نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۱، شماره ۵، آذر- دی ۱۳۹۴، ص. ۶۱۹-۶۰۸

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 11, No. 5, Dec - Jan 2015, p. 608-619

اثر دما و جایگزینی ایزوله پروتئین سویا بر خصوصیات رفتار جریانی خمیرآبه و ویژگی‌های کیفی ناگت مرغ سرخ شده به روش عمیق

حامد مهدویان مهر[۱]، آرش کوچکی[۲*]، محبت محبی[۳]

تاریخ دریافت۱۳۹۲/۱۱/۰۶
تاریخ پذیرش۹۳/۰۳/۲۶

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی اثر دمای خمیرآبه (۵ ، ۲۵ و ۴۵°C) و جایگزینی ایزوله پروتئین سویا به عنوان بخشی از آرد گندم (۲ و ۴ درصد)، بر خصوصیات جریانی خمیرآبه و همچنین ویژگی‌های کیفی ناگت مرغ سرخ شده به روش عمیق بود. تمام نمونه‌ها رفتارغیرنیوتنی، شل شونده با برش داشتند (n≤۰/۵۳۹) و به خوبی با مدل قانون توان برازش شدند (R^2≥۰/۹۹۴). انرژی فعال‌سازی جهت بررسی اثر درجه حرارت بر ضریب قوام خمیرآبه‌ها بین (kj/mol) ۵/۱۰۶ تا ۵/۶۳۰ بود. افزودن ایزوله پروتئین سویا باعث افزایش خاصیت وابستگی به زمان سیستم‌های خمیرآبه شد، در حالی که افزایش درجه حرارت موجب کاهش سطح حلقه هیسترسیس گردید. جذب پوشش بر سطح ماده غذایی بطور معنی‌داری تحت تاثیر درجه حرارت و فرمول خمیرآبه قرار داشت. نتایج همچنین نشان داد که استفاده از ایزوله پروتئین سویا در فرمول خمیرآبه باعث کاهش چسبندگی پوشش به سطح ماده غذایی، افزایش محتوای رطوبت و نیز کاهش جذب روغن در طی سرخ شدن عمیق گردید. در حالی که، تغییرات درجه حرارت اثر معنی داری را بر چسبندگی، محتوای رطوبت و روغن در محصول نهایی نداشت.

واژه‌های کلیدی: ایزوله پروتئین سویا، خمیرآبه، رفتارجریان ، پوشش دهی، ناگت مرغ، چسبندگی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، نگرش به کاهش محتوای چربی در محصولات سرخ‌کردنی، موجب گسترش در خواست برای سیستم خمیرآبه جهت پوشش‌دهی ماده غذایی گردیده است. ناگت مرغ، با بافت و طعمی دلپذیر یکی از پرمصرف‌ترین محصولات پوشش داده‌شده در سراسر جهان می‌باشد. پوشش‌دهی[۴] ناگت مرغ با خمیرآبه موجب بهبود پذیرش کلی محصول، افزایش ارزش تغذیه‌ای، بهبود رنگ و ایجاد بافتی دلپذیر با پوسته‌ای ترد و مرکزی آبدار در محصولات سرخ کردنی می‌شود (Fiszman & Salvador, 2003 :Scott, 1997). خمیرآبه در صنعت به عنوان مایعی ویسکوز متشکل از آب و آرد با سایر اجزاء جزئی (طعم‌دهنده‌ها، پروتئین‌ها و صمغ‌ها و مواد حجم دهنده) شناخته شده، که فرآورده غذایی قبل از سرخ کردن در آن غوطه ور می‌گردد (Dogan *et al.*, 2005a). آرد گندم اصلی‌ترین جزء تشکیل‌دهنده این سیستم ویسکوز و تعیین کننده خواص عملکردی آن می‌باشد. این خواص عملکردی به اجزاء و نسبت نشاسته و پروتئین آرد بستگی داشته و هرگونه تغییر در میزان گلوتن یا افزودن پروتئین‌های دیگر می‌تواند باعث تغییر در خصوصیات جریانی خمیرآبه و درنهایت بر کیفیت محصول تاثیرگذار باشد (Xue and Ngadi, 2006)، بطوری که اختلاط یا جایگزینی آرد گندم با آرد سایر غلات موجب بهبود خصوصیات جریانی خمیرآبه و در نتیجه جلوگیری از دست رفتن رطوبت و جذب چربی و همچنین بهبود ارزش تغذیه‌ای محصول می‌گردد (Dehghan Nasiri *et al.*, 2012).

در این بین، پروتئین‌ها به لحاظ خصوصیات عملکردی خاص خود، شامل توانایی تشکیل ژل، بافت، امولسیون، کف وخصوصیات الاستیکی، دسته مهمی از اجزاء سیستم خمیرآبه محسوب می‌گردند (Dogan, *et al*., 2005 b). ایزوله پروتئین سویا از دسته پروتئین‌های با قدرت هیدروفیلی بالا بوده که به علت خواص عملکردی آن، به ویژه توانایی تشکیل و تثبیت امولسیون، تمایل به جذب رطوبت و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: koocheki@um.ac.ir
۴Coating

حفظ آب در محصول نهایی، کنترل جذب روغن، توانایی تشکیل فیلم و تاثیرگذاری بر روی بافت، کنترل رنگ (قهوه ای شدن و بلانچینگ) وهوادهی تحقیقات گسترده‌ای بر روی آن صورت پذیرفته است (Wolf and Cowan, 1975). نتایج تحقیقات در خصوص استفاده از ایزوله پروتئین سویا نشان داده است که این پروتئین نسبت به پروتئین‌های آب پنیر و تخم مرغ دارای خواص کاربردی بهتری جهت استفاده در سیستم‌های خمیرآبه می‌باشد (Dogan, *et al*., 2005 b).

ویسکوزیته خمیرآبه نقش مهمی درموفقیت فرآیند پوشش‌دهی داشته و بر خصوصیات کیفی و کمی محصول از جمله میزان جذب خمیرآبه[1]، ظاهر، بافت، تخلخل و میزان بازدهی محصول نهایی مؤثر می‌باشد (Sahin and Sumn, 2009). از این رو، بررسی خصوصیات جریانی خمیرآبه و عوامل مؤثر بر آن از اهمیت خاصی برخوردار است. مهمترین فاکتورهای مؤثر بر خصوصیات جریانی خمیرآبه عبارتند از درجه حرارت، ترکیبات تشکیل دهنده، غلظت هر ترکیب، نسبت آب به ماده خشک و تاریخچه حرارتی و برشی سیستم خمیرآبه می‌باشد (Fiszman & Salvador, 2003).

چسبندگی خمیر به بستر[2]، یکی دیگر از فاکتورهای کلیدی در بررسی میزان بازدهی وکیفیت نهایی محصولات پوشش دار می‌باشد. این پارامتر تحت عنوان توانایی خمیرآبه در ایجاد پیوندهای شیمیایی و فیزیکی بین مواد تشکیل دهنده خود و بستر ماده غذایی شناخته می‌شود(Suderman and Cunningham, 1980). چسبندگی خمیرآبه، خود تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله، ترکیبات تشکیل دهنده سیستم خمیرآبه (Hale and Goodwin, 1996: Hanson and Fletcher,1963) خصوصیات ماده غذایی(Suderman and Cunningham, 1997)، و روش پخت (Albert *et al*., 2009) می‌باشد.

اگرچه تاکنون، تحقیقات گسترده‌ای ، جهت بررسی اثر ترکیبات و غلظت مواد مختلف ، بر خصوصیات رئولوژیکی و کیفی محصولات سرخ شده انجام گرفته است (Salvador, *et* : Hsia *et al*., 1992 *al*.,2005: Akdeniz, *et al*,. 2006). با این وجود تحقیقات کمی جهت بررسی اثرگذاری درجه حرارات بر خواص عملکردی اجزاء و خصوصیات جریانی سیستم خمیر آبه برای دستیابی به شرایط بهینه پوشش‌دهی صورت گرفته است (Sanz, *et al*., 2004: 2005). بنابراین دستیابی به اطلاعات درخصوص اثر دما و جایگزینی ایزوله پروتئین سویا بر ویژگی جریانی خمیرآبه و در نتیجه عملکرد پوشش در حین سرخ‌کردن می تواند گامی مهم در جهت بهینه‌سازی شرایط فرآیند پوشش دهی و بهبود کیفی و کمی محصول باشد. از این رو، در این مطالعه اثر دما و جایگزینی سطوح مختلف ایزوله پروتئین سویا بر خصوصیات جریانی خمیرآبه و ویژگی‌های کیفی ناگت مرغ مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تهیه خمیرآبه: ایزوله پروتئین سویا (۹۲ درصد) از شرکت گلهار خراسان رضوی و آرد گندم (رطوبت ۱۳/۶ درصد، پروتئین ۱۰/۶ درصد، خاکستر ۰/۶۹ درصد، چربی۱/۴ درصد) از شرکت آرد فریمان خریداری شد. به منظور آماده سازی خمیرآبه، مواد خشک (آرد گندم ۹۴ یا ۹۶ درصد ، نمک ۱/۵ درصد، بکینگ پودر (شرکت سالم) ۰/۵ درصد و ایزوله پروتئین سویا ۲ یا ۴ درصد) با آب به نسبت ۳:۵ (وزنی/ وزنی) با استفاده از همزن دستی (کاتومو- ژاپن مدل۳۲۲۰ BH-HA) با سرعت۱۲۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شد. خمیرآبه های تهیه شده به مدت یک ساعت پس از اختلاط در دماهای ۵، ۲۵ یا ۴۵^{o}C در حمام آب جهت آب گیری کامل ایزوله پروتئین سویا نگهداری شد.

آماده‌سازی ناگت مرغ: در این تحقیق مخلوطی از گوشت سینه مرغ (۸۸درصد)، پیاز (۱۰درصد)، فلفل (۰/۵درصد) و نمک (۱/۵درصد) با استفاده چرخ گوشت ناسیونال (مدلMK-۷۷۰) تهیه و اختلاط دستی تا رسیدن به یک مخلوط همگن و یکنواخت صورت پذیرفت. مخلوط حاصل در کیسه فریزر ریخته و تا رسیدن به ضخامت ۱ سانتی‌متر نازک گردید. جهت سهولت در تهیه نمونه‌ها، پلاستیک حاوی خمیر ناگت به مدت سه ساعت در فریزر (۱۸^{o}C-) نگهداری و سپس نمونه‌ها در ابعاد ۰/۲± ۲/۶×۴/۵ با استفاده از یک قالب استیل برش داده شد.

پوشش دادن نمونه‌ها: ناگت‌های مرغ در خمیرآبه با دماهای ۵، ۲۵ یا ۴۵^{o}C به مدت ۳۰ ثانیه غوطه‌ور گردید و به مدت ۳۰ ثانیه جهت طی شدن مرحله چکاندن خمیرآبه اضافی و حذف خطای آزمون بصورت عمودی نگه داشته شد. سپس، نمونه‌ها توسط پودر سوخاری پوشانده و به مدت یک هفته در فریزر (۱۸^{o}C-) نگهداری شد. نمونه-ها قبل از سرخ‌کردن در دمای یخچال از حالت انجماد خارج گردید. سرخ‌کردن نمونه‌ها در یک سرخ‌کن برقی سوزکی (مدل ۸۸۰ -ZDF) با حجم ۲/۵ لیتر و با استفاده روغن آفتابگردان نینا (۱۰۰درصد تصفیه شده) به مدت ۳ دقیقه و درجه حرارت ۱۸۰^{o}C صورت پذیرفت. روغن سطحی نمونه‌ها بلافاصله بعد از خروج از سرخ‌کن توسط دستمال کاغذی حذف و تا دمای محیط سرد شد.

بررسی رفتار جریانی خمیرآبه: بررسی رفتار جریان فرمول‌های

1 Batter pickup
2Adhesion

مختلف خمیرآبه با استفاده از ویسکومتر دورانی بوهلین (مدل ویسکو ۸۸ انگلستان) در دماهای ۵، ۲۵ و^{o}C ۴۵ با استفاده از اسپیندل مناسب (C۳۰) براساس ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها انجام شد. درجه برش به صورت خطی از ۱۴ تا ۴۰۰ (s^{-1}) افزایش یافت. رفتار جریانی خمیرآبه بر اساس برازش داده‌ها (درجه برش- تنش برشی) با مدل قانون توان توسط نرم افزار Slidewritte نسخه ۷ مورد بررسی قرار گرفت.

$$\tau = k\gamma^{\circ n} \quad (۱)$$

در این رابطه τ نیروی برش (Pa)، k ضریب قوام سیال ($Pa.s^n$) و γ° درجه برش(بدون بعد) و n شاخص رفتار جریان (بدون بعد)می‌باشد.

بمنظور ارزیابی رفتار تیکسوتروپی خمیرآبه در شرایط دمایی مختلف، سطح حلقه هیسترسیس (مساحت بین داده‌های تنش برشی رو به بالا و رو به پایین[1] در منحنی رفتار جریان) با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (Koocheki *et.al*, 2009).

(۲)

hystersis lo

γ_1 درجه برش اولیه، γ_2 درجه برش نهایی، k_1 و k_2 ضریب قوام و n_1 و n_2 به ترتیب شاخص‌های جریان برای منحنی‌های رفت و برگشت رفتار جریان خمیرآبه می‌باشند.

وابستگی ضریب قوام خمیرآبه به درجه حرارت با استفاده از معادله آرنیوس بررسی گردید.

$$E = K * e^{-Ea/RT} \quad (۳)$$

K ضریب قوام در یک درجه حرارت مبناء ($Pa\ s^n$)، E_a انرژی فعال سازی (J/mol °K)، R ثابت گازها ^{0}K) KJ/mol ۰/۰۰۰۸۳۱۴)، T درجه حرارت (بر حسب کلوین) می‌باشد.

جذب خمیرآبه: جذب خمیرآبه بر روی نمونه‌ها با استفاده از رابطه ارائه شده توسط Dehghan Nasiri و همکاران (۲۰۱۲) بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{Batter Pickup} = \frac{b}{b+s} \quad (۴)$$

که در آن b وزن پوشش ناگت‌های مرغ قبل از سرخ کردن و s، وزن نمونه بدون پوشش می‌باشد.

تصویربرداری و پردازش تصویر: تصویرگیری از نمونه‌ها توسط یک ماشین بینایی متشکل از منابع نور (چهار لامپ فلورسنت Opple, 8 W model: MX396 -Y82; 60 cm in length) ، دوربین دیجیتال (Canon EOS 1000D, Taiwan) و بخش سخت‌افزار و نرم‌افزار رایانه‌ای(Canon Utilities Zoom Browser EX Version 6.1.1) صورت گرفت. بمنظور ایجاد یکنواختی و جلوگیری از انعکاس نور از منابع نوری در حین تصویربرداری، دوربین با زاویه ۴۵ درجه و فاصله ۲۵ سانتی‌متری نسبت نمونه در یک جعبه چوبی با دیواره‌های سیاه رنگ انجام شد. تنظیمات دوربین در جدول (۱) ارائه شده است. عکس‌های گرفته شده در اندازه ۳۸۸۸×۲۵۹۹ پیکسل توسط بخش نرم افزاری سیستم با فرمت JPEG ذخیره شد (AnsariFar *et al*., 2012).

جدول ۱-تنظیمات بکار برده شده در حین عکسبرداری

manual	Operationa mode
no	felash
no	Zoom
۴	lens aperture
۲۰۰	ISO
۱/۸۰	speed
۳۵mm	lens focal length

ارزیابی رنگ: تصاویر بدست آمده جهت ارزیابی رنگ از فضا RGB به فضای رنگی L* a* b* تبدیل شد. در فضای L*a*b* پارامترهای رنگی وابسته به ابزار اندازه گیری نبوده و بدون توجه به ورودی و خروجی، رنگ یکنواختی را فراهم می‌آورد. ارزیابی رنگ در این فضا هماهنگی مناسبی با تفاوت‌های رنگی از دیدگاه بصری انسان دارد. پردازش تصویر توسط نرم افزار Image j نسخه 1.43 r انجام شد (AnsariFar *et al*., 2012).

چسبندگی: نمونه‌های ناگت بلافاصله بعد از سرخ شدن توسط یک کارد از طول به دو قسمت تقسیم و با استفاده از دوربین ازآن عکس برداری شده است. درصد چسبندگی پوشش به سطح ماده غذایی (CP) با استفاده از پردازش تصویر و بر اساس فرمول ارائه شده توسط Albert و همکاران (۲۰۰۹) محاسبه شد.

$$C.P = \frac{A}{T} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن، (A) سطحی از ماده غذایی که توسط پوشش احاطه شده و(T) کل سطح ماده غذایی است.

مقدار رطوبت از دست‌رفته و روغن جذب‌شده: اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های سرخ شده مطابق استاندارد AACC (۱۹۸۸) توسط آون (PAAT Model SH 2006.Ariya Co. , Iran) با دمای ۱۰۵^{o}C به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد. مقدار رطوبت بر اساس وزن خشک گزارش گردید.

مقدار روغن جذب شده توسط نمونه‌ها پس از سرخ شدن با استفاده از استاندارد AOAC (۱۹۹۰) انجام شد. نمونه‌های خشک شده بدست آمده از مرحله اندازه‌گیری میزان رطوبت، توسط هاون دستی کاملا خرد شد، سپس ۴ گرم از نمونه‌های خشک و خرد شده در کارتوش قرار داده شد. استخراج روغن توسط روش استخراج با حلال توسط هگزان انجام گرفت. پس از استخراج، کارتوش‌ها به

1 Upward and downward

مدت یک ساعت در آون ۱۰۵°C قرار داده شد تا حلال باقی مانده تبخیر گردد. محتوا روغن بر مبنای وزن خشک گزارش گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: آزمایشات در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف پروتئین ایزوله سویا (صفر، ۲ و ۴ درصد) و دمای خمیرآبه (۵، ۲۵ و ۴۵°C) بود. رفتار جریان خمیرآبه و ویژگی‌های کیفی ناگت‌های مرغ سرخ شده با استفاده از نرم افزار spss (نسخه ۲۰) مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن درسطح معنی داری ۹۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های جریانی خمیرآبه

ویسکوزیته خمیرآبه برکمیت وکیفیت جذب پوشش بر روی فرآورده و در نتیجه بر بافت و ظاهر محصولات سرخ کردنی اثر می‌گذارد. شکل ۱، اثر دما و درصد جایگزینی آرد با ایزوله پروتئین سویا بر ویسکوزیته ظاهری خمیرآبه را نشان می‌دهد. ویسکوزیته ظاهری خمیرآبه با افزایش درجه برش، کاهش یافت که این امر بیانگر رفتار غیر نیوتنی رقیق‌شونده با برش خمیرآبه در تمامی درجه حرارت‌های مورد مطالعه می‌باشد. افزایش سطح ایزوله پروتئین سویا در فرمولاسیون خمیرآبه باعث افزایش ویسکوزیته ظاهری گردیده است. بطورکلی، محتوای آب آزاد در سیستم‌های ویسکوز نقش اساسی در تعیین ویسکوزیته ظاهری داشته و مقادیر بالاتر ویسکوزیته ظاهری بیانگر کاهش محتوا آب آزاد در آن می‌باشد (Dehghan Nasiri, *et al.*, 2011). بنابراین، افزایش نسبی ویسکوزیته ظاهری با افزایش سطح ایزوله پروتئین سویا را می‌توان به ظرفیت بالا پروتئین‌های سویا در جذب آب آزاد ارتباط داد (Dogan, *et al.* 2005 b: Ronda *et al.*, 2011). افزایش درجه حرارت خمیرآبه موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری گردید (شکل ۱). این امر می‌تواند به برهم‌کنش‌های بین مولکولی درسیستم‌های خمیرآبه وابسته باشد، بطوری که افزایش درجه حرارت باعث تضعیف پیوندهای بین مولکولی، افزایش تحرک ماکرومولکول‌ها و در نتیجه کاهش مقاومت خمیرآبه در برابر نیروی برشی می‌گردد.

شاخص‌های ضریب قوام و رفتار جریان برای فرمول‌های مختلف خمیرآبه، در تمامی دماها دارای ضریب تبیین مناسبی با مدل قانون توان بود (R^2≥۰/۹۹۴). مقادیر k و n برای جریان‌های رو به بالا و رو به پائین تنش در جدول (۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن ایزوله پروتئین سویا به فرمول خمیرآبه به طور معنی‌داری باعث افزایش ضریب قوام (k) سیال گردید. اگرچه خمیرآبه‌های حاوی بالاترین سطح ایزوله پروتئین سویا بیشترین ضریب قوام را داشتند (جدول ۲)، تفاوت معن داری بین فرمول‌های حاوی غلظت‌های مختلف ایزوله پروتئین سویا در دماهای ۵ و ۴۵°C وجود نداشت. روند افزایشی ضریب قوام در فرمول‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا، با در نظر گرفتن توانایی بالای پروتئین‌های سویا در جذب آب و ایجاد پایداری در سیستم خمیرآبه، کاملاً قابل توجیه می‌باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین در خصوص اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا به سیستم خمیرآبه و اثرگذاری آن بر ضریب قوام گزارش شده است (Dogan *et al*,2005 a, b: Ronda *et al.*, 2011). افزایش درجه حرارت از ۵ به ۴۵°C باعث کاهش ضریب قوام خمیرآبه گردید (جدول۲). کاهش ضریب قوام با افزایش درجه حرارت را می‌توان به اثر دما بر تضعیف پیوندهای بین مولکولی مرتبط دانست (Koocheki *et.al*, 2009).

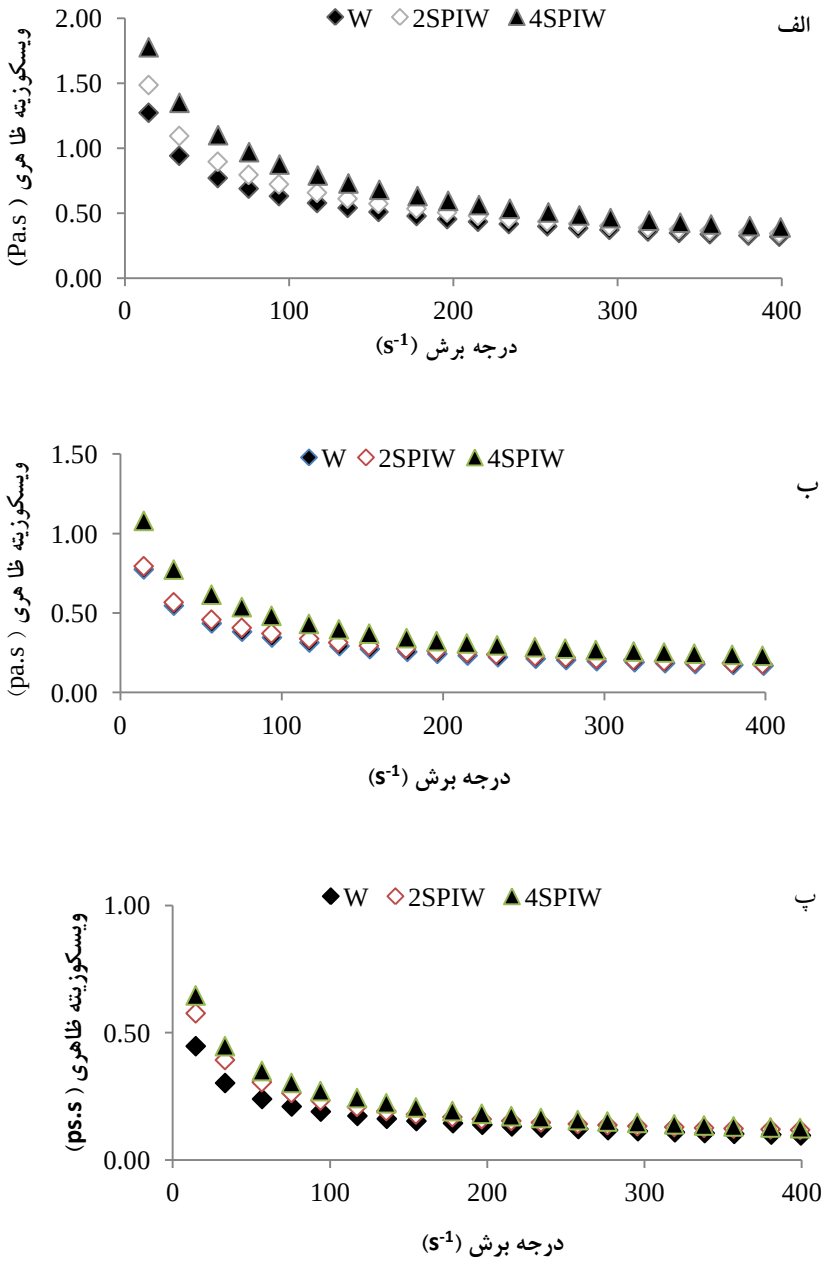
شاخص رفتار جریان کوچک تر از یک برای تمام خمیرآبه‌ها بیانگر رفتار شل‌شوندگی با برش (شبه پلاستیک) می‌باشد (جدول ۲). افزودن ایزوله پروتئین سویا به سیستم خمیرآبه و دمای خمیرآبه تاثیر معنی‌داری بر شاخص رفتار جریان نداشت (p>۰/۰۵).

اثر درجه حرارت بر تغییرات ضریب قوام را می‌توان با استفاده از مدل آرنیوس مورد ارزیابی قرار داد، به طوری که مقادیر بالاتر انرژی فعال سازی بیانگر اثر گذاری بیشتر درجه حرارت بر شاخص‌های جریانی سیستم خمیرآبه می‌باشند (Koocheki *et.al*, 2009). انرژی فعال سازی با افزایش غلظت ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه (با ضریب قوام بالاتر) روندی افزایشی داشت، به طوری که میزان آن برای نمونه شاهد (kj/mol) ۵/۱۰۶ و برای نمونه‌های 2SPIW و 4SPIW به ترتیب معادل ۵/۶۳۱ و ۵/۳۱۵ (kj/mol) بود (۰/۹۵ <R^2). افزایش نسبی انرژی فعال‌سازی در فرمول‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا می‌تواند ناشی از حساسیت بیشتر ساختار پروتئین‌های کروی ایزوله سویا در برابر دناتوراسیون حرارتی نسبت به سایر ترکیبات خمیرآبه (ترکیبات نشاسته‌ای و گلوتن) به ویژه درحضور نمک باشد.

ایجاد حلقه هیسترسیس در تنش‌های برشی رو به بالا و رو به پایی در منحنی رفتار جریان در دامنه برش بین ۱۴- ۴۰۰ (S^{-1}) نشان‌دهنده خاصیت وابستگی به زمان از نوع شل‌شونده با زمان در سیستم ویسکوز خمیرآبه می‌باشد (شکل۲). رفتار تیکسوتروپ بیانگر محدوده زمان مورد نیاز جهت تغییر ساختار یک سیال ویسکوز حاوی ذرات ریز به ساختار دیگر است. افزودن ایزوله پروتئین سویا به فرمول خمیرآبه باعث گسترش معنی‌دار سطح حلقه هیسترسیس گردید. این امر می‌تواند به دلیل‌خاصیت آب دوستی و توانایی بالای پروتئین‌های سویا در تشکیل باندهای هیدروژنی با آب و دیگر ریز ساختارهای سیستم خمیرآبه باشد. تشکیل تعداد زیاد باندهای هیدروژنی علاوه بر افزایش ویسکوزیته، موجب استحکام بیشتر ساختار خمیرآبه و درنتیجه کاهش سرعت تغییر ساختار و

افزایش خاصیت تیکسوتروپی سیال می گردد.

با این حال، تفاوت معنـی‌داری بـین سـطوح ۲ و۴ درصـد ایزولـه پروتئین سویا وجـود نداشـت. افـزایش دمـا از ۵°C بـه ۴۵°C باعـث کاهش چشمگیر در سطح حلقه هیسترسـیس گردیـد (جـدول ۲)، بـه طوری که با افزایش درجه حـرارت خمیرآبـه حـاوی ۴ درصـد ایزولـه پروتئین سویا، میزان حلقه هیسترسیس یـک کـاهش ۶۵ درصـدی را نشان داد. تضعیف پیوندهای بین مولکولی و کاهش ویسکوزیته مـی-تواند دلیلی مناسب برای کـاهش مقاومـت سـاختار خمیرآبـه در برابـر تخریب ساختار آن باشد

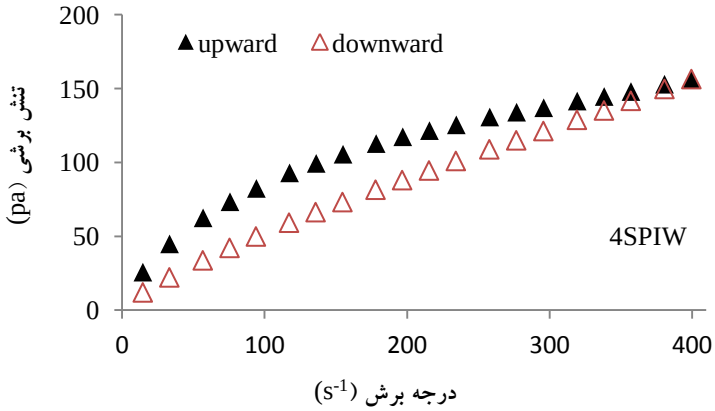


شکل۱- ویسکوزیته ظاهری در درجه برش‌های مختلف خمیرآبه حاوی سطوح صفر(w)، ۲ درصد (2SPIW) و ٤ درصد(4SPIW) ایزوله پروتئین سویا در دماهای ۵ (الف)، ۲۵ (ب) و ٤۵ (پ) درجه سانتی‌گراد

جدول ۲- اثر درجه حرارت و فرمولاسیون خمیرآبه بر پارامترهای قانون توان و میزان وابستگی به زمان

غلظت ایزوله پروتئین سویا- دمای خمیرآبه	منحنی بالا رونده			منحنی پائین رونده			هیسترسیس (Pa s^{-1})
	k (Pa.s^N)	n	ضریب تبیین	k (Pa.s^N)	n	ضریب تبیین	
W							
5	۵/۱۰۷±۰/۱۰^{aD}	۰/۵۳۹±۰۰/۰^{aD}	۰/۹۹۸	۱/۰۶۵±۰/۰۰^{aD}	۰/۷۹۷±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۹	۵۳۹۶/۴۳±۶۰^{aD}
25	۲/۸۵۹±۰/۱۵^{aF}	۰/۵۲۱±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۹	۰/۳۶۷±۰/۰۲^{aF}	۰/۸۶۴±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۹	۳۶۱۶/۴۰±۹۸^{aF}
45	۱/۵۹۱±۰/۰۲^{aE}	۰/۵۵۰±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۹	۰/۲۹۵±۰/۱۰^{aF}	۰/۸۳۱±۰/۰۳^{aD}	۰/۹۹۹	۱۹۷۲/۴۰±۱۹۴^{aE}
2SPIW							
5	۸/۲۹۵±۰/۶۳^{bD}	۰/۴۹۹±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۶	۱/۱۸۰±۰/۲۰^{aD}	۰/۷۹۵±۰/۲۰^{aD}	۰/۹۹۹	۷۱۹۱/۵۵±۷۹۲^{bD}
25	۳/۳۴۲±۰/۰۱^{bF}	۰/۵۱۰±۰/۰۰۳^{aD}	۰/۹۹۸	۰/۳۷۹±۰/۰۵^{aD}	۰/۸۶۸±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۹	۴۰۳۰/۷۰±۷۷^{bF}
45	۲/۳۲۳±۰/۰۴^{bE}	۰/۴۹۷±۰/۰۳۹^{aD}	۰/۹۹۸	۰/۳۲۹±۰/۰۳^{aD}	۰/۸۴۸±۰/۰۱^{aD}	۰/۹۹۹	۲۲۹۰/۳۰±۳۵^{aE}
4SPIW							
5	۹/۴۵۹±۰/۶۵^{bD}	۰/۴۷۵±۰/۰۱ ^{aD}	۰/۹۹۴	۱/۳۴۵±۰/۰۹^{aD}	۰/۷۹۴±۰/۰۱^{aD}	۰/۹۹۹	۸۶۵۱/۹۰±۲۹۴^{bD}
25	۴/۴۲۷±۰/۰۳^{cF}	۰/۵۱۱±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۸	۰/۷۹۸±۰/۱۴^{bF}	۰/۷۹۷±۰/۰۲^{bD}	۰/۹۹۹	۴۱۶۸/۸۵±۴/۸^{bF}
45	۲/۸۳۴±۰/۱۱^{bE}	۰/۴۸۰±۰/۰۰^{aD}	۰/۹۹۹	۰/۲۵۸±۰/۰۴^{aE}	۰/۸۷۷±۰/۰۲^{aF}	۰/۹۹۹	۳۰۲۶/۹۵±۲۱۷^{bE}

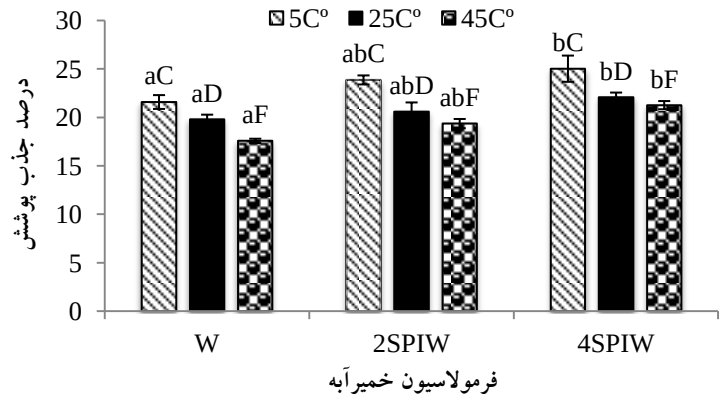
* ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف و ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.($p>0.05$).



شکل ۲- تغییرات تنش برشی نسبت به درجه برش در خمیرآبه حاوی ٤ درصد ایزوله پروتئین سویا

جذب پوشش

میزان جذب پوشش توسط ماده غذایی، فاکتور کیفی و کمی دیگری درفرآوردهای پوشش‌دار می‌باشد. میزان جذب پوشش، شاخصی برای بیان مقدار خمیرآبه چسبیده به سطح ماده غذایی است. این عامل کیفی با قوام خمیرآبه همبستگی مستقیم دارد، بطوری که با افزایش قوام، خمیرآبه بیشتری بر سطح ماده غذایی باقی می‌ماند. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، افزایش سطح ایزوله پروتئین سویا باعث افزایش نسبی جذب پوشش گردید، بطوری که بیشترین میزان جذب پوشش، در نمونه‌های پوشش داده شده با خمیرآبه حاوی ۴ درصد ایزوله پروتئین سویا دیده شد. بالاتر بودن ضریب قوام در خمیرآبه حاوی ایزوله پروتئین سویا می‌تواند دلیل مناسبی جهت این امر باشد. افزایش ضریب قوام در هنگام چکانیدن، مقاومت بیشتری در برابر جریان خمیرآبه در سطح نمونه‌ها ایجاد می‌نماید، بنابراین لایه ضخیم‌تری از پوشش بر سطح ماده غذایی باقی می‌ماند. تفاوت معنا داری بین میزان جذب نمونه‌های حاوی غلظت‌های ۲ درصد ایزوله پروتئین سویا با نمونه شاهد مشاهده نشد. این امر خود می‌تواند به علت اختلاف کم سطوح ایزوله پروتئین سویا و اثر گذاری آن بر شاخص قوام بوده که نتوانسته خطا نسبی شرایط آزمایش را بپوشاند. با این حال، افزایش غلظت ایزوله پروتئین سویا به سطح ۴ درصد موجب افزایش معنی‌داری در میزان جذب پوشش خمیرآبه بر سطح ناگت های مرغ گردید ($p>0.05$).



شکل۳- اثر درجه حرارت و سطوح ایزوله پروتئین سویا بر میزان جذب خمیرآبه بر سطح ناگت های مرغ

دمای خمیرآبه باعث کاهش ضریب قوام و کاهش جذب خمیرآبه به سطح ناگت‌های مرغ در تمامی فرمول‌ها خمیرآبه گردید. دما تاثیر بیشتری نسبت به سطوح ایزوله پروتئین سویا بر ویسکوزیته یا ضریب قوام خمیرآبه و در نتیجه بر میزان جذب پوشش بر سطح ماده غذایی نشان داد($p>0.05$). از این رو، دمای خمیرآبه نقش بارزی در کیفیت محصول نهایی دارد و کنترل آن اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

رنگ

رنگ مهمترین ویژگی بصری در درک کیفیت فرآورده بوده و از نقش به سزایی در قبول یا رد محصول از جانب مصرف کننده قبل از گذاشتن در دهان بر خوردار است (Andreadis, 2000). جدول ۳ اثر درصد جایگزینی ایزوله پروتئین سویا و دمای خمیرآبه بر رنگ ناگت های مرغ سرخ شده را نشان می‌دهد. افزودن ایزوله پروتئین سویا به فرمول خمیرآبه باعث کاهش شاخص *L (شفافیت) در تمام دماهای خمیرآبه شد ($p>۰/۰۵$). افزایش درصد جایگزینی ایزوله پروتئین سویا نیز موجب کاهش ارزش *L شد ($p>۰/۰۵$)، بطوری که در سطح ۲ درصد ایزوله پروتئین سویا ارزش *L یک کاهش ۸ درصد و در سطح ۴ درصد ایزوله پروتئین سویا یک کاهش ۱۳ درصد نسبت به نمونه شاهد در دمای $۲۵^{O}C$ نشان داد. جایگزینی ایزوله پروتئین سویا موجب افزایش ارزش *a (قرمزی) در ناگت‌های مرغ سرخ شده گردید، با این حال تفاوت آماری معنی‌داری بین فرمولاسیون‌های حاوی غلظت-های مختلف ایزوله پروتئین سویا مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$). افزایش شاخص*a و نیز کاهش ارزش*L بر اثر افزودن ایزوله پزوتئین سویا به خمیرآبه را می‌توان به شرکت فعال پروتئین‌ها در واکنش میلاد و گسترش رنگ قهوه ای در طی سرخ کردن مرتبط دانست. نتایج مشابهی در خصوص اثر پروتئین ها بر رنگ محصولات سرخ کردنی گزارش شده است (Dogan *et al.*, 2005a, b: Ronda *et al.* 2011). ارزش *b روند معناداری را در اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا و نیز دمای خمیرآبه نشان نداد ($p>۰/۰۵$). اثر درجه حرارت بر شاخص‌های *L*a*b روند معناداری را نشان نداد ($P>0.05$).

چسبندگی

چسبندگی پوشش به سطح ماده غذایی یک فاکتور کلیدی در رسیدن به یک پوشش دهی موفق می‌باشد. بطوری که کاهش این عامل می‌تواند باعث جدا شدن پوشش از سطح محصول در حین سرخ کردن و ایجاد ظاهر و بافت ناخوشایند در محصول گردد (Mukprasirt *et al.*, 2000) . نتایج ارزیابی اثرسطوح جایگزینی ایزوله سویا با استفاده از پردازش تصویر و رابطه (۵) در جدول (۳) نشان داده شده است. افزایش ایزوله پروتئین سویا در سطح ۴ درصد به فرمولاسیون‌های سیستم خمیرآبه به طور معنی‌داری باعث کاهش چسبندگی پوشش به سطح ناگت‌های مرغ گردید. به طوری که افزایش سطح ایزوله پروتئین سویا به ۲ یا ۴ درصد، به ترتیب باعث کاهش ۳ و ۱۴/۵درصدی چسبندگی پوشش نسبت به نمونه شاهد (w) در دمای $۵^{O}C$ شد (جدول ۳).

این نتایج با مشاهدات Suderman و Cunningham (۱۹۸۰) در خصوص اثر ایزوله پروتئین سویا بر چسبندگی پوشش به سطح ماده غذایی مطابقت داشت. نتایج تحقیقات Dogan و همکاران (b ۲۰۰۵) و Ronda و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادکه توانایی تشکیل فیلم توسط پروتئین‌های سویا موجب کاهش نفوذپذیری پوشش در برابر مهاجرت رطوبت از مرکز ماده غذایی به سطح آن در حین سرخ کردن می‌گردد. بنابراین، کاهش نسبی چسبندگی پوشش به سطح را می توان به توانایی تشکیل فیلم توسط پروتئین‌های سویا مرتبط دانست.

جدول ۳- اثر درجه حرارت و فرمولاسیون های خمیرآبه بر پارامترهای رنگی و چسبندگی پوشش

فرمولاسیون / درجه حرارت	L*	a*	b*	درصد چسبندگی
w				
۵	۶۸/۳۶±۰/۸۶^{aD}	۲/۴۵±۰/۵۴^{aD}	۵۲/۷۴±۱/۵۷^{aD}	۹۴/۶۱±۲/۴۱^{aD}
25	۶۹/۰۵±۱/۱۱^{aD}	۱/۵۶±۰/۶۱^{aD}	۵۱/۷۳±۰/۳۱^{aDF}	۹۴/۲۱±۱/۴۲^{aD}
45	۶۵/۴۴±۱/۳۷^{aF}	۳/۳۳±۱/۹۷^{aD}	۵۰/۱۳±۰/۰۶^{aF}	۹۳/۶۶±۱/۴۸^{aD}
2SPIW				
5	۶۴/۴۰±۱/۰۰^{bD}	۵/۲۱±۰/۰۷^{bD}	۵۲/۶۷±۱/۸۰^{aD}	۹۰/۵۸±۳/۲۰^{aD}
25	۶۲/۹۳±۰/۵۷^{bD}	۵/۴۴±۰/۱۷^{bD}	۴۷/۶۸±۱/۸۶^{bF}	۹۲/۳۲±۱/۸۳^{aD}
45	۶۲/۸۸±۰/۷۷^{bD}	۵/۶۸±۰/۳۹^{abD}	۴۶/۹۲±۰/۶۹^{bF}	۸۲/۰۶±۰/۶۵^{bF}
4SPIW				
5	۶۱/۲۸±۰/۷۳^{cD}	۵/۹۸±۰/۱۵^{cD}	۴۷/۹۳±۱/۷۸^{bD}	۸۰/۱۵±۱/۶۹^{bD}
25	۵۹/۶۹±۱/۳۳^{cD}	۵/۷۸±۰/۷۲^{bD}	۴۹/۱۹±۰/۲۷^{bD}	۷۹/۸۱±۲/۴۵^{bD}
45	۵۶/۶۲±۱/۳۶^{cF}	۶/۸۱±۱/۰۶^{bD}	۴۷/۷۹±۰/۵۴^{bD}	۸۶/۸۳±۲/۲۷^{bD}

* ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.($p>0.05$).

بنظر می‌رسد، تشکیل سریع تر پوسته در لحظات ابتدایی سرخ‌کردن و تقویت عملکرد آن بعنوان یک لایه غیرقابل نفوذ در برابر مهاجرت رطوبت به ویژه با جایگزینی ایزوله پروتئین سویا، باعث افزایش فشار بخار درلایه زیرین پوسته گشته، که این امر خود موجب جداشدن پوسته ازسطح ماده غذایی، کاهش چسبندگی پوشش و ایجاد حالت پف کرده ناخوشایند در محصول می‌گردد. تغییرات درجه حرارت اثر معنی‌داری بر چسبندگی پوشش به سطح نمونه نداشت (جدول۳). بنابراین، می‌توان گفت که فرمول خمیرآبه نسبت به درجه حرارت خمیرآبه اثر بیشتری بر میزان چسبندگی پوشش به بستر داشته است.

محتوا رطوبت و جذب روغن

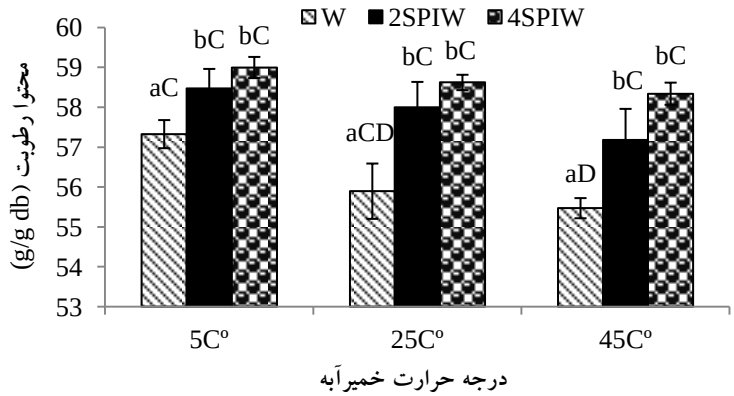
نتایج نشان داد که فرمول خمیرآبه به طور معنی‌داری بر محتوا رطوبت محصول نهایی مؤثر می‌باشد. به بیان دیگر افزودن ایزوله پروتئین سویا باعث افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت ناگت‌های مرغ سرخ شده گردید ($p>0/05$). با این حال از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در محتوا رطوبت بین غلظت‌های ۲ و ۴ درصدایزوله پروتئین سویا مشاهده نشد (شکل۳). افزایش نسبی میزان رطوبت در ناگت‌های پوشش داده شده با خمیرآبه حاوی ایزوله پروتئین سویا می‌تواند ناشی از توانایی بالا جذب آب وهمچنین نگهداری رطوبت به علت تشکیل لایه فیلم با نفوذ پذیری کم توسط پروتئین‌های سویا باشد. نتایج بدست آمده با گزارشات Dogan و همکاران (b ۲۰۰۵) و Ronda و همکاران (۲۰۱۱) در خصوص عملکرد پروتئین‌های سویا در حفظ رطوبت محصول در حین سرخ کردن مطابقت داشت.

بالاترین مقدار رطوبت محصول در نمونه‌های پوشش داده شده خمیرابه حاوی ۴ درصد ایزوله پروتئین سویا در دمای $5^{o}C$ بدست آمد. اگر چه تفاوت معنی‌داری درخصوص اثر درجه حرارت بر محتوا رطوبتی مشاهد نشد، با این وجود به نظر می‌رسد، دماهای بالاتر (۲۵ و $45^{o}C$) خمیرآبه به دلیل اثرگذاری درجه حرارت بر ویسکوزیته و افزایش میزان حذف خمیرآبه از سطح نمونه طی مرحله چکانیدن، موجب کاهش ضخامت پوسته و درنتیجه تضعیف ویژگی ممانعت کنندگی پوسته و تسهیل فرآیند تبخیر طی سرخ کردن می‌شود.

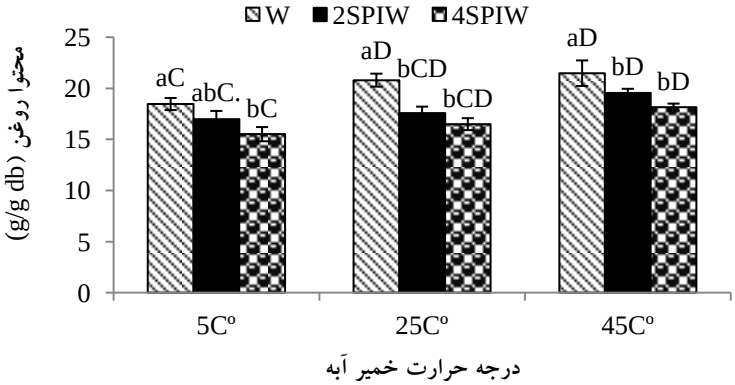
جذب روغن در نمونه‌های پوشش داده شده با خمیرآبه‌های حاوی ۲ درصد ایزوله پروتئین سویا را نسبت به نمونه شاهد به استثناء دمای $5^{o}C$ کاهش معنی‌داری را نشان داد ($p>0/05$).

با این حال افزایش درصد جایگزینی ایزوله پروتئین سویا اثر معنا-داری بر کاهش جذب روغن نداشت. کاهش نسبی میزان جذب روغن در نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا ممکن است، به توانایی پروتئین سویا در تشکیل پیوندهای هیدروژنی بیشتر با مولکول‌های آب و همچنین تشکیل لایه فیلم مانند در حین سرخ کردن مرتبط بوده که موجب حفظ بهترآب در حین فرآیند می‌گردد. ارزیابی ارتباط بین محتوا رطوبت با میزان جذب روغن در نمونه‌های مورد آزمایش یک ارتباط خطی رانشان داد ($r> 0/82$ شکل۵).

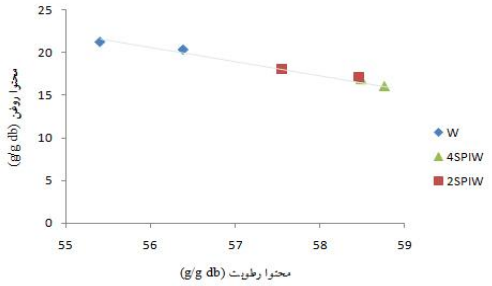
نتایج مشابهی توسط دیگر محققین، در خصوص رابطه خطی بین میزان جذب روغن و از دست دادن رطوبت در حین سرخ کردن گزارش گردیده است(Sanz *et al*, :Soorgi, *et al.*, 2011 2004:2005). تغییرات درجه حرارت سیستم خمیر آبه از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر کاهش جذب روغن نبود ($P>0/05$). با این حال، کمترین میزان جذب روغن مربوط به نمونه پوشش داده شده با خمیرآبه حاوی ۴ درصد ایزوله پروتئین سویا در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بود.



شکل٤- اثر درجه حرارت خمیرآبه و فرمولاسیون‌های مختلف بر محتوا رطوبت ناگت مرغ بعد از سرخ کردن



شکل ٥- اثر درجه حرارت و فرمولاسیون های خمیر آبه بر محتوا روغن



شکل ٦-رابطه میان محتوا رطوبت و محتوا روغن در فرمولاسیون مختلف خمیرآبه دردرجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد

این امر را می‌توان به افزایش نسبی ویسکوزیته و درنتیجه جذب پوشش بیشتر بر سطح ماده غذایی مرتبط دانست. بطوری که ایجاد پوسته ضخیم‌تر با خاصیت ممانعت‌کنندگی بیشتر، مانع از خروج رطوبت و درنتیجه جذب روغن می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر درجه حرارت و فرمول‌های مختلف خمیرآبه بر ویژگی‌های کیفی و کمی ناگت مرغ در حین سرخ کردن عمیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فرمول و درجه حرارت خمیرآبه تاثیر به سزایی بر ویژگی‌های جریانی آن و در نتیجه ویژگی‌های کیفی محصول از جمله جذب روغن، از دست دادن رطوبت و چسبندگی پوشش به بستر دارند. افزودن ایزوله پروتئین سویا به فرمول خمیرآبه اگر چه موجب کاهش چسبندگی پوشش به سطح ماده غذایی گردید، اما اثرات مفیدی برکاهش جذب روغن، افزایش محتوا رطوبتی محصول داشت. همچنین، خواص عملکردی پوشش به طور معنی‌داری تحت تاثیر درجه حرارت خمیرآبه در حین پوشش‌دهی

قرارگرفت.

منابع

AACC, 1986, Moisture content, "In Approved methods of the American Association of Chemists". St Paul, MN: AACC.

Akdeniz, N., Sahin, S., & Sumnu, G., 2006, Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75, 522–526.

Albert, A., Perez-Munuera, I., Quiles, A., Salvador, A., Fiszman, S.M., Hernando, I., 2009, Adhesion in fried battered nuggets: performance of different hydrocolloids as products using three cooking procedures. *Food Hydrocolloids*, 23, 1443–1448.

Andreadis, I. 2000, a color coordinate normalizer chip. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol 28, 181–196.

AOAC, 1990, Official Methods of Analysis "Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC".

Ansarifar, E., Mohebbi, M., Shahidi, F. 2012, Studying some physicochemical characteristics of crust coated with white egg and chitosan using a deep-fried model system. *Food and Nutrition Sciences*, 3, 685-692.

Dehghan Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee Yazdi, F., Haddad Khodaparast, M. H., 2012, Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep Fat-Fried shrimp nuggets. *Food Bioprocess Technol*, 5, 1238–1245.

Dogan, S.F., Sahin S. and Sumnu G., 2005a, Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 71, 127–132.

Dogan, S.F, Sahin S., & Sumnu G., 2005b, Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. *European Food Research and Technology*, 220, 502–508.

Hale, K. K., Goodwin Jr., T. L, 1968, Breaded fried chicken: effects of precooking, batter composition and temperature of parts before breading. Poultry Sci, 47, 739–746.

Hanson, H. L., Fletcher, L. R., 1963, Adhesion of coating on frozen fried chicken. *Food Technology*, 17, 115–118.

Hsia, H. Y., Smith, D. M., Steffe, J. F., 1992, Rheological properties and adhesion characteristics of flour-based batters for chicken nuggets as affected by three hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 57(1), 16–18. See Also 24.

Fiszman, S.M. & Salvador A., 2003, a review. Recent developments in coating batters. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 399–407.

Koocheki, A., Razavi, S. M. A., 2009a, Effect of concentration and temperature on flow properties of alyssum homolocarpum seed gum solutions: assessment of time dependency and thixotropy. *Food Biophysics*, 4, 353–364.

Mukprasirt, A., Herald T.J., Boyle D.L. and Rausch K.D., 2000, Adhesion of rice flour based batter to chicken drumsticks evaluated by laser scanning confocal microscopy and texture analysis. *Poultry Scie*nce, 79 (9), 1356–1363.

Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P.A., Pando, V., 2011, Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102, 3, 272-277.

Sahin, S., & Sumnu, G., 2009, Advance in deep-fat frying of foods. *Taylor& Francis group*.new York.

Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S.M., 2005, Effect of the addition of different ingredients on the characteristics of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step. *Food Hydrocolloids*, 19, 703–708

Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M., 2004, Effect of concentration and temperature on properties of methylcellulose-added batters application to battered, fried seafood. *Food Hydrocolloids*, 18 (1), 127–131.

Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M., 2004, Effect of concentration and temperature on properties of methylcellulose-added batters application to battered, fried seafood. *Food Hydrocolloids*, 18 (1), 127–131.

Sanz, T., Salvador, A., Velez, G., Munoz J., Fiszman S.M., 2005, Influence of ingredients on the thermo-rheological behavior of batters containing Methylcellulose, *Food Hydrocolloids*, 19, 869–877

Soorgi, M., Mohebbi M., Mousavi S. M. & Shahidi F., 2012, The effect of methylcellulose, temperature and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets. *Food bioprocess technology*, vol 5, 5, 1521-1530.

Scott, R., 1987, A Review of crumb coatings, in suvoury coatings, (D.B. Fuller and R.T. Parry, Eds.) 7-11, Elsevier App. Sci., New York.

Suderman, D. R., & Cunningham F. E., 1980, Factor affecting the adhesion of coating to poultry skin, Effect of age, method of chilling, and scald temperature on poultry skin ultra structure. *J. Food Sci*, 45, 444–449.

Suderman, D. R., & Cunningham, F. E., 1977, Adhesion and uniformity of coating of a commercial breading mix in relation to skin ultra structure. *Poultry Sci*, 56, 1760–1765.

Wolf, W. J., Cowan, J. C., 1975, Soybeans as a food source. pp 34-51. CRC Press, Inc., Ohio

Xue, J. and Ngadi M., 2006, Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations. *Journal of Food Engineering*, 77, 334–341.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 11, No. 5, Dec - Jan 2015, p. 608-619

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۱، شماره ۵، آذر- دی ۱۳۹۴، ص. ۶۱۹-۶۰۸

Effect of soy protein isolates concentration and batter temperature on flow properties of batter and quality of deep-fried chicken nugget

H. Mahdavian Mehr[1], A. Koocheki[2]*, M. Mohebbi[3]

Introduction: Batter coating is a new technology to reduce fat content of fried foods. The ingredients and flowproperties of batter are the most important parameters to determine the performance of batter coating and quality of the final product. Among batter additives, proteins can be used as an important and effective component, because of their emulsifying properties, water absorption, and barrier properties. Previous studies have shown that soya protein isolate (SPI) is a very good hydrophilic protein which could be used to control the viscosity of batter. The batter temperature has direct effect on its flow behavior's properties and has a major impact on the quality of final coated product. Therefore, the aim of the present study was to evaluate the effects of temperature (5, 25 and C°45) and SPI content (2 and 4%), on flow properties of the batter and quality of deep-fried chicken nuggets.

Materials and methods: Raw materials such as fresh chicken breasts, onion, salt, hot pepper, wheat flour, baking powder, and 100% pure sunflower oil were purchased from local markets. SPI (92% protein) were obtained from GolharKhorasanRazavi Company. The batter formulations consisted of wheat flour, salt (1.5% w/w, db), baking powder (0.5% w/w, db) and SPI (2 and 4% w/v, db). For all samples, water/dry mix proportion had always been 5:3. Rheological properties of the batters were carried out using a Bohlin rotational viscometer. For each test, shear rate increased from 0 to 300 s^{-1}, followed by a logarithmically decrease from 300 to 0 s^{-1}. The flow behavior index (*n*) and consistency coefficient (*k*) values were computed by fitting the power law model, and time dependency properties of the batters were obtained from the area between the upward and downward curves. Temperature dependency of consistency coefficients were assessed by fitting the Arrhenius model. The batter coating on the chicken substrate was appliedat three temperatures (5, 25 and 45 C°), and batter pickups (%) were calculated by the weight difference between the chicken nuggets after coating to the weight of chicken nuggets before coating. Coated samples were stored at -18 C° for two weeks. After thawing, chicken nuggets were fried at 180°C for 3 min in sunflower oil using a programmable deep fat fryer. The influence of SPI concentrations and batter temperature on color and crust adhesion of deep-fat fried chicken nuggets was measured with image processing. In brief, images were taken by a digital camera under controlled conditions, and then analyzed by Image J software. The Percentage of adhesion (CRA), obtained by calculating the ratio of the pixels corresponding to the perimeter of the substrate where coating is adhered to the pixels corresponding to the total perimeter of the substrate. The color of deep-fat fried chicken nuggets were examined in terms of L*, a* and b*values. Oil and moisture content of the chicken nuggets was determined by standard techniques.

Results & Discussion: Results showed thatall samples had a shear-thinning behaviour at all batter temperatures ($n \geq 0.539$). Power law model was adequately suitable to describe the flow behavior of the batters ($R^2 \geq 0.994$). The activation energy was between 5.106 to 5.630 (kj/mol).Addition of soy protein isolates into the batter, enhanced the time dependency, whereas, the increase of temperature decreased the hysteresis area. The relative increase in apparent viscosity with increasing SPI might be attributed to the high capacity of SPI to absorb free water. However, decrease in apparent viscosity and time dependency of batters with increasing the temperature could be due to the intermolecular interactions in batter system. An increase in temperature weakens the intermolecular interactions and increases the mobility of macromolecules which reduces the batter resistance to shear force. The batter temperature and formulation had significant effect on the batter pickup. This effect was mainly due to the changes occur on flow properties of batter. Using SPI increased the a* and decreased the L* of the final product. This could be due to the active participation of SPI in the Millard reaction. The data obtained for crust adhesion revealed that the increase in SPI concentration lead to a decrease in batter adhesion to the crust. In other words, the ability of soya proteins to form film during early time of frying reduces the moisture migration from the substrate to oil, which creates a positive pressure in the inner layer of crust and reduces the adhesion.

1, 2 and 3- Former MSc Student, Associate professor and Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi, Iran
(*-Corresponding Author Email: koocheki@um.ac.ir)

Conclusion: Chicken nuggets coated with batter containing SPI had higher moisture and lower oil content than the control sample. Finally, the change in batter temperature had no significant effect on the crust adhesion and oil and water content in the final product.

Keywords: Soy protein isolate, Batter, Flow behavior, Coating, Chicken nugget, Adhesion.