

بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی شده با پودر سیب

فخرالدین صالحی^{a*}، مهدی کاشانی نژاد^b

^aاستادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
^bاستاد دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱/۲۰

چکیده

مقدمه: سیب یک منبع غنی از فیبر و پلی فنول‌ها می باشد. به منظور بررسی اثر جایگزینی پودر سیب با آرد گندم بر خواص ویسکوالاستیک کیک اسفنجی آزمون‌های تنش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: ابتدا سیب زرد در شرایط بهینه خشک و آسیاب شد و سپس پودر سیب جهت غنی‌سازی کیک اسفنجی در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد (وزنی/وزنی) به عنوان جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون کیک استفاده شد. پس از آماده‌سازی نمونه، آزمایش‌های تنش با استفاده از دستگاه بافت سنج در طی دوره نگهداری انجام و ضرایب مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعیین یافته محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش درصد جایگزینی پودر سیب و زمان نگهداری، مقادیر نیروی اولیه و نیروی تعادلی افزایش می‌یابند. پارامترهای مدل پلگ-نورمند شامل k_1 و k_2 با گذشت زمان کاهش یافت که نشان از کاهش الاستیسیته کیک با گذشت زمان می‌باشد. کیک‌ها رفتار جامد ویسکوالاستیک از خود نشان داد و با افزایش درصد جایگزینی، مجموع نیروهای کاهشی ($F_3 + F_2 + F_1$) مدل ماکسول تعیین یافته افزایش یافت که نشان‌دهنده کاهش الاستیسیته است.

نتیجه‌گیری: نتایج مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی‌های تنش با مدل‌های پلگ نورمند و ماکسول تعیین یافته نشان داد که مدل ماکسول تعیین یافته کارایی بیشتری جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر سیب دارد.

واژه‌های کلیدی: بافت سنج، پلگ-نورمند، کیک اسفنجی، ماکسول، ویسکوالاستیک

مقدمه

ارزش تغذیه‌ای و بهبود ساختاری کیک اسفنجی ایجاب می‌کند تا از فیبرهای رژیمی بهره‌برداری شود (Lebesi and Tzia, 2011). جهت غنی‌سازی این محصول، از محصولات خشک‌شده مختلفی استفاده شده است. برای مثال ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی کیک غنی‌شده با پودر کدوخلوایی به‌عنوان جایگزین آرد گندم توسط محققان بررسی شده است (Bhat and Bhat, 2013). همچنین اثر افزودن فیبرهای مغذی و سبوس غلات به کیک بررسی و گزارش شد. افزودن فیبرهای مغذی به کیک باعث تولید کیک‌هایی با حجم بیشتر و بافت نرم‌تر نسبت به شاهد شده در حالی که افزودن سبوس غلات به کیک باعث تولید کیک‌هایی با حجم کمتر و بافت سخت‌تر نسبت به نمونه شاهد می‌شود (Lebesi and Tzia, 2011). ویژگی‌های کیفی کیک اسفنجی حاوی ۳، ۵ و ۷٪ پودر قارچ صدفی (*Pleurotus eryngii*) نیز بررسی شده است (Jeong and Shim, 2004).

سیب خشک دارای ترکیبات تغذیه‌ای فراوان از جمله انواع قندها، مواد معدنی و فیبر می‌باشد. به طور متوسط سیب خشک دارای ۱۰/۸۰ درصد رطوبت، ۰/۵۰ درصد خاکستر، ۲/۷۰ درصد چربی، ۲/۰۶ درصد پروتئین و ۵۱/۱۰ درصد فیبر کل می‌باشد (Amiri Chayjan et al., 2014; Salehi et al., 2016d; Sudha et al., 2007). خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی، حسی و بافتی کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر سیب بررسی شده است. با افزایش درصد پودر سیب در فرمولاسیون کیک، ویسکوزیته خمیر افزایش یافت. درصد رطوبت، چربی، پروتئین، خاکستر و کربوهیدرات نمونه حاوی ۱۵ درصد پودر سیب به ترتیب برابر ۱۹/۱۲، ۲۳/۴۵، ۵/۶۵، ۰/۸۱ و ۵۰/۹۷ درصد به دست آمد (Salehi et al., 2016b). از تفاله سیب خشک‌شده به عنوان منبع فیبر و پلی‌فنل‌ها جهت غنی‌سازی کیک اسفنجی استفاده شده است. پودر تفاله سیب در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزین آرد گندم شده و خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی و رئولوژیکی کیک‌ها گزارش شده است. حجم کیک‌ها کاهش و جذب آب افزایش یافت. مقدار پلی‌فنل‌ها و فیبر کیک‌های غنی‌شده افزایش یافت

بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر سیب

(Sudha et al., 2007).

آزمون رهایی تنش^۱ یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین رفتار ویسکوالاستیکی مواد غذایی می‌باشد و با استفاده از دستگاه بافت سنج قابل اندازه‌گیری و بررسی می‌باشد (Rodríguez-Sandoval et al., 2009). در این آزمون نمونه تحت یک تغییر شکل سریع و از پیش تعیین‌شده قرار می‌گیرد، سپس مقادیر تغییر تنش به عنوان تابعی از زمان در یک تغییر کرنش ثابت اندازه‌گیری می‌شود (Sahin and Sumnu, 2006; Yadav et al., 2006). اندازه و سرعت کاهش تنش پس از اعمال کرنش مورد نظر، وابسته به ساختار مولکولی ماده غذایی و مقدار کرنش اعمال شده است. مقدار تنش باقیمانده^۲ بعد از سپری شدن زمان آزمون در مواد ویسکوالاستیک جامد عددی بزرگ‌تر از صفر است (Sahin and Sumnu, 2006; Yadav et al., 2006). جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک‌ها و محاسبه زمان رهایی تنش، سه مدل عمومی رهایی تنش به نام‌های مدل ماکسول تعمیم‌یافته^۳، پلگ-نورمند^۴ و ناسینویچ^۵ توسط محققین بررسی شده‌اند (Campus et al., 2010; Vozáry and Mészáros, 2007). پلگ-نورمند یک روش سریع و مؤثر برای ارزیابی داده‌های رهایی تنش محسوب می‌شود (Peleg, 1980; Steffe, 1996). مدل ماکسول که اغلب برای نشان دادن رفتار رهایی تنش مواد کشاورزی استفاده می‌شود شامل یک فنر و یک ضربه‌گیر است که به صورت سری متصل می‌شوند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که مدل ماکسول ساده به اندازه کافی قادر به توصیف رفتار ویسکوالاستیک خطی نیست. از کنار هم قرار گرفتن چند مدل ماکسول ساده، مدل ماکسول تعمیم‌یافته به دست می‌آید. در مدل ماکسول تعمیم‌یافته، مقادیر تنش از مقدار اولیه به صفر می‌رسند و تنش تعادلی وجود ندارد، این در حالی است که اکثر مواد ویسکوالاستیک جامد و شبه جامد بعد از زمان رهایی، مقدار تنش به صفر نمی‌رسد و دارای یک تنش تعادلی است. لذا یک فنر به صورت موازی با مدل ماکسول تعمیم‌یافته در نظر می‌گیرند که نشان‌دهنده تنش رهایی تعادلی است. سه مدل ماکسول تعمیم‌یافته، پلگ-نورمند و ناسینویچ برای بررسی رفتار ویسکوالاستیکی ارقام مختلف

¹ Strees Relaxation
⁵ Nussinovitch

² Residual Stress

³ Generalized Maxwell Model

⁴ Peleg-Normand

سیب آسیاب شده و سپس با استفاده از الک با مش ۵۰ غربال شدند. نمونه‌های تهیه‌شده جهت استفاده در فرمولاسیون کیک، درون کیسه‌های پلاستیکی دربسته قرار گرفتند.

- تهیه کیک اسفنجی

فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی تهیه‌شده در این پژوهش در جدول ۱ گزارش شده است. آرد گندم مخصوص قنادی با رطوبت ۱۱/۸ درصد، ۰/۵۰ درصد خاکستر، ۱۰/۴ درصد پروتئین و ۱۷/۵ درصد گلوتن مرطوب تهیه شد. ابتدا شکر و روغن به مدت چهار دقیقه توسط همزن برقی مخلوط شدند. سپس تخم‌مرغ در سه مرحله و در مدت زمان دو دقیقه به مخلوط اضافه گردید. ۱۵ گرم آب اضافه و دو دقیقه هم زده شد. همه مواد پودری که از قبل باهم مخلوط و غربال شده بودند، به مخلوط اضافه و تا به دست آمدن یک خمیر یکنواخت مخلوط شدند. باقی‌مانده آب نیز اضافه و به مدت یک دقیقه مخلوط هم زده شد. در ادامه پودر سیب در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد جایگزین آرد کیک شد. ۳۰ گرم خمیر درون هر قالب ریخته شد و جهت پخت در آون توستر (Oven toaster, Noble, Model:KT-45XDRC-Iran) با دمای ۱۹۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. کیک‌های پخته‌شده، خنک و سپس در بسته‌های پلی‌پروپیلن عایق نسبت به رطوبت و اکسیژن نگهداری شدند (Salehi et al., 2016b; Salehi et al., 2016c).

جدول ۱- فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی

مقدار به گرم	ترکیب
۱۰۰	آرد
۷۲	تخم‌مرغ تازه
۷۲	پودر شکر
۵۷	روغن مایع
۴	پودر آب‌پنیر
۲	پودر شیر خشک
۲	بیکنینگ پودر
۰/۵	وانیل
۰/۲۵	صمغ گزانتان
۳۰	آب

خرما در طی مرحله رسیدن مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج کار این پژوهشگران نشان داد که هر سه مدل به کار رفته برای برآزش داده‌ها مناسب بوده و مدل ماکسول تعمیم‌یافته برآزش داده‌ها را با دقت بالاتری انجام داد (Hassan et al., 2005).

خصوصیات رئولوژیکی و ویسکوالاستیکی نان و کیک تحت تأثیر نوع مواد اولیه و فرمولاسیون آن می‌باشد و این خصوصیات بر کیفیت محصول نهایی اثر می‌گذارد (Eliasson, 1990; Sathe et al., 1981; Singh and Ram, 1990). بر اساس نتایج انتشار یافته از میان این سه مدل مکانیکی، مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته جهت بررسی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی توصیه‌شده‌اند (Hassan et al., 2005; Vozáry and Mészáros, 2007). در این مطالعه اثر جایگزینی پودر سیب در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و زمان نگهداری، بر رفتار ویسکوالاستیکی کیک اسفنجی با استفاده از آزمون‌های تنش بررسی و داده‌های به دست آمده با مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته تعادلی برآزش شد.

مواد و روش‌ها

- تهیه پودر سیب

سیب زرد (*Golden delicious*) از بازار تهیه و با آب سرد شستشوی سطحی داده شد. سپس با یک چاقوی تیز به‌طور عمودی به ورقه‌هایی به ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های سیب بلافاصله پس از برش جهت خشک کردن با سامانه مادون‌قرمز - هوای داغ مورد استفاده قرار گرفتند (Salehi et al., 2016d). جهت خشک کردن، ابتدا سیب در سه توان ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات، سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان‌های ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه خشک گردید. بر اساس بررسی منابع مختلف در زمینه خشک کردن سیب و سایر محصولات کشاورزی، جهت خشک کردن نمونه‌های سیب از سامانه مادون‌قرمز - هوای داغ با توان ۲۵۰ وات در فاصله ۵ سانتی‌متری از نمونه‌ها، دمای ۶۰ درجه سلسیوس هوای داغ با سرعت جریان ۲ متر بر ثانیه استفاده گردید (Nowak and Lewicki, 2004; Salehi et al., 2016a; Salehi et al., 2016d). ورقه‌های خشک‌شده

آزمون رهایی تنش

برای انجام آزمون رهایی تنش از دستگاه بافت سنج^۱ TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., (Surrey, UK) و نرم‌افزار مربوطه (Texture Expert) (1.05) استفاده شد. جهت انجام آزمون رهایی تنش، نمونه‌ها به روش آزمون فشاری و با پروب با قطر ۱۰۰ میلی‌متر (P/100)، با سرعت ۱/۰ میلی‌متر بر ثانیه و ۵۰ درصد کرنش به مدت ۶۰ ثانیه تحت تنش قرار گرفتند. دستگاه با ثابت نگه‌داشتن مقدار تغییر شکل ایجادشده در نمونه، مقدار نیروی متناظر با آن (نیروی اعمال از سمت کیک به پروب دستگاه) را به مدت ۶۰ ثانیه ثبت و منحنی نیرو در برابر زمان رسم شد. در این آزمون اثر جایگزینی پودر سیب در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در روزهای اول و چهاردهم بر منحنی رهایی تنش و خصوصیات ویسکوالاستیک کیک مورد بررسی قرار گرفت (Salehi et al., 2016b; Salehi et al., 2016c).

مدل‌سازی رفتار رهایی تنش

در کرنش‌های پایین (در دامنه ویسکوالاستیک خطی)، رفتار خمیر مواد غذایی را می‌توان به خوبی با مدل‌های مکانیکی مانند فنر^۲ و ضربه‌گیر^۳ (ماکسول و مدل ماکسول تعمیم‌یافته) تخمین زد و در کرنش‌های بالا (در دامنه ویسکوالاستیک غیرخطی) مدل دو پارامتری پلگ-نورمند برای تفسیر داده‌های رهایی تنش مناسب‌تر بوده و با دقت بالاتری می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی را مورد برازش قرار دهد (Wu et al., 2012). در این مطالعه از دو مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته برای برازش داده‌های رهایی تنش استفاده شد.

معادله مربوط به مدل تعمیم‌یافته ماکسول با فنر اضافی توسط رابطه ۱ ارائه می‌شود (Wu et al., 2012):

رابطه ۱)

$$F(t) = F_1 \exp(-t / \lambda_1) + F_2 \exp(-t / \lambda_2) + F_3 \exp(-t / \lambda_3) + F_4$$

هر کدام از جملات مدل با اندیس‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. تابع زمانی تنش حاصل جمع سه جمله‌ای، ۱، ۲، ۳ و یک عدد ثابت (F_4) مربوط به فنر اضافی است. به دلیل اینکه جمله اول در مدل سه‌جزئی ماکسول

بیش‌ترین سهم را در توصیف رفتار مدل دارد، مقادیر جزء الاستیک و زمان رهایی (F و λ) مربوط به آن در تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفته است (Campus et al., 2010; Hassan et al., 2005).

جمله‌ای که دارای بیش‌ترین مقدار جزء الاستیک و زمان رهایی به عنوان زمان رهایی تنش در نظر گرفته شد ($F(t)$). بنابراین در این فرمول، $F(t)$ مقدار نیرو در هر لحظه از زمان، F_4 نشان‌دهنده تنش تعادلی یا تنش باقیمانده (مقدار تنش وقتی که t به سمت بی‌نهایت میل می‌کند)، F_1 ، F_2 ، F_3 نیروهای کاهشی^۴ می‌باشند و λ_1 ، λ_2 ، λ_3 زمان‌های رهایی می‌باشند. مدل دوپارامتری پلگ-نورمند به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود (Wu et al., 2012):

$$\frac{F_0 t}{F_0 - F(t)} = k_1 + k_2 t \quad \text{رابطه ۲}$$

F_0 نیروی اولیه، $F(t)$ نیروی لحظه‌ای در زمان t و k_1 و k_2 (ثابتهای بعد) ثابت‌های معادله هستند. مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب عرض از مبدأ و شیب نمودار نرمال شده نیرو و زمان می‌باشند. عبارت اول مدل پلگ-نورمند به عنوان نیروی نرمال شده بیان می‌شود.

نیروی نسبی^۵ نیز برای داده‌ای تجربی رهایی تنش از طریق رابطه ۳ محاسبه شد. F_0 نیروی اولیه و $F(t)$ نیروی لحظه‌ای در هر زمان می‌باشد.

$$\text{Relative force (RF)} = \frac{F(t)}{F_0} \quad \text{رابطه ۳}$$

همچنین درصد رهایی تنش (SR%) از طریق رابطه ۴ محاسبه شد (Wu et al., 2012):

$$\%SR = \frac{F_0 - F_{t=20}}{F_0} \times 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، F_0 نیروی اولیه، $F_{t=20}$ نیرو در ۲۰ ثانیه بعد از اعمال کرنش اولیه می‌باشد. به منظور مدل کردن داده‌های آزمایشگاهی از نرم‌افزار Curve Expert (Liechtenstein) ویرایش ۱/۳۴ استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایش‌ها با سه تکرار بر پایه طرح کاملاً تصادفی

¹ Texture Analyzer

² Spring

³ Dashpot

⁴ Decay Forces

⁵ Relative Force ($F(t)/F_0$)

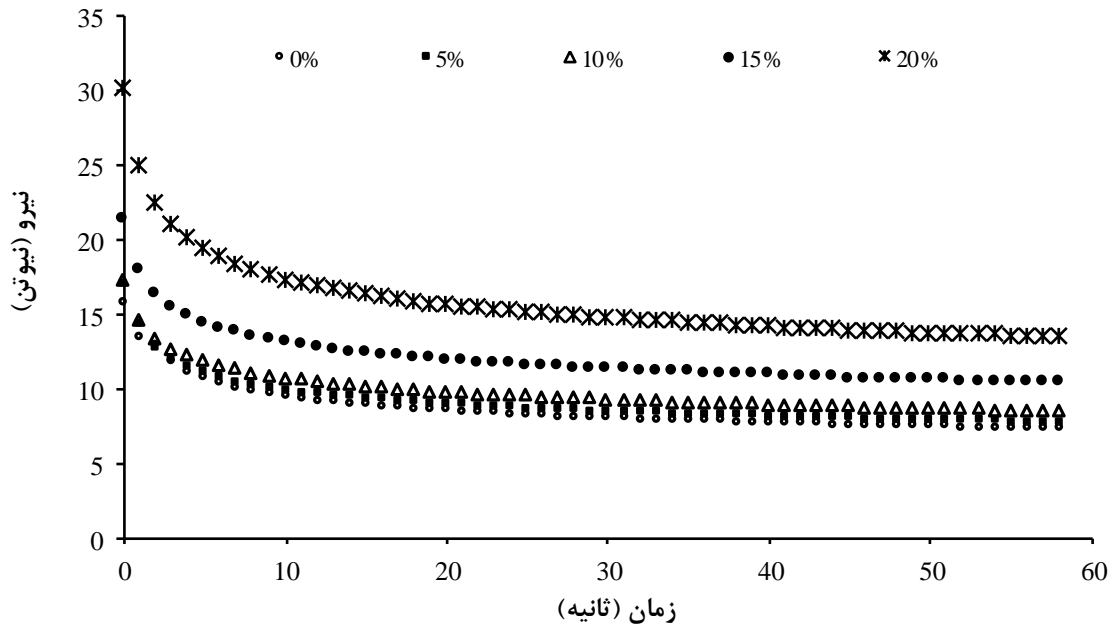
مشاهده می‌شود. اثر جایگزینی پودر سیب در فرمولاسیون کیک اسفنجی بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش در روزهای اول و چهاردهم به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ به نمایش در آمده است. بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقدار نیرو حاصل از رهایی تنش در طی زمان کاهش و مقدار نیروی اندازه‌گیری شده افزایش درصد جایگزینی افزایش یافته است. همچنین با مقایسه شکل‌های ۱ و ۲، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر نیروی اندازه‌گیری شده برای تمامی درصدها با گذشت زمان افزایش یافته است که این به دلیل بیاتی و سفت شدن بافت کیک در طی زمان می‌باشد.

انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ($P < 0/05$) صورت گرفت. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار spss صورت گرفت و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

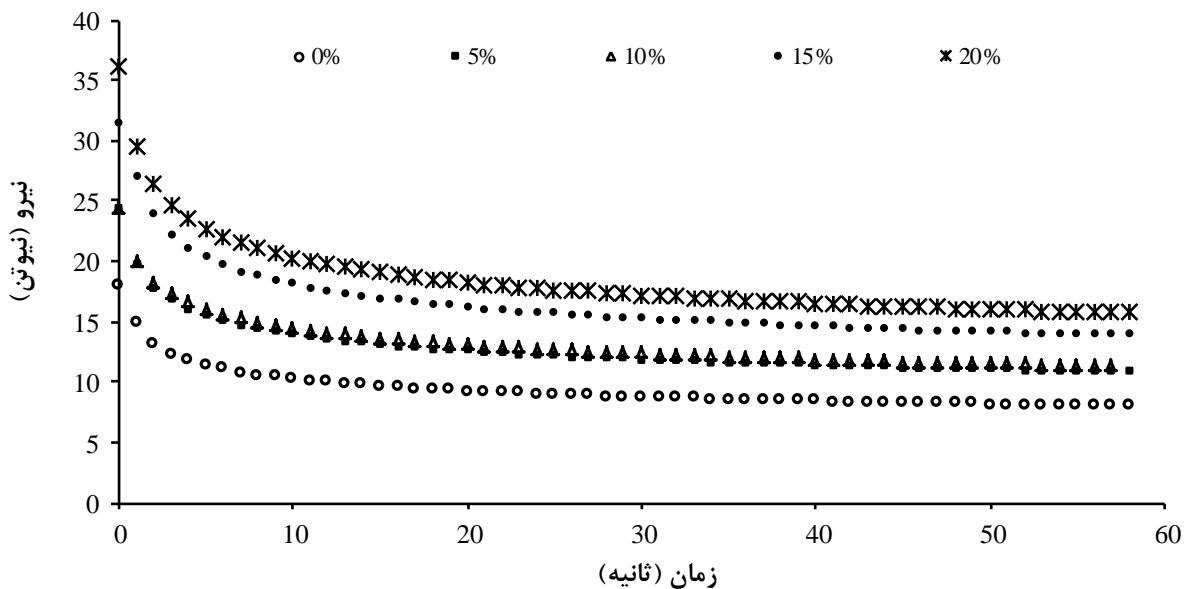
یافته‌ها

- بررسی اثر زمان و جایگزینی پودر سیب بر مقدار نیروی اولیه

در مواد غذایی جامد و نیمه جامد، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، یک کاهش در مقدار نیرو در طی زمان



شکل ۱- اثر جایگزینی پودر سیب در فرمولاسیون کیک اسفنجی بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش (روز اول)



شکل ۲- اثر جایگزینی پودر سیب در فرمولاسیون کیک اسفنجی بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش (روز چهاردهم)

بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر سیب

جدول ۲- مقادیر نیروی اولیه به دست آمده از آزمون

رهایب تنش کیک سیب		
زمان	درصد جایگزینی (%)	F ₀ (N)
روز اول	۰	۱۵/۸۴ ^d
	۵	۱۷/۰۳ ^c
	۱۰	۱۷/۳۰ ^c
	۱۵	۲۱/۴۷ ^b
	۲۰	۳۰/۱۵ ^a
روز چهاردهم	۰	۱۷/۷۶ ^d
	۵	۲۴/۱۴ ^c
	۱۰	۲۴/۲۳ ^c
	۱۵	۳۱/۲۳ ^b
	۲۰	۳۵/۹۵ ^a

نیروی نسبی در طی زمان کاهش یافته است. مقادیر نیروی نسبی در کیک سیب در طول رهایب تنش در طی زمان نگهداری کاهش یافته است و اعداد به دست آمده برای روز چهاردهم کمتر از روز اول است. برای سایر درصدهای جایگزینی (۰، ۵، ۱۵ و ۲۰٪) نیز رفتار مشابهی مشاهده شد.

- اثر زمان و جایگزینی پودر سیب بر پارامترهای

مدل پلگ - نورمند

جهت محاسبه ضرایب مربوط به مدل پلگ - نورمند ابتدا نیروی نرمال شده محاسبه گردید و سپس مقادیر k1 و k2 از روی عرض از مبدأ و شیب آن‌ها محاسبه گردید. مقادیر مربوط به نیروی نرمال شده برای روزهای اول و چهاردهم در شکل ۴ به نمایش درآمده است. با افزایش زمان نگهداری کیک سیب مشاهده می‌شود که نیروی نرمال شده کاهش یافته است. در سایر درصدهای جایگزینی پودر سیب در فرمولاسیون کیک اسفنجی (۰، ۵، ۱۵ و ۲۰٪) نیز رفتار مشابهی مشاهده شد و شیب به دست آمده برای روز چهاردهم کمتر از روز اول بود.

پارامترهای برازش شده مدل پلگ - نورمند با استفاده از داده‌های رهایب تنش کیک سیب در درصدهای جایگزینی مختلف و در روز اول و چهاردهم در جدول ۳ گزارش شده است. با استفاده از اعداد گزارش شده در این جدول می‌توان مقدار تنش مشاهده شده در کیک در زمان‌های مختلف را پیش‌بینی نمود. ضریب تبیین (r²) بالا و خطای استاندارد^۱ پایین محاسبه شده حاکی از مناسب بودن مدل پلگ - نورمند جهت بررسی رفتار رهایب از تنش کیک اسفنجی غنی شده با پودر سیب می‌باشد. در این جدول مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، مقادیر k1 و k2 که به ترتیب نشان‌دهنده شیب و عرض از مبدأ نمودار نیروی نرمال شده در برابر زمان هستند، کاهش یافته‌اند اما بین درصدهای مختلف جایگزینی روند مشخصی مشاهده نمی‌شود.

- بررسی اثر زمان و جایگزینی پودر سیب بر

پارامترهای مدل ماکسول

مدل مکانیکی ماکسول تعمیم یافته برای بررسی و مقایسه رفتار رهایب تنش کیک اسفنجی حاوی پودر سیب

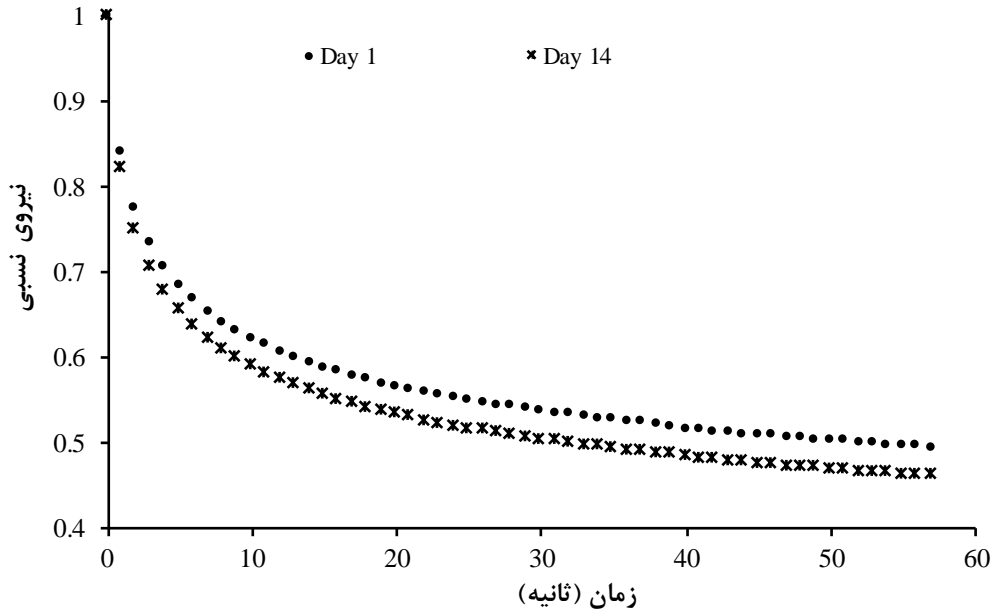
مقدار نیروی اولیه مربوط به داده‌های آزمایش رهایب تنش نمونه‌های کیک سیب در روز اول و چهاردهم و در درصد جایگزینی‌های مختلف در جدول ۲ گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش درصد جایگزینی پودر سیب، مقدار نیروی اولیه نیز افزایش یافته است. با افزایش درصد جایگزین پودر سیب از ۰ به ۲۰ درصد، مقدار نیروی اولیه از ۱۵/۸۴ نیوتن به ۳۰/۱۵ نیوتن افزایش یافته است که حاکی از سفت شدن بافت کیک با افزودن پودر سیب به فرمولاسیون کیک اسفنجی است. همچنین با گذشت زمان کیک‌ها سفت‌تر شد که مقدار نیروی اولیه به دست آمده نیز این افزایش را نشان می‌دهد. با افزایش جایگزینی پودر سیب، بافت کیک‌ها سفت شده که منجر به افزایش F₀ شده است. با افزایش مدت نگهداری کیک تا دو هفته، مقدار نیروی اولیه کیک اسفنجی حاوی ۲۰ درصد سیب از ۳۰/۱۵ نیوتن به ۳۵/۹۵ نیوتن افزایش یافت (Salehi et al., 2016b). با گذشت زمان نیز به دلیل بیاتی و افزایش مقاومت لایه‌های درونی کیک، مقدار F₀ افزایش یافته است.

- بررسی اثر زمان و جایگزینی پودر سیب بر مقدار

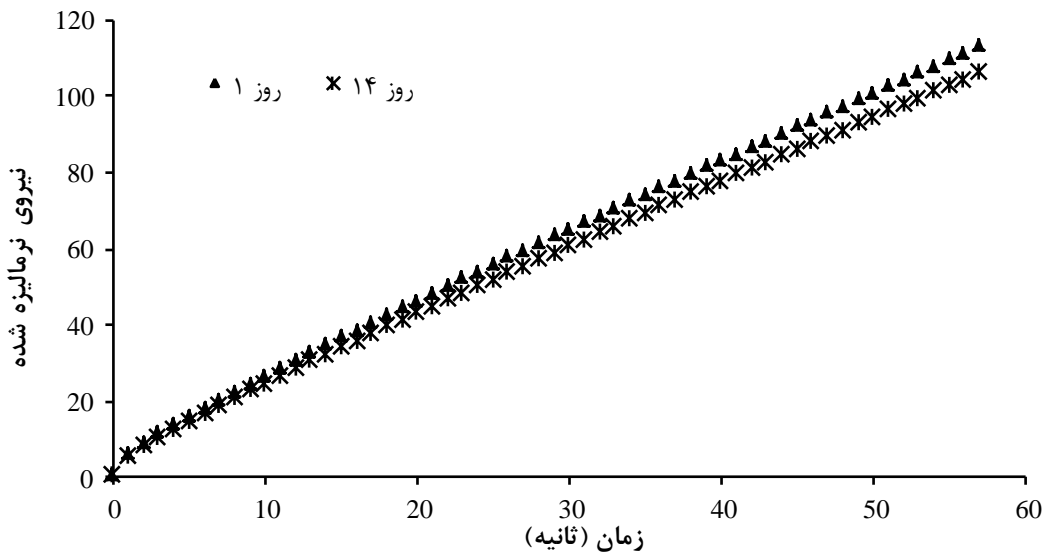
نیروی نسبی

شکل ۳ نشان‌دهنده مقدار نیروی نسبی به دست آمده از منحنی‌های رهایب تنش کیک اسفنجی حاوی ۱۰ درصد پودر سیب در روزهای اول و چهاردهم است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقادیر

¹ Standard Error (SE)



شکل ۳- اثر زمان نگهداری بر تغییر مقادیر نسبوی نسبی (۱۰ درصد جایگزینی پودر سیب)



شکل ۴- اثر زمان نگهداری بر نسبوی نرمال شده (۱۰ درصد جایگزینی پودر سیب)

جدول ۳- پارامترهای برازش شده مدل پلگ-نورمند با استفاده از داده‌های رهایی تنش کیک سیب

زمان	درصد جایگزینی (%)	$K_1(s)$	K_2	r	SE
روز اول	۰	۸/۱۲	۱/۷۵	-/۹۹۹	۰/۶۵
	۵	۶/۷۵	۱/۷۵	-/۹۹۹	۰/۸۰
	۱۰	۷/۷۷	۱/۸۶	-/۹۹۹	۱/۰۴
	۱۵	۷/۳۴	۱/۸۴	-/۹۹۹	۰/۹۸
	۲۰	۶/۳۷	۱/۷۲	-/۹۹۹	۰/۷۹
روز چهاردهم	۰	۶/۰۲	۱/۷۰	-/۹۹۹	۰/۷۵
	۵	۶/۲۷	۱/۷۰	-/۹۹۹	۰/۸۵
	۱۰	۶/۹۳	۱/۷۵	-/۹۹۹	۱/۱۰
	۱۵	۶/۷۷	۱/۶۸	-/۹۹۹	۰/۷۲
	۲۰	۵/۹۰	۱/۶۷	-/۹۹۹	۰/۷۷

غذایی است و مقدار آن بین ۱ تا بی نهایت متغیر است. برای مواد مایع واقعی مقدار آن برابر با یک و برای الاستیک ایده آل برابر بی نهایت است. با توجه به اینکه نمونه های روز اول حالت الاستیک بیشتری از خود نشان داده اند (k_1 بالا)، مقادیر k_2 به دست آمده برای آن ها نیز نسبت به روز چهاردهم بالاتر است. محققان گزارش کردند که مقدار k_2 معرف بهتری برای طبیعت الاستیک مواد غذایی است (Singh et al., 2006). مقدار k_2 همچنین نشان دهنده درجه استحکام و به هم پیوستگی بافت نیز می باشد (Wu et al., 2012).

کاهش تنش در مواد ویسکوالاستیک به تدریج صورت گرفته و بسته به ساختار مولکولی ماده در یک زمان معین متوقف می شود. این کاهش نیرو تا یک تنش یا نیروی تعادلی (F_4) که بزرگ تر از صفر می باشد، ادامه می یابد. مقدار زمان رهایی بسته به سهم ویژگی ویسکوز یا الاستیک ماده متفاوت است به طوری که این زمان برای مواد جامد الاستیک طولانی و برای مواد ویسکوالاستیک بین کوتاه است. براساس نتایج جدول ۴، در تمامی نمونه های مورد آزمایش مقدار تنش تعادلی بزرگ تر از صفر می باشد؛ به عبارت دیگر تنشی در کیک اسفنجی باقی مانده که مقدار آن بعد از گذشت زمان نگهداری (۶۰ ثانیه) تقریباً ثابت می شود. این موضوع نشان می دهد که کیک مورد آزمایش همانند جامد ویسکوالاستیک رفتار می کند. با توجه به نتایج جدول ۴ مقدار نیروی تعادلی برای روز اول و چهاردهم به ترتیب در محدوده ۶/۸۹ تا ۱۲/۶۳ نیوتن و ۷/۲۳ تا ۱۴/۵۱ نیوتن می باشد و اعداد محاسبه شده برای

استفاده و ضرایب مربوطه بعد از برازش مدل با داده های آزمایشگاهی رهایی تنش، در جدول ۴ گزارش شد. عناصر الاستیک در المان های ماکسول را می توان توسط نیروهای کاهشی (F_1, F_2 و F_3) نشان داد که به طور غیرمستقیم جامدیت (سختی) ماده مورد آزمایش را نشان می دهند. زمان های رهایی (λ_1, λ_2 و λ_3) به عنوان زمان هایی تعریف می شوند که طول می کشد تا ماکرو مولکول ها بعد از تغییر شکل منبسط شوند. زمان های رهایی عبارت اند از نسبت ویسکوزیته جزء دسپات (ضربه گیر) به مدول الاستیسیته جزء فزر. براساس نتایج جدول ۴ در تمام نمونه ها، با افزایش درصد جایگزینی، مجموع نیروهای کاهشی ($F_1 + F_2 + F_3$) افزایش یافته است. افزایش مجموع مقادیر F_1, F_2 و F_3 به عنوان اجزاء الاستیک در مدل ماکسول، ناشی از کاهش ویژگی الاستیسیته ماده ی تحت آزمایش است (Wu et al., 2012).

بحث

مقدار بالای k_1 نشان دهنده رفتار الاستیک در مواد غذایی است (جدول ۳). لذا با توجه به اینکه مقادیر k_1 در روز اول بیشتر از روز چهاردهم است، رفتار الاستیک در روز چهاردهم به دلیل بیباتی و سفت شدن کیک، کاهش یافته است. با جایگزینی پودر سیب با آرد گندم در فرمولاسیون کیک، پیوستگی و انسجام بافت کاهش می یابد. بیش ترین مقدار k_1 مربوط به کیک با صفر درصد پودر سیب که حالت الاستیکی بیشتری از خود نشان داده (جدول ۲) و توانایی بیشتری برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش از خود نشان داد. مقدار k_2 نشان دهنده درجه جامد بودن یک ماده

۱۲

جدول ۴- پارامترهای برازش شده مدل ماکسول با استفاده از داده های رهایی تنش در کیک سیب

زمان	درصد جایگزینی (%)	$F_1(N)$	$F_2(N)$	$F_3(N)$	$F_4(N)$	$\lambda_1(s)$	$\lambda_2(s)$	$\lambda_3(s)$	r	SE
روز اول	۰	۴/۵۳	۱/۵۲	۱/۹۵	۶/۸۹	۲/۴۷	۱۹/۲۱	۳۹/۹۶	۰/۹۹۹	۰/۰۴۵
	۵	۳/۰۴	۳/۱۵	۸/۵۶	۷/۱۸	۳۷/۷۲	۶/۱۸	۱/۴۱	۰/۹۹۹	۰/۰۱۶
	۱۰	۵/۱۶	۲/۵۷	۳/۳۹	۸/۰۵	۱/۶۰	۵/۴۳	۳۰/۲۸	۰/۹۹۹	۰/۰۲۷
	۱۵	۵/۰۴	۴/۰۹	۱۳/۰۱	۹/۷۷	۴/۴۸	۳۲/۳۷	۰/۷۹	۰/۹۹۹	۰/۰۳۳
	۲۰	۷/۰۱	۵/۶۷	۱۷/۱۸	۱۲/۶۳	۴/۷۹	۳۱/۴۵	۱/۰۰	۰/۹۹۹	۰/۰۱۰
روز چهاردهم	۰	۳/۱۴	۳/۳۸	۱۰/۲۱	۷/۲۳	۳۵/۴۵	۵/۷۵	۱/۲۶	۰/۹۹۹	۰/۰۱۳
	۵	۵/۵۱	۴/۶۷	۱۵/۸۴	۹/۹۸	۴/۶۵	۳۱/۱۲	۰/۸۹	۰/۹۹۹	۰/۰۱۱
	۱۰	۶/۰۲	۱۶/۴۵	۴/۸۹	۱۰/۴۸	۴/۰۹	۰/۷۴	۳۹/۴۳	۰/۹۹۹	۰/۰۱۲
	۱۵	۵/۶۰	۱۵/۳۶	۵/۸۳	۱۲/۲۶	۴۳/۵۹	۱/۶۶	۷/۲۵	۰/۹۹۹	۰/۰۲۷
	۲۰	۸/۵۶	۶/۸۴	۲۲/۶۹	۱۴/۵۱	۴/۵۵	۳۰/۷۱	۰/۹۵	۰/۹۹۹	۰/۰۱۳

تنش در طی زمان نگهداری کاهش یافت و اعداد به دست آمده برای روز چهاردهم کمتر از روز اول بود. براساس نتایج به دست آمده، درجه الاستیسیته کیک سیب در طی زمان کاهش یافت. همچنین به دلیل ضرایب تبیین بالا، خطای استاندارد پایین و پارامترهای موجود در مدل ماکسول تعمیم یافته، استفاده از این مدل جهت بررسی رفتار رهایی تنش و خصوصیات ویسکوالاستیک کیک سیب توصیه می شود.

منابع

Amiri Chayjan, R., Bahrabad, S. M. T. & Rahimi Sardari, F. (2014). Modeling infrared-covective drying of pistachio nuts under fixed and fluidized bed conditions. *Journal of Food Processing and Preservation* 38(3), 1224-1233.

Bhat, M. A. & Bhat, A. (2013). Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(9), 4-9.

Campus, M., Addis, M. F., Cappuccinelli, R., Porcu, M.C., Pretti, L., Tedde, V., Secchi, N., Stara, G. & Roggio, T. (2010). Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. *Journal of Food Engineering* 96(2), 192-198.

Eliasson, A. C. (1990). Rheological properties of cereal proteins, *Dough Rheology and Baked Product Texture*. Springer, pp. 67-110.

Hassan, B., Alhamdan, A. & Elansari, A. (2005). Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*, 66(4), 439-445.

Jeong, C. H. & Shim, K. H., (2004). Quality characteristics of sponge cakes with addition of *Pleurotus eryngii* mushroom powders. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 33, 716-722.

Lebesi, D.M. & Tzia, C. (2011). Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 710-722.

Nowak, D. & Lewicki, P. P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 5(3), 353-360.

تمامی درصدها در روز چهاردهم، از روز اول بیشتر است. همچنین با افزایش درصد جایگزینی پودر سیب، مقدار نیروی تعادلی افزایش یافته است. روند تغییرات نیروی تعادلی (F_4) هم‌راستا با نیروی اولیه (F_0) بوده که نشان‌دهنده این است که با افزایش نیروی اولیه جهت ایجاد کرنش ثابت در کیک، مقدار نیروی تعادلی ذخیره در محصول افزایش می‌یابد.

بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک مواد غذایی به روش رهایی تنش توسط سایر محققان نیز بررسی شده است. محققان گزارش نمودند که مدل ماکسول تعمیم یافته برای پیشگویی داده‌های تجربی رفتار ویسکوالاستیک مواد غذایی مناسب می‌باشد (Hassan *et al.*, 2005).

با توجه به ضرایب تبیین و خطای پایین محاسبه شده با استفاده از مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته (جدول ۳ و ۴)، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو مدل جهت بررسی رفتار رهایی تنش کیک سیب مناسب می‌باشند و اما با توجه به تئوری مطرح شده ماکسول تعمیم یافته و پارامترهای موجود در این مدل، استفاده از مدل ماکسول تعمیم یافته جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک سیب توصیه می‌شود. سایر محققان نیز در بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک و نان گزارش نموده‌اند که مدل ماکسول تعمیم یافته به خوبی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی را پیش‌بینی می‌نماید و برآزش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد (Hassan *et al.*, 2007; Vozáry and Mészáros, 2005).

نتیجه گیری

در این پژوهش خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی شده با پودر سیب بررسی شد. نتایج نشان داد که کیک اسفنجی غنی شده با پودر سیب یک جامد ویسکوالاستیک محسوب شده و خصوصیات ویسکوز و الاستیک آن از تغییرات ایجاد شده در ترکیبات شیمیایی آن در اثر جایگزینی آرد گندم با پودر سیب و زمان نگهداری تأثیر می‌پذیرد. بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقادیر نیرو حاصل از رهایی تنش در طی زمان کاهش یافت و مقدار آن با افزایش درصد جایگزینی و گذشت زمان افزایش یافت. مقادیر نیروی نسبی در کیک سیب در طول رهایی

- Peleg, M. (1980). Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. *Journal of Rheology*, (1978-present) 24(4), 451-463.
- Rodríguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A. & Cuvelier, G. (2009). Stress relaxation of reconstituted cassava dough. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 202-206.
- Sahin, S., Sumnu, S.G., (2006). *Physical properties of foods*. Springer Science & Business Media.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., Akbari, E., Sobhani, S. M. & Asadi, F. (2016a). Potential of Sponge Cake Making using Infrared-Hot Air Dried Carrot. *Journal of Texture Studies*, 47(1), 34-39.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. & Alipour, N. (2016b). Evaluation of Physicochemical, Sensory and Textural Properties of Rich Sponge Cake with Dried Apples Powder, *Innovative Food Science and Technology*, 3(11), 39-47.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, F. & Najafi, A. (2016c). Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom. *Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 1418-1423.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A. & Ziaifar, A. M., (2016d). Drying of Button Mushroom by Infrared-Hot Air System. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 59(13), 151-159.
- Sathe, S., Ponte, J., Rangnekar, P. & Salunkhe, D., (1981). Effects of addition of great northern bean flour and protein concentrates on rheological properties of dough and baking quality of bread. *Cereal Chemistry*, 58(2), 97-100.
- Singh, H., Rockall, A., Martin, C., Chung, O. & Lookhart, G., (2006). The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer*. *Journal of Texture Studies*, 37(4), 383-392.
- Singh, P. & Ram, H., (1990). Effect of phosphorus and sulphur application on protein and amino acid contents in chickpea. *Indian Journal of Pulses Research*, 3(1), 36-39.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press.
- Sudha, M.L., Baskaran, V., Leelavathi, K., (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104(2), 686-692.
- Vozáry, E. & Mészáros, P. (2007). Effect of mechanical stress on apple impedance parameters, *13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography*. Springer, pp. 118-121.
- Wu, M. Y., Chang, Y. H., Shiau, S. Y. & Chen, C. C. (2012). Rheology of fiber-enriched steamed bread: stress relaxation and texture profile analysis. *Journal of Food & Drug Analysis*, 20(1).
- Yadav, N., Roopa, B. & Bhattacharya, S. (2006). Viscoelasticity of a simulated polymer and comparison with chickpea flour doughs. *Journal of Food Process Engineering*, 29(3), 234-252.