نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۸۴-۷۶

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 10, No. 1, Spring 2014, p. 76-84

بررسی تغییرات فیزیکو شیمیایی بژی (نوعی کلوچه‌ی سرخ شده) هنگام سرخ شدن به روش عمیق

آرش قیطران‌پور[۱]- مسعود تقی‌زاده[۲*]- حامد مهدویان مهر[۳]- محمدرضا عبدالهی مقدم[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۱/۲۶
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۷/۱۴

چکیده

بژی نوعی کلوچه‌ی سرخ شده‌ی شیرین است که در مناطق غربی ایران به صورت سنتی تولید می‌شود. در این تحقیق تاثیر دو عامل دما (۱۵۰، ۱۶۵ و۱۸۰°C) و زمان سرخ کردن (۸-۱ دقیقه) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بژی مورد بررسی قرارگرفت. طبق نتایج به دست آمده با افزایش زمان سرخ کردن تا سه دقیقه‌ی اول حجم نمونه‌های بژی به طور معنی داری افزایش یافت ($p<0.05$). در ادامه هرچند تغییرات حجم معنی‌دار نبود، اما میانگین حجم روندی نزولی داشت. افزایش دما و زمان سرخ شدن به صورت معنی‌داری باعث افزایش قطر گردیده، اما تاثیر چندانی بر سایر ابعاد بژی نداشت. با افزایش دما و زمان سرخ شدن، سختی نمونه‌ها افزایش یافت و به طور کلی، تغییرات رنگ نیز بیشتر گردید. همچنین با افزایش دما و زمان سرخ کردن مقدار پارامتر L^* کاهش یافت. ثابت سرعت کاهش L^* در سه دمای ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰°C به ترتیب ۰/۰۰۹۸۶۶، ۰/۰۷۶۶۵، ۰/۱۱۲۵ معکوس ثانیه به دست آمد. همچنین با افزایش دما و زمان سرخ‌کردن مقدار a^* افزایش یافت اما تغییرات b^* معنی‌دار نبود. انرژی فعالسازی واکنش‌های قهوه‌ای شدن در بژی، ۳۱/۱۲ کیلو کالری بر مول به دست آمد که نشان دهنده‌ی تاثیر زیاد دما بر سرعت این واکنش در بازه‌ی دمایی ذکر شده است. دما و زمان سرخ شدن تاثیر معنی داری بر روند تشکیل پوسته داشتند. در دمای ۱۵۰°C حداکثر ضخامت پوسته به ۰/۵۵ میلی متر و در دمای ۱۶۵°C و ۱۸۰°C به حدود ۱/۴۵ میلی متر رسید. بنابراین دما و زمان سرخ کردن می‌تواند اغلب خصوصیات فیزیکوشیمیایی بژی را تحت تاثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: بژی، سرخ کردن، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، تغییرات رنگ، حجم

مقدمه

سرخ کردن فرآیند پیچیده‌ای است به طور گسترده در تهیه‌ی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش محصولات غذایی به منظور سرخ شدن وارد محیط روغنی با دمای بالاتر از نقطه‌ی جوش آب می‌شوند (Dueik *et al.*, 2010). که مواد غذایی سرخ شده به دلیل داشتن طعم مطبوع و بافت ویژه‌ای که دارند همواره مورد توجه مصرف‌کنندگان بوده‌اند. بژی نوعی کلوچه‌ی سرخ شده‌ی شیرین است که در مناطق غربی ایران از طریق سرخ کردن عمیق تهیه می‌شود و در هنگام صبحانه یا عصرانه مصرف می‌گردد. این شیرینی سرخ شده دارای دو قسمت اصلی می‌باشد که شامل پوسته و بخش داخلی است. پوسته در تماس مستقیم با روغن داغ قرار می‌گیرد بنابراین دارای بیشترین جذب روغن و دفع رطوبت می‌باشد. رنگ پوسته، طلایی تا قهوه‌ای است. بخش داخلی نیز همانند محصولات مشابه در طول سرخ شدن ژلاتینه می‌شود (Tan *et al.*, 2006) و رنگ آن سفید است. در هنگام سرخ کردن عمیق فرآیندهای انتقال جرم و حرارت به طور همزمان اتفاق می‌افتند و در نتیجه‌ی آن تغییرات فیزیکی و شیمیایی در محصول رخ می‌دهد. به طور کلی سه فرایند انتقال جرم در هنگام سرخ شدن اتفاق می افتد که شامل خروج رطوبت، ورود روغن سرخ کردنی و خرج سایر مایعات موجود در ماده‌ی غذایی در حال سرخ شدن است (Mosavian *et al.*, 2012). در صنعت مواد غذایی ویژگی‌های کیفی محصولات تولید شده از اهمیت زیادی برخوردار است. رنگ و بافت از مهمترین خصوصیات کیفی مواد غذایی هستند که تحت تاثیر سرخ کردن قرار می‌گیرند.

مقصودی و همکاران (۱۳۸۳) به بررسی تغییرات رنگ سیب زمینی در حین سرخ شدن در حمام روغن پرداختند. طبق نتایج به

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: taghizadeh.masoud@gmail.com)

دست آمده ضخامت قطعات و دمای روغن اثر قابل ملاحظه‌ای بر پارامترهای رنگی داشتند. همچنین در ابتدای مراحل سرخ شدن روشنی رنگ سیب‌زمینی‌های سرخ شده افزایش یافته و سپس ثابت ماند. Fan و همکاران (۱۹۹۷) تغییرات فیزیکوشیمیایی نشاسته‌ی ذرت در هنگام سرخ شدن را مطالعه کردند، نتایج نشان داد که با افزایش زمان سرخ شدن میزان ژلاتینه شدن نیز بیشتر شد اما سختی بافت تا ۵ دقیقه پس از شروع سرخ شدن تغییر معنی‌داری نداشت ولی پس از آن به سرعت افزایش یافت. در پژوهشی که (Tan *et al.*, 2006) بر روی تغییرات فیزیکوشیمیایی دونات در هنگام سرخ شدن تحت خلا انجام دادند، نتایج به دست آمده نشان داد که ویژگی‌های بافتی دونات به میزان زیادی تحت تاثیر دمای سرخ کردن و میزان خلا اعمال شده است، به طوری که هرچه دمای سرخ کردن کمتر و میزان خلا اعمال شده بیشتر باشد، محصول به دست آمده دارای بافت نرمتر و تراکم کمتری خواهد بود. همچنین با افزایش دمای سرخ شدن، شاخص کلی رنگ محصول[1] نیز افزایش یافت.

اطلاعات کمی در باره ساختار و تغییرات بژی در حین سرخ شدن وجود دارد. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی و بافتی این محصول بود که با توجه به ساختار ساه‌ی بژی می‌تواند به عنوان مدلی پایه جهت بررسی سایر مواد غذایی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مواد

جهت تهیه‌ی خمیر بژی از آرد ستاره و شکر سفید گرانوله استفاده شد. شیر پاستوریزه از شرکت فرآورده های لبنی رضوی خریداری شد و از روغن آفتابگردان تصفیه شده‌ی نینا که فاقد موم بود، استفاده گردید.

تهیه‌ی خمیر بژی

پس از توزین آرد، ابتدا روغن به مقدار ذکر شده در جدول۱ اندازه‌گیری و پس از داغ شدن روی آرد ریخته شد و آرد و روغن با هم مخلوط شدند. سپس شکر در شیر حل شد و به مدت ۵ دقیقه حرارت دیده و پس از آن به مخلوط آرد و روغن اضافه شد. خمیر حاصله به مدت نیم ساعت با دست ورز خورد تا یکنواخت شود. سپس با وردنه به صورت لایه‌ای با ضخامت یک سانتیمتر پهن شد و با قالبی با ابعاد ۳×۲ سانتی متر قالب خوردند. جهت ممانعت از تبخیر آب، روی نمونه‌های تهیه شده، با پلاستیک پوشانده شد.

جدول۱- نسبت اجزای تشکیل دهنده بژی

مواد اولیه	مقدار
آرد گندم	۷۰۰ گرم
روغن	۱۰۰ گرم
شیر	۱۵۰ گرم
شکر	۱۰۰ گرم

سرخ کردن

سرخ شدن نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سرخ‌کن برقی خانگی (Suzuki Z.F) با ظرفیت ۲/۵ لیتر روغن انجام شد. ابتدا سرخ کن با روغن پر شد و بعد از رسیدن به دمای مورد نظر، فرآیند سرخ کردن قطعات خمیر بژی شروع شد. دمای سرخ شدن ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰°C انتخاب شد. نمونه‌ها در بازه‌های زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ دقیقه پس از شروع سرخ شدن از سرخ کن خارج شده و روی توری سینی قرار گرفتند تا روغن اضافی آنها گرفته شود. تمام آزمایش‌ها در دو تکرار انجام شد.

تعیین تغییرات رنگ و ضخامت پوسته

برای بررسی تغییرات رنگ و ضخامت پوسته‌ی بژی در حین سرخ شدن، هر دقیقه یک‌بار از نمونه‌ها عکس گرفته شد و سپس با استفاده از نرم افزار Image J، ضخامت پوسته و شاخص‌های رنگی L*،a* و b* به دست آمد (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۰). قهوه‌ای شدن رنگ پوسته یکی از مهمترین واکنش‌هایی است که در فرایند تولید بژی اتفاق می‌افتد. به علت کوتاه بودن زمان فرایند سرخ کردن عمیق، می‌توان برای مدلسازی ریاضی آن از یک آنالیز کنتیکی درجه اول استفاده کرد. دما تاثیر زیادی بر ثابت سرعت تغییر رنگ می‌گذارد. با به دست آوردن ثابت سرعت تغییر رنگ و در نظر گرفتن رابطه آرنیوس برای بیان رابطه ثابت سرعت تغییر رنگ با افزایش دما، انرژی فعالسازی[2] تعیین می‌شود. سرعت نسبی تغییرات روشنی رنگ نمونه‌های بژی را می‌توان با استفاده از معادله‌ی۱ که یک واکنش مرتبه اول است، تبیین نمود.

$$\ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = -Kt \qquad (۱)$$

در این معادله L_0، روشنایی نمونه‌های بژی قبل از سرخ شدن، L روشنایی نمونه‌ها در هر زمان از سرخ کردن، K ثابت سرعت تیره شدن بژی و t زمان سرخ کردن می‌باشد. دما بر ثابت سرعت تغییر رنگ تاثیر می‌گذارد و معمولا ارتباط بین آنها با استفاده از رابطه‌ی آرنیوس بیان می‌شود.

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \qquad (۲)$$

در این معادله k_0 فاکتور پیش توانی (1/s) می‌باشد که بستگی به

1 - (ΔE)

2 - Activation energy (Ea)

ویژگی‌های فیزیکی ماده‌ی مورد آزمایش دارد، R ثابت جهانی گازها (۱/۹۸۷ کالری بر مول درجه کلوین)، E_a انرژی فعالسازی (کالری بر مول) و T دمای سرخ شدن نمونه‌ها بر حسب کلوین است (Velez-Ruiz *et al.*, 2003).

تغییرات کلی رنگ ΔE با استفاده از معادله‌ی۳ به دست می‌آید و در آن زیر نویس‌های ۱و۲ به ترتیب مربوط به پارامترهای رنگ قبل و بعد از سرخ کردن می‌باشند (امیریوسفی، ۱۳۸۹).

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (۳)$$

آزمون بافت بژی

جهت اندازه گیری خصوصیات رئولوژیکی بژی، نمونه‌ها در ابعاد ۲×۲×۱/۵ سانتی متر بریده شدند و بر روی صفحه‌ی نگهدارنده دستگاه آنالیز بافت (Model QTS Brookfield, UK) قرار گرفتند. از آزمون فشردگی دو مرحله‌ای آنالیز بافت[1] (TPA) برای تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی استفاده شد و پروب دستگاه با ابعاد ۴×۴ سانتی متر و سرعت ۱ میلیمتر در ثانیه شروع به حرکت نموده و بدون زمان تاخیر بین بخش اول و دوم آزمون TPA، نمونه‌ها را به میزان ۷۵٪ فشرده کرد (Guarda *et al.*, 2004). سختی نمونه‌ها نیز با استفاده از آزمون نفوذ[2] تعیین شد. قطر پروب ۲ میلیمتر و سرعت آن ۱میلیمتر بر ثانیه بود و ۷/۵ میلیمتردر نمونه نفوذ کرد (مجذوبی و همکاران، ۱۳۸۹).

تغییرات حجم و ابعاد بژی

ابعاد بژی با استفاده از کولیس اندازه گیری شد. حجم نمونه‌های خام و سرخ شده‌ی بژی با استفاده از معادله ۴ به دست آمد. نمونه‌های بژی به صورت مکعب مستطیل در نظر گرفته شدند و تغییرات حجم بژی نیز با استفاده از معادله ۴ تعیین شد.

$$\text{حجم بژی} = \text{طول} \times \text{عرض} \times \text{قطر} \quad (۴)$$

$$\text{تغییرات حجم} = [(v_t - v_0)/v_0]*100 \quad (۵)$$

که در آن v_0 حجم بژی قبل از سرخ شدن و v_t حجم نمونه‌های بژی سرخ شده در زمان t می‌باشد.

آنالیز آماری

در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار در قالب فاکتوریل استفاده شد. آنالیز واریانس نیز برای تعیین اثر متغیرهای دما و زمان سرخ کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بژی با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیز برای مقایسه‌ی میانگین‌ها در سطح ۵٪ استفاده گردید.

نتایج و بحث

تغییرات ایجاد شده در طول، عرض، قطر و حجم بژی، هنگام سرخ شدن، در جدول۲ آورده شده است و نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققان در مورد سرخ کردن مواد غذایی خمیری، همخوانی داشت (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰، Velez-Ruiz *et al.*, 2003).

تغییرات حجم

دما و زمان سرخ کردن بر تغیرات حجم بژی هنگام سرخ شدن تاثیرگذار بودند. با شروع فرآیند سرخ شدن حجم بژی تغییر کرد. طبق نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سه دقیقه‌ی اول سرخ کردن به دلیل انبساط گازها در خمیر بژی و گسترش خمیر، حجم آن به طور معنی داری افزایش می‌یابد ولی سپس در ادامه‌ی فرآیند سرخ کردن، تغییرات حجم معنی دار نیست، هرچند که میانگین حجم کاهش می‌یابد. کاهش حجم بوجود آمده در دقایق انتهایی سرخ شدن، ممکن است به خاطر ایجاد پوسته و خروج بخار آب و جمع شدگی محصول، بوجود آمده باشد. با افزایش دمای سرخ شدن، تغییرات حجم نیز سریعتر اتفاق می‌افتد که این امر می‌تواند به علت انتقال سریعتر حرارت به داخل خمیر بژی و افزایش سریعتر دمای آب باشد. با افزایش دما، حجم نمونه‌های بژی پس از ۸ دقیقه سرخ شدن نیز افزایش می‌یابد اما حداکثر حجم بژی در حین سرخ شدن کاهش پیدا می‌کند.

تغییرات قطر

قطر نمونه‌ها نیز با افزایش زمان سرخ کردن تا دقیقه‌ی چهارم به صورت معنی داری افزایش اما پس از آن تا انتهای فرایند سرخ شدن، میزان تغییرات در سطح ۹۵٪ معنی دار نبود. در اثر سرخ شدن قطر نمونه‌ها افزایش، اما افزایش دما تاثیر معنی داری در سطح ۹۵٪ بر روی قطر نمونه‌ها نداشت. این امر می‌تواند به علت تحرک بیشتر آب در این بعد نسبت به ابعاد دیگر باشد که باعث تورم نمونه‌ها می‌شود. علاوه بر این، از دقیقه‌ی چهارم به بعد به علت تشکیل ساختار بژی و کاهش مقدار آب موجود در آن تغییر معنی داری در قطر نمونه‌ها دیده نشدکه با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Carla *et al.*, 2009., Quasem *et al.*, 2009).

تغییرات طول

نتایج نشان داده شده در جدول۲ بیانگر آن است که دمای سرخ شدن تاثیر معنی داری بر طول خمیر بژی ندارد اما در دقیقه‌ی هشتم سرخ شدن، از طول بژی به صورت معنی داری کاسته شده که این امر می‌تواند به علت کاهش آب نمونه‌ها باشد.

1- Texture Profile Analysis (TPA)
2- Puncture test

جدول۲- ابعاد بژی هنگام سرخ شدن

دما(°C)	زمان (دقیقه)	طول (میلی‌متر)	عرض(میلی‌متر)	قطر (میلی‌متر)	حجم(میلی‌مترمکعب)	تغییرات‌حجم(٪)
	۰	۱/۵±۴۸	۱±۲۱	۱±۱۱	۱±۱۱۰۵۴	۰
	۱	۱±۴۸	۰/۸±۲۳	۰/۶±۱۲	۰/۶±۱۳۲۶۲	۲۰
	۲	۱±۴۷	۰/۵±۲۳	۲±۱۴	۲±۱۴۷۴۸	۳۳
	۳	۲±۴۶	۰/۵±۲۵	۱±۲۰	۱±۲۲۵۴۴	۱۰۴
۱۵۰	۴	۳±۴۵	۱±۲۳	۱±۱۹	۱±۱۹۷۷۹	۷۹
	۵	۰/۵±۴۸	۱±۲۳	۰±۱۸	۰±۱۹۶۵۹	۷۸
	۶	۰/۵±۴۹	۰±۲۲	۰/۵±۱۸	۰/۵±۱۸۶۶۹	۶۹
	۷	۲±۴۷	۰/۵±۲۳	۱±۱۶	۱±۱۶۸۸۵	۵۳
	۸	۱±۴۲	۰/۵±۲۴	۰±۱۸	۰±۱۷۷۶۰	۶۱
	۰	۱/۵±۴۸	۱±۲۱	۱±۱۱	۱±۱۱۰۵۴	۰
	۱	۳/۶±۴۹	۰/۶±۲۴	۰/۶±۱۳	۰/۶±۱۵۸۶۵	۴۴
	۲	۳/۱±۴۹	۰/۱۵±۲۵	۰±۱۶	۷۴±۱۹۲۳۲	۷۴
	۳	۳/۲±۵۱	۱/۲±۲۴	۰/۶±۱۶	۰/۶±۱۹۲۷۰	۷۴
۱۶۵	۴	۲/۵±۴۹	۱/۲±۲۴	۰/۶±۱۹	۰/۶±۲۲۰۶۲	۱۰۰
	۵	۱/۷±۵۰	۰/۶±۲۳	۰/۶±۱۹	۰/۶±۲۱۷۶۸	۹۷
	۶	۱±۴۶	۰/۶±۲۴	۰/۶±۱۹	۰/۶±۲۰۳۲۳	۸۴
	۷	۱±۴۹	۱/۲±۲۴	۰/۶±۱۹	۰/۶±۲۲۲۴۲	۱۰۱
	۸	۳/۱±۴۵	۱/۵±۲۳	۰/۶±۱۸	۰/۶±۱۸۸۳۶	۷۰
	۰	۱/۵±۴۸	۱±۲۱	۱±۱۱	۱±۱۱۰۵۴	۰
	۱	۱/۷±۴۶	۱/۷±۲۳	۰/۶±۱۵	۰/۶±۱۵۵۰۰	۴۰
	۲	۲/۵±۴۶	۱/۲±۲۳	۰/۶±۱۶	۰/۶±۱۷۱۵۵	۵۵
	۳	۱/۵±۴۷	۰/۶±۲۲	۰/۶±۱۸	۰/۶±۱۸۱۰۹	۶۴
۱۸۰	۴	۱/۲±۴۷	۰±۲۲	۱±۱۹	۱±۱۹۵۰۷	۷۶
	۵	۱/۷±۴۸	۱±۲۳	۲±۱۸	۲±۱۹۸۵۶	۸۰
	۶	۱±۴۷	۰/۶±۲۳	۱±۱۹	۱±۲۰۲۴۳	۸۳
	۷	۰±۴۸	۰/۶±۲۳	۱±۲۰	۱±۲۱۷۶۰	۹۷
	۸	۰±۴۵	۱/۷±۲۲	۱±۲۰	۱±۱۹۸۴۵	۸۰

تغییرات عرض

نتایج بدست آمده نشان می دهد سرخ شدن، باعث افزایش عرض بژی می‌شود ولی این افزایش عرض، در زمان‌های مختلف سرخ کردن تفاوت معنی‌داری با همدیگر ندارند. دمای سرخ کردن نیز بر عرض بژی تاثیر می‌گذارد، عرض بژی سرخ شده در دمای ۱۶۵°C از دو دمای دیگر بیشتر است.

ویژگی‌های بافتی

تاثیر دمای سرخ کردن بر ویژگی‌های بافتی

با افزایش دما، سطح زیر منحنی قسمت اول آزمونTPA به صورت معنی دار افزایش یافت. همچنین دما تاثیر معنی داری بر پیوستگی[1]، قابلیت جویدن[2]، صمغییت[3] و سطح زیر منحنی قسمت دوم آزمون TPA نداشت با این وجود، در اثر افزایش دما میانگین پیوستگی و قابلیت جویدن کاهش و میانگین مدول ظاهری و سطح زیر منحنی قسمت دوم آزمون TPA افزایش یافت.

تاثیر زمان سرخ کردن بر ویژگی‌های بافتی

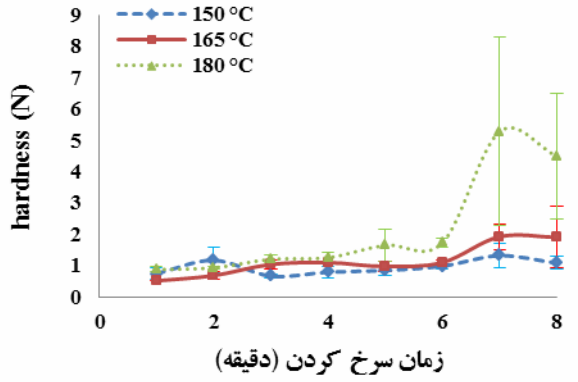
با افزایش زمان سرخ کردن، صمغیت و پیوستگی کاهش و

1 - Cohesiveness
2 - Chewiness
3 - Gumminess

سطح زیر منحنی قسمت اول آزمون TPA افـزایش یافـت امـا تـاثیر معنی‌داری بر قابلیت جویدن و سطح زیر منحنی قـسمت دوم آزمـون TPA مشاهده نشد. این تغییرات به علـت تبخیـر آب، جـذب روغـن، تشکیل پوسـته و ژلاتینـه شـدن نـشاسته رخ مـی‌دهـد (Fan *et al.*, 1997) سختی نمونه‌هـا نیـز بـه علـت تـشکیل و گـسترش لایـه‌ی آبگیری شده، مخصوصا در ثانیه ششم افزایش می‌یابد (Bertolini *et al.*, 2008؛ Jayendra *et al.*, 2006).

جدول۳- خواص رئولوژیکی بژی هنگام سرخ شدن

دما	زمان	مساحت	مساحت ۲	مدول ظاهری	قابلیت جویدن	صمغیت	پیوستگی
۱۵۰	۱	۱±۷۴	۱/۲±۱۸	۰/۴±۱,۳	۰/۴±۱۰	۰/۳±۳,۲	۰/۰۱±۰,۲۵
	۲	۸±۱۰۲	۱/۸±۲۲	۰/۳±۱,۶	۰/۵±۹	۰/۱±۳,۳	۰±۰,۲۱
	۳	۴±۹۷	۰/۴±۲۳	۰/۳±۱,۲	۰/۱±۱۱	۰/۱±۳,۶	۰/۰۱±۰,۲۴
	۴	۱۵±۱۰۲	۲/۳±۲۲	۱±۱,۵	۱/۱±۱۲	۰/۶±۳,۲	۰/۰۶±۰,۲۲
	۵	۳۵±۱۱۶	۳/۶±۳۰	۰/۷±۰/۸	۳/۳±۱۶	۰/۳±۴,۴	۰/۰۵±۰,۲۷
	۶	۶±۱۳۳	۰±۲۸	۰/۶±۱/۹	۱/۵±۱۲	۰/۱±۳,۸	۰/۰۱±۰,۲۱
	۷	۱۶±۱۶۰	۰/۲±۲۸	۰±۱/۶	۰/۹±۱۱	۰/۴±۲,۷	۰/۰۲±۰,۱۷
	۸	۲۵±۱۷۵	۳/۲±۲۹	۱/۲±۳/۱	۱/۶±۱۲	۰/۴±۳	۰/۰۱±۰,۱۷
۱۶۵	۱	۱±۹۴	۱/۸±۲۲	۰/۱±۱/۶	۴±۶	۰/۴±۴	۰/۰۲±۰,۲۳
	۲	۵±۱۶۱	۴/۷±۳۹	۱±۱/۷	۲/۷±۱۵	۰/۷±۵,۱	۰/۰۲±۰,۲۴
	۳	۵±۱۴۴	۰±۳۳	۰/۱±۲/۶	۲/۵±۱۶	۰/۱±۴,۸	۰/۰۱±۰,۲۳
	۴	۳۱±۱۲۵	۵/۲±۲۵	۰/۸±۱/۶	۰/۶±۱۰	۰/۲±۳,۱	۰/۰۱±۰,۲۰
	۵	۲۲±۱۰۴	۱/۶±۲۴	۱±۲/۱	۰/۵±۱۳	۰/۱±۴	۰/۰۱±۰,۲۵
	۶	۵±۱۸۷	۱/۴±۳۲	۰,۲±۲/۶	۰/۳±۱۱	۰/۲±۳,۲	۰/۰۱±۰,۱۷
	۷	۲±۱۸۶	۴/۷±۳۰	۰,۵±۱/۴	۲±۱۰	۰/۴±۳,۲	۰/۰۲±۰,۱۶
	۸	۲۸±۱۵۸	۴/۷±۲۲	۱±۱/۶	۴±۸	۰/۴±۲,۵	۰±۰,۱۴
۱۸۰	۱	۴±۱۲۷	۱/۵±۲۸	۰/۲±۱/۹	۰/۴±۹	۰/۴±۴,۴	۰/۰۱±۰,۲۱
	۲	۲۲±۱۵۱	۱۰/۸±۳۴	۱/۶±۲	۵/۹±۱۳	۱/۳±۴	۰/۰۴±۰,۲۲
	۳	۴±۱۶۷	۰/۷±۳۵	۰/۱±۱/۶	۲/۵±۱۳	۰/۶±۴	۰/۰۱±۰,۲۱
	۴	۲۶±۱۷۳	۴/۶±۳۱	۰/۴±۰/۷	۰/۲±۱۳	۰/۲±۳,۵	۰±۰,۱۸
	۵	۴۹±۱۹۷	۹±۳۱	۰/۸±۱/۷	۰/۹±۱۱	۰/۹±۳	۰/۰۱±۰,۱۶
	۶	۸±۲۲۸	۵/۲±۳۶	۰/۱±۱/۳	۱/۴±۱۲	۰/۸±۳,۵	۰/۰۲±۰,۱۶
	۷	۱۲±۱۸۵	۰/۲±۲۱	۱±۱/۷	۰/۱±۷	۰/۲±۲,۱	۰/۰۱±۰,۱۱
	۸	۲۵±۲۰۳	۲/۴±۱۸	۱/۱±۲/۴	۱/۵±۵	۰/۱±۱,۶	۰/۰۲±۰۰۹



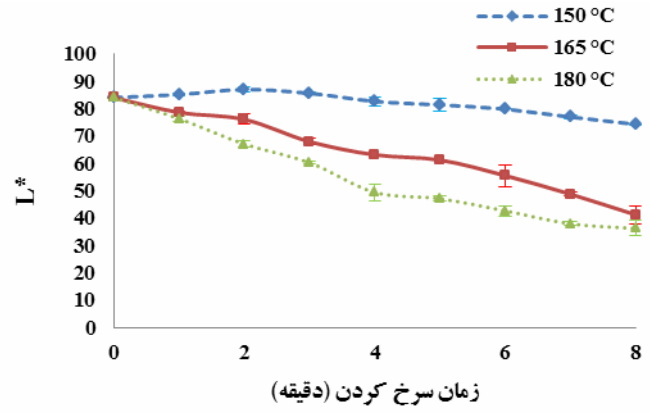
شکل۱- تغییرات سختی بژی هنگام سرخ شدن

تغییر رنگ

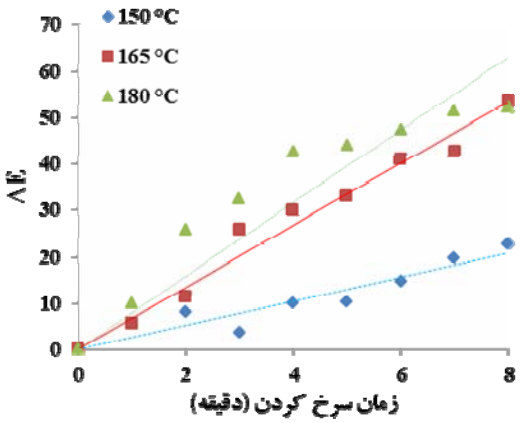
تغییرات کلی رنگ بژی در شکل۳ آورده شده است. با افزایش زمان سرخ کردن، تغییرات رنگ نیز بیشتر می‌شود. این روند با نتایج سایر محققان همخوانی داشت (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰؛ Velez-Ruiz *et al.*, 2003؛ Tan *et al.*, 2006). سرعت افزایش رنگ در ابتدای فرایند سرخ شدن زیاد است اما با نزدیک شدن به مراحل نهایی آن از این سرعت کاسته می‌شود. همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، با افزایش دمای سرخ کن مقدار پارامتر L* کاهش می‌یابد. مقدار اولیه‌ی L* برابر با ۸۴/۱ بود که پس از پایان فرایند سرخ شدن بسته به دمای سرخ کن به ۳۶/۲ تا ۷۴/۳ رسید. کاهش مقدار L* می‌تواند به خاطر تشدید واکنش‌های کاراملیزاسیون و مایلارد در دمای بالا باشد که در تطابق با تغییرات L* در سایر فراورده‌های سرخ شده است (Velez-Ruiz *et al.*, 2003؛ Martins *et al.* 2001؛ Hwang *et al.*,2009).

ثابت سرعت تغییر رنگ در سه دمای ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰°C به ترتیب ۰/۰۰۹۸۶، ۰/۰۷۶۶۵ و ۰/۱۱۲۵ معکوس ثانیه به دست آمد. همان طور که ثوابت سرعت تغییر رنگ نشان می‌دهند و در شکل ۳ نیز دیده می‌شود، سرعت وقوع واکنش‌های قهوه‌ای شدن با افزایش دما بیشتر می‌شود که این امر با نتایج ذکر شده توسط سایر محققان نیز همخوانی دارد (Baik *et al.*, 2003; Tan *et al.*, 2006).

با استفاده از معادله‌ی آرنیوس، انرژی فعالسازی واکنش‌های قهوه‌ای شدن در بژی، ۳۱/۱۲ کیلو کالری بر مول به دست آمد. انرژی فعالسازی بیانگر میزان تاثیر دما بر سرعت واکنش انجام شده است. عدد به دست آمده نسبت به دونات که محصولی مشابه بژی است بسیار بیشتر بود که این امر می‌تواند به علت بالاتر بودن بازه‌ی دمایی سرخ شدن دونات (۱۸۰–۲۰۰°C) باشد زیرا همان طور که در شکل۲ مشاهده می‌شود در دماهای بالاتر، از میزان وابستگی سرعت واکنش‌های قهوه‌ای شدن به زمان سرخ کردن کاسته می‌شود (Tan *et al.*, 2006; Pedreschi *et al.*, 2007).



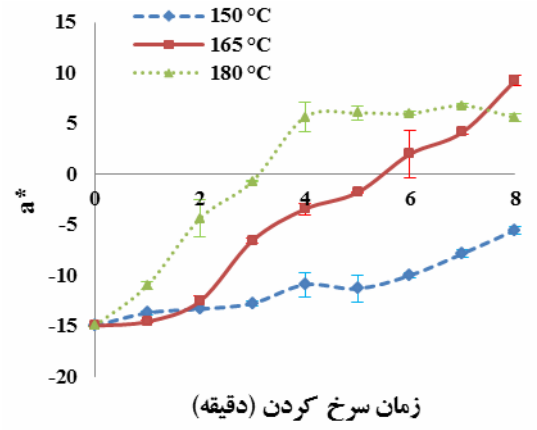
شکل۲- تغییرات L* بژی هنگام سرخ شدن



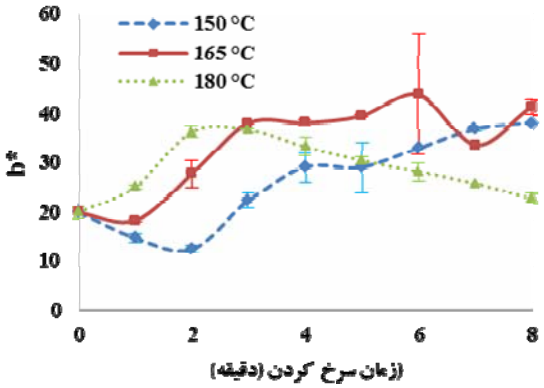
شکل۳- تغییرات کلی رنگ هنگام سرخ شدن

شکل۴ بیانگر چگونگی تغیرات a* هنگام فرایند سرخ کردن است. در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، مقدار a* افزایش می‌یابد و هرچه دمای سرخ‌کن بالاتر باشد این افزایش نیز بیشتر می‌شود. نتایج سرخ کردن محصولات خمیری نیز این امر را تایید می‌کند (Tan *et al.*, 2006).

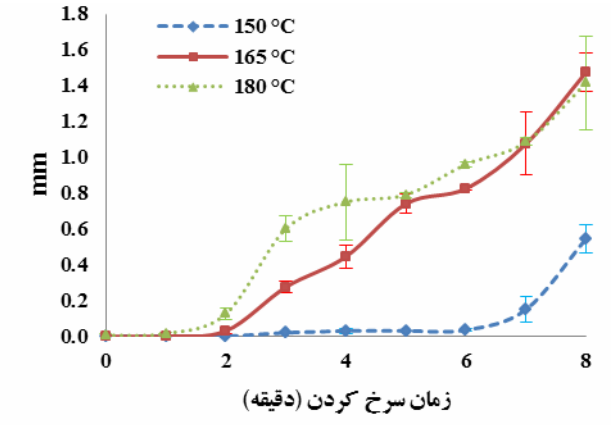
تغیرات b* در شکل ۵ آورده شده است. دما و زمان سرخ کردن تاثیر معنی داری بر این پارامتر نداشته است. در دمای ۱۸۰°C میانگین مقدار پارامتر* b ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اما در دو دمای دیگر b* ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت.



شکل٤- تغییرات a* بژی هنگام سرخ شدن



شکل٥- تغییرات b* بژی هنگام سرخ شدن



شکل٦- ضخامت پوسته

ضخامت پوسته

همان طور که در شکل ۶ آورده شده است با افزایش زمان سرخ کردن، ضخامت پوسته نیز بیشتر می‌شود. دمای سرخ کردن تاثیر زیادی بر ضخامت پوسته دارد به گونه‌ای که در دمای ۱۵۰°C حداکثر ضخامت پوسته به ۰/۵۵ میلیمتر اما در دمای ۱۶۵°C و ۱۸۰°C به حدود ۱/۴۵ میلیمتر می‌رسد که با نتایج گزارش شده توسط سایر محققان مشابه است (Sahin *et al.*, 2009).

در واقع مقدار آب خارج شده از محصول در هنگام سرخ شدن، میزان گسترش پوسته را تعیین می‌کند (Mariscal *et al.*, 2008). بیشترین افزایش ضخامت پوسته در دمای ۱۵۰ و ۱۶۵°C در دقیقه‌ی هشتم و در دمای ۱۸۰°C در دقیقه سوم رخ می‌دهد.

نتیجه گیری

طبق نتایج به دست آمده با افزایش زمان سرخ کردن تا سه دقیقه‌ی اول حجم نمونه‌های بژی افزایش می‌یابد ولی در ادامه‌ی فرایند، میانگین حجم روند نزولی را می‌پیماید. افزایش دما و زمان سرخ شدن باعث افزایش تغییرات رنگ سختی و قطر نمونه‌ها شد اما تاثیر چندانی بر سایر ابعاد بژی نداشت. طبق انرژی فعالسازی به دست آمده، دما تاثیر زیادی بر سرعت واکنش‌های قهوه‌ای شدن در بازه‌ی دمایی ذکر شده داشته است.

قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی به علت همکاری و تأمین هزینه های مالی برای انجام این پژوهش تشکر و قدر قدانی می‌گردد. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از راهنمایی‌های خانم میرانی طی مراحل تولید نمونه‌های بژی سپاسگزاری کنند.

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، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

ذوالفقاری، ز. س.، ۱۳۸۹، بررسی تاثیر فرمولاسیون و پیش تیمارهای سرخ کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات و کاربرد منطق فازی در ارزیابی ویژگی‌های حسی محصول، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

شهیدی، ف.، محبی، م.، نوشاد، م.، احتیاطی، ا.، فتحی، م.، ۱۳۹۰، بررسی تأثیر پیش تیمار اسمز و فراصوت بر برخی ویژگی های کیفی موز خشک شده به روش هوای داغ. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران.۷، ۲۷۲-۲۶۳.

مجذوبی، م.، مصباحی، غ.، سریری، ف.، فرحناکی، ع.، جمالیان. ج.، ۱۳۸۹، اثر تفاله چغندر قند بر کیفیت نان بربری.. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران. ۶، ۲۶-۱۷.

مقصودی، و.، یغمایی،س.، ۱۳۸۳، بررسی تغییرات رنگ سیب زمینی در حین سرخ کردن در حمام روغن.، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران.، ۱، ۱۴-۷.

Baik, O. D., Mittal, G. S., 2003, Kinetics of tofu color changes during deep-fat frying. Lebensm.-Wiss. U.-Technol, 36, 43–48.

Bertolini Sua´rez, R., Campan˜one, L. A., Garcı´, M. A., Zaritzky, N. E., 2008, Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. Journal of Food Engineering, 84, 383–393.

Carla, V. Y., Moreira, R. G., 2011. Physical and thermal properties of potato chips during vacuum frying. Journal of Food Engineering, 104, 272-283.

Dueik, V., Robert, P., Bouchon, P., 2010, Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. Food Chemistry, 119, 1143-1149.

Fan, J., Paul sing, R., Pinthus, E., 1997, Physiochemical changes in starch during deep fat frying of a molded corn starch patty. Journal of Food Processing and Preservation ,21, 443-460.

Guarda, A., Rosellb, C. M., Beneditob, C., Galotto, M.J., 2004, Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. Food Hydrocolloids, 18, 241–247.

Hwang, J. Y., Sung, W. C., Shyu, Y. S., 2009, Effects of atmospheric and vacuum frying on the quality of donuts. Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science , 47,238-249.

Jayendra Kumar, A., Singh, R. R. B., Patel, A. A., Patil, G. R., 2006, Kinetics of colour and texture changes in Gulabjamun balls during deep-fat frying. LWT, 39, 827–833

Mariscal, M., Bouchon, P., 2008, Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. Food Chemistry, 107, 1561–1569.

Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., Van Boecle, M. A. J. S., 2001, A review of mailard reaction in food and

implication to kinetic modeling. Trends in food science and technology, 11, 364-373.

Mosavian, M. T. H., Mohammadpour karizaki, V., 2012, Determination of Mass Transfer Parameters During Deep Fat Frying of Rice Crackers. Rice Science, 19, 64-69.

Pedreschi, F., Bustos, O., Mery, D., Moyano, P., Kaack, K., Granby, K., 2007, Color kinetics and acryl amide formation in NaCl soaked potato chips. Journal of Food Engineering, 79, 989–997.

Quasem, J. M., Mazahreh, A. S., Abu-Alruz, K., Afaneh, I. A., Al-Muhtaseb, A. H., Magee T. R. A., 2009, Effect of methyl cellulose coating and pre-treatment on oil uptake, moisture retention and physical properties of deep-fat fried starchy dough system. American Journal of Agricultural and Biological Science, 4, 156-166.

Sahin, S., Gulum S., Servet., 2009, Advances in deep- fat frying of food. Boca raton, Taylor & Francis group, 12-16.

Tan, K., & Mittal, G., 2006, Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. International Journal of Food Properties, 9(1), 85-98.

Velez-Ruiz, J. F., Sosa-Morales, M. E., 2003, Evaluation of physical properties of Dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. International Journal of Food Properties 6,341-353.