(مقاله پژوهشی)

بررسی سینتیک تغییرات رنگ و سطح برش‌های بادمجان‌پوشش‌داده شده با موسیلاژ دانه‌ریحان‌طی‌فرآیند سرخ‌کردن

محمدامین اسدنهال[۱]، فخرالدین صالحی[۲*]، مجید رسولی[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

۲- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۲

DOI: 10.30495/jfst.2023.1920587.1694

چکیده

استفاده از موسیلاژهای خوراکی یکی از روش‌های مناسب برای بهبود خصوصیات ظاهری مواد غذایی سرخ‌شده است. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات مؤلفه‌های رنگی شامل روشنایی، قرمزی، زردی، تغییرات رنگ و مساحت برش‌های بادمجان پوشش‌دهی شده با غلظت‌های مختلف موسیلاژ دانه ریحان هنگام سرخ کردن عمیق بود. در این پژوهش، برش‌های بادمجان درون سرخ‌کن قرار گرفته و هر یک دقیقه (تا ۱۲ دقیقه) اثرات دمای سرخ کردن در سه سطح ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس بر ویژگی‌های ظاهری نمونه‌ها بررسی شد. برای مدل‌سازی مؤلفه تغییرات رنگ نیز از مدل‌های توانی، درجه دوم، گومپرتز، لجستیک، ریچارد، ام‌ام‌اف و ویبول استفاده شد. مؤلفه روشنایی محاسبه شده برای فرآیند سرخ‌شدن نمونه‌های بادمجان نشان داد که نمونه‌های‌پوشش‌داده شده با موسیلاژ دانه ریحان روشن‌تر هستند. با افزایش غلظت موسیلاژ دانه ریحان از صفر به ۱/۵ درصد، مؤلفه قرمزی نمونه‌ها از ۷/۹۶ به ۱۱/۲۵ افزایش یافت. نمونه‌های پوشش داده شده به‌صورت معنی‌داری زردتر بودند ($P<۰/۰۵$) اما بین غلظت‌های ۱ و ۱/۵ درصد موسیلاژ اختلاف معناداری وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). میانگین مقادیر مؤلفه تغییرات رنگ برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان به ترتیب برابر ۴۳/۷۱، ۴۱/۲۵، ۴۲/۶۴ و ۴۰/۸۸ بود. برای مدل‌سازی مؤلفه تغییرات رنگ، مدل ام‌ام‌اف در مقایسه با سایر مدل‌ها خطای‌کمتری داشت. میانگین تغییرات مساحت محاسبه شده برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان به ترتیب برابر ۴۹/۴۱، ۴۳/۶۸، ۴۲/۴۱ و ۳۶/۶۶ بود. نتایج نشان داد که پوشش‌دهی برش‌های بادمجان با موسیلاژ دانه ریحان باعث حفظ شکل ظاهری محصول سرخ‌شده گردید و کمترین تغییرات مساحت در زمان سرخ شدن در تیمار پوشش‌دهی با ۱/۵ درصد موسیلاژ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: برش‌های بادمجان، سرخ کردن عمیق، موسیلاژ دانه ریحان، مدل‌سازی.

* مسئول مکاتبات: F.Salehi@Basu.ac.ir

۱- مقدمه

مواد غذایی‌سرخ‌شده حاوی مقدار قابل‌توجهی روغن هستند (در برخی موارد تا یک سوم وزن‌کل‌م حصول) که این امر از نظر سلامتی می‌تواند برای مصرف‌کننده مضر باشد. در دهه‌های اخیر تلاش‌برای‌بررسی‌مکانیسم‌جذب‌روغن‌وکاهش آن در محصولات سرخ‌شده افزایش یافته است (۸ و ۹ و ۱۶). کنترل شرایط سرخ کردن‌واستفاده‌ازپوشش‌های‌خوراکی‌می‌تواند به بهبود ویژگی‌های ظاهری ورنگ محصول نهایی کمک کند. محصولات کشاورزی خام مانند بادمجان هنگام‌سرخ شدن در روغن‌های‌خوراکی مقدار زیادی روغن جذب خود می‌کنند. هر چقدر روغن جذب شده توسط این محصولات بیشتر باشد، ماندگاری و کیفیت آن‌ها کمترشده‌وباعث‌کاهش‌پذیرش‌محصول‌نهایی توسط مصرف‌کننده می‌شود. جذب زیاد روغن توسط محصولات سرخ شده را می‌توان‌باپوشش‌دهی این محصولات با استفاده از هیدروکلوئیدها کاهش‌داد. محصولات‌سرخ‌شده پوشش‌داده شده علاوه بر درصد پایین‌روغن، دارای رنگ روشن‌تر، ارزش تغذیه‌ای و حسی بالاتر، تخلخل بیشتر، افت رطوبت کمتر، حداقل اکسیداسیون و همچنین دارای ویژگی‌های ظاهری، بافتی و مزه بهتری هستند (۱۶ و ۱۷). بادمجان (*Solanum melongena*. L.) در نقاط گرمسیری و معتدل جهان رشد می‌کند و به‌عنوان یکی از سبزی‌های مهم بازار کشورهای آسیایی و مدیترانه‌ای مطرح است. ایران بعد از چین و هند، مقام سوم تولید بادمجان در جهان را دارد. سرخ کردن یکی از روش‌های فرآوری این محصول می‌باشد و بادمجان سرخ‌شده بر اساس سلیقه مردم مناطق مختلف، تهیه و مصرف می‌شود (۱۵ و ۱۶). تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی مانند دناتوراسیون پروتئین‌ها، ژلاتینه شدن نشاسته، تغییرات رنگ سطح (قهوه‌ای شدن)، خروج سریع آب و جذب روغن در طی فرآیند سرخ کردن رخ می‌دهد (۱۱). به‌طورکلی، برش‌های بادمجان با رنگ روشن نسبت به رنگ تیره ترجیح داده می‌شوند. قندهای احیاء کننده تحت تأثیر حرارت با پروتئین و اسیدهای آمینه آزاد، طی واکنش‌قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی موسوم به مایلارد[1]، ایجاد رنگدانه و طعم می‌کنند. ملانوئیدین ترکیب نیتروژن دار قهوه‌ای‌رنگ با وزن مولکولی بالا است که محصول نهایی واکنش مایلارد بوده و عامل ایجاد رنگ معمول قهوه‌ای طلایی در محصول می‌باشد. میزان بیشتر این رنگ‌دانه موجب ایجاد محصول تیره با طعم تلخ می‌شود (۱۰). رنگ محصول سرخ‌شده از نظرسلامت محصول اهمیّت دارد. گسترش رنگ طی فرآیند یک پدیده سطحی است که وابسته به دما و زمان فرآیند می‌باشد. آکریل‌آمیدازترکیبات حاصل از واکنش بین اسیدآمینه آسپارژین و قندهای احیاءکننده طی واکنش‌مایلارد است و کنترل دما و زمان‌درحین‌سرخ کردن تأثیر معنی‌داری برکاهش تشکیل آکریل آمید دارد. از طرفی دمای سطحی محصول در تشکیل رنگ و واکنش‌های شیمیایی وابسته به آن، اهمیت زیادی دارد. درواقع تشکیل‌آکریل‌آمید عمدتاً در سطح ونزدیک سطح محصول اتفاق می‌افتد؛ بنابراین،کنترل زمان و دمای سطحی محصول و شستشوی سطح برش خورده آن می‌تواند تا حد زیادی تشکیل آکریل آمید را کاهش دهد (۶). استفاده‌ازپوشش‌های‌هیدروکلوئیدی خوراکی (موسیلاژها) یکی از روش‌های مناسب برای کاهش مقدار روغن جذب شده در مواد غذایی سرخ‌شده است. موسیلاژ دانه ریحان از جمله هیدروکلوئیدهای گیاهی است که بدون افزودن هر گونه حلال و در شرایط طبیعی استخراج شده و حاوی انواع کربوهیدرات‌ها، پروتئین و فیبر می‌باشد. این موسیلاژ را می‌توان در فرمولاسیون انواع مواد غذایی و یا برای پوشش‌دهی انواع محصولات‌کشاورزی به عنوان پوشش خوراکی قبل از فرآیند سرخ‌کردن استفاده کرد (۸ و ۱۶). برخی از محققان گزارش کرده‌اندکه‌استفاده از پوشش‌های خوراکی تهیه شده از موسیلاژها درکاهش میزان جذب روغن در طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق محصولات‌غذایی‌سرخ‌شده‌مؤثراست. جرجانی و همراهی (۲۰۱۵) تأثیر هیدروکلوئیدهای گوار و گزانتان بر کاهش جذب روغن در فرایند سرخ کردن بادمجان را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌دادکه پوشش‌دهی حلقه‌های بادمجان با مواد هیدروکلوئیدی منجر به کاهش جذب روغن در محصول نهایی می‌شود (۷). در پژوهشی دیگر اثر صمغ دانه ریحان بر میزان جذب روغن و خواص‌فیزیکی‌خلال‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق توسط زمانی قلعه شاهی (۲۰۱۵) بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان جذب روغن در همه نمونه‌های پوشش‌دهی شده در مقایسه با نمونه شاهد کمتر بود. همچنین بیشترین تغییرات کلی‌رنگ و سفتی بافت به ترتیب به نمونه‌های تیمار شده با گزانتان و دانهٔ ریحان با غلظت ۱ درصد مربوط بوده است (۲۲).

1 - Maillard reaction

با توجه به بررسی منابع منتشرشده مشخص‌شدکه تاکنون پژوهشی در خصوص اثر پوشش‌دهی با موسیلاژ دانه ریحان بر سینتیک تغییرات رنگ و سطح بادمجان طی فرآیند سرخ کردن صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش سینتیک تغییرات رنگ و سطح برش‌های بادمجان پوشش داده شده با موسیلاژ دانه ریحان طی فرآیند سرخ کردن بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه موسیلاژ دانه ریحان

در این پژوهش دانه‌های ریحان (*Ocimum basilicum* L.) از استان همدان تهیه و ناخالصی‌آن‌هاکاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج موسیلاژ، ابتدا دانه‌های ریحان به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و با نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرارگرفتند. سپس جهت جدا کردن موسیلاژ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آبمیوه‌گیری استفاده شد (۱ و ۱۹). غلظت موسیلاژ استخراج شده ۰/۶ درصد وزنی/وزنی بود. موسیلاژ تهیه شده در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و سپس توسط آسیاب پودر گردید. جهت بررسی اثر غلظت موسیلاژ بر مؤلفه‌های مورد بررسی، غلظت‌های ۰/۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد (وزنی/وزنی) از موسیلاژ خشک‌شده تهیه گردید. برای حل کردن موسیلاژ درون آب از همزن مغناطیسی (شیماز، ایران) استفاده شد.

۲-۲- فرآیند پوشش‌دهی

نمونه‌های بادمجان با اندازه متوسط و یک شکل از استان همدان تهیه‌گردید. برای انجام فرآیند سرخ کردن ابتدا بادمجان‌ها به قطعاتی با ضخامت۱سانتی‌متر برش داده شدند. نمونه‌ها به دو گروه شاهد(بدون پوشش) و پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف موسیلاژدانه‌ریحان تقسیم شدند. ابتدا درون بشر به‌صورت جداگانه محلول‌هایی با غلظت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی از موسیلاژ خشک شده تهیه گردید. سپس برای پوشش‌دهی، نمونه‌های برش خورده به مدت۱دقیقه درون محلول‌های تهیه شده از موسیلاژ قرار گرفتند (۲۰).

۲-۳- فرآیند سرخ کردن

برش‌های بادمجان پس از برش و پوشش‌دهی، جهت سرخ‌کردن در سه سطح دمای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. جهت سرخ‌کردن عمیق از روغن آفتابگردان و سرخ‌کن خانگی دلمونتی‌استفاده‌شد.جهت‌کنترل‌دمای‌سرخ‌کن‌از دماسنج دیجیتالی تماسی دوکاناله لوترون[1] (تایوان) با دامنه دمایی۵۰- تا ۱۲۳۰ درجه‌سلسیوس(±۰/۱°C) و ترموکوپل دمایی نوع K با ضخامت یک میلی‌متر استفاده گردید. نمونه‌های سرخ شده در طی زمان آزمایش از مخزن روغن خارج و پس از حذف روغن سطحی توسط‌دستمال‌کاغذی،بلافاصله‌جهت‌بررسی‌تغییرات رنگ استفاده شدند.

۲-٤- بررسی تغییرات رنگ سطحی

جهت‌بررسی‌تغییرات‌رنگ‌نمونه‌ها،ازروش‌پردازش تصویر استفاده گردید. در طی زمان سرخ کردن هر یک دقیقه از نمونه‌ها عکس در فرمت JPG تهیه شد و بعد از تبدیل به فرمت $L^*a^*b^*$ توسط نرم‌افزار Image J (Image J software version 1.42e, USA)، مؤلفه‌های رنگی آنها شامل مؤلفه‌های روشنایی ـ تیرگی (L^*)، سبزی ـ قرمزی (a^*)، آبی ـ زردی (b^*) و تغییرات رنگ (ΔE) محاسبه و گزارش شد. مدل رنگی Lab مرکب از مؤلفه روشنایی (دامنه صفر تا ۱۰۰) و دو مؤلفه رنگی a* و b* (دامنه ۱۲۰- تا ۱۲۰+) تشکیل شده است. در این پژوهش از یک اسکنر اچ‌پی‌مدل اسکنجت۳۰۰ (چین)، جهت تصویربرداری استفاده گردید. برای آنالیز تصاویر تهیه‌شده توسط نرم‌افزار Image J، از برنامه‌تخصصی Color –Space –Converter استفاده و تصاویر از فضای رنگی RGB به مؤلفه‌های $L^* a^* b^*$ تبدیل گردیدند. مقادیر تغییر رنگ (ΔE) در مقایسه با نمونه‌سرخ نشده و با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (۱۸).

معادله(۱)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

۲-۵- مدل‌سازی مؤلفه تغییرات رنگ

مقادیرΔEبرای‌غلظت‌های‌مختلف پوشش مورد استفاده و دماهای مختلف در طی زمان سرخ‌کردن برش‌های بادمجان محاسبه شد و داده‌های تجربی حاصل از آن با مدل‌های توانی[2] (۲)، درجه دوم[3]

1 - Lutron, TM-916
2 - Power Models
3 - Quadratic Model

(۳)، گومپرتز[1] (۴)، لجستیک[2] (۵)، ریچارد[3] (۶)، امامااف[4] (۷) و ویبول[5] (۸) برازش گردید (۱۴ و ۱۸).

مدل توان (۲) $\Delta E = at^b$

مدل درجه دوم (۳) $\Delta E = a + bt + ct^2$

مدل گومپرتز (۴) $\Delta E = ae^{-e^{b-ct}}$

مدل لجستیک (۵) $\Delta E = \frac{a}{1+be^{-ct}}$

مدل ریچارد (۶) $\Delta E = \frac{a}{(1+e^{b-ct})^{1/d}}$

مدل امامااف (۷) $\Delta E = \frac{ab+ct^d}{b+t^d}$

مدل ویبول (۸) $\Delta E = a - be^{-ct^d}$

در این مدل‌ها ΔE و t به ترتیب نشان دهنده شدت تغییرات رنگ و زمان‌سرخ‌کردن (دقیقه) می‌باشند. همچنین حروف a، b، c و d مقادیر ثابت این مدل‌ها می‌باشند که بعد از برازش داده‌های آزمایشگاهی با این مدل‌ها، انتخاب بهترین مدل، ثابت‌های این مدل گزارش می‌شود.

۲-۶- بررسی تغییرات سطح

درصد تغییرات اندازه سطح (ΔA) برش‌های بادمجان که معیاری از چروکیدگی وکاهش سطح محصول در طی فرآیندسرخ کردن می‌باشد با استفاده از روش پردازش تصویر و رابطه ۹ محاسبه و گزارش‌شد. در این روش ابتدا از نمونه‌ها عکس با کیفیت بالا تهیه‌شد.سپس‌توسط نرم‌افزارImage J تعداد پیکسل‌های موجود در عکس به سانتی‌متر تبدیل گردید (Set scale, Pixels to cm) و با استفاده از بخشAnalyze particles سطح نمونه‌ها برحسب سانتی‌متر مربع محاسبه و گزارش شد.

(۹)

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

در این رابطه،A_1: سطح نمونه تازه (سانتی‌متر مربع) و A_2: سطح نمونه سرخ‌شده (سانتی‌متر مربع) است.

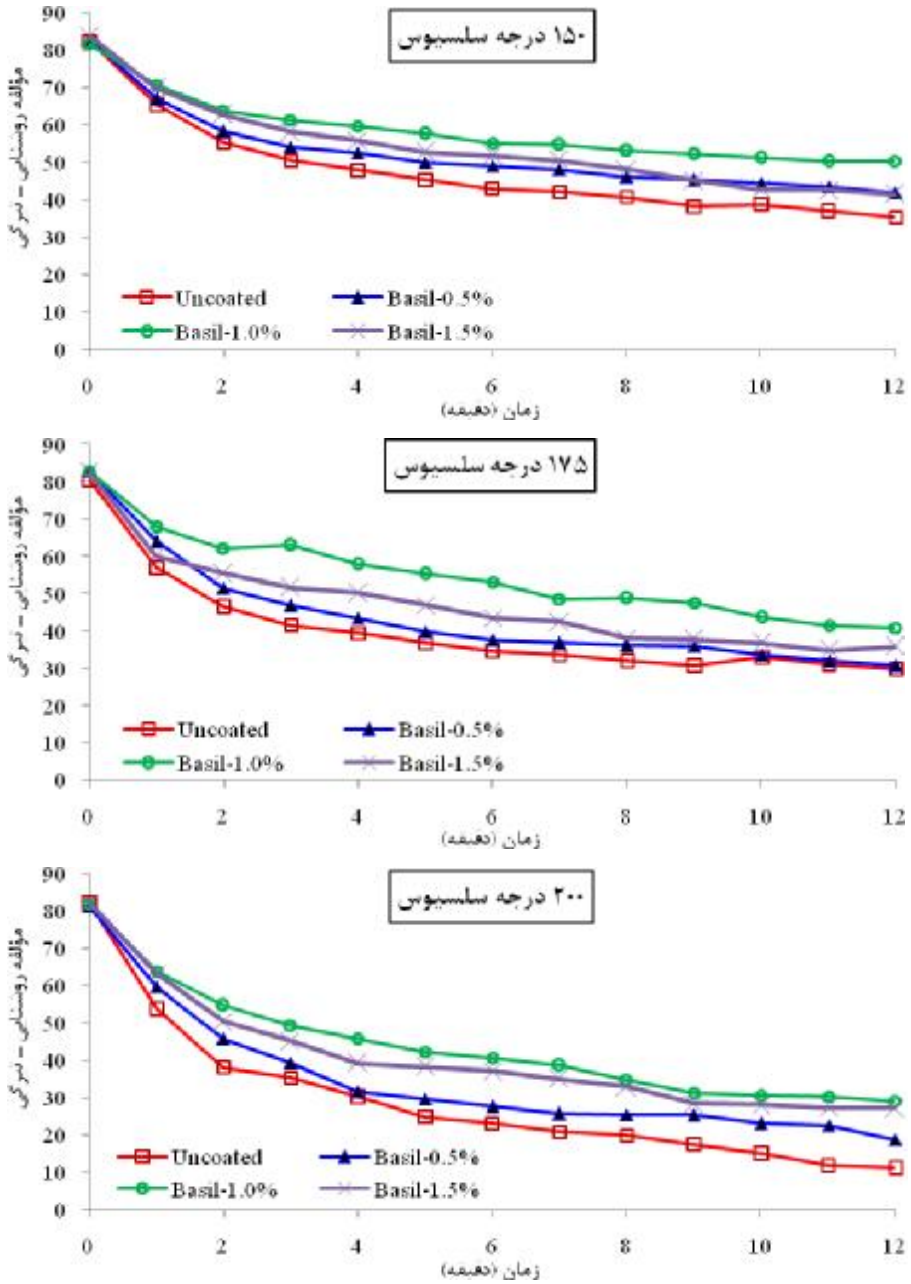
۲-۷- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش‌اثرنوع پوشش‌دهی با موسیلاژ دانه ریحان در چهار سطح ۰/۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و دمای سرخ‌کن در سه سطح ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس بر خصوصیات ظاهری بادمجان (سینتیک‌تغییرات‌رنگ و سطح) طی فرآیند سرخ کردن برش‌های بادمجان درسه‌تکرار مورد بررسی قرارگرفت. آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بررسی شدند. برای رسم نمودارها از برنامه اکسل ۲۰۰۷ و برای تجزیه‌وتحلیل آماری هم ازنرم‌افزارSAS9.1 در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده گردید. در این مطالعه به‌منظور مدل کردن داده‌های تجربی سرخ کردن و به دست آوردن ثابت‌های مدل‌ها، از نرم‌افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳۴ استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

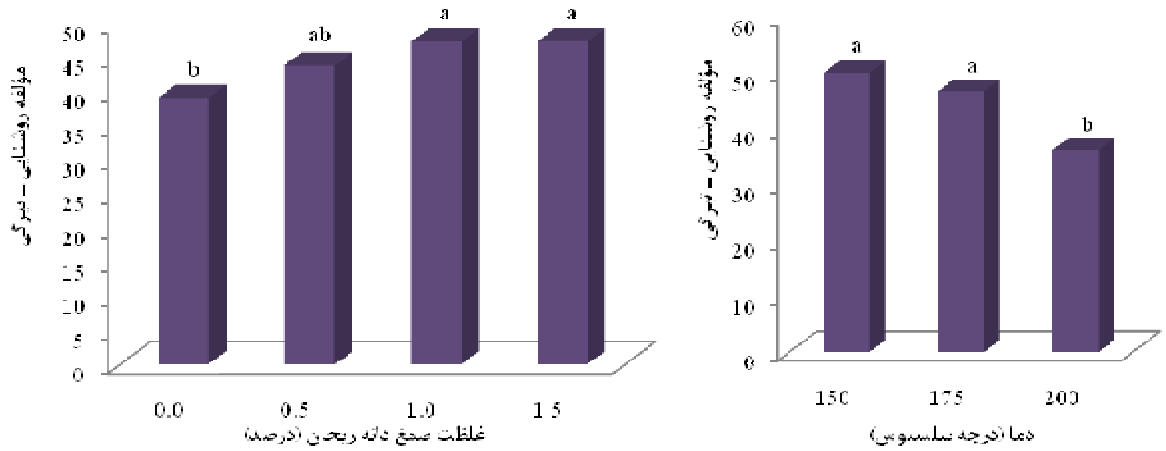
رنگ سطحی محصولات سرخ‌شده یکی از مهمترین فاکتورهایی است‌که‌برای‌ارزیابی‌کیفیت‌این محصولات در نظر گرفته می‌شود. استفاده‌ازپیش‌تیمارهایی‌مانندپوشش‌های‌خوراکی می‌تواند کیفیت ظاهری‌محصولات‌سرخ‌شده را بهبود بخشد. مطابق شکل ۱، مؤلفه روشنایی‌نمونه‌شاهددرطی زمان سرخ کردن کمتر بود و نمونه‌های بدون پوشش از نظر رنگ سطحی تیره‌تر بودند. نمونه‌های پوشش داده شده از نظر رنگ سطحی روشنتر بودند (مؤلفه روشنایی بیشتر). همچنین در بین نمونه‌های پوشش داده شده، نمونه با موسیلاژ دانه ریحان با غلظت ۱ درصد، رنگ روشنتری داشت که به دلیل خاصیت حفاظت‌کنندگی پوشش در برابر تغییرات رنگ می‌باشد.

1 - Gompertz Relation
2 - Logistic Model
3 - Richards Model
4 - MMF (Morgan-Mercer-Flodin) Model
5 - Weibull Model



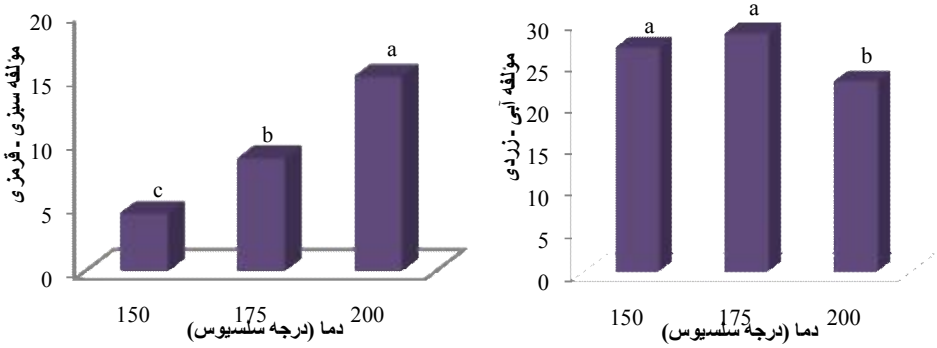
شکل ۱- اثر پوشش‌خوراکی ودمای سرخ‌کن برمؤلفه روشنایی برش‌های بادمجان در طی زمان سرخ‌کردن.

ازجمله عوامل اثرگذار بر شاخص کیفی رنگ می‌توان به روش و شرایط‌سرخ‌کردن و همچنین پیش تیمارهای اعمال شده قبل از فرایند سرخ کردن اشاره کرد. مطابق شکل۲، از نظر تأثیر دما، دمای۲۰۰ درجه سلسیوس بیشترین تأثیر را بر مؤلفه روشنایی نمونه‌ها داشت و نمونه‌های‌سرخ‌شده در این دما تیره‌تر بودند. نمونه‌های سرخ‌شده دردمای۱۵۰درجه‌سلسیوس روشنتر بودند و ظاهر بهتری داشتند. همان‌طورکه‌دراین‌شکل مشاهده می‌شود با افزایش غلظت موسیلاژ روشنایی نمونه‌ها افزایش یافت. البته بین غلظت‌های ۰/۵، ۰/ ۱و۱/۵ درصد موسیلاژ اختلاف معناداری مشاهده نشد ($P>0/05$).



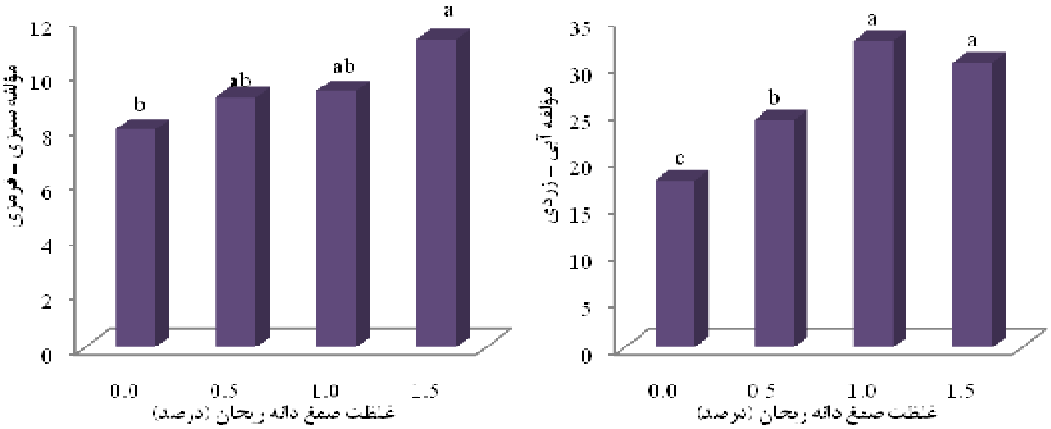
شکل ۲- اثر پوشش خوراکی و دمای سرخ کردن بر مؤلفه روشنایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده.

خصوصیات‌ظاهری‌ورنگ سطحی محصول سرخ‌شده از مهم‌ترین شاخص‌های‌کیفی‌هستندکه قبل از مصرف ماده غذایی مورد توجه قرار می‌گیرند وعلاوه بر ایجادذهنیت‌درباره‌کیفیت‌کلی و سلامت محصول، بر مشتری پسندی محصول نیز تأثیرگذار می‌باشند (۵). بر اساس شکل ۳، با افزایش دمای روغن درون سرخ‌کن، مؤلفه قرمزی از ۴/۴۵ به ۱۵/۲۴ افزایش یافت. با افزایش دمای روغن درون سرخ‌کن از ۱۵۰ درجه سلسیوس به ۲۰۰ درجه سلسیوس مؤلفه‌زردی‌از ۲۷/۰۴ به ۲۳/۰۰ کاهش یافت. نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس‌از نظر مؤلفه زردی کمترین مقدار را داشتند. در پژوهشی مشخص شد که تغییرات مؤلفه قرمزی در دماهای بالای سرخ کردن شدیدتر بوده و سپس به مقدار ثابت می‌رسد و از یک تابع‌نمایی‌تبعیت می‌کند (۳). بینگول و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که با افزایش ضخامت پوسته که روغن بخش‌عمده‌تشکیل‌دهنده‌آن‌می‌باشد، غلظت ترکیبات ماده خشک افزایش‌یافته و این امر موجب افزایش مؤلفه زردی و البته قرمزی محصول‌می‌گردد. این‌افزایش‌مؤلفه زردی می‌تواند ناشی از جذب سطحی‌کاروتنوئیدهای موجود در بستر روغن نیز باشد. با وجود نامطلوب بودن افزایش مؤلفه قرمزی در دماهای بالا، مؤلفه زردی تغییرات مطلوبی را در دماهای بالا نشان می‌دهد (۴). بایک و میتال (۲۰۰۵) گزارش‌کردند که تغییرات مؤلفه قرمزی در دماهای بالای‌سرخ‌کردن شدیدتر بوده و سپس به مقدار ثابت می‌رسد (۳). پدرسچی و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش‌کردند که مؤلفه روشنایی و مؤلفه زردی در طی سرخ‌کردن تغییر چندانی نکرده و رنگ سیب‌زمینی در طی سرخ‌کردن تابع مؤلفه قرمزی است که تغییرات آن بیشتر است. با مقایسه تغییرات دمای سطحی و تغییرات مؤلفه قرمزی با یکدیگر، علت افزایش مؤلفه قرمزی با افزایش دما قابل‌توجیه‌خواهد بود. درواقع دردماهای کمتر افزایش دمای سطحی بعد از اتمام تبخیر سطحی‌کمتر بوده و در نتیجه واکنش‌قهوه‌ای‌شدن در نتیجه‌افزایش حرارت، کمتر اتفاق می‌افتد (۱۲).



شکل ۳- اثر دمای‌سرخ‌کردن برمؤلفه‌های قرمزی و زردی برش‌های بادمجان پوشش‌داده شده.

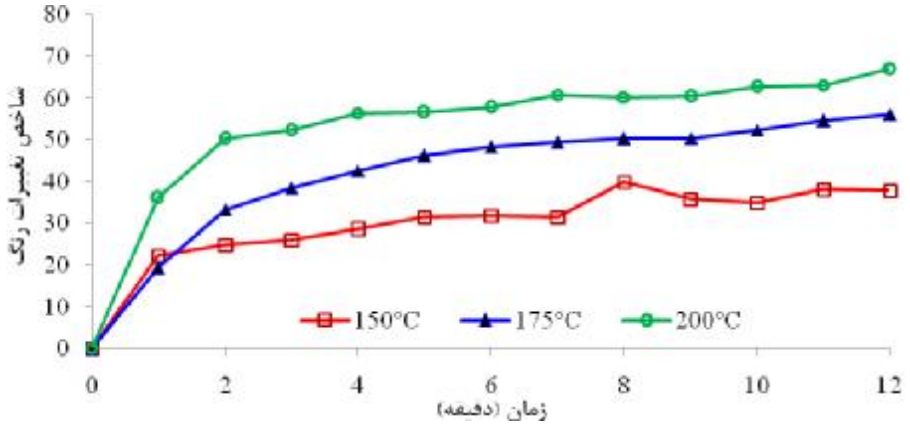
مطابق شکل ۴، از نظر مؤلفه قرمزی، برش‌های بادمجان پوشش داده شده قرمزتر بودند. با افزایش غلظت موسیلاژ دانه ریحان از صفر به ۱/۵ درصد، مقدار مؤلفه قرمزی نمونه‌ها از۷/۹۶ به ۱۱/۲۵ افزایش یافت. از نظر مؤلفه زردی هم نمونه‌های پوشش داده شده به‌صورت معنی‌داری زردتر بودند ($P<0/05$) اما بین غلظت‌های ۱ و ۱/۵درصدموسیلاژ اختلاف معناداری از نظر مؤلفه زردی وجود نداشت ($P>0/05$). نتایج اشرفی یورقانلو و غیبی (۲۰۱۹) هم راستا با نتایج‌این‌پژوهش بود (۲). این پژوهشگران گزارش کردند که خصوصیات رنگی سیب‌زمینی‌سرخ‌شده حاوی پوشش صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز در مقایسه باخلال‌های‌بدون پوشش و حاوی موسیلاژ بامیه، بهتر است. در پژوهشی دیگر، یادگاری و همکاران (۲۰۲۰) اثرات جدا و متقابل صمغ‌های دانه قدومه شیرازی و متیل سلولزبرخصوصیات کیفی‌سیب‌زمینی‌سرخ‌شده‌را بررسی و گزارش کردند که‌تنها پوشش‌ترکیبی‌صمغ دانه قدومه شیرازی+متیل سلولز با غلظت۱ درصدموجب‌افزایش‌مؤلفه قرمزی نسبت به تیمار شاهد شده وباقی‌تیمارهاقرمزی کمتر داشتند (۲۱). البته در بین پوشش‌ها وغلظت‌های‌مختلف،اختلاف‌معناداری گزارش‌نشده‌است ($P>0/05$).



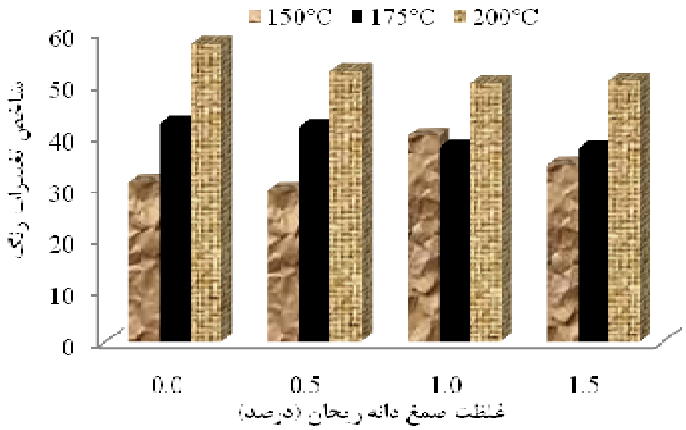
شکل ٤- اثر غلظت موسیلاژ دانه ریحان بر مؤلفه‌های قرمزی و زردی برش‌های بادمجان سرخ‌شده.

بر اساس شکل ۵، در طی زمان سرخ کردن، مقدار مؤلفه تغییرات رنگ محاسبه شده برای برش‌های بادمجان افزایش یافت و مقدار این تغییرات برای دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس از دماهای۱۵۰ و ۱۷۵درجه‌سلسیوس‌بیشتر است. با افزایش‌دما شدت تغییرات رنگی افزایش می‌یابد که در این پژوهش نیز چنین نتیجه‌ای حاصل شد و در تمامی تیمارهای مورد بررسی، شدت تغییرات در دمای۲۰۰ درجه‌سلسیوس‌بیشتر بود. مطابق شکل ۶، شدت تغییرات با افزایش دمای‌سرخ‌کن‌افزایش‌یافته‌است و بیشترین تغییرات برای نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس بود. ساهین و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند هرچه دمای فرآیند بیشتر باشد طول دوره دمای ثابت در پروفایل دمایی کاهش می‌یابد. در اینجا با افزایش زمان فرآیند دمای سطحی محصول برای دماهای بالاتر سرخ کردن، زودتر به سمت دمای روغن افزایش می‌یابد و مسلماً تغییرات رنگی در این محدوده می‌تواند سریع‌تر رخ‌داده و نقش اساسی در کاهش کیفیت رنگی محصول خواهد داشت. در واقع شروع پدیده افزایش دمای‌سطحی‌به‌سمت‌دمای روغن، نشان‌دهنده افزایش‌شدت تغییرات رنگ نامطلوب به دلیل‌کاهش‌آب سطحی است .با محاسبه‌مؤلفه‌های رنگی‌مشخص‌شد که‌بخش‌عمده‌تغییرات مؤلفه‌های‌رنگی‌در زمان‌های ابتدایی‌می‌باشد(۱۳). میانگین مقادیر مؤلفه تغییرات رنگ برای نمونه شاهد،۰/۵درصد،۱درصدو۱/۵درصدموسیلاژدانه‌ریحان به‌ترتیب‌برابر ۴۳/۷۱، ۴۱/۲۵، ۴۲/۶۴ و ۴۰/۸۸ بود. نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان‌کمترین تغییرات رنگ (۴۰/۸۸) را داشتند. یافته‌های این بخش‌با نتایج یادگاری و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۲۱). این پژوهشگران گزارش کردند که تغییرات کلی رنگ (ΔE) در تیمار شاهد بیش از تیمارهای‌پوشش داده شده بوده است. در کلیه تیمارها به‌جز تیمار پوشش داده شده با صمغ دانه قدومه شیرازی با غلظت ۱ درصد و متیل سلولز با غلظت ۱/۵ درصد، اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار شاهدگزارش شده است. همچنین کمترین تغییرات رنگ در تیمار پوشش داده شده با ترکیب صمغ

دانه قدومه شیرازی+متیل سلولز با غلظت ۱/۵ درصد گزارش شده است.



شکل ۵- اثر دمای‌سرخ کردن بر مؤلفه تغییرات‌رنگ برش‌های بادمجان در طی زمان سرخ کردن (۰/۵ موسیلاژ دانه ریحان).



شکل ٦- اثر غلظت موسیلاژ دانه‌ریحان و دمای سرخ‌کردن برمیانگین‌مؤلفه تغییرات رنگ برش‌های بادمجان سرخ‌شده.

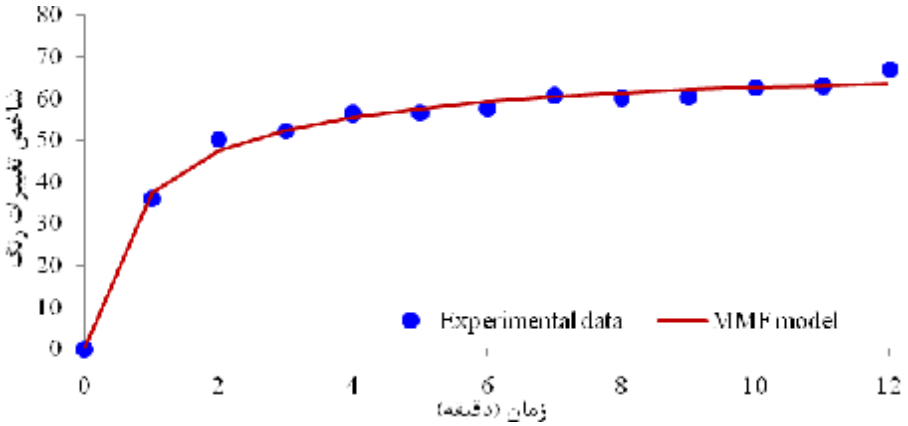
داده‌های‌تجربی‌مؤلفه‌شدت‌تغییرات رنگ با مدل‌های توانی، درجه دوم، گومپرتز، لجستیک، ریچارد، ام‌ام‌اف و ویبول برازش شدند. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که مدل ام‌ام‌اف برای توصیف روند تغییر داده‌ها مناسب‌تر است؛ لذا ضرایب این مدل برای تیمارها و دماهای مختلف محاسبه و در جدول۱گزارش گردید. با استفاده از داده‌های‌ذکرشده در جدول۱می‌توان سرعت تغییر رنگ برش‌های بادمجان در طی سرخ شدن در زمان‌های مختلف‌راپیش‌بینی نمود. در شکل۷ نیز توانایی مدل ام‌ام‌اف برای پیش‌بینی و مدل‌سازی روند تغییر داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سرخ کردن نمونه‌ها با ۰/۵درصد موسیلاژ نمایش داده شده است.

دراین‌شکل‌مشاهده‌می‌شود که داده‌های به دست آمده از این مدل کاملاً برداده‌های‌آزمایشگاهی‌منطبق بوده و این مدل توانسته است به‌خوبی روند تغییر نتایج آزمایشگاهی را مدل‌سازی نماید. صالحی (۲۰۱۹) سینتیک تغییرات رنگ در طی فرآیند سرخ کردن بادمجان را بررسی و مدل‌سازی کرده است (۱۵). بر اساس این تحقیق دماهای بالاتر موجب روشنایی و زردی کمتر محصول نهایی، اما قرمزی بیشتر آن می‌شود. این پژوهشگر گزارش کرده است که سینتیک تغییرات رنگ سطح بادمجان از یک تابع نمایی افزایشی تبعیت می کند.

جدول ۱- ضرایب مدل امام‌اف برای مؤلفه تغییرات رنگ برش‌های بادمجان در طی فرآیند سرخ کردن.

غلظت موسیلاژ دانه ریحان (درصد)	دمای (°C)	a*	b	c	d	SE	R
	۱۵۰	۰/۰۸۰	۲۷/۵۰۷	۵۳۵/۳۵۶	۰/۳۴۸	۱/۳۴۲	۰/۹۹۵
۰	۱۷۵	-۰/۰۲۷	۱/۴۷۴	۵۹/۳۰۶	۱/۰۵۸	۰/۸۵۴	۰/۹۹۹
	۲۰۰	-۰/۰۸۹	۱/۹۱۴	۹۵/۶۵۸	۰/۷۹۷	۱/۵۹۷	۰/۹۹۸
	۱۵۰	۰/۰۵۶	۸۷/۲۰۲	۱۸۴۹/۲۷۵	۰/۲۴۶	۲/۰۹۴	۰/۹۸۴
۰/۵	۱۷۵	-۵۳/۹۹۲	۰/۶۵۹	۶۸/۴۰۹	۰/۶۶۲	۱/۰۳۹	۰/۹۹۶
	۲۰۰	-۰/۰۵۴	۰/۸۶۷	۶۹/۸۴۲	۰/۸۸۶	۱/۸۱۰	۰/۹۹۶
	۱۵۰	۲۵/۵۴۰	۴۲/۰۷۸	۵۰/۷۷۷	۳/۰۲۴	۱/۶۸۳	۰/۹۸۵
۱/۰	۱۷۵	۰/۲۴۵	۲۰۳۸/۲۱۶	۴۴۰۹۵/۹۴۶	۰/۳۵۹	۱/۸۵۲	۰/۹۹۴
	۲۰۰	-۰/۰۰۴	۰/۶۱۱	۶۵/۴۵۸	۰/۷۱۲	۳/۲۹۵	۰/۹۸۴
	۱۵۰	۲۹/۸۶۴	۳۳۸۱۸۸۲۱	۴۵/۸۷۹	۹/۰۲۴	۱/۹۴۹	۰/۹۷۴
۱/۵	۱۷۵	۰/۰۳۸	۱۵/۰۴۲	۳۵۰/۶۹۸	۰/۳۹۰	۱/۲۵۰	۰/۹۹۷
	۲۰۰	-۰/۰۶۹	۲/۴۳۷	۱۰۵/۱۲۱	۰/۵۸۹	۲/۳۷۳	۰/۹۹۴

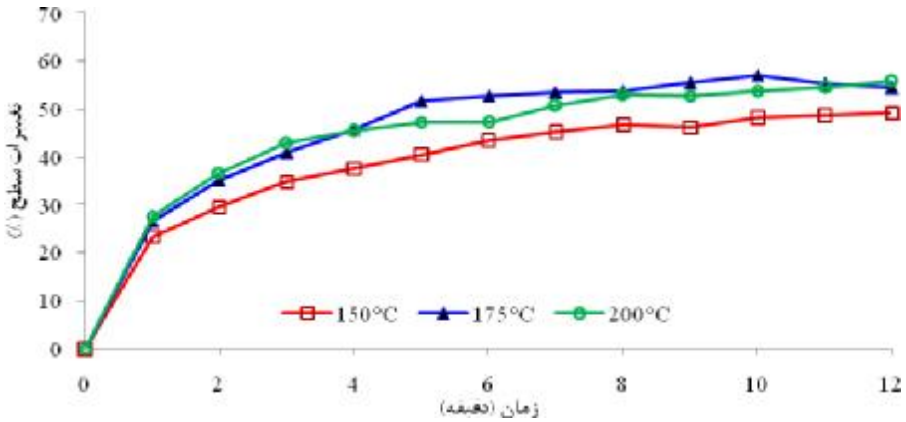
* حروف a، b، c و d ثابت‌های مدل **امام‌اف می‌باشند.**



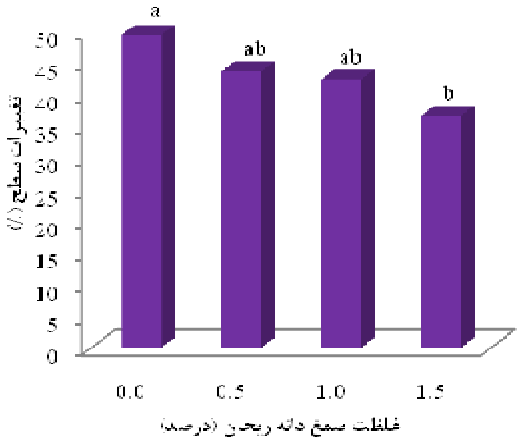
شکل ۷- توانایی برازش مدل امام‌اف برای داده‌های آزمایشگاهی مؤلفه تغییرات رنگ برش‌های بادمجان در طی فرآیند سرخ کردن (۰/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان و ۲۰۰ درجه سلسیوس).

مطابق‌شکل ۸، در طی زمان سرخ کردن، درصد تغییر اندازه سطح برش‌های بادمجان افزایش یافت‌که نشان دهنده کاهش مساحت نمونه‌ها است. مقدار تغییرات‌سطح برش‌های بادمجان در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس از سایر دماها کمتر بود و این نمونه‌ها افت کمتری را از نظر اندازه داشتند. براساس‌شکل۹، نمونه‌های پوشش داده شده با موسیلاژ دانه ریحان، افت‌کمتری را از نظر اندازه سطح‌نشان‌دادند و این نمونه‌ها از نظر اندازه بزرگتر بودند. میانگین تغییرات مساحت محاسبه شده برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان به ترتیب برابر ۴۹/۴۱، ۴۳/۶۸، ۴۲/۴۱ و ۳۶/۶۶ بود. بر اساس این اعداد می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات نمونه‌های پوشش داده شده کمتر از نمونه شاهد بوده و نمونه پوشش داده با ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان کمترین‌تغییرراداشته و میانگین اندازه برش‌های بادمجان سرخ‌شده با این پیش تیمار بزرگتر بوده است. صالحی (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای گزارش کرد که تغییرات دما بر تغییراندازه و سطح نمونه‌های سرخ‌شده بادمجان تأثیرگذار بوده و نمونه‌های سرخ‌شده بادمجان

در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس افت بیشتری از نظر اندازه سطح داشته و کوچک‌تر بوده‌اند (۱۵).



شکل ۸- اثر دمای سرخ‌کردن بر تغییرات سطح برش‌های بادمجان در طی زمان سرخ‌کردن (۰/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان).



شکل ۹- اثر غلظت موسیلاژ دانه ریحان برمیانگین تغییرات سطح برش‌های بادمجان‌سرخ‌شده (۲۰۰ درجه سلسیوس).

٤- نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش‌حاضر نشان داد که پوشش‌دهی بادمجان با استفاده از موسیلاژ دانه‌ریحان باعث افزایش کیفیت ظاهری و بهبود رنگ آن‌هادر انتهای فرآیند سرخ‌کردن می‌شود. نمونه‌های پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه ریحان رنگ روشن‌تری داشتند و تغییرات سطح در آنها حداقل بود. با افزایش غلظت موسیلاژ دانه ریحان از صفر به ۱/۵درصد، مؤلفه قرمزی نمونه‌ها افزایش یافت. نمونه‌های پوشش داده شده به‌صورت معنی‌داری زردتر بودند ($P<۰/۰۵$). نمونه‌های‌شاهد (بدون پوشش) افت بیشتری از نظر مساحت داشته واندازه‌کوچک‌تری‌داشتند.نمونه‌پوشش‌دادهبا ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه‌ریحان‌کمترین‌تغییرراداشت‌و میانگین اندازه برش‌های بادمجان سرخ‌شده‌با این پیش‌تیمار بزرگ‌تربوده است. از نظر مؤلفه تغییرات رنگ نمونه‌های پوشش داده شده با موسیلاژ دانه ریحان کمترین تغییرات رنگ را در طی زمان سرخ‌کردن از خود نشان دادند. با توجه به روند تغییرات داده‌های مربوط به مؤلفه تغییرات رنگ مشخص‌شدکه‌مدل‌ام‌اف‌برای توصیف روند تغییر داده‌ها مناسب است و ضرایب این مدل محاسبه وگزارش شد. بر اساس مؤلفه شدت تغییرات رنگ استفاده از ۱/۵ درصد موسیلاژ دانه ریحان برای پوشش‌دهی برش‌های بادمجان و سرخ‌کردن آن در دمای ۱۵۰ درجه برای رسیدن به محصولی با خصوصیات رنگی مطلوب پیشنهاد می‌شود.

۵-منابع

1. Amini, G., Salehi, F. and Rasouli, M. 2021. Drying kinetics of basil seed mucilage in an infrared dryer: Application of GA-ANN and ANFIS for the prediction of drying time and moisture ratio. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3):e15258.
2. Ashrafi Yorganloo, R. and Gheybi, N. 2019. Effect of okra mucilage and cmc on the oil uptake and physicochemical properties of french fries during deep-fat frying. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1): 203-211.
3. Baik, O.-D. and Mittal, G. S. 2005. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. *Food Research International*, 38(2): 183-191.
4. Bingol, G., Zhang, A., Pan, Z. and McHugh, T. H. 2012. Producing lower-calorie deep fat fried French fries using infrared dry-blanching as pretreatment. *Food Chemistry*, 132(2): 686-692.
5. Choe, E. and Min, D. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*, 72(5):77-86.
6. Gökmen, V. and Palazoğlu, T. K. 2008. Acrylamide formation in foods during thermal processing with a focus on frying. *Food and Bioprocess Technology*, 1(1):35-42.
7. Jorjani, S. and Hamrahi, V. 2015. Effect of Guar and xanthan hydrocolloids on uptake of oil in eggplant rings during deep frying. *Journal of Food Research*, 25(2):231-238.
8. Khazaei, N., Esmaiili, M. and Emam-Djomeh, Z. 2016. Effect of active edible coatings made by basil seed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying. *Carbohydrate Polymers*, 137(1):249-254.
9. Kurek, M., Ščetar, M. and Galić, K. 2017. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. *Food Hydrocolloids*, 71(1): 225-235.
10. Mestdagh, F., De Wilde, T., Castelein, P., Németh, O., Van Peteghem, C. and De Meulenaer, B. 2008. Impact of the reducing sugars on the relationship between acrylamide and Maillard browning in French fries. *European Food Research and Technology*, 227(1): 69-76.
11. Mousa, R. M. A. 2018. Simultaneous inhibition of acrylamide and oil uptake in deep fat fried potato strips using gum Arabic-based coating incorporated with antioxidants extracted from spices. *Food Hydrocolloids*, 83(1): 265-274.
12. Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K. and Granby, K. 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38(1): 1-9.
13. Sahin, S., Sastry, S. and Bayindirli, L. 1999. Heat transfer during frying of potato slices. *LWT-Food Science and Technology*, 32(1): 19-24.
14. Salehi, F. 2019. Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea var. gongylodes*) slice. *International Journal of Food Properties*, 22(1): 511-519.
15. Salehi, F. 2019. Study of heat transfer and kinetic modeling of color changes during frying process of eggplant. *Journal of Food Research*, 29(2): 137-149.
16. Salehi, F. 2020. Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11): e14879.
17. Salehi, F., Haseli, A. and Roustaei, A. 2022. Coating of zucchini slices with Balangu, Basil, and Wild sage seeds gums to improve the frying properties. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(2): 2100120.
18. Salehi, F. and Satorabi, M. 2021. Effect of basil seed and xanthan gums coating on colour and surface change kinetics of peach slices during infrared drying. *Acta Technologica Agriculturae*, 24(3): 150-156.
19. Salehi, F. and Satorabi, M. 2021. Influence of infrared drying on drying kinetics of apple slices coated with basil seed and xanthan gums. *International Journal of Fruit Science*, 21(1): 519-527.
20. Satorabi, M., Salehi, F. and Rasouli, M. 2021. The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS modeling. *International Journal of Fruit Science*, 21(1): 468-480.
21. Yadegari, M., Esmaeilzadeh Kenari, R. and Hashemi, S. J. 2020. Investigation the effect of separate and mutual interactions of *Alyssum homolocarpum* seed and methylcellulose gums on qualitative properties of fried potato. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 11(4): 89-101.
22. Zamani Ghaleshahi, A., Farhoosh, R. and Razavi, S. M. A. 2015. Effect of basil seed hydrocolloid on the oil uptake and physical properties of potato strips during deep-fat frying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(4): 309-318.

Journal of Innovation in Food Science and Technology , Vol 16, No 1, Spring 2024

(Original Research Paper)

Investigation on the Color and Surface Changes Kinetics of Coated Eggplant Slices with Basil Seed Mucilage During Frying process

Mohammad Amin Asadnahal[1], Fakhreddin Salehi[2*], Majid Rasouli[2]

1- MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 13/01/2021 Accepted:22/03/2021

Abstract

Application of edible mucilages is one of the best ways to improve appearance properties of fried foods. The aim of this study was to investigate the changes in color parameters including lightness, redness, yellowness, color changes and the area of eggplant slices coated with different concentrations of basil seed mucilage during deep fat frying. In this study, eggplant slices were placed in the fryer and the effects of frying temperature at three levels of 150, 175 and 200 °C on the appearance characteristics of the samples were investigated every minute (up to 12 minutes). Also, for modeling the color change index, the Power, Quadratic, Gompertz, Logistic, Richards, MMF, and Weibull models were used. The lightness index calculated for the frying process of eggplant samples showed that the coated samples with basil seed mucilage are brighter. With increasing the concentration of basil seed mucilage from 0 to 1.5%, the redness index of the samples increased from 7.96 to 11.25. The coated samples were significantly yellower ($P<0.05$) but there was no significant difference between the 1% and 1.5% mucilage concentrations. The mean color change index values for the control sample, 0.5%, 1% and 1.5% of basil seed mucilage were 43.71, 41.25, 42.64 and 40.88, respectively. For modeling the color change index, the MMF model had lower error compared to the other models. The average area changes calculated for the control sample, 0.5%, 1% and 1.5% of basil seed mucilage were 49.41, 43.68, 42.41 and 36.66, respectively. The results showed that coating of eggplant slices with basil seed mucilage preserves the appearance of the fried product and the lowest area changes during frying were observed in the coating treatment with 1.5% mucilage.

Keywords: Basil Seed Mucilage; Deep Fat Frying; Eggplant Slices, Modeling.

[*]Corresponding Author: F.Salehi@Basu.ac.ir