



## مدل سازی کینتیک تغییر رنگ گوشت شترمرغ حین سرخ شدن عمیق به کمک پردازش تصویر

محمدعلی حصاری نژاد<sup>۱</sup>، محمدرضا امیریوسفی<sup>۲\*</sup>

۱- گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۹

کلمات کلیدی:

کینتیک تغییر رنگ،

سرخ کردن عمیق،

گوشت شترمرغ،

پردازش تصویر.

DOI: 10.52547/fsct.18.02.28

\*مسئول مکاتبات:

mramiryousefi@gmail.com

با افزایش اطلاعات در زمینه کینتیک تغییرات رنگ، امکان بهبود پارامترهای رنگی به وجود آمده است. آنالیز داده‌های کینتیکی رنگ این اجازه را می‌دهد تا تغییرات نامطلوب به حداقل رسیده و ابقا رنگ در محصول بهینه شود. عملیات تصویرگیری و پردازش تصویر جهت استخراج پارامترهای رنگی در فضای رنگی  $L^*a^*b$  انجام شد. برای پردازش تصاویر از نرم افزار ایمپج جی استفاده شد و تبدیل فضای رنگی با استفاده از روش دو مرحله‌ای انجام گرفت. حساسیت به دمای ثابت‌های سرعت با استفاده از رابطه آرنیوس بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزایش  $\Delta E$  با زمان در ابتدای سرخ کردن سریع و در ادامه کندتر شده است. مقدار انرژی فعال‌سازی تغییرات رنگ کل  $44/80$  کیلوژول بر مول به دست آمد. آنالیز آماری نیز نشان داد که زمان و دمای سرخ کردن و نیز اثر متقابل آنها، تأثیر معنی‌داری بر تغییرات کل رنگ سطح گوشت دارد. رنگ سنجی با استفاده از پردازش تصویر به عنوان روشی غیر مخرب و ساده در ارزیابی رنگ سطح گوشت شترمرغ به صورت موفقیت آمیزی اجرا گردید و نتایج سیستم ماشین بینایی با مشاهدات بصری همبستگی داشت. کینتیک تشکیل یا زوال رنگ طی سرخ کردن عمیق، به خوبی با استفاده از یک معادله کینتیکی درجه اول مدل‌سازی شد.

## ۱- مقدمه

یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای تهیه و نگهداری مواد غذایی سرخ کردن عمیق<sup>۱</sup> است و به طور گسترده‌ای در رستوران‌های تولید غذای آماده<sup>۲</sup> 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 [۱]. 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 [۲]. در طول این فرآیند انتقال همزمان جرم و انرژی 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 [۳].

در حین سرخ کردن اگرچه افت رطوبت از محصول همزمان با جذب روغن اتفاق می‌افتد، ولی نسبت این دو با هم برابر نیست. اعتقاد بر این است که در فرآیند تبخیر، انبساط حجمی آب به ایجاد بافتی متخلخل منجر می‌شود که مشخصه آن حفرات داخلی، درز، شکاف و منافذ ریز در پوسته غذا می‌باشد [۴]. این گونه به نظر می‌رسد که دنا توره شدن پروتئین در حین سرخ کردن گوشت اتفاق می‌افتد. درجه قهوه‌ای شدن بستگی به زمان غوطه‌وری در روغن حین سرخ کردن دارد. این قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی را می‌توان به صورت ریاضی با مدل‌های کینتیک درجه صفر یا درجه یک توصیف نمود [۵]. داده‌های کینتیک تغییرات کیفی شامل مرتبه واکنش، ثابت‌های سرعت واکنش و وابستگی دمایی برای به حداکثر رساندن کیفیت و به حداقل رساندن افت‌ها حین فرآیند حرارتی بسیار مهم است [۶]. پارامترهای کینتیک نیز در درک و پیش‌بینی تغییراتی که در حین فرآیند حرارتی غذاها اتفاق می‌افتد، اطلاعات ارزشمندی در اختیار پژوهشگران و تولیدکنندگان قرار می‌دهد. مطالعات زیادی روی کینتیک تغییر رنگ طی فرآوری حرارتی به خصوص سرخ کردن عمیق دیگر مواد غذایی انجام شده است [۷-۱۶].

گوشت شتر مرغ که در گروه گوشت‌های قرمز طبقه بندی می‌شود از ارزش غذایی بسیار بالایی برخوردار است. به طوری که

می‌توان گفت یکی از کم‌چربی‌ترین و سالم‌ترین نمونه‌های گوشت قرمز در دسترس است. میزان چربی آن بسیار کم بوده که یکی از خواص مهم و قابل توجه در بازار مصرف کنونی به شمار می‌رود. به همین دلیل گوشت شترمرغ برای کسانی که دچار اضافه وزن بوده و از رژیم‌های لاغری پیروی می‌کنند جایگزین بسیار مناسبی خواهد بود. نکته جالب دیگر در مورد گوشت شترمرغ این است که کلسترول آن حتی از گوشت مرغ هم پایین‌تر است. همچنین اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در بافت‌های شترمرغ ۳۰ درصد مجموع اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهد که یکی از مزیت‌های گوشت شترمرغ محسوب می‌شود. این مزایا به همراه میزان بالای اسید چرب امگا-۳ در گوشت شترمرغ باعث شده که این گوشت انتخاب بسیار خوبی برای بیماران قلبی عروقی و سالمندان بوده تا با اطمینان بیشتری بتوانند نیازهای پروتئینی خود را برطرف سازند. از طرف دیگر میزان کم سدیم در گوشت شترمرغ، استفاده از آن را برای افرادی که دچار پرفشاری خون هستند ممکن می‌سازد. گوشت شترمرغ از نظر پروتئین و آهن نیز از جایگاه بسیار خوبی برخوردار است؛ لذا برای افراد کم‌خون و زنان باردار انتخاب مناسبی خواهد بود. علاوه بر موارد فوق گوشت شتر مرغ به میزان بسیار چشمگیری ترد بوده و از قابلیت هضم استثنائی برخوردار است. به طوری که ۹۰ درصد آن قابل هضم بوده و از این حیث پس از ماهی در رتبه دوم قرار دارد؛ در صورتی که گوشت‌های مرغ و گاو حداکثر ۸۷ درصد قابلیت هضم دارند. در ضمن این گوشت به عنوان گوشت قرمز برتر و گوشت قرن بیست و یکم معرفی شده است [۱۷-۱۸]. به دلیل خواص و ویژگی‌های مذکور در این مطالعه از گوشت شتر مرغ استفاده گردید.

ارزیابی کینتیک واکنش‌ها شامل مطالعه سرعت‌ها و مکانیسم‌هایی است که در آنها یک گونه شیمیایی به گونه دیگر تبدیل می‌شود. برای بیشتر مواد غذایی روابط وابسته به زمان، با استفاده از مدل‌های درجه صفر یا درجه اول توصیف می‌شوند [۱۹]. در واکنش‌های درجه اول رابطه بین یک ویژگی کیفی خاص و زمان، از نوع نمایی<sup>۳</sup> و بنابراین درجه واکنش مساوی یک است. انتظار می‌رود متغیرهای فرآیند مثل زمان، دمای روغن و اعمال پیش تیمار به ماده خام بر رنگ فرآورده‌های سرخ شده تأثیر گذارد. برای قهوه‌ای شدن طی سرخ کردن، یک

1. Deep frying  
2. Fast food

3. Exponential

امکان بهبود ظاهر محصول را از طریق انتخاب شرایط مناسب فرآیند فراهم می‌کند. لذا هدف از این مطالعه کاربرد پردازش تصویر در ارزیابی تغییرات رنگ سطح قطعات گوشت شتر مرغ طی سرخ کردن به روش عمیق و بررسی کینتیکی تشکیل یا زوال رنگ طی سرخ کردن و مدل سازی ریاضی این تغییرات به منظور تجزیه و تحلیل فرآیند می باشد. همچنین نقش هر یک از متغیرهای فرآیند سرخ کردن عمیق و نیز اثر متقابل آنها بر پارامترهای رنگی گوشت شتر مرغ و نیز ارتباط سرعت تغییر رنگ با دمای فرآیند مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده سازی نمونه ها

فیله گوشت، حاصل از عضله ران شتر مرغ از یک کشتارگاه در مشهد، خریداری گردید. با توجه به اینکه آماده سازی قطعات گوشت با اندازه یکسان از محدودیت های مطالعه بود، در ابتدا فیله های گوشت در قالب های فلزی استوانه ای قرار داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در سردخانه با دمای ۱۸- درجه سانتی گراد قرار داده شد. بعد از خروج از قالب، گوشت منجمد در قطعات حدود ۱۳ × ۲۰ × ۲۵ میلی متر با استفاده از یک دایسر<sup>۳</sup> صنعتی (Food logistic, MF 84, آلمان) برش خورده و با فیلم پلاستیکی پوشیده شد تا از افت رطوبت سطحی در نمونه ممانعت شود. قطعات گوشتی که طی آماده سازی تغییر رنگ محسوس داشتند، به شکل مکعبی و با اندازه ذکر شده از دایسر خارج نمی شدند، وارد مطالعه نشدند. بقیه قطعات گوشت وارد مطالعه شدند و پیش از تیمار، در دمای انجماد (۱۸- درجه سانتی گراد) نگهداری شدند. نمونه‌ها با استفاده از دمای یخچال (۴ درجه سانتی گراد) به مدت ۲۴ ساعت قبل از فرآوری رفع انجماد شد [۲۳].

### ۲-۲- سرخ کردن عمیق

سرخ کردن در یک دستگاه سرخ‌کن عمیق (Delonghi F17233) با ظرفیت دو لیتر انجام شد. به عنوان محیط سرخ کننده از روغن ۱۰۰٪ خالص آفتابگردان (شادگل، نیشابور) استفاده شد. هر بار 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

آنالیز کینتیکی درجه اول متصور است؛ چون زمان فرآیند سرخ کردن عمیق بسیار کوتاه است [۲۰]. در اینجا نسبت تغییر رنگ کلی (C) به صورت رابطه (۱) تعریف شد.

$$C = \frac{\Delta E_t - \Delta E_{\min}}{\Delta E_{\max} - \Delta E_{\min}} \quad (1)$$

که در آن  $\Delta E_{\max}$  بیشترین مقدار تغییر رنگ،  $\Delta E_{\min}$  کمترین مقدار آن و در نهایت  $\Delta E_t$  نشان دهنده تغییر رنگ در زمان  $t$  می باشد.

تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) از رابطه زیر محاسبه گردید [۲۱]:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

مدل رنگ  $L^* a^* b^*$  (روشنایی، قرمزی، زردی) از سه مؤلفه تشکیل شده است؛ در این رابطه،  $L^*$  مربوط به روشنایی یا درخشندگی است که بین مقادیر صفر (معادل مشکی) و ۱۰۰ (معادل انعکاس کامل نور) می باشد، در حالی که مؤلفه  $a^*$  مقادیر مثبتش معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی آن معادل رنگ سبز است. مؤلفه  $b^*$  نیز مقادیر مثبتش معادل رنگ زرد و مقادیر منفی اش معادل رنگ آبی است [۲۲]. زیرنویس های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به مؤلفه‌های رنگی قبل و بعد از سرخ کردن هستند.

سرعت نسبت تغییر رنگ برای نمونه‌های گوشتی را می توان با استفاده از معادله کینتیکی درجه اول زیر (رابطه ۳) مدل کرد:

$$-\frac{dC}{dt} = kC \quad (3)$$

در این رابطه  $k$  ثابت سرعت واکنش است و واحد آن  $s^{-1}$  می باشد. با انتگرال گیری از رابطه (۳)، رابطه (۴) بدست می آید:

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt \quad (4)$$

عموماً ثابت سرعت وابسته به دما است و ارتباط بین آنها با استفاده از رابطه آرنیوس<sup>۱</sup> (رابطه ۵) مدل می شود:

$$k = k_0 \exp\left[-\frac{Ea}{RT}\right] \quad (5)$$

که در آن  $k_0$  فاکتور بسامد<sup>۲</sup> ( $s^{-1}$ )،  $Ea$  انرژی فعال سازی ( $J/mol$ )،  $R$  ثابت گازها (برابر  $8.314 J/K.mol$ ) و  $T$  دما بر حسب کلوین (K) می باشد [۲۲].

اطلاعات درباره رنگ گوشت شتر مرغ در حین سرخ کردن عمیق در پیش بینی تغییرات رنگی حین فرآیند مفید است و

1. Arrhenius relationship  
2. Frequency factor

سیمی قرار گرفت. قطعات گوشت شترمرغ در ۹ دوره زمانی بین صفر تا ۱۳۵ ثانیه در سه دمای ۱۳۵، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. سطوح مورد استفاده زمان و دما با توجه به روش پژوهش در مورد محصولات مشابه و نیز پیش تیمارهای صورت گرفته تعیین 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 سرخ کن بررسی و مجدد جایگزین شد. یک ساعت پس از سرخ کردن، روغن تعویض شد.

## ۲-۳- تصویرگیری و آنالیز تصاویر

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر تغییرات رنگ سطح نمونه‌های سرخ شده، به صورت زیر عمل شد: الف) سیستم ماشین بینایی<sup>۱</sup>: نمونه‌های خارج شده از سرخ کن پس از حذف روغن سطحی تا دمای اتاق سرد شدند. برای تصویرگیری، از یک اسکنر تخت<sup>۲</sup> (HP ScanJet G4010, Hewlett Packard Co., CA، آمریکا) استفاده شد. عکس‌ها با رزولوشن<sup>۳</sup> ۶۰۰ dpi و به فرمت JPEG ذخیره شدند.

ب) پیش پردازش تصاویر: تقطیع<sup>۴</sup> تصاویر (جدا نمودن تصویر حقیقی نمونه‌های گوشت شترمرغ از پس زمینه) با استفاده از نرم افزار فتوشاپ (Adobe, v.8.0) انجام گرفت و عکس‌ها به فرمت PNG ذخیره شدند.

ج) تغییر فضای رنگی از RGB به  $L^*a^*b^*$ : از آنجا که پارامترهای رنگی  $L^*a^*b^*$  وابسته به ابزار اندازه‌گیری نبوده و بدون توجه به خروجی یا ورودی، رنگ یکنواختی را فراهم می‌کند و نیز بیشترین شباهت را به سیستم بینایی انسان دارد [۲۴]، تصاویر به دست آمده به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  تبدیل شدند. در این مطالعه، آنالیز تصویر با استفاده از نرم افزار ایمج جی<sup>۵</sup> نسخه ۱.۴۳۲ انجام شد.

## ۲-۴- آنالیز آماری

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار مینی تب<sup>۶</sup> نسخه ۱۵ انجام گرفت. طرح اسپلیت پلات<sup>۷</sup> یک آزمایش بلوک شده

است که خود بلوک‌ها برای زیرمجموعه‌ای از فاکتورها به عنوان واحدهای آزمایشی در نظر گرفته می‌شود. با اینکه هر دو طرح اسپلیت پلات و فاکتوریل از اعتبار یکسانی برخوردار هستند، بر اساس نظریه استیل و همکاران (۱۹۹۶) وقتی بدانیم سطوح یک فاکتور در مقایسه با سطوح فاکتور دیگر تفاوت‌های بیشتری نشان می‌دهد و نیز زمانی که بخواهیم دقت بیشتری برای آزمایش سطوح یک فاکتور نسبت به فاکتور دیگر داشته باشیم، بهتر است از طرح اسپلیت پلات استفاده شود [۲۵]. در این تحقیق با توجه به مطالعات قبلی، نتایج پیش تیمارها و اختلاف کم زمانی بین تیمارها (۱۵ ثانیه) دیده شد که سطوح مختلف فاکتور دمای سرخ کردن تفاوت‌های بیشتری را به لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رنگ نمونه‌ها ایجاد می‌کند و لذا نیاز به دقت بیشتر در بررسی آن می‌باشد. بنابراین، برای بررسی اثر شرایط مختلف سرخ کردن از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در قالب اسپلیت پلات روی متغیر دمای سرخ کردن استفاده شد. سطح آماری معنی‌داری ۹۵ درصد احتمال بود. همه آزمایشات سه بار تکرار شد.

## ۴- نتایج و بحث

در جدول (۱) بخشی از جداول آنالیز واریانس برای تغییرات کل رنگ سطح و تغییرات هر پارامتر رنگی گوشت آورده شده است. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، دمای فرآیند فقط بر تغییرات رنگ کل و روشنایی تأثیر معنی‌دار داشته و در سطح ۹۵ درصد بر تغییرات سایر پارامترهای رنگی بی‌تأثیر بوده است. اما در مطالعه Salehi (۲۰۱۸) در مورد قطعات هویج که در دماهای ۱۳۰ تا ۱۹۰ سرخ شده بودند، دمای فرآیند هم بر تغییرات رنگ کل و هم بر هر یک از پارامترهای رنگی اثر معنی‌دار داشت [۱۱]. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، زمان فرآیند سرخ کردن، به جز بر اختلاف مقدار قرمزی رنگ سطوح گوشت قبل و بعد از سرخ کردن، بیشترین اثر معنی‌داری را بر سایر پارامترها داشته است. نکته قابل توجه اینکه اثر متقابل این دو متغیر در سطح احتمال ۹۹ درصد بر روی تغییرات رنگ کل معنی‌دار بوده و بیشترین اثر را بر سایر پارامترها داشته است. در مراحل اولیه سرخ کردن مقدار پارامتر  $L^*$  سطح قطعات گوشت افزایش داشت که نشان از زیادت‌ر شدن روشنایی سطح گوشت در قیاس با نمونه خام دارد؛ ولی در ادامه مقدار آن ثابت باقی ماند. Krokida و همکاران

1. Computer vision system
2. Flat scanner
3. Resolution
4. Segmentation
5. ImageJ
6. Minitab
7. Split plot design

مورد قطعات هویج سرخ شده پارامتر  $L^*$  کاهش می‌یابد [۱۱].

(۲۰۰۱) به نتیجه مشابهی در مورد خلال های سیب زمینی سرخ شده رسیدند [۹]. اما در مطالعه Salehi (۲۰۱۸) در

**Table 1** Mean squares from the analysis of variance of the color changes and 3 color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ )

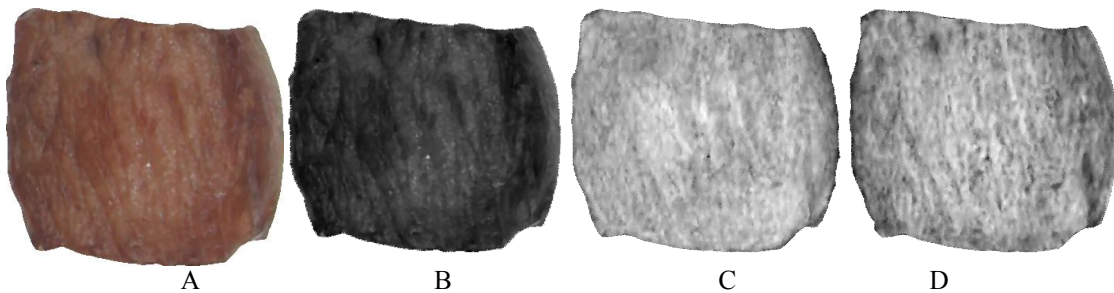
Source	Degree of freedom	Mean squares			
		$\Delta E$	$L_2 - L_1$	$a_2 - a_1$	$b_2 - b_1$
A	2	284.934**	1060.01**	61.90 <sup>NS</sup>	115.942 <sup>NS</sup>
R (A)	6	8.883	81.00	22.61	23.090
B	8	54.334**	311.08**	20.75 <sup>NS</sup>	19.822*
A×B	16	32.869**	294.48**	31.14	16.145*
Error	48	5.286	91.70	12.71	7.508
Total	80				

A temperature (□), B time (s), R replication, NS not significant

\*\*p=0.01; \*p=0.05

همکاران (۲۰۱۶) در مورد سرخ کردن رشته خوشکار (نوعی شیرینی محلی) این پارامتر افزایش نشان داد [۱۲]. همان طور که اشاره شد، تصاویر به دست آمده به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  تبدیل شدند. یک نمونه تبدیل تصویر از فضای رنگی RGB به  $L^*a^*b^*$  در شکل (۱) آورده شده است.

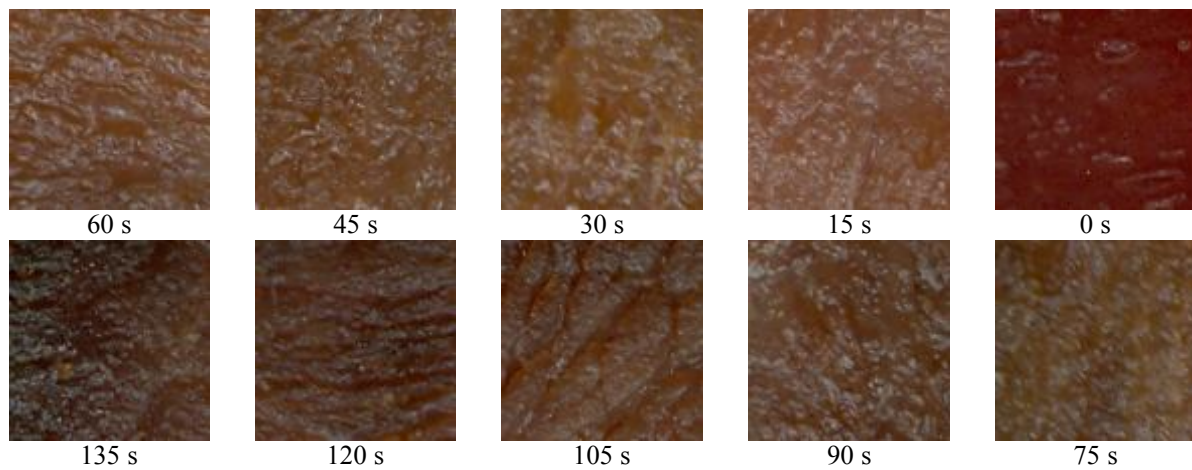
بدیهی بود که بعد از سرخ کردن به دلیل کاهش در قرمزی رنگ گوشت، مقدار پارامتر رنگی  $a^*$  کاهش داشت. در مطالعه Salehi (۲۰۱۸) در مورد قطعات هویج سرخ شده مقدار این پارامتر در مراحل اولیه سرخ کردن کاهش می‌یابد و پس از آن افزایش می‌یابد [۱۱]. در صورتیکه در مطالعه Shahidi و



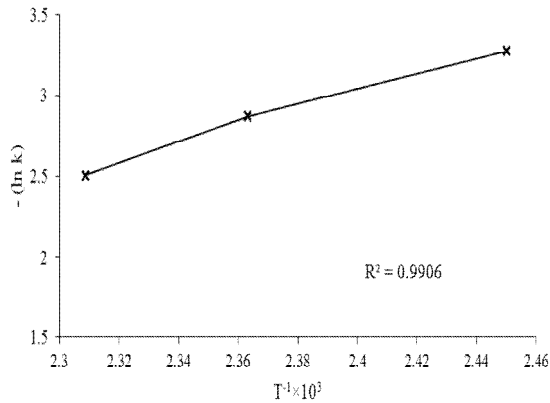
**Fig 1** Sample image of ostrich meat after frying at 160 °C for 75 s; A: Separated image, B:  $L^*$  component, C:  $a^*$  component, D:  $b^*$  component

سانتیگراد، با استفاده از پردازش تصویر نشان می‌دهد.

شکل (۲) تغییرات رنگ قطعات گوشت شترمرغ در فضای رنگی RGB طی سرخ کردن عمیق در دمای ۱۵۰ درجه



**Fig 2** Color changes in RGB color space during deep-fat frying of ostrich meat cubes at 150 °C.

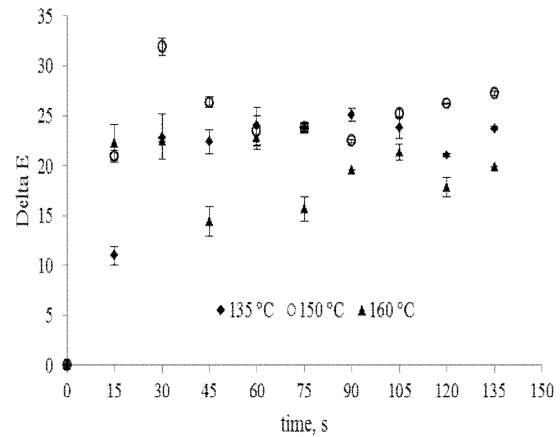


**Fig 4** Arrhenius diagram of color change rates of the ostrich meat surfaces during deep fat frying

با استفاده از رابطه (۵) و از روی شیب نمودار شکل (۴)، مقدار انرژی فعال سازی<sup>۱</sup> برای تغییرات رنگ کل سطح قطعات گوشت شترمرغ  $44/80$  kJ/mol بدست آمد که ضریب تبیین  $(R^2)$   $0/99$  همبستگی مناسب بین داده‌ها را نشان می‌دهد. سرباز و همکاران (۱۳۹۷) و همچنین Jayendra Kumar و همکاران (۲۰۰۶) مقدار انرژی فعال سازی را به ترتیب برای تغییرات رنگ کل نوعی کوفته محلی و فیله گوشت بوقلمون طی سرخ کردن عمیق در دماهای ۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه سانتیگراد و ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد،  $46/66$  تا  $26$  کیلوژول بر مول گزارش کردند [۱۶] و Ramaswamy و Nourian که این در حال است که (۲۰۰۳) مقدار انرژی فعال سازی را برای تغییرات رنگ کل سیب زمینی در حین سرخ شدن در دماهای ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۸۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد،  $59/3$  kJ/mol بدست آوردند [۶].

افزایش مقدار  $\Delta E$  را که با تیره شدن رنگ سطح قطعات گوشت همراه است، می‌توان به واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی از جمله واکنش میلارد<sup>۲</sup> نسبت داد. دمای بالا و محتوای رطوبتی کمتر سطح گوشت در حین تشکیل شدن پوسته<sup>۳</sup>، نقش اساسی در این واکنش دارد. قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی را می‌توان نتیجه تشکیل پیگمان‌های رنگی مختلف مثل ملانوئیدین‌ها دانست؛ ولی طی مراحل مختلف سرخ کردن، مقادیر نسبی این پیگمان‌ها و ویژگی‌های رنگی هر کدام در پوسته گوشت شترمرغ می‌تواند بسیار متفاوت باشد. مقدار واکنش‌های قهوه‌ای شدن تحت تأثیر فاکتورهای زیادی چون

در شکل (۲) ملاحظه می‌شود که با پیشرفت زمان سرخ کردن، قهوه‌ای شدن سطح قطعات گوشت تشدید شده و چروکیدگی آنها بیشتر شده است. شکل (۳) بیانگر تغییرات رنگ کلی  $(\Delta E)$  سطح گوشت شترمرغ که در دماها و زمان‌های مختلف سرخ شده می‌باشد.



**Fig 3** Total color ( $\Delta E$ ) changes of fried ostrich meat at different times and temperatures

در شکل (۳) دیده می‌شود که رنگ کل سطح قطعات گوشت شترمرغ به دست آمده از رابطه (۲)، با پیشرفت زمان سرخ کردن افزایش می‌یابد. لذا ملاحظه می‌شود که نتایج سیستم ماشین بینایی با مشاهدات بصری همبستگی داشته است. همان طور که مشاهده می‌شود، افزایش  $\Delta E$  با زمان در ابتدای سرخ کردن سریع و در ادامه کندتر شده است. بیشترین مقادیر  $\Delta E$  اندازه گیری شده در محدوده  $22/84$  و  $31/96$  قرار داشت که به دمای تیمار و زمان آن بستگی دارد. کینتیک واکنش از نوع درجه اول بود. Salehi (۲۰۱۹)، Moyano و همکاران (۲۰۰۲) و Oyedeji و همکاران (۲۰۱۷) نیز به ترتیب برای بررسی تغییر رنگ کلم قمری، خلال‌های سیب زمینی سرخ شده که آنزیم بری شده و تحت پیش تیمار اسمزی قرار گرفته بودند و چیبس کاساوا زرد، از مدل کینتیکی درجه اول استفاده کردند [۱۳-۱۵].

در شکل (۴) نمودار آرنیوسی ثابت‌های سرعت تغییرات رنگ سطح قطعات گوشت شترمرغ در حین سرخ کردن عمیق در دماهای ۱۳۵، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتیگراد نشان داده شده است.

1. Activation energy  
2. Millard reaction  
3. Crust

## ۶- تعارض منافع

در این پژوهش هیچ گونه تعارض منافی برای نویسنده وجود ندارد.

## ۷- منابع

- [1] Ngadi M, Dirani k, Oluka S. Mass transfer characteristics of chicken nuggets. *International Journal of Food Engineering*. 2006;2(3):1-16.
- [2] Hubbard LJ, Farkas BE. Influence of oil temperature on heat transfer during immersion frying. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2000;24(2):143-62.
- [3] Ziaifar AM, Achir N, Courtois F, Trezzani I, Trystram G. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science & Technology*. 2008;43(8):1410-23.
- [4] Bhat KK, Bhattacharya S. Deep fat frying characteristics of chickpea flour suspensions. *International Journal of Food Science & Technology*. 2001;36(5):499-507.
- [5] Labuza TP. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal of Chemical Education*. 1984;61(4):348.
- [6] Nourian F, Ramaswamy HS. Kinetics of quality change during cooking and frying of potatoes: part II. Color. *Journal of Food Process Engineering*. 2003;26(4):395-411.
- [7] Vélez Ruiz JF, Sosa Morales ME. Evaluation of Physical Properties of Dough of Donuts During Deep Fat Frying at Different Temperatures. *International Journal of Food Properties*. 2003;6(2):341-53.
- [8] Baik OD, Mittal GS. Kinetics of tofu color changes during deep-fat frying. *LWT - Food Science and Technology*. 2003;36(1):43-8.
- [9] Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, Marinou-Kouris D. Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*. 2001;48(3):219-25.
- [10] Ateba P, Mittal GS. Dynamics of crust formation and kinetics of quality changes during frying of meatballs. *Journal of Food Science*. 1994;59(6):1275-8.
- [11] Salehi F. Color changes kinetics during

دما، زمان، pH، فعالیت آبی<sup>۱</sup> و غیره است که در طی فرآیند سرخ کردن در حال تغییر هستند [۲۷]. افزایش درجه حرارت و زمان فرآیند سبب تسریع واکنش قهوه‌ای شدن می شود. اثر pH بستگی زیادی به رطوبت و در نتیجه فعالیت آبی دارد. در مقادیر زیاد رطوبت بخش عمده قهوه ای شدن ناشی از کارامل شدن است، اما در رطوبت کم و pH بیشتر از ۶ عمدتاً واکنش میلاارد صورت می گیرد [۲۰].

از دیگر مزایای سرخ کردن اثر محافظتی آن است که با نابود کردن میکروارگانیزم ها و آنزیم ها و کاهش فعالیت آبی در سطح غذا حاصل می شود.

## ۵- نتیجه گیری

مطالعه تغییرات کیفی مواد غذایی طی فرآیند سرخ کردن عمیق با اندازه گیری رنگ توسط سیستم ماشینی بینایی امکان پذیر شده است. در این مطالعه به صورت موفقیت آمیزی از پردازش تصویر به عنوان یک روش ساده و در عین حال غیر مخرب، برای ارزیابی رنگ سطح نمونه های گوشت شترمرغ سرخ شده استفاده شد. کینتیک تشکیل یا زوال رنگ در این سطوح طی سرخ کردن عمیق، به خوبی با استفاده از یک رابطه کینتیک درجه اول مدل سازی شد و نیز حساسیت به دمای ثابت های سرعت با استفاده از رابطه آرنیوس بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزایش تغییرات کلی رنگ با زمان در ابتدای سرخ کردن سریع و در ادامه کندتر شده است. ضمن اینکه مقدار انرژی فعال سازی تغییرات رنگ کل ۴۴/۸۰ کیلوژول بر مول به دست آمد. آنالیز آماری نیز نشان داد که زمان و دمای سرخ کردن و نیز اثر متقابل آنها، تأثیر معنی داری بر تغییرات کل رنگ سطح گوشت دارد. نتایج این تحقیق برای پیش بینی تغییرات کیفی گوشت شترمرغ طی سرخ کردن عمیق و نیز رسیدن به کیفیت بهینه محصول قابل استفاده است. جهت ارزیابی بهتر تغییرات رنگ، پیشنهاد می شود از سایر روش های سرخ کردن مانند سرخ کردن در مایکروویو، سرخ کردن تحت خلأ و یا سرخ کردن در حضور گازهای بی اثر مثل ازت استفاده شده و با روش سرخ کردن عمیق مقایسه شود. همچنین به کار بردن سایر روش های آنالیز تصویر (مثل آنالیز بافت تصویر) در ارزیابی تصاویر نمونه های سرخ شده به روش عمیق می تواند مفید باشد.

1. Water activity

- texture change kinetics in ripening bananas. *LWT - Food Science and Technology*. 2002;35(5):415-9.
- [20] Sahin S, Sumnu SG. Advances in deep-fat frying of foods, in: Sun DW (Ed.), *Contemporary Food Engineering*. CRC Press, USA. 2009 (p. 330).
- [21] Sosa-Morales ME, Orzuna-Espíritu R, Vélez-Ruiz JF. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*. 2006;77(3):731-8.
- [22] Sun DW. *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*. Elsevier Inc. 2008.
- [23] Amiryousefi MR, Mohebbi M, Khodaiyan F. Applying an intelligent model and sensitivity analysis to inspect mass transfer kinetics, shrinkage and crust color changes of deep-fat fried ostrich meat cubes. *Meat Science*. 2014;96:172-8.
- [24] Yam KL, Papadakis SE. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 2004;61(1):137-42.
- [25] Ehdaie B. Factorial and split-plot statistical designs (note). *Seed and Plant Production Journal*. 2014;29(4): 583-90.
- [26] Jayendra Kumar A, Singh RRB, Patel AA, Patil GR. Kinetics of colour and texture changes in Gulabjamun balls during deep-fat frying. *LWT - Food Science and Technology*. 2006;39(7):827-33.
- [27] Trevisan AJB, de Almeida Lima D, Sampaio GR, Soares RAM, Markowicz Bastos DH. Influence of home cooking conditions on Maillard reaction products in beef. *Food Chemistry*. 2016;196:161-9.
- deep fat frying of carrot slice. *Heat and Mass Transfer*. 2018;54(11):3421-6.
- [12] Shahidi S-A, Ghorbani-HasanSaraei A, Mohebbi M, Motamedzadegan A. Kinetics of Reshth Khoshkar Color Changes During Atmospheric and Vacuum Deep-fat Frying. *International Journal of Engineering*. 2016;29(12):1670-6.
- [13] Moyano PC, Río seco VK, González PA. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated french fries. *Journal of Food Engineering*. 2002;54(3):249-55.
- [14] Salehi F. Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) slice. *International Journal of Food Properties*. 2019;22(1):511-9.
- [15] Oyedeji AB, Sobukola OP, Henshaw F, Adegunwa MO, Ijabadeniyi OA, Sanni LO, et al. Effect of Frying Treatments on Texture and Colour Parameters of Deep Fat Fried Yellow Fleshed Cassava Chips. *Journal of Food Quality*. 2017;2017:1-11.
- [16] Sarbaz N, Vazifedust M, Aliabadi M. Evaluation of the effect of ultrasound pretreatment on mass transfer kinetics and physicochemical and sensory properties of deep-fried meat fillets. *Journal of innovation in food science and technology*. 2019;10(4):87-105.
- [17] Alamatian S, Mohebbi M, Varidi M, Momen Nezhad M. Modeling of osmotic treatment of ostrich meat coated by tragacanth and salep. *Meat Science*. 2019;156:231-9.
- [18] Fernández-López J, Jiménez S, Sayas-Barberá E, Sendra E, Pérez-Alvarez JA. Quality characteristics of ostrich (*Struthio camelus*) burgers. *Meat Science*. 2006;73(2):295-303.
- [19] Chen CR, Ramaswamy HS. Color and





## Modeling of Kinetic Changes of Ostrich Meat Color during Deep Fat Frying by Image Processing

Hesarinejad, M. A.<sup>1</sup>, Amiryousefi, M. R.<sup>2\*</sup>

1. Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran  
 2. Department of Food Science and Technology, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 24 November 2018  
 Accepted 29 December 2020

#### Keywords:

Color kinetic changes,  
 Deep-fat frying,  
 Ostrich meat,  
 Image processing

**DOI:** 10.52547/fsct.18.02.28

\*Corresponding Author E-Mail:  
 mramiryousefi@gmail.com

Increasing information about color kinetic changes has made the improvement of color parameters possible. Analysis of the color kinetics data allows for undesirable changes to be minimized and optimizes the color retention in food products. Imaging and image processing operation were performed to extract color parameters in the color space L\*a\*b. Image J software was applied to analysis the images, and changing the color space was done using a two-stage method. The temperature sensitivity of rate constants was evaluated using Arrhenius equation. Results showed that the increase of  $\Delta E$  during time at the beginning of frying was fast and then has been slower. The activation energy was determined 44.80 kJ/mol. Statistical analyses showed that frying time and frying temperature and also interaction of them had significant effects on total color changes of the meat cubes. Color measurement was carried out successfully using image processing as a non-destructive and simple method in evaluation of ostrich meat crust color and the results of machine vision system correlated with the visual observations. Kinetic of formation or deterioration of color during deep fat frying was well modeled using a first-order kinetic equation.