

استفاده از تحلیل تصویر و شاخص بعد برخالی در آنالیز سطح قطعات گوشت شترمرغ، حین سرخ شدن به روش عمیق

محمد رضا امیریوسفی^{۱*} - محبت محبی^۲ - فرامرز خدائیان^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۷

چکیده

نظر به اینکه بسیاری از فرآیندهای انجام شده روی غذا به پیچیدگی ویژگی‌های سطحی آن بستگی دارد، آنالیز تصویر سطح غذاها مورد توجه قرار گرفته است. هندسه برخالی مفهوم نوینی است که امکان توصیف کمی پیچیدگی‌های اشکال طبیعی را فراهم می‌کند. در تحقیق حاضر برای معرفی یک روش غیر مخرب که بتواند طی سرخ کردن عمیق به مقدار زیادی اثر شرایط فرآیند را بر روی سطح قطعات گوشت شترمرغ تخمین بزند، سیستم ماشینی بینایی به کار گرفته شد و برای کمی کردن تغییرات ایجاد شده از مفهوم بعد برخالی استفاده گردید. با بررسی نتایج مشاهده شد که در اثر افزایش دما، پیشرفت سرخ شدن و همچنین افزایش قدرت پیش تیمار مایکروویو، روند افزایشی در مقادیر این بعد مشاهده شد. دامنه ضرایب تبیین اندازه‌گیری شده بین داده‌های درصد چروکیدگی قطعات گوشت شترمرغ سرخ شده با داده‌های مربوط به بعد برخالی از ۰/۵۶ تا ۰/۸۸ به دست آمد. لذا بعد برخالی به عنوان یک شاخص کمی، در اکثر شرایط به خوبی قادر بود چروکیدگی گوشت شترمرغ سرخ شده به عنوان یک ویژگی فیزیکی را توصیف کند.

واژه‌های کلیدی: گوشت شترمرغ، بعد برخالی، چروکیدگی، سرخ کردن عمیق، پردازش تصویر

مقدمه

گوشت شترمرغ

شترمرغ (*Struthio camelus*) بزرگترین پرنده زنده است که متعلق به خانواده رتایت^۴ ها به معنای سینه پنهان می‌باشد و در بیشتر کشورهای جهان به خصوص برای تولید گوشت پرورش می‌یابد. گوشت شترمرغ دارای مزیت‌های بسیاری نسبت به گوشت دام‌های دیگر می‌باشد؛ به طوری که به عنوان گوشت قرمز برتر و گوشت قرن بیست و یکم معرفی شده است. خصوصیات حسی گوشت شترمرغ مانند بافت، آبداری و طعمی بسیار شبیه به گوشت گاو، مورد علاقه مصرف‌کنندگان است. به علاوه مقدار چربی و کلسترول کم آن، این گوشت را به عنوان یک غذای سالم مشخص می‌سازد (Balog et al., 2007; Fernández-López et al., 2006).

سرخ کردن عمیق

یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای تهیه و نگهداری مواد غذایی سرخ کردن عمیق^۵ است و به طور گسترده‌ای در رستوران‌های تولید غذای آماده^۶ و نیز در سطح خانگی استفاده می‌شود. طی فرآیند سرخ کردن خصوصیات مطلوب مانند تردی، طعم و رنگ خوشایند در مدت زمان نسبتاً کوتاهی در محصول ایجاد می‌شود (Ngadi et al., 2006). سرخ کردن عملیات واحدی است که به‌طور عمده برای اصلاح کیفیت خوراکی غذا استفاده می‌شود. سرخ کردن عمیق یک فرآیند چند هدفه در تغییر شکل غذاها است. این فرآیند را می‌توان تحت عنوان غوطه‌وری غذا در یک روغن یا چربی خوراکی در دمایی بالاتر از نقطه جوش آب تعریف کرد (Hubbard et al., 2000). در طول این فرآیند انتقال هم‌زمان گرما و جرم صورت می‌گیرد و می‌تواند به عنوان یک فرآیند خشک کردن نیز استفاده شود. در این نوع فرآیند، روغن هم به عنوان محیط حرارتی و هم جزء تولید کننده کالری در محصول استفاده می‌شود (Ziaifar et al., 2008).

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email mramiryousefi@yahoo.com)

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تهران

4- Ratite

5- Deep Fat Frying
6- Fast Food

هندسه برخالی^۱

مندلبرت^۲ (۱۹۷۷) که بر روی تحقیقی پیرامون طول سواحل انگلیس مطالعه می‌کرد، به این نتیجه رسید که هرگاه این طول در مقیاس بزرگ اندازه گرفته شود، بیشتر از زمانی طول می‌کشد که مقیاس کوچک‌تر باشد. این بی‌نظمی ایجاد شده باعث ایجاد شاخه ریاضی این نظریه به نام فرکتال گردید. فرکتال به معنی سنگی است که به شکل نامنظم شکسته شده باشد. فرهنگستان زبان فارسی کلمه برخال را برای فرکتال تصویب کرده است. هندسه برخالی مفهوم نوینی است که امکان توصیف پیچیدگی‌های اشکال طبیعی را فراهم می‌نماید. شکل‌های هندسی طبیعی همچون کرات آسمانی و درخت کاج را به آسانی می‌توان با اشکال اقلیدسی مانند کره و مخروط توصیف کرد، ولی بسیاری دیگر از شکل‌های طبیعی به اندازه‌ای پیچیده هستند که حتی با ترکیبی از اشکال اقلیدسی نیز قابل توصیف دقیق نیستند (فتحی، ۱۳۸۸؛ Quevedo et al., 2002; Santacruz-Vazquez et al., 2007).

برخال از دیدگاه هندسه به شیئی گفته می‌شود که دارای سه ویژگی باشد؛ دارای خاصیت خود متشابهی^۳ باشد، در مقیاس خرد بسیار پیچیده باشد و بعد آن یک عدد صحیح نباشد. خود متشابهی بدین معنا است که هر جزء کوچک‌تر یک شکل برخال، ساختاری مشابه قطعه بزرگتر آن داشته باشد (امیریوسفی، ۱۳۸۹).

بعد برخالی^۴

در هندسه اقلیدسی^۵ بعد اشکال به صورت یک عدد صحیح بیان می‌گردد. به ترتیب بعد خط، صفحه و فضا برابر ۱، ۲ و ۳ محاسبه می‌شود. در هندسه برخالی بعد اشکال یک عدد غیر صحیح است. از این تعریف در علوم مختلف برای کمی کردن بی‌نظمی‌های اشکال استفاده می‌شود. بستگی به نوع تصویر و تعریف مسئله، روش‌های مختلفی برای محاسبه بعد برخالی تصاویر وجود دارد، که مهم‌ترین آن‌ها به این قرار می‌باشد: روش شمارش جعبه^۶، روش حرکت برآنی برخالی^۷، روش دامنه تناوبی^۸. روش شمارش جعبه برای محاسبه بعد برخالی خطوط و یا صفحات مناسب است. بدین صورت که مربع‌هایی با اندازه‌های مختلف بر روی شکل (خط یا صفحه) قرار می‌گیرد؛ سپس تعداد مربع‌هایی که خطوط شکل از آن‌ها گذشته (برای خط) و یا تعداد مربع‌هایی که درون صفحه مورد بررسی قرار گرفته‌اند (برای

صفحه)، شمارش شده و بعد برخالی محاسبه می‌شود. روش حرکت برآنی برخالی برای بررسی ویژگی‌های سطح اشکال کاربرد دارد. در صورتی که مختصات هر پیکسل در برابر مقدار سطح خاکستری آن رسم شود، منحنی سطح خاکستری به دست می‌آید. با توجه به این که سطح تصویر ماهیت بی‌نظم و برخالی دارد، منحنی سطح خاکستری نیز یک برخال است. روش حرکت برآنی برخالی مبتنی بر تفاوت شدت مطلق متوسط بین پیکسل‌ها است. در روش دامنه تناوبی بعد برخالی از طریق طیف توان فوریه^۹ داده‌های تصویر به دست می‌آید (امیریوسفی، ۱۳۸۹؛ فتحی، ۱۳۸۸؛ Santacruz-Vazquez et al., 2007).

کاربرد بعد برخالی در صنایع غذایی

در صنایع غذایی طی سال‌های اخیر استفاده‌های محدودی از تئوری بعد برخالی برای توصیف بی‌نظمی تصاویر غذایی شده است. مندوزا^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۹) از تئوری برخال به عنوان یک روش جدید و غیر مخرب برای توصیف ویژگی‌های ظاهری و طبقه بندی برگ‌های مرغ، بوقلمون و خوک استفاده نمودند و نشان دادند که این روش قادر به طبقه بندی برگر با صحت ۹۳/۹ درصد می‌باشد. کاوال^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۸) از تئوری برخال برای توصیف بی‌نظمی‌های سطح نان استفاده نمودند. بدین منظور در ابتدا تصاویر سطح نان از فضای رنگی RGB تبدیل به سطح خاکستری شده، سپس بعد برخالی رویه نمودار سطح خاکستری با استفاده از روش شمارش جعبه محاسبه گردیده است. این محققان گزارش نموده‌اند که با افزایش بی‌نظمی سطح نان، بعد برخالی نیز افزایش می‌یابد.

کاستیلو و ملین^{۱۲} (۱۹۹۹) از تئوری برخال و منطق فازی^{۱۳} به منظور کنترل کیفیت میکروبی و شیمیایی در مواد غذایی استفاده کردند. این پژوهشگران بیان نمودند کلنی‌های میکروارگانیسم‌های مختلف دارای فرم‌های هندسی گوناگونی هستند. لذا با محاسبه بعد برخالی تصاویر میکروسکوپی میکروارگانیسم‌ها می‌توان آن‌ها را شناسایی نمود. در این تحقیق همچنین بعد برخالی ساختار شیمیایی برخی ترکیبات نامطلوب موجود در مواد غذایی محاسبه گردید و به منظور کنترل کیفیت هوشمند مورد استفاده قرار گرفت.

کوودو و همکاران (۲۰۰۲) بعد برخالی سطح شکلات را با استفاده از روش‌های حرکت برآنی برخالی و دامنه تناوبی محاسبه کردند و بیان نمودند با افزایش کریستالیزاسیون چربی‌ها طی مرحله سفیدک

- 1- Fractal geometry
- 2- Mandelbrot
- 3- Self-similarity
- 4- Fractal Dimension (FD)
- 5- Euclidean geometry
- 6- Box Counting Method (BCM)
- 7- Fractal Brownian Motion Method (FBMM)
- 8- Frequency Domain Method (FDM)

- 9- Fourier power spectrum
- 10- Mendoza
- 11- Kvaal
- 12- Castillo and Melin
- 13- Fuzzy logic

خشک کردن مقدماتی با استفاده از امواج مایکروویو

گرم کردن به وسیله مایکروویو مزیت‌های زیادی از جمله صرفه‌جویی در مصرف انرژی، زمان پخت و گرم کردن کوتاه‌تر، بهبود یکنواختی محصول و ایجاد ویژگی‌ها و ساختمان میکروسکوپی منحصر به فرد در غذا دارد. گرم کردن توسط مایکروویو به شدت تحت تأثیر حضور آب در مواد غذایی می‌باشد. جریان گرمایی یکنواخت محصول منجر به تبخیر رطوبت در حین گرمایش با مایکروویو می‌شود (Ngadi *et al.*, 2009).

امواج مایکروویو منجر به خروج یکنواخت رطوبت از درون مواد غذایی می‌شود و پذیرش محصول نهایی را کمتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. نمونه‌های گوشت با استفاده از دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۴ ساعت قبل از فرآوری رفع انجماد شد؛ سپس به صورت سه تایی و دایره وار روی صفحه دایره‌ای درون آون مایکروویو آشپزخانه‌ای کالیبره (مدل اس ۴۸۲۱، ۲۴۵۰ مگاواتر، بوتان، ایران) قرار داده شد و به مدت ۳۰ ثانیه در سه قدرت ۵/۲۳، ۱۰/۴۷ و ۱۵/۷۰ وات بر گرم پیش‌پخت شد. قدرت‌های مورد آزمون در این تحقیق بر اساس مطالعات و بررسی‌های مقدماتی انتخاب شد، به طوری که استفاده از امواج با قدرت بالاتر منجر به خشک شدن بیش از اندازه، سفت شدن بافت، ایجاد برشته‌گی بیش از اندازه و یا کاهش مطلوبیت محصول نهایی می‌شود.

سرخ کردن عمیق

سرخ کردن در یک دستگاه سرخ‌کن عمیق (دلونگی^۵ مدل اف ۱۷۲۳۳، ۱۸۰۰ وات) با ظرفیت دو لیتر انجام شد. به عنوان محیط سرخ‌کننده از روغن ۱۰۰ درصد خالص آفتابگردان (شادگل، نیشابور) استفاده شد. هر بار حدود ۸۰ گرم از قطعات گوشت در دو لیتر روغن به صورت عمیق سرخ شد. برای اینکه از تماس خوب بین نمونه‌ها و روغن اطمینان حاصل شود، نمونه‌ها در یک سبد سیمی قرار گرفت. قطعات گوشت پیش‌پخت شده و پیش‌پخت نشده در ۹ دوره زمانی بین صفر تا ۱۳۵ ثانیه در سه دمای ۱۳۵، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. افزایش زمان سرخ کردن منجر به ایجاد سوختگی در محصول سرخ شده در دمای ۱۶۰ درجه می‌شد. در هر مرحله ۹ عدد نمونه در روغن آفتابگردان سرخ شد. برای اینکه نمونه‌ها در حین سرخ شدن جا به جا نشوند، از صفحات استیل که بر روی هم و داخل سبد سرخ‌کن قرار می‌گرفتند، استفاده شد. روغن پیش از سرخ کردن در دماهای مذکور به مدت یک ساعت پیش‌گرم شد. روغن سطحی قطعات گوشت بلافاصله پس از سرخ کردن با حوله کاغذی حذف گردید. پس از هر آزمون سرخ کردن، سطح روغن در سرخ‌کن بررسی و مجدد جایگزین شد. یک ساعت پس از سرخ کردن، روغن تعویض می‌شد.

زدن^۱، بی‌نظمی در سطح تصویر شکلات افزایش یافته، لذا بعد بر خالی نیز افزایش می‌یابد.

کردیبون و دواهاستین^۲ (۲۰۰۷) تغییرات درصد چروکیدگی و نسبت آبگیری مجدد هویج و سیب‌زمینی را با توجه به ریزساختار و بعد بر خالی آن‌ها طی خشک کردن توسط جریان هوای داغ بررسی نمودند. در این تحقیق در ابتدا تصاویر میکروسکوپی از ریزساختار محصولات خشک شده تهیه شد؛ سپس با استفاده از روش آستانه‌دهی، خطوط دیواره سلولی جدا گردید و بعد بر خالی خطوط دیواره سلولی توسط روش شمارش جعبه محاسبه شد. نتایج نشان داد که تغییرات بعد بر خالی به خوبی توصیف کننده تغییرات ریز ساختار بوده و همبستگی زیادی نیز با چروکیدگی دارد.

ارزیابی پیشرفت سرخ کردن به‌طور رایج در کنترل کیفیت غذا توسط افراد آموزش دیده انجام می‌شود که این روش با اینکه ذهنی، خسته‌کننده و غیر قابل اطمینان است، به دلیل عدم وجود تکنولوژی کافی همچنان استفاده می‌شود. یک روش جایگزین جدید کاربرد سیستم‌های ماشین بینایی است که با در نظر گرفتن پیشرفت‌ها در زمینه تکنولوژی‌های تصویری، ارزان، سریع و غیر مخرب است. از لحاظ کاربرد پردازش تصویر، صنعت غذا در بین ۱۰ صنعت اول قرار دارد (Mohebbi *et al.*, 2009).

هدف از این مطالعه معرفی یک روش جدید، سریع و غیر مخرب است که با استفاده از سیستم ماشین بینایی بتواند به مقدار زیادی اثر شرایط فرآیند سرخ کردن را بر روی سطح قطعات گوشت به صورت کمی بررسی کند و به طور غیر مستقیم تخمینی از ویژگی‌های فیزیکی آن مانند چروکیدگی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه‌ها

فیله گوشت، حاصل از عضله ران شترمرغ گردن آبی (*Struthio camelus australis*) از یک کشتارگاه در مشهد، خریداری گردید (لازم به ذکر است تمامی نمونه‌های فیله از شترمرغ‌های یک ساله جنس نر انتخاب شد). گوشت منجمد در قطعات حدود ۱۳ × ۲۰ × ۲۵ میلی‌متر با استفاده از یک دایسر^۳ صنعتی (مدل ام اف ۸۴، فود لجیستیک^۴، آلمان) برش خورد و با فیلم پلاستیکی پوشیده شد تا از افت رطوبت سطحی در نمونه ممانعت شود. قطعات گوشت پیش از تیمار، در دمای انجماد (۱۸- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند.

- 1- Blooming
- 2- Kerdpiboon and Devahastin
- 3- Dicer
- 4- Food logistic

اندازه‌گیری درصد چروکیدگی

برای اندازه‌گیری چروکیدگی، تغییرات حجم نمونه‌ها با استفاده از روش جابجایی مایع^۱ تعیین گردید. در این پژوهش از تولوئن^۲ استفاده شد. مزایای تولوئن نسبت به سایر مایعات عبارتند از کشش سطحی و دانسیته کم، نقطه جوش نسبتاً بالا و عدم تغییر ساختار شیمیایی آن در اثر مجاورت با هوا. قبل از اندازه‌گیری حجم توسط تولوئن، دانسیته دقیق آن با استفاده از روش پیکنومتری تعیین گردید. بدین منظور وزن پیکنومتر خشک و پر شده با آب مقطر تعیین و بر اساس اختلاف وزن این دو، وزن آب درون پیکنومتر مشخص شد. سپس با توجه به دانسیته آب (1000 kg/m^3)، حجم پیکنومتر خالی (V_p) محاسبه گردید. پیکنومتر مجدداً با تولوئن پر و وزن تولوئن درون آن تعیین شد. در نهایت با توجه به وزن تولوئن و حجم پیکنومتر دانسیته تولوئن (ρ_l) برابر $864/4 \text{ kg/m}^3$ محاسبه گردید (رضوی و اکبری، ۱۳۸۵).

روش جابجایی مایع شامل اندازه‌گیری وزن نمونه غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده در سیال است. به این منظور، در ابتدا و انتهای فرآیند سرخ کردن، وزن نمونه غوطه‌ور شده در تولوئن و غوطه‌ور نشده، اندازه‌گیری شد. به دلیل این واقعیت که وزن نمونه‌های غوطه‌ور شده در تولوئن، تفاضل نیروهای مؤثر بر آن‌ها است، معادله تعیین حجم به صورت زیر خواهد بود (رابطه ۱) (Zielinska and Markowski, 2007; Clemente et al., 2009):

$$V = \frac{m - m_i}{\rho_0} \quad (1)$$

که در آن V حجم (m^3)، m وزن نمونه (kg)، m_i وزن نمونه غوطه‌ور شده در تولوئن (kg) و ρ_0 دانسیته تولوئن (kg/m^3) است. همان‌طور که در رابطه (۲) مشهود است، چروکیدگی به صورت درصد تغییرات حجم نمونه در مقایسه با حجم اصلی آن بیان می‌شود (Kerdpi boon and Devahastin, 2007).

$$\%Sh = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

که V_f و V_i به ترتیب حجم‌های نمونه در ابتدا و انتهای هر نوبت سرخ کردن هستند. تمام اندازه‌گیری‌ها دو بار تکرار شده و مقادیر میانگین به عنوان درصد چروکیدگی گزارش شدند.

تصویرگیری و آنالیز تصاویر

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر بعد برخالی تصاویر نمونه‌های خام و سرخ شده گوشت، به صورت زیر عمل شد: الف) سیستم تصویرگیری: نمونه‌های خارج شده از سرخ کن پس

از حذف روغن سطحی تا دمای اتاق سرد شدند. در تصویرگیری با دوربین دیجیتال، جهت نورپردازی یکنواخت، یک محفظه تاریک نیاز داریم. در محفظه تاریک که اتاقکی چوبی با دیوارهای تیره شده با رنگ سیاه می‌باشد، سه لامپ فلورسنت ۸ وات به طول ۶۰ سانتی‌متر (Oppl, MX396-Y82)، پایه تثبیت کننده و دوربین تعبیه شده است. لامپ‌ها در فاصله ۴۵ سانتی‌متری بالای نمونه و برای جلوگیری از بازتابش نور با زاویه ۴۵ درجه نسبت به آن نصب شده بودند. نمونه‌ها روی صفحه سفیدی قرار گرفتند و دوربین دیجیتال با وضوح ۴ مگاپیکسل مدل کنون، پاورشات ۵۲۰۰^۳ در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از سطح نمونه و با زاویه حدود ۴۵ درجه نسبت به لامپ‌های درون اتاقک بر روی پایه تثبیت گردید. شرایط نورپردازی داخل محفظه برای همه نمونه‌ها یکسان بود. تمامی تصویرها در حالتی گرفته شد که تنظیمات عدسی در حالت دستی و دهانه لنز با اندازه ۴ و سرعت یک دهم ثانیه تنظیم شده بود. سایر تنظیمات دوربین در جدول ۱ آورده شده است. در نهایت تصویرها با فرمت جی پگ^۴ بر روی حافظه دوربین ذخیره شدند.

لازم به ذکر است که کلیه تصاویر از نمونه‌های خام و سرخ شده در جهت موازی با فیبرهای گوشت گرفته شد. چراکه انتقال آب و حرارت در جهت موازی فیبرهای گوشت نسبت به حالت عمودی سریع‌تر اتفاق می‌افتد و این مطلب به خاطر طول مسیر متفاوت در این دو حالت است؛ مولکول‌های آبی که به صورت عمود بر جهت فیبر حرکت می‌کنند، احتمالاً باید مسیر دور فیبرها را طی کنند که مسیر طولانی‌تری است (Singh et al., 1984).

جدول ۱- تنظیمات دوربین دیجیتال

Flash	Off
Zoom	Off
ISO velocity	100
White balance	Fluorescence H
Aperture AV	F/4/0
Macro	On
Shutter speed	1/10 s

ب) پیش پردازش تصویر: برای بهبود کنتراست^۵ پس زمینه تصاویر، پیش پردازش توسط نرم‌افزار فتوشاپ نسخه ۸/۰^۶ انجام شد. همچنین برای کاهش دادن نویز و بازتاب نور در تصاویر از فیلتر میانه^۷ نرم‌افزار ایمیج جی^۸ نسخه ۱،۴۳^۸ با شعاع یک پیکسل استفاده گردید. در نهایت عکس‌ها به فرمت پی ان جی^۹ ذخیره شدند.

3- Canon, Powershot A520

4- JPEG

5- Contrast

6- Adobe Photoshop (Adobe, v.8.0)

7- Median filter

8- ImageJ software (National Institutes Health, Bethesda, Md, USA)

9- PNG

1- Liquid displacement method

2- Toluene



شکل ۱- پیش پردازش تصاویر مربوط به نمونه گوشتی که با پیش تیمار میکروویو W/g ۵/۲۳، در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد و زمان ۴۵ ثانیه سرخ شده (از چپ به راست ابتدا حذف پس زمینه تصاویر با استفاده از نرم افزار فتوشاپ و سپس استفاده از فیلتر میانه با شعاع یک پیکسل)

شکل ۱ مراحل پیش پردازش تصویر را برای یک نمونه گوشت سرخ شده نشان می دهد.

همان مقیاسی است که برای یک شیء استفاده می شود. در فرک لک این مقیاس برابر نسبت اندازه جعبه به اندازه تصویر می باشد؛ که منظور از اندازه تصویر، مرز شامل قسمت پیکسلی^۷ یک تصویر است. مقادیر خطای استاندارد در محاسبه بعد برخالی از رابطه (۳) محاسبه می شوند:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum C^2 - b \sum C - m \sum SC}{n-2}} \quad (3)$$

که در رابطه فوق، S لگاریتم مقیاس یا اندازه، C لگاریتم تعداد جعبه ها، b عرض از مبدأ خط رگرسیون و n تعداد اندازه های مختلف جعبه می باشد که در طول اندازه گیری استفاده می شود.

برای آنالیزهای بعد برخالی در فرک لک با استفاده از روش شمارش جعبه، باید یک الگو^۸ استخراج شده و به یک تصویر دوتایی (سیاه و سفید) تبدیل گردد. دلیل آن این است که فرک لک تنها قادر است پیکسل های سیاه در یک پس زمینه سفید و یا پیکسل های سفید در یک پس زمینه سیاه را تشخیص دهد. البته در فرک لک این امکان وجود دارد که تصاویر آستانه^۹ به صورت خودکار دوتایی شوند. نمونه یک تصویر دوتایی از یک نمونه گوشت سرخ شده در شکل (۲) آورده شده است.



شکل ۲- یک نمونه تصویر دوتایی از یک نمونه گوشت سرخ شده

به منظور سهولت اندازه گیری بعد برخالی، حذف برخی عوامل مزاحم و تهیه تصویری منطبق با محدودیت های نرم افزار، در ابتدا کانال های رنگی تشکیل دهنده تصویر در فضای رنگی RGB (قرمز، سبز و آبی) با استفاده از نرم افزار ایمج جی جدا شدند. سپس برای ادامه کار، کانال رنگی آبی که امکان جداسازی دقیق داشت، انتخاب شد.

محاسبه بعد برخالی

برای محاسبه بعد برخالی سطح نمونه های گوشت خام و سرخ شده توسط روش شمارش جعبه، از پلاگین^۱ فرک لک ۲/۵ استفاده گردید. این پلاگین قابلیت اندازه گیری شکل و اندازه (حتی برای سطوح محدب) و لکوناریتی^۳ (که ناهمگنی^۴ موجود در تصویر را به دست می دهد و مقدار فضای اشغال شده توسط یک برخال را به صورت کمی بیان می کند) را نیز دارد. یکی دیگر از کاربردهای مهم این پلاگین آنالیز سیستم های چند برخالی^۵ می باشد (Karperian, 2005).

در تنظیمات منوی شمارش جعبه استاندارد برای محاسبه بعد برخالی این امکان وجود دارد که اندازه جعبه ها توسط کاربر انتخاب شود. برای این مطالعه در خانه مربوط به تنظیم این اندازه عدد صفر قرار گرفت که در این صورت نرم افزار با توجه به اندازه تصویر، به صورت خودکار مقدار بهینه را انتخاب می کند. در اینجا بعد برخالی بر اساس حد منفی نسبت لگاریتم تعداد جعبه ها در یک مقیاس مشخص بر روی لگاریتم آن مقیاس به دست می آید. اپسیلون^۶ (ε)

در تنظیمات منوی شمارش جعبه استاندارد برای محاسبه بعد برخالی این امکان وجود دارد که اندازه جعبه ها توسط کاربر انتخاب شود. برای این مطالعه در خانه مربوط به تنظیم این اندازه عدد صفر قرار گرفت که در این صورت نرم افزار با توجه به اندازه تصویر، به صورت خودکار مقدار بهینه را انتخاب می کند. در اینجا بعد برخالی بر اساس حد منفی نسبت لگاریتم تعداد جعبه ها در یک مقیاس مشخص بر روی لگاریتم آن مقیاس به دست می آید. اپسیلون^۶ (ε)

- 1- Plugin
- 2- FraLac 2.5 Release 1d
- 3- Lacunarity
- 4- Heterogeneity
- 5- Multifractal system
- 6- Epsilon

- 7- Pixelated part
- 8- Pattern
- 9- Threshold image

طور که از این جدول مشخص است تأثیر تمامی متغیرها و برهم‌کنش بین هر جفت متغیر بر روی اختلاف بعد برخالی نمونه‌های گوشت شترمرغ خام و سرخ شده و نیز درصد چروکیدگی قطعات گوشت شترمرغ معنی‌دار است.

همان‌طور که از جدول آنالیز واریانس نیز پیدا است، قدرت میکروویو تأثیر معنی‌داری بر چروکیدگی داشته است. اصولاً یکی از دلایل مهم استفاده از میکروویو به عنوان پیش تیمار تأثیر بر چروکیدگی است که باعث می‌شود طی سرخ کردن مقدار این پارامتر که از ویژگی‌های نامطلوب ماده غذایی سرخ شده به شمار می‌رود، کاهش یابد. ضمن اینکه این پیش تیمار زمان فرآیند سرخ کردن را کم می‌کند، که دلیل آن می‌تواند به خاطر انرژی ورودی بیشتر، نفوذ سریع‌تر حرارت و دفع اجباری گازها باشد. ملاحظه می‌شود که هرچه زمان سرخ کردن بیشتر شود، با توجه به اینکه نمونه‌های گوشت فرصت بیشتری دارند، چروکیدگی بیشتر است. علاوه بر این در زمان سرخ کردن مشابه، نمونه‌هایی که در دماهای بالاتری سرخ شده بودند بیشتر چروکیده شدند.

این پدیده به این خاطر است که دمای سرخ کردن به طور مستقیم بر چروکیدگی تأثیر می‌گذارد؛ گرا دیان رطوبتی بیشتر در نمونه‌های سرخ شده در دماهای بالاتر باعث افزایش فشارها و در نتیجه افزایش مقدار چروکیدگی می‌شود. ضمن اینکه ترک‌های ایجاد شده در سطح نمونه‌های گوشت و ساختار بازاری که در اثر دماهای سرخ کردن بالاتر به وجود می‌آید، اجازه خروج بیشتر و سریع‌تر رطوبت را داده و نمونه بیشتر چروکیده می‌شود (Maskan, 2001; Devahastin et al., 2011; Abbasi et al., 2004).

میانگین درصد چروکیدگی برای قطعات گوشت شترمرغ سرخ شده، به عنوان تابعی از زمان برای نمونه‌های پیش پخت نشده و نمونه‌های پیش پخت شده با میکروویو در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر خطای استاندارد در تعیین درصد چروکیدگی قطعات گوشت شترمرغ سرخ شده کمتر از ۳/۶۴ بود.

در شکل ۳ تصاویر سطح گوشت شترمرغ طی مدت زمان سرخ کردن عمیق نشان داده شده است. این تصاویر مربوط به نمونه‌هایی است که در قدرت ۱۰/۴۷ W/g مایکروویو پیش پخت شده و سپس در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به صورت عمیق سرخ شده‌اند. تغییرات ایجاد شده در سطح گوشت به خوبی در این تصاویر مشاهده می‌شود.

میانگین بعد برخالی نمونه‌های خام 2.0 ± 0.67 به دست آمد. در نمونه‌های گوشت خام آسیب‌هایی که در اثر قطعه شدن و یا انجماد ممکن است رخ دهد و نیز دیگر عوامل از جمله بافت کمی غیر یکنواخت فیله گوشت شترمرغ، بعد برخالی را تحت تأثیر قرار داد.

میانگین بعد برخالی همراه با میانگین ضریب تبیین برای نمونه‌های سرخ شده گوشت شترمرغ در سطوح هم جهت با فیبرهای

در اسکن‌های شمارش جعبه تعدادی شبکه^۱ که شامل جعبه‌های مربعی شکل با اندازه‌های مختلف است (مانند توری)، بر روی یک تصویر قرار می‌گیرد و برای هر شبکه تعداد جعبه‌هایی که پیکسل‌های تصویر در آن قرار دارد، شمارش می‌شود. این امکان وجود دارد که اندازه این شبکه‌ها توسط کاربر مشخص شود و یا اینکه به صورت خودکار تعیین گردد. در واقع اسکن کردن، داده‌های مورد نیاز برای محاسبه بعد برخالی را جمع‌آوری می‌کند.

در تنظیمات منوی شمارش جعبه استاندارد باید کمترین و بیشترین اندازه شبکه‌ها مشخص شود. مقدار کمینه اندازه باید با رزولوشن تصویر مطابقت داشته باشد. مقدار بیشینه اندازه، درصدی از نسبت اندازه تصویر به تعداد پیکسل‌ها است، چون وقتی اندازه جعبه‌ها از ۵۰ درصد اندازه تصویر بیشتر می‌شود، خطا رخ می‌دهد. مقدار پیش فرض ۴۵ درصد فرک لک برای اسکن‌های شمارش جعبه استاندارد عموماً انتخاب بهینه‌ای است. مکان شبکه^۲ یعنی اینکه در اسکن شمارش جعبه، یک شبکه در کجای تصویر قرار می‌گیرد. تعداد جعبه‌های لازم برای پوشاندن تصویر به این بستگی دارد که مکان شبکه مورد استفاده کجا باشد.

تنظیمات فرک لک را می‌توان طوری انتخاب کرد که اسکن کردن به‌طور خودکار در چند مکان متفاوت شبکه صورت گیرد. در اینجا مقدار به دست آمده برای بعد برخالی میانگین اعداد مربوط به داده‌های ۴ اسکن است که با توجه به مکان‌های متفاوت قرار گرفتن شبکه روی تصویر مورد نظر به دست می‌آید. هرچه تعداد این اسکن‌ها زیاده‌تر و اندازه جعبه‌ها کوچکتر شود، نتایج دقیق‌تری به دست می‌آید، ولی زمان آنالیز به خصوص برای تصاویر بزرگتر افزایش می‌یابد (امیریوسفی، ۱۳۸۹).

آنالیز آماری

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی تب^۳ نسخه ۱۵ انجام گرفت. برای این منظور از طرح آزمایشی اسپلیت-اسپلیت پلات^۴ روی متغیرهای دمای سرخ کردن و قدرت مایکروویو استفاده شد. سطح آماری معنی‌داری ۹۵ درصد احتمال بود.

نتایج و بحث

در جدول (۲)، قسمتی از جدول آنالیز واریانس برای اختلاف بین بعد برخالی نمونه‌های گوشت شترمرغ خام و سرخ شده و همچنین درصد چروکیدگی نمونه‌های گوشت سرخ شده آورده شده است. همان

- 1- Grid
- 2- Grid position
- 3- Minitab
- 4- Split-split plot

شاخص کمی مناسب از تغییرات صورت گرفته بر سطح نمونه‌های گوشت سرخ شده مطرح باشد.

لازم به ذکر است شاخص بعد بر خالی این توانایی را دارد که حتی پارامترهای کیفی گوشت را از یکدیگر تفکیک کند. به نظر می‌رسد که رزولوشن تصاویر تأثیر قابل توجهی بر مقادیر بعد بر خالی داشته باشد. این روش در تشخیص سطوح تصاویر پیچیده می‌تواند استفاده شود. همچنین بعد بر خالی حساسیت زیادی به آسیب‌های سطح چون ترک و حتی چربی‌های بافت پیوندی از خود نشان می‌دهد که در نگاه اول به راحتی قابل تشخیص نیستند.

گوشت در جدول ۴ آورده شده است. مقادیر خطای استاندارد در تعیین بعد بر خالی سطح قطعات گوشت شترمرغ سرخ شده کمتر از ۰/۱۲ بود.

به طور کلی با افزایش دما و زمان سرخ کردن اختلاف بین بعد بر خالی نمونه‌های گوشت شترمرغ خام و سرخ شده بیشتر می‌شود. علاوه بر این مشاهده شد که به طور کلی با بیشتر شدن قدرت میکروویو اختلاف بین بعد بر خالی نمونه‌های گوشت شترمرغ خام و سرخ شده نیز زیادتر می‌شود. با توجه به نتایجی که به دست آمد، می‌توان پی برد که بعد بر خالی سطح نمونه‌های گوشت به خوبی از پارامترهای عملیاتی آزمایش تأثیر می‌پذیرد؛ لذا می‌تواند به عنوان یک

جدول ۲- میانگین مربعات آنالیز واریانس تفاوت بعد بر خالی سطح نمونه‌های خام و سرخ شده

منبع تغییرات		درجه آزادی	
اختلاف بعد بر خالی	چروکیدگی		
۰/۰۰۰۰۱۴	۵۷۹/۴۶**	۲	A
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۲۹۵/۱۷**	۳	B
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۶۰/۶۱	۱۲	R (A,B)
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۲۷۳۳/۹۰**	۸	C
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۳۵۷/۹۳**	۶	A×B
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۱۰۶/۱۷**	۱۶	A×C
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۱۲۰/۰۱**	۲۴	B×C
۰/۰۰۰۰۰۱۴	۴/۸۶	۱۴۴	خطا
		۲۱۵	کل

A دما، B قدرت میکروویو، C زمان، R تکرار
 P=۰/۰۵* ; P=۰/۰۱**

جدول ۳- میانگین درصد چروکیدگی قطعات گوشت شترمرغ طی سرخ کردن عمیق در قدرت‌های میکروویو (W/g)، دماها (°C) و زمان‌های سرخ کردن (S) مختلف

قدرت میکروویو	دما (°C)	۱۵s	۳۰s	۴۵s	۶۰s	۷۵s	۹۰s	۱۰۵s	۱۲۰s	۱۳۵s
۰	۱۲۵	۱۲/۱۲	۱۵/۳۷	۲۷/۲۵	۲۴/۳۷	۱۸/۷۵	۳۷/۱۸	۳۳/۱۵	۳۸/۰۵	۳۳/۳۱
	۱۵۰	۲/۸۸	۱۴/۶۴	۲۴/۶۹	۲۷/۷۵	۲۲/۸۰	۴۱/۴۶	۳۳/۸۳	۳۸/۶۴	۳۴/۷۵
	۱۶۰	۱۲/۵۸	۲۱/۲۹	۳۶/۱۸	۳۳/۱۵	۳۱/۴۴	۴۲/۶۵	۴۰/۱۰	۴۱/۶۴	۴۵/۶۱
۵/۲۳W/g	۱۲۵	۱۳/۴۵	۹/۷۵	۱۷/۹۴	۱۸/۵۵	۲۳/۶۵	۳۱/۳۷	۲۷/۵۱	۳۳/۰۵	۲۶/۶۵
	۱۵۰	۱۰/۶۴	۲۶/۰۷	۳۱/۵۰	۳۷/۵۲	۳۴/۶۳	۳۸/۳۸	۳۴/۶۱	۴۲/۳۵	۴۱/۰۷
	۱۶۰	۱۸/۳۵	۲۲/۳۴	۲۵/۸۲	۳۲/۳۷	۳۴/۸۸	۳۶/۶۸	۳۴/۷۸	۳۵/۲۸	۴۱/۸۱
۱۰/۴۷W/g	۱۲۵	۲۷/۲۰	۱۶/۲۶	۲۴/۵۶	۳۳/۱۷	۳۳/۱۰	۳۶/۹۵	۳۶/۸۵	۳۷/۳۵	۴۴/۴۱
	۱۵۰	۸/۵۱	۱۲/۱۹	۲۰/۶۲	۳۳/۲۱	۳۰/۷۴	۳۴/۶۸	۳۱/۵۷	۳۷/۱۴	۴۳/۰۹
	۱۶۰	۱۶/۹۷	۲۲/۶۳	۲۸/۵۵	۳۵/۵۹	۳۵/۷۱	۴۲/۷۱	۳۹/۵۳	۳۵/۰۶	۴۹/۷۸
۱۵/۷W/g	۱۲۵	۲۶/۰۰	۱۸/۱۶	۲۷/۹۸	۲۸/۴۹	۲۸/۱۵	۳۵/۷۵	۳۶/۳۴	۳۲/۶۸	۳۸/۸۱
	۱۵۰	۱۵/۴۸	۲۳/۷۵	۳۴/۴۹	۳۵/۰۵	۴۴/۶۲	۳۹/۴۸	۳۷/۶۱	۳۸/۴۸	۴۲/۰۳
	۱۶۰	۱۸/۰۱	۱۸/۷۲	۳۱/۶۶	۲۷/۵۸	۴۴/۱۱	۳۵/۵۷	۳۹/۶۴	۲۹/۵۹	۴۵/۲۳

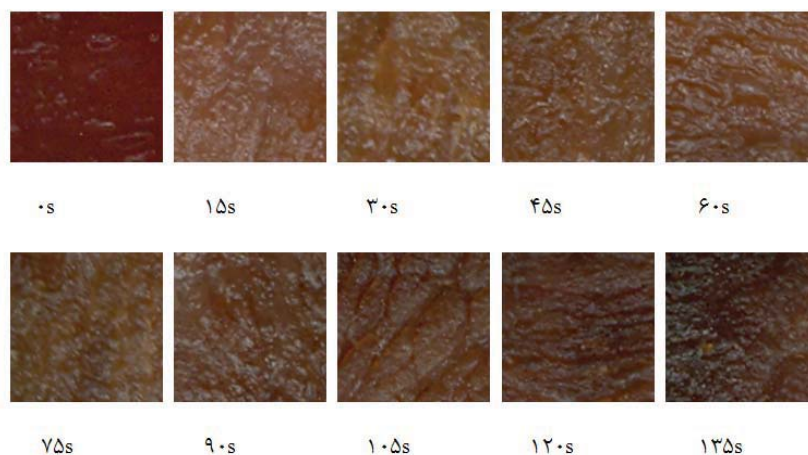
جدول ۴- میانگین بعد بر خالی همراه با میانگین ضریب تبیین برای نمونه گوشت سرخ شده در سطح هم جهت با فیبرها

قدرت مایکروویو	دما (°C)	۱۵s	۳۰s	۴۵s	۶۰s	۷۵s	۹۰s	۱۰۵s	۱۲۰s	۱۳۵s
.	۱۳۵	۲/۶۲(۰/۹۹)	۲/۶۵(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۲(۰/۹۹)	۲/۶۲(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)
	۱۵۰	۲/۵۹(۰/۹۷)	۲/۶۰(۰/۹۶)	۲/۶۰(۰/۹۷)	۲/۵۹(۰/۹۸)	۲/۵۸(۰/۹۸)	۲/۵۸(۰/۹۸)	۲/۵۷(۰/۹۹)	۲/۵۸(۰/۹۹)	۲/۵۶(۰/۹۹)
۵/۱۳۳W/g	۱۳۵	۲/۶۲(۰/۹۶)	۲/۶۴(۰/۹۷)	۲/۶۵(۰/۹۷)	۲/۶۲(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۷)	۲/۶۴(۰/۹۷)
	۱۵۰	۲/۶۲(۰/۹۸)	۲/۶۱(۰/۹۷)	۲/۶۲(۰/۹۷)	۲/۶۰(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۲(۰/۹۸)	۲/۶۲(۰/۹۸)	۲/۶۱(۰/۹۷)	۲/۶۰(۰/۹۷)
۱۰/۴۷۷W/g	۱۳۵	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۶)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۲(۰/۹۸)	۲/۶۵(۰/۹۸)	۲/۶۵(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۹)	۲/۶۱(۰/۹۷)
	۱۵۰	۲/۶۳(۰/۹۶)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۷)	۲/۶۱(۰/۹۸)	۲/۶۰(۰/۹۸)	۲/۶۲(۰/۹۹)	۲/۶۰(۰/۹۷)	۲/۵۹(۰/۹۹)	۲/۶۲(۰/۹۸)
۱۵/۷۷W/g	۱۳۵	۲/۶۲(۰/۹۹)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۷)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۷)	۲/۶۳(۰/۹۷)	۲/۶۳(۰/۹۷)
	۱۵۰	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۳(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۴(۰/۹۸)	۲/۶۱(۰/۹۹)	۲/۶۰(۰/۹۸)	۲/۶۰(۰/۹۸)	۲/۶۱(۰/۹۹)

اعداد داخل پرانتز ضریب تبیین هستند. R².
 نمونه‌هایی که یخت اولیه برای آن‌ها انجام نشده

مربوط به بعد برخالی (روش مبتنی بر تصویر) وجود دارد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری پروکیدیگی به روش جابجایی مایع یک روش زمان بر است و به عنوان روشی مخرب، پس از اندازه‌گیری پروکیدیگی، محصول غیر قابل استفاده است و نیز با در نظر گرفتن همبستگی خوب آن با داده‌های بعد برخالی، می‌توان از شاخص بعد برخالی به طور غیر مستقیم برای تعیین پروکیدیگی استفاده نمود.

در مرحله بعد همبستگی بین داده‌های اختلاف بعد برخالی نمونه‌های گوشت خام و سرخ شده با درصد پروکیدیگی برای دماها و قدرت‌های مختلف مایکروویو مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ضریب تبیین به همراه ضریب رگرسیون مدل خطی صورت گرفته (b+a) اختلاف بعد برخالی = درصد پروکیدیگی) در جدول (۵) آورده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود به طور کلی همبستگی نسبتاً خوبی بین داده‌های درصد پروکیدیگی (روش فیزیکی) با داده‌های



شکل ۳- تغییرات ایجاد شده در سطح گوشت شترمرغ طی مدت زمان سرخ کردن عمیق

جدول ۵- همبستگی داده های اختلاف بعد برخالی نمونه های گوشت خام و سرخ شده با درصد چروکیدگی برای دماها و قدرت های مختلف مایکروویو

b	a	R ²	دما (°C)	قدرت مایکروویو
-۱۱/۶۱	۷۸۱/۸۲	۰/۷۴	۱۳۵	.
-۴۳/۹۳	۸۸۹/۷۶	۰/۵۷	۱۵۰	
-۲/۹۴	۳۹۵/۶۴	۰/۷۰	۱۶۰	
-۱۰/۵۲	۶۸۸/۴۰	۰/۸۸	۱۳۵	۵/۲۳W/g
۲۰/۲۱	۳۱۲/۰۰	۰/۸۵	۱۵۰	
۴/۸۸	۳۳۹/۷۳	۰/۶۶	۱۶۰	
۸/۶۹	۶۰۴/۸۲	۰/۸۴	۱۳۵	۱۰/۴۷W/g
-۵/۱۵	۵۶۴/۷۳	۰/۸۳	۱۵۰	
۲/۶۷	۵۲۶/۳۳	۰/۵۶	۱۶۰	
۲۹/۸۰	۲۱۷/۷۵	۰/۶۲	۱۳۵	۱۵/۷W/g
۱۸/۷۹	۳۵۰/۸۸	۰/۶۴	۱۵۰	
۱۹/۱۳	۲۷۳/۳۰	۰/۷۳	۱۶۰	

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر برای معرفی یک روش غیر مخرب که بتواند طی سرخ کردن عمیق به مقدار زیادی اثر شرایط فرآیند را بر روی سطح قطعات گوشت شترمرغ تخمین بزند، سیستم ماشین بینایی به کار گرفته شد و برای کمی کردن تغییرات ایجاد شده از مفهوم بعد برخالی استفاده گردید. بررسی ویژگی های سطحی ماده غذایی با استفاده از سیستم ماشین بینایی به عنوان روشی غیر مخرب و قابل اعتماد امکان مطالعه تغییرات کیفی که طی فرآیندها رخ می دهد، فراهم می نماید. برای این منظور در ابتدا جزءهای رنگی تصاویر پیش

باید توجه داشت که با اینکه به کمک ویژگی های ظاهری ساده، شبیه سازی فرآیند ادراک انسان بسیار دشوار است ولی بعد برخالی حداقل این توانایی را دارد که الگوهای ساختاری سطوح مواد غذایی را تشخیص دهد و به عنوان یک شاخص کیفی مطرح باشد. با این وجود باید تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت بگیرد تا ارتباط بین بعد برخالی، ارزیابی های حسی و برخی ویژگی های فیزیکی دیگر مواد غذایی شناسایی و به طور کامل تعریف شود و این تکنیک برای کاربردهای عملیاتی در صنعت غذا مورد استفاده قرار گیرد.

سرخ شدن کاهش می‌یابد؛ ضمن اینکه در اثر افزایش دما، پیشرفت سرخ شدن و همچنین قدرت مایکروویو افزایش در این بعد مشاهده شد. همچنین مشخص شد که اختلاف بین بعد برخالی سطوح نمونه‌های خام و سرخ شده تخمین خوبی از چروکیدگی ایجاد شده در نمونه‌های گوشت شترمرغ سرخ شده به دست می‌دهد.

پردازش شده قطعات گوشت شترمرغ جدا گردید. در ادامه بعد برخالی جزء رنگی آبی سطح گوشت که امکان آنالیز دقیق را داشت، تعیین گردید. ابعاد برخالی تصاویر سطح نمونه های گوشت که در واقع از روی شیب خط مستقیم برآزش شده در نمودارهای لگاریتمی به دست آمد، از لحاظ آماری بسیار معنی‌دار بودند ($R^2 > 0/96$). با بررسی نتایج حاصل مشاهده شد که بعد برخالی سطح نمونه‌های گوشت در اثر

منابع

- امیریوسفی، م. ر.، ۱۳۸۹، بررسی کینتیک انتقال جرم، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بعد برخالی فیله گوشت شترمرغ سرخ شده به روش عمیق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- فتحی، م.، ۱۳۸۸، بررسی کینتیک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بعد برخالی کیوی خشک شده به روش ترکیبی آسمزی هوای داغ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رضوی، س. م. ع. و اکبری، ر.، ۱۳۸۵، خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، چاپ اول انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- Abbasi, S., Mousavi, S. M. and Mohebbi, M., 2011, investigation of changes in physical properties and microstructure and mathematical modeling of shrinkage of onion during hot air drying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7 (1), 92- 98.
- Balog, A. and Almeida Paz, I. C. L., 2007, Ostrich (*Struthio camellus*) carcass yield and meat quality parameters. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 9(4), 215 – 220.
- Castillo, O. and Melin, P., 1999, Intelligent quality control for manufacturing in food industry using a new fuzzy-fractal approach, *IEEE, Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1, 151-156.
- Clemente, G., Bon, J., Sanjuan, N. and Mulet, A., 2009, Determination of Shrinkage Function for Pork Meat Drying. *Drying Technology*, 27(1), 143-148.
- Devahastin, S., Suvarnakuta, P., Soponronnarit, S. and Mujumdar, A. S., 2004, A comparative study of lowpressure superheated steam and vacuum drying of a heat-sensitive material. *Drying Technology*, 22, 1845–1867.
- Fernández-López, J., Jiménez, S., Sayas-Barberá, E., Sendra, E. and Pérez-Alvarez, J. A., 2006, Quality characteristics of ostrich (*Struthio camelus*) burgers. *Meat Science*, 73(2), 295-303.
- Hubbard, L. J. and Farkas, B. E., 2000, Influence of oil temperature on heat transfer during immersion frying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24, 143-162.
- Hubbard, L. J. and Farkas, B. E., 2000, Influence of oil temperature on heat transfer during immersion frying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24, 143-162.
- Karperian, A., 2005, *FracLac for ImageJ, FracLac Advanced User's Manual*, Charles Sturt University, Australia, 1-36.
- Kerdpi boon, S. and Devahastin, S., 2007, Fractal characterization of some physical properties of a food product under various drying conditions. *Drying Technology*, 25(1), 135-146.
- Kvaal, K., Wold, J. P., Indahl, U. G., Baardseth, P. and Naes, T., 1998, Multivariate feature extraction from textural images of bread. *Chemometrics Intelligent Laboratory Systems*, 42(1–2), 141–158.
- Maskan, M., 2001, Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot- air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182.
- Mendoza, F., Valous, N. A., Allen, P., Kenny, T. A., Ward, P. and Sun, D.-W., 2009, Analysis and classification of commercial ham slice images using directional fractal dimension features. *Meat Science*, 81(2), 313-320.
- Mohebbi, M., Akbarzadeh-T, M. -R., Shahidi, F., Moussavi, M. and Ghoddusi, H. -B., 2009, Computer vision systems (CVS) for moisture content estimation in dehydrated shrimp. *Computers and Electronics in Agriculture*. 69, 128-134.
- Ngadi, M., Dirani, k. and Oluka, S., 2006, Mass transfer characteristics of chicken nuggets. *International Journal of Food Engineering*, 2(3), 1-16.
- Ngadi, M. O., Wang, Y., Adedeji, A. A. and Raghavan, G. S. V., 2009, Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. *LWT- Food Science and Technology*, 42, 438-

- 440.
- Quevedo, R., Carlos, L. -G., Aguilera, J. M. and Cadoche, L., 2002, Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 53(4), 361-371.
- Santacruz-Vazquez, C., Santacruz-Vazquez, V., Chanona-Perez, J., Jaramillo-Flores, M. E., Welte-Chanes, J. and Gutierrez-Lopez, G., 2007, Fractal Theory Applied to Food Science. *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering*, 1-13.
- Singh, N., Akins, R. G. and Erickson, L. E., 1984, Modeling heat and mass transfer during the oven roasting of meat. *Journal of Food Process Engineering*, 7(3), 205-220.
- Ziaiiifar, A. M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I. and Trystram, G., 2008, Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(8), 1410-1423.
- Zielinska, M. and Markowski, M., 2007, Drying behavior of carrots dried in a spout-fluidized bed dryer. *Drying Technology*, 25(1), 261 - 270.