

## مدل سازی اثر صمغ گزانتان بر خصوصیات بافتی کیک هویج

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۲- استاد دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۷)

### چکیده

هویج یک منبع غنی از بتاکاروتن، تیامین، ریبوفلاوین، فیبر و مواد معدنی جهت غنی‌سازی کیک اسفنجی است. افزودن هیدروکلوئیدها به فرمولاسیون کیک باعث بهبود خواص حسی و بافتی می‌شود. جهت مدل‌سازی اثر صمغ گزانتان بر خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر هویج، آزمون رهایی تنش انجام شد. در این پژوهش ابتدا جهت افزایش کیفیت بافتی کیک اسفنجی حاوی هویج، صمغ گزانتان در چهار سطح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ به فرمولاسیون اضافه شد. پس از آماده‌سازی کیک‌ها، آزمون رهایی تنش با استفاده از دستگاه بافت‌سنج انجام و ضرایب مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته محاسبه شدند. نتایج نشان‌داد با افزایش صمغ گزانتان، مقادیر نیروی اولیه و نیروی تعادلی به ترتیب ۴۸/۶۹٪ و ۴۳/۹۳٪ کاهش یافتند. پارامترهای مدل پلگ-نورمند شامل  $k_1$  و  $k_2$  با افزایش درصد صمغ گزانتان افزایش یافت که نشان از افزایش الاستیسیته کیک می‌باشد. کیک‌ها رفتار جامد ویسکوالاستیک از خود نشان‌داده و با افزایش درصد صمغ گزانتان، مجموع نیروهای کاهش  $(F_3 + F_2 + F_1)$  مدل ماکسول تعمیم‌یافته کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش الاستیسیته است. نتایج مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی رهایی تنش با مدل‌های پلگ نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته نشان‌داد که مدل ماکسول کارایی بیشتری جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک هویج حاوی صمغ گزانتان دارد.

**کلید واژگان:** آزمون رهایی تنش، کیک اسفنجی، صمغ گزانتان، مدل‌سازی، هیدروکلوئید.

\*مسئول مکاتبات: f.salehi@basu.ac.ir

## ۱- مقدمه

کیک اسفنجی از جمله محصولات نانویی می‌باشد که عمر ماندگاری حدود ۴ هفته داشته و حاوی ۱۵ تا ۲۵ درصد چربی می‌باشد [۱]. مهاجرت رطوبت و بیاتی و فقدان فیبرهای موجود در آرد کیک از مشکلات عمده موجود در این محصول بوده که علاوه بر کاهش خواص سلامتی، باعث تغییرات غیرقابل برگشتی در خصوصیات حسی محصول شده و عمر ماندگاری آن را کاهش می‌دهد [۲]. جهت غنی‌سازی این محصول، از محصولات خشک‌شده مختلفی مانند هویج [۳]، کدو حلوایی [۴]، سبوس غلات [۲]، قارچ [۵] و غیره استفاده شده است. هویج یک منبع غنی از بتاکاروتن، تیمین، ریپوفلاوین، فیبر و مواد معدنی جهت غنی‌سازی کیک اسفنجی است. صالحی و همکاران (۲۰۱۶) خصوصیات فیزیکوشیمیایی، حسی و بافتی کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر هویج بررسی شد. با افزایش پودر هویج به فرمولاسیون کیک از ۰ به ۳۰٪، ویسکوزیته ظاهری خمیر کیک از ۱۲/۳ به ۳۷/۲ پاسکال ثانیه افزایش یافت. با افزایش درصد جایگزینی پودر هویج دانسیته، خاکستر و مقدار بتاکاروتن کیک‌ها افزایش یافت [۳].

افزودن هیدروکلوئیدها به فرمولاسیون کیک‌ها باعث بهبود خواص حسی و کیفی بافت آن‌ها می‌شود. همچنین هیدروکلوئیدها قادرند مقدار از دست رفتن رطوبت در طی نگهداری نان و سرعت دهیدراته شدن مغز نان را کاهش دهند و از بیاتی نان جلوگیری کنند [۶، ۷]. اثر استفاده از چند نوع هیدروکلوئید شامل: سدیم آلزینات، کاراگینان، پکتین، هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز، صمغ لوبیای لوکاست، صمغ گوار و صمغ گزانتان بر خواص کیفی کیک اسفنجی توسط برخی از محققان بررسی شده و نتایج حاکی از آن است که هیدروکلوئیدها باعث بهبود خواص حسی و کیفی بافت کیک می‌شود [۸-۱۲]. حاج محمدی و همکاران (۲۰۱۴) اثر صمغ کتیرا بر خواص کیفی کیک اسفنجی را بررسی کردند. نتایج گزارش شده حاکی از این بود که افزودن ۰/۴ درصد کتیرا به فرمولاسیون کیک، به‌طور معنی‌داری حجم کیک را افزایش داده و در طول انبارداری، بافت کیک‌ها نرم‌تر بوده و نیز خواص حسی بهتری نسبت به نمونه شاهد داشتند [۱]. در مطالعه دیگری، صمغ کتیرا به‌عنوان جایگزین چربی در کیک استفاده و مشاهده شد تغییر درصد صمغ برافت وزن نهایی

کیک تأثیر معنی‌داری ندارد، درحالی‌که درصد روغن براین فاکتور اثر داشته و با افزایش میزان روغن، افت وزن کیک، ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. درصد چروکیدگی کیک، تحت تأثیر درصد صمغ قرار می‌گیرد درحالی‌که درصد روغن بر این فاکتور اثری نمی‌گذارد [۹]. در پژوهشی تأثیر جایگزینی چربی با روغن کنجد، همچنین تأثیر افزودن صمغ گزانتان و هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز همراه با روغن کنجد بر خواص کیفی کیک اسفنجی توسط سومیا و همکاران (۲۰۰۹) مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که افزودن روغن کنجد باعث کاهش ویسکوزیته و افزایش دانسیته خمیر، کاهش حجم و مطلوبیت خواص حسی کیک می‌شود. مخلوط هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز و امولسیفایر مورد استفاده، باعث افزایش ویسکوزیته و کاهش دانسیته خمیر و افزایش حجم و مطلوبیت کیک تولیدی می‌شود [۱۲]. در رابطه با بررسی تأثیر افزودن صمغ بر خواص رئولوژیکی و کیفیت نان تولیدی نیز پژوهشی توسط راسل و همکاران (۲۰۰۱) صورت گرفت و مشخص شد که افزودن صمغ به خمیر، پایداری خمیر در طی تخمیر بهبود داده و حجم مخصوص، فعالیت آبی افزایش و رطوبت نان نیز بهتر حفظ شده است [۱۳].

جهت بررسی رفتار ویسکوالاستیکی مواد غذایی و به خصوص کیک‌ها، از دستگاه بافت سنج و آزمون رهایی تنش<sup>۱</sup> استفاده می‌شود [۱۴]. 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 [۱۵، ۱۶]. اندازه و سرعت کاهش تنش پس از اعمال کرنش مورد نظر، وابسته به ساختار مولکولی ماده غذایی و مقدار کرنش اعمال‌شده است. مقدار تنش باقیمانده<sup>۲</sup> بعد از سپری شدن زمان آزمون در مواد ویسکوالاستیک جامد عددی بزرگ‌تر از صفر است [۱۵، ۱۶]. مدل پلگ-نورمند<sup>۳</sup> یک روش سریع و مؤثر برای ارزیابی داده‌های رهایی تنش و بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک‌ها محسوب می‌شود [۱۷]. ماکسول تعمیم‌یافته<sup>۴</sup> شامل چند فنر و ضربه‌گیر است که به صورت سری متصل می‌شوند. سه مدل‌های ماکسول تعمیم‌یافته و پلگ-نورمند برای بررسی رفتار ویسکوالاستیکی ارقام مختلف خرما در طی مرحله رسیدن توسط حسن و

1. Strees Relaxation  
2. Residual stress  
3. Peleg-Normand  
4. Generalized Maxwell model

۰/۷۵ درصد در فرمولاسیون استفاده شد. سی گرم خمیر درون هر قالب ریخته شد و جهت پخت در آن توستر<sup>۱</sup> با دمای ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. کیک‌های پخته‌شده، خنک و سپس در بسته‌های پلی‌پروپیلن عایق نسبت به رطوبت و اکسیژن نگهداری شدند [۳، ۲۰].

**Table 1- Sponge cake formula.**

Ingredients	(gr)
Carrot powder	10
Wheat flour	90
Whole egg	72
Sucrose	72
Sunflower oil	57
Dry milk	2
Whey	4
Baking powder	2
Vanilla	0.5
Water	30

## ۲-۳- آزمون رهایی تنش

برای انجام آزمون رهایی تنش از دستگاه بافت سنج<sup>۲</sup> و نرم‌افزار مربوطه 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 نگه داشتن 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 هویج در چهار سطح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد بر منحنی رهایی تنش و خصوصیات ویسکوالاستیک کیک موردبررسی قرار گرفت.

## ۲-۴- مدل‌سازی رفتار رهایی تنش

در کرنش‌های پایین (در دامنه ویسکوالاستیک خطی)، رفتار خمیر مواد غذایی را می‌توان به خوبی با مدل‌های مکانیکی مانند فنر<sup>۳</sup> و ضربه‌گیر<sup>۴</sup> (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

همکاران (۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج کار این پژوهشگران نشان‌داد که هر سه مدل به کار رفته برای برازش داده‌ها مناسب بوده و مدل ماکسول تعمیم‌یافته برازش داده‌ها را با دقت بالاتری انجام داد [۱۸]. خصوصیات رئولوژیکی ویسکوالاستیکی نان و کیک تحت تأثیر نوع مواد اولیه و فرمولاسیون آن می‌باشد و این خصوصیات بر کیفیت محصول نهایی اثر می‌گذارد. بر اساس نتایج انتشاریافته از میان این سه مدل مکانیکی، مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته جهت بررسی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی توصیه شده‌اند [۱۸، ۱۹]. در این مطالعه اثر افزودن صمغ گزانتان در چهار سطح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد به فرمولاسیون کیک اسفنجی حاوی هویج بر رفتار ویسکوالاستیکی کیک اسفنجی با استفاده از آزمون رهایی تنش بررسی و داده‌های به دست آمده با مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته تعادلی برازش شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه پودر هویج

پودر هویج به روش صالحي و همکاران [۳] تهیه شد. ابتدا هویج تازه (*Daucus carota*) به‌طور عمودی به برش‌هایی به ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شد. سپس برش‌های هویج توسط سامانه مادون‌قرمز - هوای داغ با توان ۲۵۰ وات در فاصله ۵ سانتی‌متری از نمونه‌ها، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد هوای داغ با سرعت جریان ۱ متر بر ثانیه خشک کردن شدند. برش‌های خشک‌شده هویج آسیاب شده و سپس با استفاده از الک با مش ۵۰ غربال شدند.

### ۲-۲- تهیه کیک هویج حاوی صمغ گزانتان

فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی تهیه‌شده در این پژوهش در جدول ۱ گزارش شده است. 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 سی‌سی از آب اضافه و دو دقیقه هم زده شد. همه موارد 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 صمغ گزانتان در چهار سطح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و

1. Oven toaster, Noble, Model:KT-45XDRC  
 2. Texture analyzer, TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK  
 3. spring  
 4. dashpot

$$\%SR = \frac{F_0 - F_{t=20}}{F_0} \times 100 \quad (\xi)$$

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 ویرایش ۱/۳۴ استفاده شد.

آزمایشگاهی را مورد برآزش قرار دهد [۲۱]. در این مطالعه از دو مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته برای برآزش داده‌های رهایی تنش استفاده شد.

معادله مربوط به مدل تعمیم‌یافته ماکسول با فنر اضافی توسط رابطه زیر ارائه می‌شود [۲۱]:

(۱)

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

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- اثر صمغ گزانتان 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 مشاهده می‌شود. اثر صمغ گزانتان در فرمولاسیون کیک اسفنجی حاوی هویج بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش در شکل ۱ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقادیر نیروی حاصل از رهایی تنش در طی زمان کاهش یافته است. مقدار نیروی مشاهده شده در کیک هویج در طول رهایی تنش با افزایش درصد صمغ گزانتان کاهش یافته است که نشان دهنده نرم شدن بافت کیک و بهبود خصوصیات بافتی کیک با افزودن صمغ است [۱، ۲۳].

مقدار نیروی اولیه ( $F_0$ ) مربوط به داده‌های آزمایش رهایی تنش نمونه‌های کیک هویج حاوی درصد‌های مختلف صمغ گزانتان در جدول ۲ گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش درصد صمغ گزانتان، مقدار نیروی اولیه کاهش یافته است. با افزایش درصد صمغ گزانتان از ۰ به ۰/۷۵ درصد، مقدار نیروی اولیه از ۲۵/۹۴ به ۱۳/۳۱ نیوتن کاهش یافت که حاکی از نرم شدن بافت کیک با افزودن صمغ گزانتان به فرمولاسیون کیک هویج است. کاهش  $F_0$  با افزایش درصد صمغ گزانتان، به دلیل افزایش تشکیل حفرات ریز و افزایش خلل و فرج در ساختمان کیک و کاهش مقاومت لایه‌ها در برابر نیروی وارده است [۱، ۹، ۲۳].

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 جمله‌ی اول در مدل سه‌جزئی ماکسول بیش‌ترین سهم را در توصیف رفتار مدل دارد، مقادیر جزء الاستیک و زمان رهایی ( $F$  و  $\lambda$ ) مربوط به آن در تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸، ۲۲].

جمله‌ای که دارای بیش‌ترین مقدار جزء الاستیک و زمان رهایی به عنوان زمان رهایی تنش در نظر گرفته شد [۲۲]. 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<sup>۱</sup> می‌باشند و  $\lambda_1$ ،  $\lambda_2$ ،  $\lambda_3$  زمان‌های رهایی می‌باشند. مدل دو پارامتری پلگ-نورمند به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود [۲۱]:

$$\frac{F_0 t}{F_0 - F(t)} = k_1 + k_2 t \quad (2)$$

$F_0$  نیروی اولیه،  $F(t)$  نیروی لحظه‌ای در زمان  $t$  و  $k_1$  (ثابته) و  $k_2$  (بدون 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<sup>۲</sup> 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.

$$\text{Relative force (RF)} = \frac{F(t)}{F_0} \quad (3)$$

همچنین درصد رهایی تنش (%SR) از طریق رابطه ۴ محاسبه شد [۲۱]:

1. decay forces  
2. Relative force (F(t)/F<sub>0</sub>)

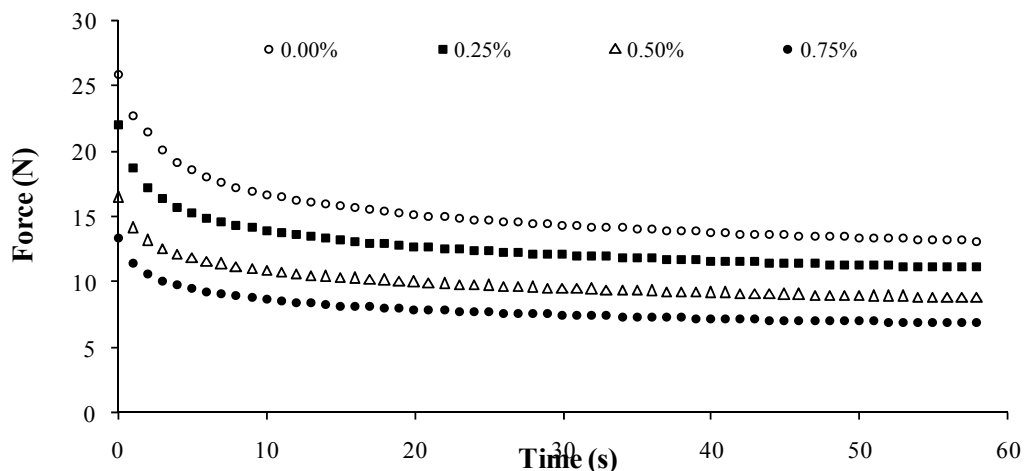


Fig 1 The effect of xanthan gum on stress relaxation test of carrot cake

### ۲-۳- اثر صمغ گزانتان بر مقدار نیروی نسبی

شکل ۲ نشان دهنده مقدار نیروی نسبی به دست آمده از منحنی‌های رهایی تنش کیک هویج حاوی درصدهای مختلف صمغ گزانتان است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقادیر نیروی نسبی در طی زمان کاهش یافته است. همچنین مقادیر نیروی نسبی در کیک هویج در طول رهایی تنش با افزایش درصد صمغ گزانتان افزایش یافته است. بیشترین مقادیر نیروی نسبی مربوط به کیک حاوی ۰/۷۵ درصد صمغ گزانتان است.

Table 2 The effect of xanthan gum on initial force ( $F_0$ ) value of carrot cake

Xanthan gum (gr)	$F_0$ (N)
0.0	25.94
0.25	21.97
0.5	16.47
0.75	13.31

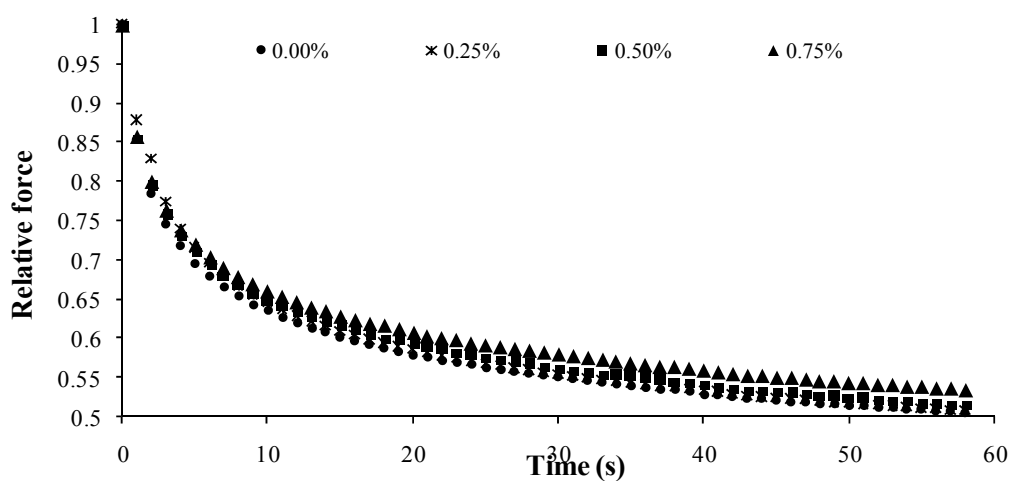


Fig 2 The effect of xanthan gum on relative force of carrot cake

## ۳-۳- اثر صمغ گزانتان بر پارامترهای مدل

## پلگ- نورمند

جهت محاسبه ضرایب مربوط به مدل پلگ- نورمند ابتدا نیروی نرمال شده محاسبه گردید و سپس مقادیر  $k_1$  و  $k_2$  از روی عرض از مبدأ و شیب آن‌ها محاسبه گردید. مقادیر نیروی

نرمال شده کیک هویج حاوی صمغ گزانتان در شکل ۳ به نمایش درآمده است. با افزایش درصد صمغ گزانتان در کیک هویج مشاهده می‌شود که نیروی نرمال شده افزایش یافته است. همانطور که ملاحظه می‌شود شیب خط نمودار نیروی نرمال در برابر زمان با افزایش درصد صمغ گزانتان افزایش یافته است.

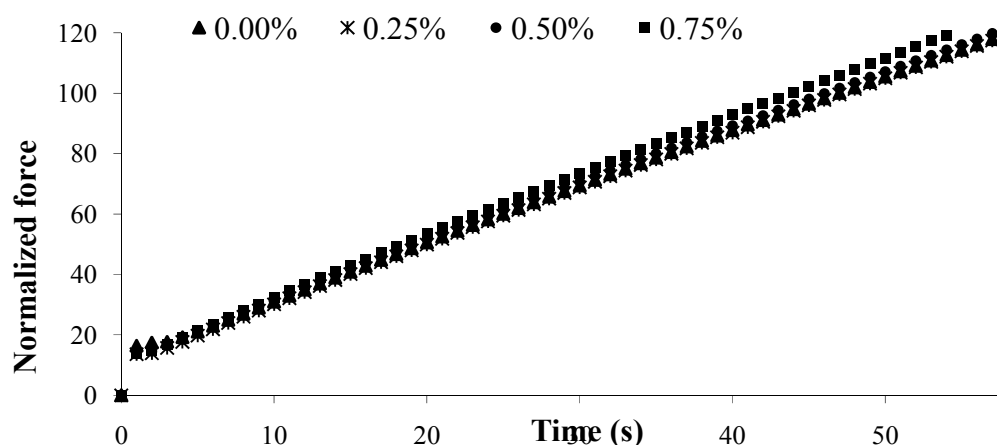


Fig 3 The effect of xanthan gum on normalized force of carrot cake

صمغ گزانتان افزایش یافته است. بیشترین مقدار  $k_1$  مربوط به کیک هویج با ۰/۷۵ درصد صمغ گزانتان است که حالت الاستیکی بیشتری از خود نشان داده و بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۲ مشاهده گردید که نرم‌تر نیز می‌باشد و توانایی بیشتری برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش از خود نشان داد.

مقدار  $k_2$  نشان‌دهنده درجه جامد بودن یک ماده غذایی است و مقدار آن بین ۱ تا بی‌نهایت متغیر است. با توجه به اینکه نمونه‌های با غلظت بالاتر صمغ حالت الاستیک بیشتری از خود نشان داده‌اند ( $k_1$  بالا)، مقادیر  $k_2$  به دست آمده برای آن‌ها نیز بالاتر است. سینگ و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند که مقدار  $k_2$  معرف بهتری برای طبیعت الاستیک مواد غذایی است [۱۷]. مقدار  $k_2$  همچنین نشان‌دهنده درجه استحکام و به هم پیوستگی بافت نیز می‌باشد [۲۱].

پارامترهای برازش شده مدل پلگ- نورمند با استفاده از داده‌های رئی تنش کیک هویج در درصد‌های مختلف صمغ گزانتان 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 پیش بین نمود. ضریب تبیین ( $R^2$ ) بالا و خطای استاندارد<sup>۱</sup> (SE) پایین محاسبه شده حاکی از مناسب بودن مدل پلگ- نورمند جهت بررسی رفتار رئی از تنش کیک هویج حاوی صمغ گزانتان می‌باشد. در این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش درصد صمغ گزانتان، مقادیر  $k_2$  که نشان‌دهنده شیب نمودار نیروی نرمال شده در برابر زمان هست، افزایش یافته است.

مقدار بالای  $k_1$  نشان‌دهنده رفتار الاستیک در مواد غذایی است. با توجه به اینکه مقادیر  $k_1$  در غلظت ۰/۷۵ درصد بیشتر از ۰ درصد است، لذا مقدار الاستیسیته کیک‌ها با افزایش درصد

1. Standard error

**Table 3** Fitted parameters of the Peleg-Normand model using stress relaxation data of carrot sponge cakes contain different levels of xanthan gum

Xanthan gum (%)	$K_2$	$K_1(s)$	R	SE
0.0	1.87	10.22	0.998	1.80
0.25	1.89	10.93	0.998	1.68
0.50	1.92	11.82	0.999	1.84
0.75	2.01	12.01	0.998	1.87

در تمامی نمونه‌های مورد آزمایش مقدار تنش تعادلی بزرگ‌تر از صفر می‌باشد؛ به عبارت دیگر تنش در کیک اسفنجی باقی‌مانده که مقدار آن بعد از گذشت زمان نگهداری (۶۰ ثانیه) تقریباً ثابت می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که کیک مورد آزمایش همانند جامد ویسکوالاستیک رفتار می‌کند. با توجه به نتایج جدول ۴ مقدار نیروی تعادلی برای درصدهای ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ به ترتیب برابر ۱۱/۴۵، ۱۰/۳۹، ۸/۲۸ و ۶/۴۲ نیوتن می‌باشد. روند تغییرات نیروی تعادلی ( $F_4$ ) هم‌راستا با نیروی اولیه ( $F_0$ ) بوده که نشان‌دهنده این است که با کاهش نیروی اولیه جهت ایجاد کرنش ثابت در کیک هویج، مقدار نیروی تعادلی ذخیره در محصول کاهش می‌یابد.

بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک مواد غذایی به روش رهایی تنش توسط سایر محققان نیز بررسی شده است. حسن و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که مدل ماکسول تعمیم‌یافته برای پیشگویی داده‌های تجربی رفتار ویسکوالاستیک مواد غذایی مناسب می‌باشد [۱۸].

با توجه به ضرایب تبیین و خطای پایین محاسبه‌شده با استفاده از مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته (جدول ۳ و ۴)، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو مدل جهت بررسی رفتار رهایی تنش کیک هویج حاوی صمغ گزانتان مناسب می‌باشند و اما با توجه به تئوری مطرح‌شده ماکسول تعمیم‌یافته و پارامترهای موجود در این مدل، استفاده از این مدل جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک این کیک توصیه می‌شود. سایر محققان نیز در بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک و نان گزارش نموده‌اند که مدل ماکسول تعمیم‌یافته به خوبی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی را پیش‌بینی می‌نماید و برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد [۱۸، ۱۹].

### ۳-۴- اثر صمغ گزانتان بر پارمترهای مدل

#### ماکسول

مدل مکانیکی ماکسول تعمیم‌یافته برای بررسی و مقایسه رفتار رهایی تنش کیک هویج حاوی صمغ گزانتان استفاده و ضرایب مربوطه بعد از برازش مدل با داده‌های آزمایشگاهی رهایی تنش، در جدول ۴ گزارش شد. عناصر الاستیک در المان‌های ماکسول را می‌توان توسط نیروهای کاهش ( $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$ ) نشان‌داد که به طور غیرمستقیم جامدیت (سختی) ماده مورد آزمایش را نشان می‌دهند. زمان‌های رهایی ( $\lambda_1$ ،  $\lambda_2$  و  $\lambda_3$ ) به عنوان زمان‌هایی تعریف می‌شوند که طول می‌کشد تا ماکرو مولکول‌ها بعد از تغییر شکل منبسط شوند. زمان‌های رهایی عبارت‌اند از نسبت ویسکوزیته جزء دسپات به مدول الاستیسیته جزء فنر. براساس نتایج جدول ۴، با افزایش درصد صمغ گزانتان، مجموع نیروهای کاهش ( $F_1+F_2+F_3$ ) کاهش یافته است که نشان‌دهنده افزایش الاستیسیته کیک هویج با افزایش درصد صمغ گزانتان است. وو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند که کاهش مجموع مقادیر  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  به عنوان اجزاء الاستیک در مدل ماکسول، ناشی از افزایش ویژگی الاستیسیته ماده‌ی تحت آزمایش است [۲۱].

کاهش تنش در مواد ویسکوالاستیک به تدریج صورت گرفته و بسته به ساختار مولکولی ماده در یک زمان معین متوقف می‌شود. این کاهش نیرو تا یک تنش یا نیروی تعادلی ( $F_4$ ) که بزرگ‌تر از صفر می‌باشد، ادامه می‌یابد. 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،

**Table 4** Fitted parameters of the Maxwell model using stress relaxation data of carrot sponge cakes contain different levels of xanthan gum

Xanthan gum (%)	$F_1(N)$	$F_2(N)$	$F_3(N)$	$F_4(N)$	$\lambda_1(s)$	$\lambda_2(s)$	$\lambda_3(s)$	R	SE
0.0	3.29	5.83	4.38	11.45	11.51	2.76	59.92	0.999	0.03
0.25	3.60	3.71	4.25	10.39	0.93	4.58	32.10	0.999	0.01
0.50	3.15	2.29	2.72	8.28	31.88	0.76	4.34	0.999	0.01
0.75	1.87	2.26	2.74	6.42	0.76	4.22	31.29	0.999	0.01

## ۴- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش مدل‌سازی اثر صمغ گزانتان بر خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر هویج انجام گرفت. نشان‌دهنده آن که کیک اسفنجی غنی‌شده با هویج یک جامد ویسکوالاستیک محسوب شده و خصوصیات ویسکوز و الاستیک آن از تغییرات ایجاد شده در ترکیبات شیمیایی آن در اثر افزودن صمغ گزانتان 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 صمغ گزانتان کاهش یافت. مقادیر نیروی نسبی و درجه الاستیسیته در کیک‌ها در طول آزمون رهایی تنش با افزایش درصد صمغ گزانتان افزایش یافت. با توجه به ضرایب تبیین بالا، خطای استاندارد پایین و پارامترهای موجود در مدل ماکسول تعمیم‌یافته، استفاده از این مدل جهت بررسی رفتار رهایی تنش و خصوصیات ویسکوالاستیک کیک هویج حاوی صمغ گزانتان تولید شده در کارخانجات کیک و کلوچه توصیه می‌شود.

## ۵- منابع

- (*Salvia macrosiphon*), Journal of Food Measurement and Characterization. 11, 2006-2012.
- [7] Salehi, F., Kashaninejad, M. 2014. Effect of Different Drying Methods on Rheological and Textural Properties of Balangu Seed Gum, *Drying Technology*. 32, 720-727.
- [8] Gomez, M., Ruiz-París, E., Oliete, B., Pando, V. 2010. Modeling of texture evolution of cakes during storage, *Journal of texture studies*. 41, 17-33.
- [9] Shokri Busjin, Z. Evaluation of relationship between structure, operational and rheological properties of tragacanth gum and comparison with Arabic gum and its utilization in a cake. in: *Food science and technology*, Isfahan University of Technology, 2004.
- [10] Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., Rosell, C. M. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes, *Food Hydrocolloids*. 21, 167-173.
- [11] Gómez, M., Ruiz, E., Oliete, B. 2011. Effect of batter freezing conditions and resting time on cake quality, *LWT-Food Science and Technology*. 44, 911-916.
- [12] Sowmya, M., Jeyarani, T., Jyotsna, R., Indrani, D. 2009. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes, *Food Hydrocolloids*. 23, 1827-1836.
- [13] Rosell, C., Rojas, J., De Barber, C. B. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality, *Food Hydrocolloids*. 15, 75-81.
- [14] Rodríguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A., Cuvelier, G. 2009. Stress relaxation of reconstituted cassava dough, *LWT-Food Science and Technology*. 42, 202-206.
- [15] Sahin, S., Sumnu, S. G. 2006. *Physical properties of foods*, Springer Science & Business Media,
- [16] Yadav, N., Roopa, B., Bhattacharya, S. 2006. Viscoelasticity of a simulated polymer and comparison with chickpea flour doughs, *Journal of Food Process Engineering*. 29, 234-252.
- [17] 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, 383-392.
- [1] Hajmohammadi, A., Keramat, J., Hojjatoleslami, M., Molavi, H. 2014. Evaluation effect of tragacanth gum on quality properties of sponge cake, *Food science and technology*. 42, 1-7.
- [2] 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, 710-722.
- [3] Salehi, F., Kashaninejad, M., Akbari, E., Sobhani, S. M., Asadi, F. 2016. Potential of Sponge Cake Making using Infrared-Hot Air Dried Carrot, *Journal of texture studies*. 47, 34-39.
- [4] Bhat, M. A., Bhat, A. 2013. Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake, *Journal of Food Processing & Technology*. 4, 4-9.
- [5] 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.
- [6] Salehi, F. 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum



- enriched steamed bread: stress relaxation and texture profile analysis, *Journal of Food and Drug Analysis*. 20, 133-142.
- [22] 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, 192-198.
- [23] Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., Bekaert, D. 1996. A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid, *Food Hydrocolloids*. 10, 375-383.
- [18] Hassan, B., Alhamdan, A., Elansari, A. 2005. Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity, *Journal of Food Engineering*. 66, 439-445.
- [19] Vozáry, E., Mészáros, P. Effect of mechanical stress on apple impedance parameters. in: 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography, Springer, 2007, pp. 118-121.
- [20] Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, F., Najafi, A. 2016. Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom, *Journal of food science and technology*. 53, 1418-1423.
- [21] Wu, M.-Y., Chang, Y.-H., Shiau, S.-Y., Chen, C.-C. 2012. Rheology of fiber-

## Modeling of Xanthan Gum Effect on Textural Properties of Carrot Cake

Salehi, F. <sup>1\*</sup>, Kashaninejad, M. <sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Department of Food Industry Machines, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Professor, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2017/01/04 Accepted:2017/02/05)

Carrot is a rich source of  $\beta$ -carotene, thiamine, riboflavin, fiber and minerals for enrichment of sponge cake. Addition of hydrocolloids on cake formulation improved the sensory and textural properties. For modeling xanthan gum effect on viscoelastic properties of sponge cake enriched with carrot powder, stress relaxation test was done. In this study firstly to increase textural properties of carrot sponge cake, xanthan gum at four levels 0, 0.25, 0.50 and 0.75 %, were added to formulation. After preparing of cakes, stress relaxation test was done by a texture analyzer and coefficients of the Peleg-Normand and the extended Maxwell models were calculated. The results showed that with increasing xanthan gum, initial force and balance force values were decreased 48.69% and 43.93%, respectively. The parameters of Peleg-Normand model include  $k_1$  and  $k_2$  increased with increasing in xanthan gum percent that indicated increasing in elasticity of the cake. The cakes show solid viscoelastic behavior and by increasing xanthan gum percent, total reduced forces ( $F_1+F_2+F_3$ ) of generalized Maxwell model decreased that reflects the increasing the elasticity. The results of stress relaxation modeling of experimental data by Peleg-Normand and the extended Maxwell models showed that the Maxwell model has more efficient to evaluation of viscoelastic properties of carrot cake with xanthan gum.

**Keywords:** Hydrocolloid, Modeling, Sponge cake, Stress relaxation Test, Xanthan gum.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: