مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۲ شماره ۱/ سال ۱۴۰۱/ صفحات ۷۹ تا ۹۱
DOI: 10.22034/FR.2021.43708.1782

# اثر پوشش‌دهی با صمغ گزانتان بر تغییر شاخص‌های رنگ و سطح برش بادمجان سرخ شده

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

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۴۰۰/۱/۱۸

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
[۲] به‌ترتیب دانشیار و استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
*مسئول مکاتبه: Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

**چکیده**

**زمینه مطالعاتی:** محصولات غذایی سرخ‌شده به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بافتی منحصربه‌فرد از محبوبیت بالایی در میان مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشند. استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی خوراکی یکی از روش‌های مناسب برای بهبود خصوصیات ظاهری مواد غذایی سرخ شده است. **هدف:** در این پژوهش، تغییرات پارامترهای رنگی شامل روشنایی (L*)، قرمزی (a*)، زردی (b*) و تغییرات رنگ (ΔE) و همچنین تغییر سطح برش‌های بادمجان پوشش‌دهی شده با غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان هنگام سرخ شدن عمیق مورد بررسی قرار گرفت. **روش کار:** در این پژوهش برش‌های بادمجان به شکل استوانه‌ای با ضخامت ۱ سانتی‌متر با استفاده از صمغ گزانتان در چهار غلظت ۰/۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد (وزنی/وزنی) پوشش‌دهی شدند. سپس درون سرخ‌کن قرار گرفته و اثرات دمای سرخ کردن در سه سطح ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس بر ویژگی‌های ظاهری (شاخص‌های رنگی و تغییر سطح) نمونه‌ها بررسی شد. **نتایج:** از نظر شاخص روشنایی (L*)، بادمجان‌های پوشش داده شده روشن‌تر بوده و نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۰ درصد صمغ گزانتان مقادیر L* بالاتری داشتند. با افزایش غلظت صمغ گزانتان از صفر به ۱/۵ درصد، مقدار قرمزی نمونه‌ها از ۲/۸۲ به ۱۴/۵۸ افزایش یافت. از نظر شاخص تغییرات رنگ (ΔE) بادمجان‌های پوشش داده شده با صمغ گزانتان کمترین تغییرات رنگ را طی زمان سرخ کردن از خود نشان دادند. میانگین مقادیر ΔE برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد صمغ گزانتان به ترتیب برابر ۳۰/۹۷، ۲۹/۱۳، ۳۰/۵۷ و ۲۸/۱۲ بود (۱۵۰°C). مدل ام‌اف برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی ΔE داشت و حداقل خطا برای این مدل محاسبه شد. میانگین تغییرات مساحت محاسبه شده برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد صمغ گزانتان به ترتیب برابر ۴۹/۴۱، ۴۸/۵۷، ۴۲/۵۴ و ۴۰/۷۷ درصد بود. **نتیجه‌گیری نهایی:** در مجموع بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و استفاده از ۱/۵ درصد صمغ گزانتان به‌عنوان پوشش خوراکی برای پوشش‌دهی برش‌های بادمجان قبل از فرآیند سرخ کردن، توصیه می‌شود.

**واژگان کلیدی:** روشنایی، زردی، صمغ گزانتان، قرمزی، مدل ام‌اف

**مقدمه**

سرخ کردن یک روش فرآوری مواد غذایی است که شامل فرآیندهای انتقال جرم (جذب روغن و خروج رطوبت) و انتقال حرارت می‌باشد. محصولات غذایی سرخ‌شده به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بافتی منحصربه‌فرد از محبوبیت بالایی در میان مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشند (خاکباز حشمتی و همکاران ۱۳۹۹؛ صالحی ۲۰۲۰). محصولات کشاورزی خام مانند سیب‌زمینی، بادمجان و کدوخورشتی هنگام سرخ شدن در روغن‌های خوراکی مقدار زیادی روغن جذب می‌کنند. هر چقدر روغن جذب شده توسط این محصولات بیشتر باشد، ماندگاری و کیفیت آنها کمتر شده و باعث کاهش پذیرش محصول نهایی توسط مصرف‌کننده می‌شود. جذب زیاد روغن توسط محصولات سرخ‌شده را می‌توان با پوشش‌دهی این محصولات با استفاده از هیدروکلوئیدها کاهش داد. محصولات سرخ‌شده پوشش داده شده علاوه بر درصد پایین روغن، 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 (کورک و همکاران ۲۰۱۷؛ صالحی ۲۰۲۰). برخی از محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از پوشش‌های خوراکی تهیه شده از صمغ‌ها در کاهش میزان جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن عمیق محصولات غذایی سرخ‌شده مؤثر است. کیم و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر پوشش‌دهی با صمغ‌های گوار و ژلان بر میزان جذب روغن و انتقال حرارت خلال‌های سیب‌زمینی طی فرآیند سرخ کردن را مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که افزودن صمغ‌های گوار و ژلان به‌عنوان پوشش‌های هیدروکلوئیدی باعث کاهش ضریب انتقال حرارت و جذب روغن در سیب‌زمینی طی فرآیند سرخ کردن می‌شود. آنها گزارش دادند که استفاده از ۰/۹ درصد صمغ گوار برای پوشش دادن باعث کاهش محتوای روغن سیب‌زمینی سرخ شده تا ۸/۹ درصد می‌شود که ٤١ درصد کمتر از نمونه شاهد است.

سرخ کردن یکی از روش‌های فراوری بادمجان (*Solanum melongena.* L.) می‌باشد و بادمجان سرخ‌شده بر اساس سلیقه مردم مناطق مختلف، تهیه و مصرف می‌شود. تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی مانند دناتوراسیون پروتئین‌ها، تغییرات رنگ سطح (قهوه‌ای شدن)، خروج سریع آب و جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن رخ می‌دهد (موسی ۲۰۱۸). شدت تغییر خصوصیات ظاهری و رنگ سطحی محصولات سرخ شده وابسته به پیش تیمارهای اعمال شده و شرایط انجام فرآیند است. بیک و میتال (۲۰۰۵) نشان دادند که تغییرات شاخص قرمزی در دماهای بالای سرخ کردن شدیدتر بوده و سپس به مقدار ثابت می‌رسد و از یک تابع‌نمایی تبعیت می‌کند. پدرسچی و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که میزان این شاخص در نمونه‌های سیب‌زمینی آنزیم بری شده نسبت به نمونه‌های آنزیم بری نشده هنگام سرخ کردن کمتر است. همچنین بیان کردند که شاخص روشنایی و شاخص زردی طی سرخ کردن تغییر چندانی نکرده و رنگ سیب‌زمینی طی سرخ کردن تابع شاخص قرمزی بوده که تغییرات آن بیشتر است. با مقایسه تغییرات دمای سطحی و تغییرات شاخص قرمزی با یکدیگر، علت افزایش شاخص قرمزی با افزایش دما قابل توجیه خواهد بود. درواقع در دماهای کمتر افزایش دمای سطحی بعد از اتمام تبخیر سطحی کمتر بوده و در نتیجه واکنش قهوه‌ای شدن به دلیل افزایش حرارت، کمتر اتفاق می‌افتد.

معتمدزادگان و میرعرب‌رضی (١٤٠٠)، تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی صمغ دانه ریحان و شاهی بر جذب روغن و ویژگی‌های کیفی هویج سرخ‌شده را بررسی کردند. با توجه به نتایج گزارش شده از این پژوهش، نمونه پوشش‌داده‌شده با ۱ درصد صمغ ریحان با کمترین جذب روغن و بالاترین رطوبت و پذیرش کلی به‌عنوان بهترین نمونه گزارش شده است.

همچنین نمونه شاهد کمترین مقدار رطوبت را داشته و پوشش‌دهی سبب افزایش رطوبت نمونه‌ها شده است. پتانسیل استفاده از صمغ بادام (۲۰-۰ گرم در لیتر) به‌عنوان یک عامل پوشش‌دهنده برای بهبود کیفیت و خصوصیات حسی چیپس سیب‌زمینی سرخ شده توسط بوازیز و همکاران (۲۰۱٦) بررسی شد. نتایج آنها نشان داد که افزایش سطح صمغ بادام تا ۲۰ گرم در لیتر باعث کاهش ۳٤ درصدی در جذب روغن و افزایش ۲۹/۵ درصدی در رطوبت چیپس‌ها می‌شود. شرایط بهینه برای پوشش‌دهی و سرخ کردن با روش سطح پاسخ به دست آمد و این شرایط در پوشش‌دهی با صمغ بادام با غلظت ۲۰ گرم در لیتر در دمای سرخ کردن ۱٦۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۵ ثانیه حاصل شد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که چیپس‌های سیب‌زمینی پوشش داده شده با صمغ بادام از نمونه‌های بدون پوشش، پذیرش کلی بهتری دارند. چیپس‌های پوشش داده شده به‌طور قابل‌توجهی دارای رنگ روشنتری بودند (شاخص L* بالاتر) و به‌طور قابل‌توجهی زردتر از نمونه‌های بدون پوشش بودند. مقدار روشنایی (L*) برای نمونه‌های بدون پوشش ۵۸/۲ بود، درحالی‌که برای نمونه‌های سرخ شده با صمغ‌های بادام و عربی به ترتیب برابر ۸۸/۳ و ۸۷/۵ بود.

استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی خوراکی (صمغ‌ها) یکی از روش‌های مناسب برای کاهش مقدار روغن جذب شده در مواد غذایی سرخ‌شده است. با توجه به بررسی منابع منتشرشده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در خصوص بررسی و مدل‌سازی اثر پوشش‌دهی با صمغ گزانتان بر سینتیک تغییر پارامترهای رنگی و سطح بادمجان طی فرآیند سرخ کردن صورت نگرفته است. لذا با توجه به مزایای ذکر شده برای پوشش‌دهی محصولات غذایی قبل از فرآیند سرخ کردن، بررسی پوشش‌دهی برش‌های بادمجان با پوشش‌های خوراکی تهیه شده از صمغ گزانتان قبل از فرآیند سرخ کردن عمیق ضروری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### فرآیند پوشش‌دهی

برای انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های بادمجان (*Solanum melongena*. L.) با اندازه متوسط و یک شکل از استان همدان تهیه گردید. برای انجام فرآیند سرخ کردن ابتدا بادمجان‌ها به قطعاتی با ضخامت ۱ سانتی‌متر برش داده شدند. نمونه‌ها به دو گروه شاهد (بدون پوشش) و پوشش داده شده توسط غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان تقسیم شدند. ابتدا درون بشر به‌صورت جداگانه محلول‌هایی با غلظت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی از صمغ گزانتان تهیه شد. سپس برای پوشش‌دهی، نمونه‌های برش خورده به مدت ۱ دقیقه درون محلول‌های تهیه شده از صمغ گزانتان قرار گرفتند.

### فرآیند سرخ کردن

برش‌های بادمجان بلافاصله پس از برش و پوشش‌دهی، جهت سرخ کردن در سه سطح دمای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. جهت سرخ کردن عمیق از روغن آفتابگردان و سرخ‌کن خانگی دلمونتی استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون[1] (تایوان) با دامنه دمایی ۵۰- تا ۱۲۳۰ درجه سلسیوس (۰±/۱°C) و ترموکوپل دمایی نوع K با ضخامت یک میلی‌متر استفاده گردید.

### بررسی تغییرات رنگ سطحی

جهت بررسی تغییرات رنگ و سطح نمونه‌ها، از یک اسکنر اچ‌پی[2]، جهت تصویربرداری و از روش پردازش تصویر، برای آنالیز تصاویر استفاده شد. طی زمان سرخ کردن به‌صورت پیوسته از نمونه‌ها عکس در فرمت JPG تهیه و بعد از تبدیل به فرمت $L^*a^*b^*$ توسط نرم‌افزار Image J (Image J software version 1.42e,

1- Lutron, TM-916
2- Hp Scanjet 300, China

USA)، شاخص‌های رنگی آنها شامل $L^*$، $a^*$، $b^*$ و $\Delta E$ محاسبه و گزارش شد. مقادیر تغییر رنگ ($\Delta E$) در مقایسه با نمونه سرخ نشده نیز با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (صالحی ۲۰۱۷).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (۱)$$

**مدل‌سازی شاخص تغییرات رنگ**

مقادیر $\Delta E$ برای غلظت‌های مختلف پوشش مورد استفاده و دماهای مختلف طی زمان سرخ کردن برش‌های بادمجان محاسبه شد و داده‌های تجربی حاصل از آن با مدل‌های توانی[1]، درجه دوم[2]، گومپرتز[3]، لجستیک، ریچارد ام‌ام‌اف[4] و ویبول[5] برازش شدند (اسدنهال و همکاران ۱۴۰۰؛ صالحی ۲۰۱۹).

**بررسی تغییرات سطح**

درصد تغییرات اندازه سطح برش‌های بادمجان که معیاری از کاهش سطح محصول در طی فرآیند سرخ کردن می‌باشد با استفاده از روش پردازش تصویر و رابطه ۲ محاسبه و گزارش شد.

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (۲)$$

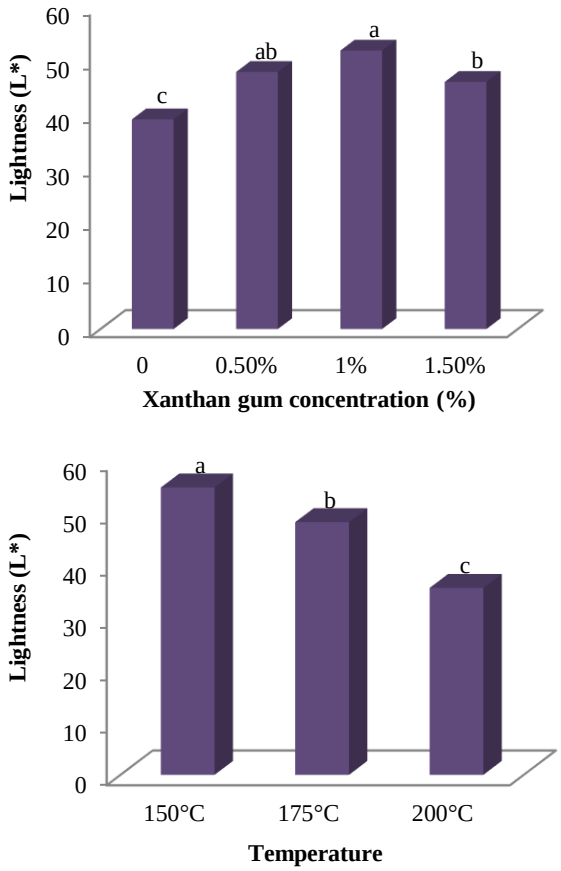
در این رابطه، $\Delta A$: درصد تغییرات سطح، $A_1$: سطح نمونه تازه (سانتی‌متر مربع) و $A_2$: سطح نمونه سرخ‌شده (سانتی‌متر مربع) است.

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بررسی شدند. برای رسم نمودارها از برنامه اکسل ۲۰۰۷ و برای تجزیه‌وتحلیل آماری هم از نرم‌افزار SAS 9.1 در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده گردید. به‌منظور مدل‌سازی داده‌های تجربی سرخ کردن و به دست آوردن ثابت‌های مدل‌ها، از نرم‌افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳٤ استفاده گردید.

## نتایج و بحث

در شکل ۱ اثر دمای سرخ کردن و غلظت‌های استفاده شده از صمغ گزانتان بر میانگین پارامتر روشنایی برش‌های بادمجان گزارش شده است. از نظر تأثیر دما، دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس بیشترین تأثیر را بر روشنایی نمونه‌ها داشت و نمونه‌های سرخ‌شده در این دما تیره‌تر بودند. نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس روشنتر بودند و از نظر خاصیت مشتری پسندی، ظاهر بهتری داشتند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش غلظت صمغ روشنایی نمونه‌ها افزایش یافته است. البته بین غلظت‌های ۱ و ۰/۵ درصد صمغ و همچنین ۱/۵ و ۰/۵ درصد اختلاف معناداری مشاهده نشد ($P<0/05$). همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود مقدار روشنایی نمونه شاهد از سایر نمونه‌ها کمتر بوده و در بین نمونه‌های پوشش داده شده، نمونه پوشش داده شده با صمغ گزانتان با غلظت ۱ درصد، رنگ روشنتری داشته که نشان دهنده غلظت بهینه پوشش جهت حفاظت در برابر تغییرات رنگ می‌باشد.

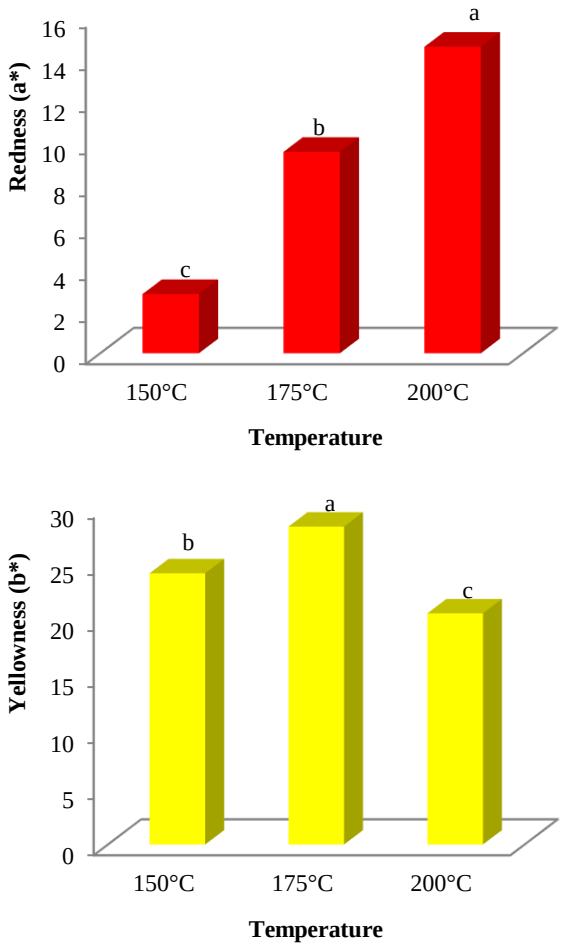
1 - Power model
2 - Quadratic model
3 - Gompertz relation
4 - MMF (Morgan-Mercer-Flodin) model
5 - Weibull model




**شکل ۱- اثر پوشش‌دهی با صمغ گزانتان و دمای سرخ کردن بر پارامتر روشنایی برش‌های بادمجان سرخ شده**

**Figure 1- Effect of coatings with xanthan and frying temperature on the lightness parameter (L*) of fried eggplant slices.**

اثر دمای سرخ کردن بر شاخص‌های قرمزی و زردی برش‌های بادمجان در هنگام سرخ کردن به روش عمیق در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش دمای سرخ‌کن شاخص قرمزی از ۲/۸۲ به ۱٤/۵۸ افزایش یافت (P<۰/۰۵) و نمونه‌ها سرخ‌تر شدند؛ اما شاخص زردی رفتار متفاوتی نشان داد. با افزایش دمای سرخ‌کن از ۱۵۰ درجه سلسیوس به ۱۷۵ درجه سلسیوس پارامتر زردی از ۲٤/۱٤ به ۲۸/۳۰ افزایش یافت (P<۰/۰۵) اما با افزایش دمای سرخ‌کن از ۱۷۵ درجه سلسیوس به ۲۰۰ درجه سلسیوس این پارامتر از ۲۸/۳۰ به ۲۰/۵۸ کاهش یافت (P<۰/۰۵). به دلیل افزایش شاخص قرمزی و قهوه‌ای شدن سطحی بیشتر در دماهای بالاتر، پارامتر زردی نمونه‌ها کاهش می‌یابد (صالحی، ۲۰۱۸)؛ لذا نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس از نظر پارامتر زردی کمترین مقدار را داشتند.

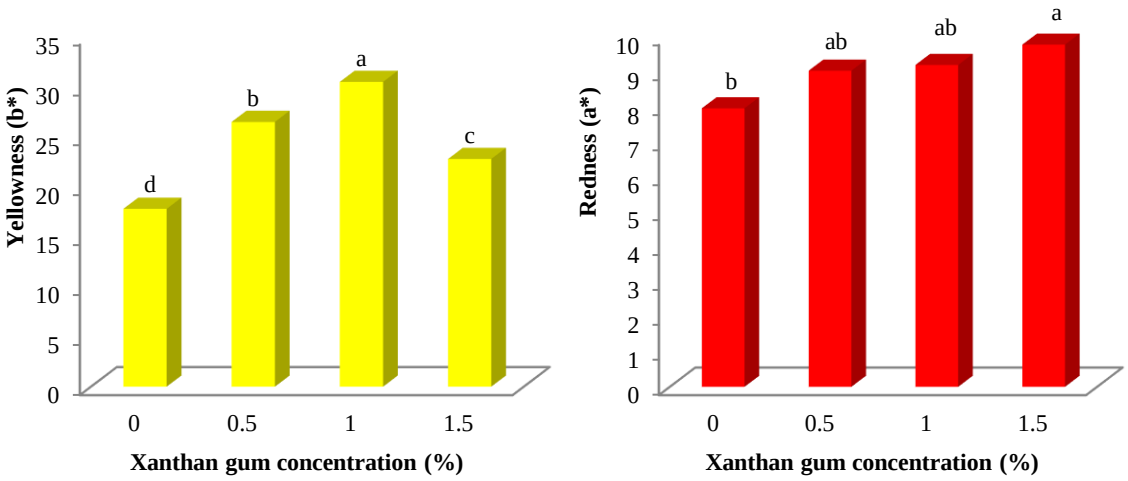



**شکل ۲- اثر دمای سرخ کردن بر پارامترهای قرمزی (a*) و زردی (b*) برش‌های بادمجان پوشش داده شده با صمغ گزانتان**

**Figure 2. Effect of frying temperature on the redness (a*) and yellowness (b*) parameters of coated eggplant slices with xanthan gum**

استفاده از پیش تیمارهایی مانند پوشش‌های خوراکی می‌تواند کیفیت ظاهری محصولات سرخ‌شده را بهبود بخشد. اثر پوشش تهیه شده از غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان بر شاخص‌های قرمزی و زردی هنگام سرخ کردن برش‌های بادمجان در شکل ۳ نشان داده شده است. از نظر شاخص قرمزی، برش‌های بادمجان

پوشش داده شده سرخ‌تر بودند اما از نظر آماری بین نمونه‌های پوشش داده شده اختلاف معناداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). با افزایش غلظت صمغ گزانتان از صفر به ۱/۵ درصد، مقدار قرمزی نمونه‌ها از ۷/۹۶ به ۹/۷۷ افزایش یافت (P<۰/۰۵). از نظر شاخص زردی هم نمونه‌های پوشش داده شده زردتر بوده (P<۰/۰۵) و غلظت‌های مختلف صمغ، از نظر شاخص زردی دارای اختلاف معنادار بودند (نمونه پوشش داده شده با ۱ درصد صمغ گزانتان بیشترین مقدار زردی را داشت). تأثیر پوشش‌های صمغ کربوکسی متیل سلولز و موسیلاژ بامیه بر میزان جذب روغن و خواص فیزیکوشیمیایی سیب‌زمینی سرخ‌شده توسط اشرفی یورقانلو و غیبی (۲۰۱۹) بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از مخلوط صمغ کربوکسی متیل سلولز و موسیلاژ بامیه در سطح ۱ درصد، علاوه بر باعث کاهش مقدار روغن سیب‌زمینی سرخ‌شده، باعث تولید محصولی با کیفیت بالاتر می‌شود.



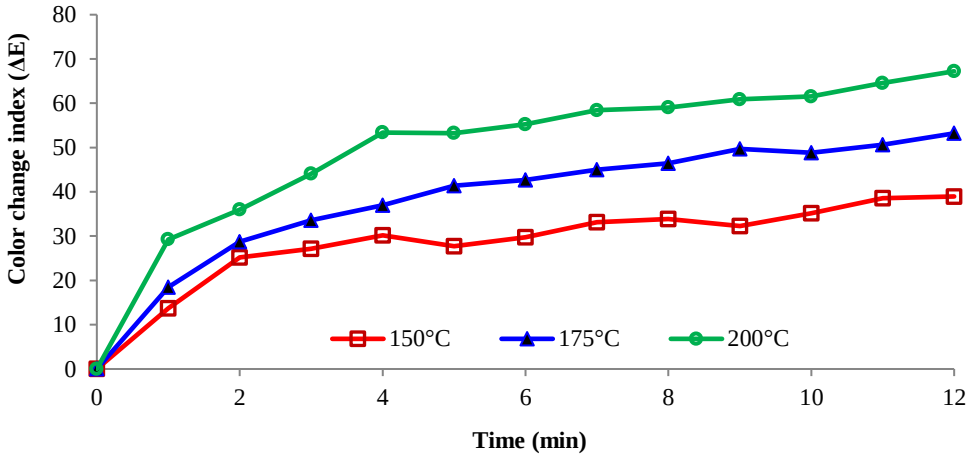

**شکل ۳- اثر غلظت صمغ گزانتان بر پارامترهای قرمزی (a*) و زردی (b*) برش‌های بادمجان پوشش داده شده**

**Figure 3- Effect of xanthan gum concentration on the redness (a*) and yellowness (b*) parameters of coated eggplant slices**

اثر دمای سرخ کردن بر سینتیک شدت تغییرات رنگ (ΔE) سطح برش‌های بادمجان هنگام سرخ کردن عمیق در شکل ٤ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، طی زمان سرخ کردن، مقدار ΔE محاسبه شده برای برش‌های بادمجان افزایش یافته است و مقدار این تغییرات برای دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس از دماهای ۱۵۰ و ۱۷۵ درجه سلسیوس بیشتر است. با افزایش دما شدت تغییرات رنگ افزایش می‌یابد (صالحی، ۲۰۱۸) که در این پژوهش نیز چنین نتیجه‌ای حاصل شد و در تمامی تیمارهای مورد بررسی، شدت تغییرات در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس بیشتر بود. در شکل ٥ نیز اثر دمای سرخ کردن و غلظت‌های استفاده شده از صمغ گزانتان بر شدت تغییرات رنگ برش‌های بادمجان هنگام سرخ کردن عمیق نشان داده شده است. با توجه به شکل، شدت تغییرات با افزایش دمای سرخ‌کن افزایش یافته و بیشترین تغییرات در نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس مشاهده شد.

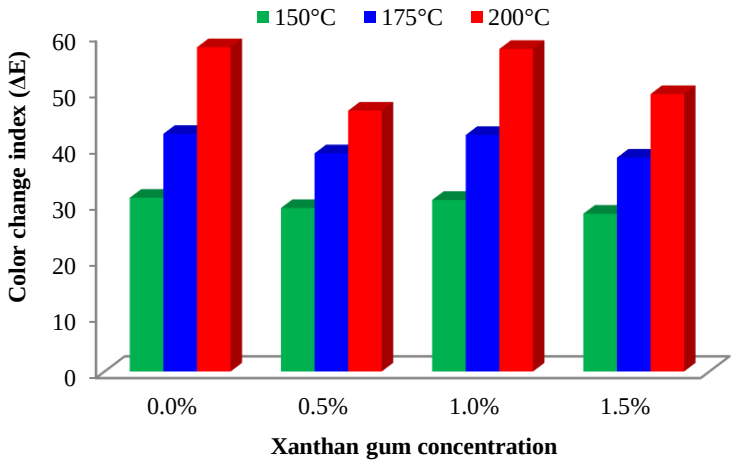
میانگین مقادیر ΔE برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد صمغ گزانتان به ترتیب برابر ۳۰/۹۷، ۲۹/۱۳، ۳۰/۵۷ و ۲۸/۱۲ بود (در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس). نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ گزانتان و سرخ شده در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس کمترین تغییرات رنگ را داشت (۲۸/۱۲). لذا بر اساس پارامتر شدت تغییرات رنگ استفاده از ۱/۵

درصد صمغ گزانتان برای پوشش‌دهی برش‌های بادمجان و سرخ کردن آن در دمای ۱۵۰ درجه برای رسیدن به محصولی با خصوصیات رنگی مطلوب پیشنهاد می‌شود. با افزایش دمای سرخ کن، دمای سطحی محصول زودتر به دمای روغن می‌رسد و تغییرات رنگ در این محدوده سریع‌تر رخداده و باعث کاهش کیفیت رنگ سطحی محصول می‌شود. درواقع شروع پدیده افزایش دمای سطحی به سمت دمای روغن، نشان‌دهنده افزایش شدت تغییرات رنگ نامطلوب به دلیل کاهش آب سطحی است. با محاسبه شاخص‌های رنگی مشخص شد که بخش عمده تغییرات شاخص‌های رنگی در زمان‌های ابتدایی اتفاق می افتد.




**شکل ۴- اثر دمای سرخ کردن بر شاخص تغییرات رنگ برش‌های بادمجان هنگام سرخ کردن (۱/۵ صمغ گزانتان)**

**Figure 4- Effect of frying temperature on the colour change index of eggplant slices during frying time (1.5% xanthan gum)**




**شکل ۵- اثر پوشش‌دهی با صمغ گزانتان و دمای سرخ کردن بر میانگین شاخص تغییرات رنگ برش‌های بادمجان سرخ شده**

**Figure 5- Effect of coatings with xanthan and frying temperature on the average colour change index of fried eggplant slices**

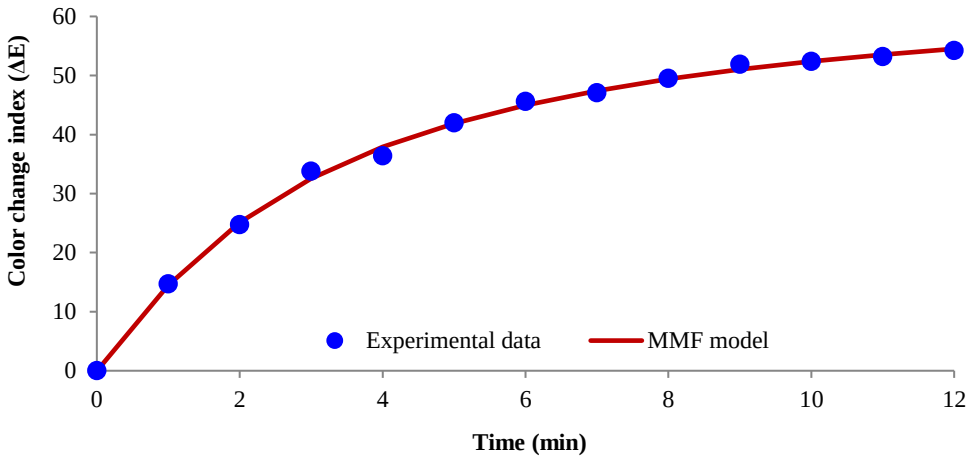
با توجه به روند تغییرات داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده برای پارامتر تغییر رنگ نمونه‌های بادمجان شاهد و پوشش داده شده طی فرآیند سرخ کردن، این داده‌ها با مدل‌های توانی، درجه دوم، گومپرتز، لجستیک، ریچارد، امامااف و ویبول برازش شدند. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که مدل امامااف برای

توصیف روند تغییر داده‌ها مناسب‌تر است؛ لذا ضرایب این مدل برای تیمارها و دماهای مختلف محاسبه و در جدول ۱ گزارش گردید. با استفاده از داده‌های ذکر شده در این جدول می‌توان سرعت تغییر رنگ برش‌های بادمجان طی سرخ شدن در زمان‌های مختلف را پیش‌بینی نمود. در شکل ٦ نیز توانایی مدل امامراف برای پیش‌بینی و مدل‌سازی روند تغییر داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سرخ کردن بادمجان پوشش داده شده با ۰/۵ درصد صمغ گزانتان و در دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس نمایش داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که داده‌های به دست آمده از این مدل کاملاً بر داده‌های آزمایشگاهی منطبق بوده و این مدل توانسته است به‌خوبی روند تغییر نتایج آزمایشگاهی را مدل‌سازی کند.

**جدول ۱- ضرایب مدل امامراف برای شاخص تغییرات رنگ (ΔE) برش‌های بادمجان پوشش داده شده با صمغ گزانتان طی فرآیند سرخ کردن**

**Table 1- The MMF model coefficients for colour change index (ΔE) of coated eggplant slices with xanthan gum during frying process.**

| Coating | Temperature (°C) | a | b | c | d | SE | r |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uncoated | 150 | 0.080 | 27.507 | 535.356 | 0.348 | 1.342 | 0.995 |
| | 175 | -0.027 | 1.474 | 59.306 | 1.058 | 0.854 | 0.999 |
| | 200 | -0.089 | 1.914 | 95.658 | 0.797 | 1.597 | 0.998 |
| 0.5 gum | 150 | 0.028 | 48.841 | 1065.623 | 0.231 | 0.924 | 0.997 |
| | 175 | 0.033 | 3.577 | 66.524 | 1.122 | 0.782 | 0.999 |
| | 200 | 0.054 | 2.451 | 83.267 | 0.805 | 1.506 | 0.997 |
| 1.0 gum | 150 | 24.390 | 241.505 | 52.340 | 2.486 | 0.371 | 0.999 |
| | 175 | 0.155 | 2.596 | 66.187 | 1.103 | 1.191 | 0.998 |
| | 200 | -0.005 | 1.470 | 94.696 | 0.639 | 0.789 | 0.999 |
| 1.5 gum | 150 | -0.166 | 2.002 | 48.731 | 0.743 | 2.301 | 0.982 |
| | 175 | -0.060 | 2.787 | 72.706 | 0.785 | 0.884 | 0.998 |
| | 200 | 0.029 | 2.204 | 90.486 | 0.706 | 1.854 | 0.996 |

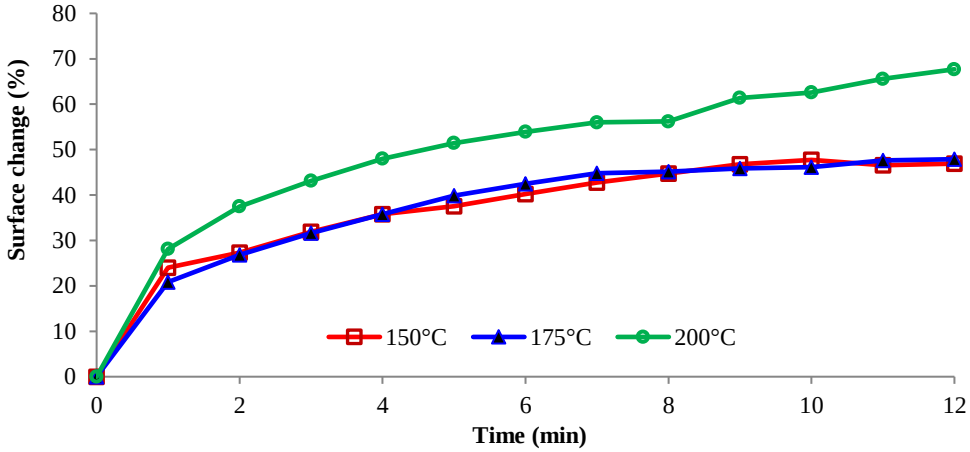



**شکل ۶- توانایی برازش مدل امامراف برای داده‌های آزمایشگاهی شاخص تغییرات رنگ برش‌های بادمجان طی فرآیند سرخ کردن (۰/۵ درصد صمغ گزانتان و ۱۷۵°C)**

**Figure 6. Fitting ability of MMF model to experimental data of colour change index of eggplant slices during frying process (0.5% xanthan gum and 175°C)**

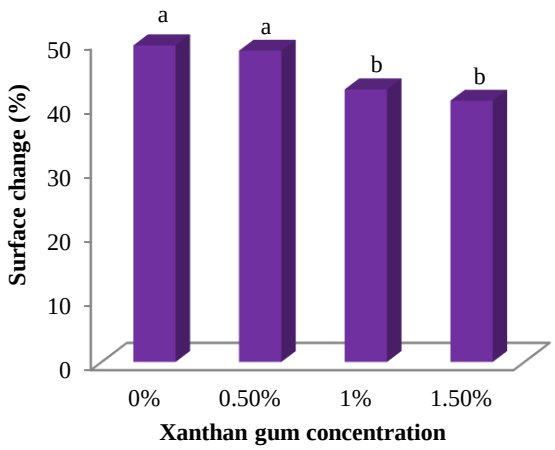
اثر دمای سرخ‌کن بر درصد تغییر اندازه سطح برش‌های بادمجان پوشش داده شده با ۰/۵ درصد صمغ گزانتان هنگام سرخ کردن عمیق در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، طی زمان سرخ کردن، درصد تغییر اندازه سطح برش‌های بادمجان افزایش یافته است که نشان دهنده کاهش مساحت

نمونه‌ها است. مقدار تغییرات سطح برش‌های بادمجان در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس از سایر دماها بیشتر بود و این نمونه‌ها افت بیشتری را از نظر اندازه داشتند. در شکل ۸ نیز اثر غلظت صمغ گزانتان بر میانگین درصد تغییر اندازه سطح برش‌های بادمجان طی فرآیند سرخ کردن نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نمونه‌های پوشش داده شده با صمغ گزانتان، افت کمتری را از نظر اندازه سطح نشان دادند و این نمونه‌ها از نظر اندازه بزرگتر بودند.




**شکل ۷- اثر دمای سرخ کردن بر تغییرات سطح برش‌های بادمجان پوشش داده شده طی زمان سرخ کردن (۰/۵ صمغ گزانتان)**

**Figure 7- Effect of frying temperature on the surface change of coated eggplant slices during frying time (0.5% xanthan gum)**




**شکل ۸- اثر غلظت صمغ گزانتان بر میانگین تغییرات سطح برش‌های بادمجان سرخ شده (۲۰۰°C)**

**Figure 8. Effect of xanthan gum concentration on the average surface changes of fried eggplant slices (200°C)**

میانگین تغییرات مساحت محاسبه شده برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد صمغ گزانتان به ترتیب برابر ۴۹/۴۱، ۴۸/۵۷، ۴۲/۵۴ و ۴۰/۷۷ بود (در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس). 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 صمغ گزانتان کمترین تغییر را داشته و میانگین اندازه برش‌های بادمجان سرخ‌شده با این پیش تیمار بزرگتر بوده است. بررسی انتقال حرارت و مدل‌سازی سینتیک تغییرات رنگ طی فرآیند سرخ کردن بادمجان توسط صالحی (۱۳۹۸) بررسی شده است. بر اساس این تحقیق دماهای بالاتر موجب روشنایی و زردی کمتر محصول نهایی، اما قرمزی بیشتر آن می‌شود. سینتیک تغییرات رنگ سطح بادمجان از یک تابع نمایی افزایشی تبعیت می‌کند و نمونه‌های سرخ‌شده بادمجان در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس افت بیشتری از نظر اندازه سطح داشته و کوچک‌تر شدند.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر پوشش تهیه شده از صمغ گزانتان و همچنین دمای سرخ‌کن بر شاخص‌های رنگی و مساحت برش‌های بادمجان طی سرخ کردن به روش عمیق مورد

بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پوشش‌دهی بادمجان با استفاده از صمغ گزانتان باعث افزایش کیفیت ظاهری و بهبود رنگ آنها در انتهای فرآیند سرخ کردن می‌شود. نمونه‌های پوشش‌دهی شده با صمغ گزانتان رنگ روشن‌تری داشته و تغییرات سطح در آنها حداقل بود که این امر حاکی از سطح بزرگتر و حداقل چروکیدگی در نمونه‌های پوشش‌دهی شده طی فرآیند سرخ کردن بود. نمونه‌های شاهد (بدون پوشش) افت بیشتری از نظر مساحت داشته و اندازه کوچک‌تری داشتند. از نظر شاخص تغییرات رنگ برش‌های بادمجان پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ گزانتان کمترین تغییرات رنگ را طی زمان سرخ کردن از خود نشان دادند. برای مدل‌سازی شاخص تغییرات رنگ، مدل امام‌اف در مقایسه با مدل‌های توانی، درجه دوم، گومپرتز، لجستیک، ریچارد و ویبول خطای کمتری داشت و به‌خوبی با داده‌های آزمایشگاهی برازش شد و ضرایب ثابت این مدل برای داده‌های آزمایشگاهی شاخص تغییر رنگ در تیمارها و دماهای مختلف محاسبه و این اعداد جهت استفاده و پیش‌بینی این پارامتر رنگی در سایر شرایط سرخ کردن گزارش شدند. در نهایت نتایج نشان داد که سرخ کردن در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و پوشش‌دهی برش‌های بادمجان با ۱/۵ درصد صمغ گزانتان باعث حفظ شکل ظاهری محصول سرخ‌شده می‌گردد و همچنین کمترین تغییرات مساحت در زمان سرخ شدن در دماهای مختلف در این نمونه‌ها مشاهده شد.

**منابع مورد استفاده**


اسدنهال م، صالحی ف و رسولی م، ۱٤۰۰. اثر پوشش خوراکی تهیه شده از صمغ دانه مرو بر سینتیک تغییرات رنگ و سطح برش‌های بادمجان طی فرآیند سرخ کردن. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸(۱۱٤)، ۱۳۱-۱۲۱.

خاکبازحشمتی م، پزشکی ا، ناصری ن و جعفرزاده‌مقدم م، ۱۳۹۹. اثر فرایند سرخ‌کردن بر ویژگی‌های اکسیداتیو و حرارتی فرمولاسیون بهینه روغن کنجد و هسته انگور. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(٤)، ۳۸-۲۷.

صالحی ف، ۱۳۹۸. بررسی انتقال حرارت و مدل‌سازی سینتیک تغییرات رنگ در طی فرآیند سرخ کردن بادمجان. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۹(۲)، ۱٤۹-۱۳۷.

معتمدزادگان ع و میرعرب‌رضی س، ۱٤۰۰. تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی صمغ دانه ریحان و شاهی بر جذب روغن و ویژگی‌های کیفی هویج سرخ شده. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۱(۳)، ۱۳۲-۱۱۹.

Ashrafi Yorganloo R, 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.

Baik O-D, Mittal GS, 2005. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. Food Research International 38(2): 183-191.

Bouaziz F, Koubaa M, Neifar M, Zouari-Ellouzi S, Besbes S, Chaari F, Kamoun A, Chaabouni M, Chaabouni SE, Ghorbel RE, 2016. Feasibility of using almond gum as coating agent to improve the quality of fried potato chips: Evaluation of sensorial properties. LWT- Food Science and Technology 65: 800-807.

Kim DN, Lim J, Bae IY, Lee HG, Lee S, 2011. Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. Journal of Food Engineering 102: 317-320.

Kurek M, Ščetar M, Galić K, 2017. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. Food Hydrocolloids 71: 225-235.

Mousa RMA, 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: 265-274.

Pedreschi F, Moyano P, Kaack K, Granby K, 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. Food Research International 38(1): 1-9.

Salehi F, 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum (*Salvia macrosiphon*). Journal of Food Measurement and Characterization 11(4): 2006-2012.

Salehi F, 2018. Color changes kinetics during deep fat frying of carrot slice. Heat and Mass Transfer 54(11): 3421-3426.

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.

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.

Journal of Food Research, 2022,32(1):79-91
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
DOI: 10.22034/FR.2021.43708.1782

# The effect of coating with xanthan gum on the color indexes and surface change of fried eggplant slice

**M Asadnahal[1], F Salehi[2*] and M Rasouli[2]**

Received: January 4, 2021 Accepted: April 7, 2021
[1]MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
[2]Associate Professor and Assistant Professor, respectively, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
[*]Corresponding author, Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

**Introduction**: Frying is a complex unit operation that is widely used in the food industry. Frying temperatures can range from 140–190°C, but the most common temperatures are 170–190°C. These conditions lead to high heat transfer rates, rapid cooking, browning, and texture and flavor development. During the process, food is immersed in an oil bath at a temperature above the boiling point of water. This results in counter flow of water vapor (bubbles) and oil at the surface of the product. Color changes measured may be used to predict both chemical and quality changes in a food. The color parameters have previously proved valuable in describing visual color deterioration and providing useful information for quality control in fruits and fruit products (Salehi 2019). The oil uptake problem associated with fried products can be decreased by using hydrocolloids as edible coating. Also, the sensorial examination results showed that the coated products with gums have total acceptability better than the uncoated samples (Salehi 2020). Using of hydrocolloids (gums) to decrease the oil uptake during deep-fat frying is one of the easy and most convenient way which does not needs changes in frying devises. The term “gum” is used to explain a group of naturally occurring polysaccharides. Gums have a good functional characteristic such as emulsifying, coating agents, packaging films, gelling, stabilizers, solubility and textural improvement. Gums influence on the gelatinization and retro gradation of starch and decreased the retro gradation of starch (Salehi 2019; Salehi 2020). Kim et al. (2011) studied the influence of the Guar gum coating on the oil uptake and heat transfer of the potato strips during frying process. Their results showed that the addition of guar and gellan gums as hydrocolloid coatings decreased the heat transfer coefficient and oil uptake in potato during the frying process. They reported that the use of 0.9% Guar gum for coating decreased the oil content of the fried potato up to 8.9%, that was 41.0% lower than the control sample. Potential of almond gum (0-20 g/L) application as a coating agent to improving the quality and sensorial properties of fried potato chips was investigated by Bouaziz et al. (2016). Their results showed that the raise of almond gum levels up to 20 g/L reduced the 34% oil uptake of chips and raised the 29.5% moisture content. Optimum conditions for coating and frying establish with response surface methodology (RSM) were thus reached with 20 g/L almond gum at 160°C frying temperature for 75 s. The sensorial examination results showed that the coated potato chips with almond gum have total acceptability better than the uncoated samples. The coated chips have a notably lighter color (higher L* index) and were considerably yellower than the uncoated samples.

The lightness (L* value) was 58.2 for the uncoated samples, while 88.3 and 87.5 were found for fried samples coated with almond and Arabic gums, respectively. Application of edible hydrocolloid coatings 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 (L*, a*, b* and ΔE) and the area of eggplant slices coated with different concentrations of xanthan gum during deep fat frying.
**Material and methods**: In this study, eggplant slices in a cylindrical shape with a thickness of 1 cm were coated using xanthan gum in four concentrations of 0.0, 0.5, 0.5 and 1.5%. Then they 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. To examine the changes in color indexes including lightness (L*), redness (a*), yellowness (b*) and color changes (ΔE) as well as changes in the area of the samples, images were taken continuously during the frying time. In order to investigate the effect of frying temperature and xanthan gum concentration on the color changes of fried eggplant, a computer vision system was used. Sample illumination was achieved with HP Scanner (Hp Scanjet 300). L* (lightness-darkness that ranges from 0 to 100), a*(redness-greenness that ranges from -120 to 120) and b* (yellowness-blueness that ranges from -120 to 120) were measured in this study. The Power, Quadratic, Gompertz, Logistic, Richards, Weibull, and MMF kinetic models were chosen to describe the color changes index within the frying process of eggplant slices. The estimation of the models parameters for each one of the color parameters was carried out using a non-linear regression analysis method, separately for each treatment during frying of eggplant slices. The experimental data were modeled by using non-linear regression in Curve Expert 1.34 software.
**Results and discussion**: The L* index calculated for the frying process of eggplant samples showed that the coated samples were brighter in terms of lightness and eggplants coated with xanthan gum with a concentration of 1.0% had higher L* values. Since lightness is a very important colour quality parameter, lower frying temperatures with lower boiling point of water are preferable to preserve the lightness and hence the attractiveness of fried products. The reduction in L* may be attributed to intense browning reaction and increase crust formation due to exposure to high temperature. With increasing the concentration of xanthan gum from 0.5 to 1.5%, the redness of the samples increased from 2.82 to 14.58. In terms of color change index (ΔE), eggplants coated with xanthan gum showed the least color changes during frying. The mean ΔE values for the control sample, 0.5%, 1% and 1.5% of xanthan gum were 30.97, 29.13, 30.57 and 28.12, respectively (at 150°C). For modeling the color change index, the MMF model had less error compared to the Power, Quadratic, Gompertz, Logistic, Richards, and Weibull models and it fitted well with the experimental data. Surface change% (shrinkage) is a common phenomenon during frying. Rapid water loss resulted in significant shrinkage in products during frying. The average area changes calculated for the control sample, 0.5%, 1% and 1.5% of xanthan gum were 49.41, 48.57, 42.54 and 40.77, respectively. The surface change of eggplant slices was increased with the progression of frying time and temperature. High surface change was seen in eggplant slices fried at 200°C which may be due to fast removal of moisture.
**Conclusion**: Heat and mass transfer phenomena take place during frying cause physicochemical changes, which affect the color and surface of the fried products. Xanthan gum concentration, oil temperature and frying time are the process parameters which affect the color parameters of eggplant slices during frying. The results showed that coating of eggplant slices with 1.5% of xanthan gum preserves the appearance of the fried product and also the least area changes were observed in these samples in the frying time at different temperatures. Different kinetic models were used to fit the experimental data and the results revealed that the MMF model was the most suitable to describe the color change intensity (ΔE).

**Keywords:** Xanthan gum; Lightness; MMF model; Redness; Yellowness