 2001. ASAE standards: Thin layer drying of grains and crops. ASAE S448 DEC93.
9. Bains, R. and Langrish, T.A.G. 2007. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 330-343
10. Ebrahimi, M.A. Mohtasebi, S.S. Rafiee Sh. and Hosseinpour, S. 2013. Using online image processing technique for measurement the browning in banana during drying (a new and automatic method). *CIGR Journal*, 15:220-227.
11. Fernandez, L. Castillero C. and Aguilera, J.M. 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. *Journal of Food Engineering*, 67, 185-193.
12. Gunasekaran, S. and Yang, H.W. 2007. Optimization of pulsed microwave heating. *Journal of Food Engineering*, 78, 1457–1462.



13. Hosseinpour S. Rafiee, S. Aghbashlo M. and Mohtasebi, S.S. 2015. Computer Vision System (CVS) for In-line Monitoring of Visual Texture Kinetics during Shrimp (*Penaeus spp.*) Drying. *Drying Technology*, 0: 1–17
14. Martynenko, A. 2005. Computer-vision control system for ginseng drying. Ph.D thesis, School of Engineering, University of Guelph.
15. Motevali, A. Minaei, S. Khoshtaghaza, M.H. Amirnejat, H. 2011. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy*; 36, 6433-6441.
16. Semler, L. Dettori L. and Furst, J. 2005. Wavelet-based Texture Classification of Tissues in Computed Tomography. *Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'05)*
17. Vadivambal, R. and Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. *Biosystems Engineering*, 98, 1-16
18. Wang, J. Xiong Y. S. and Yu, Y. 2004. Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research and Technology*, 219, 500–506.
19. Wouwer, G.V. Scheunders, P. Livens, S. Van Dyck, D. 1999. Wavelet correlation signatures for color texture characterization. *Pattern Recognition*, 32, 443-451.



Study change of image texture of dried apple slices during drying with intermittent microwave-air drying with using image processing and RSM

Abstract

Drying is one of the old methods used for preserving foods; however, due to possible occurrence of some undesirable changes in dried foods, its control is specifically important. In this study, change of image texture of thin layer drying of apple was investigated. Then experiments of intermittent microwave –convective drying were determined with considering power 200 to 600 W, PR 2 to 6 and velocity at 1 to 2 m/s and temperature 40 to 80°C with using response surface methodology and Box-Behnken design. The data received from the temperature sensors, relative humidity, load cell, and also the data received from the top view camera in during drying experiments were used to extract the features related to image texture of the samples. With over time and reduce the moisture content of the sample, the amount of energy and entropy details band of wavelet transform and energy of Co-occurrence matrix and Fourier spectrum reduced that indicating distortion, shrinkage and irregular distribution of color on the sample surface during the drying process.

Key words: image processing vision, image texture, intermittent microwave drying