



نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی

جلد ششم، شماره اول، ۹۳

۱-۱۷

<http://ejfpp.gau.ac.ir>



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## بررسی اثر جایگزینی کنجاله بادام بر خصوصیات ویسکوالاستیک کیک برنجی

عبدالستار عوض صوفیان<sup>۱</sup>، مهران اعلمی\*<sup>۲</sup> و هادی باقری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup>دانشیار، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۳</sup>دانشجوی دکترا، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۸

### چکیده

به منظور بررسی اثر جایگزینی کنجاله بادام بر خواص ویسکوالاستیک کیک برنجی آزمون رهایی تنش انجام گرفت. پس از آماده سازی نمونه (پنج نمونه مختلف از نظر میزان کنجاله بادام (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)، آزمایش رهایی تنش با استفاده از دستگاه بافت سنج در ۵ سطح (۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰٪) انجام گردید. ثابت‌های مربوط به مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته برای متغیرهای مورد نظر محاسبه شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کرنش مقدار  $K_1$  و  $K_2$  و نیروهای کاهشی افزایش یافت از این رو کیک برنجی در کرنش‌های بالا از درجه الاستیسیته بالاتری برخوردار است. در حالی که در کرنش‌های پائین رفتار کیک بیشتر ویسکوز بوده و مقدار الاستیسیته کاهش می‌یابد. جایگزینی کنجاله بادام تا ۱۰ درصد، باعث کاهش مقدار نیروی اولیه ( $F_0$ ) و کاهش پارامترهای مدل پلگ-نورمند ( $K_1$  و  $K_2$ ) و پارامترهای مدل ماکسول تعمیم یافته (مجموع  $F_a$ ،  $F_b$  و  $F_c$ ) شد. در سطوح بالاتر جایگزینی، مقدار این پارامترها افزایش یافت. بنابراین با افزایش سطح جایگزینی کنجاله بادام تا ۱۰ درصد، رفتار رئولوژیکی کیک نشان‌دهنده رفتار ویسکوالاستیکی شبه مایع گردید اما در سطوح بالاتر جایگزینی، رفتار خمیر بیشتر متمایل به شبه جامد شد. برازش داده‌های تجربی با مدل‌های پلگ نورمند و ماکسول نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل ماکسول برای برازش داده بود.

**واژگان کلیدی:** خصوصیات ویسکوالاستیک، کیک برنجی، کنجاله بادام، مدل ماکسول، مدل پلگ-

نورمند

\*نویسنده مسئول: [mehranalami@gau.ac.ir](mailto:mehranalami@gau.ac.ir)

## مقدمه

آزمون رهایی تنش<sup>۱</sup> یکی از مقبول ترین روش های تعیین رفتار ویسکوالاستیکی مواد غذایی می باشد، زیرا به سادگی و با استفاده از دستگاه های بافت سنج قابل سنجش و اندازه گیری است (ساندوال و همکاران، ۲۰۰۹). این آزمون به طور گسترده ای برای بررسی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی به کار می رود. در این آزمون نمونه تحت یک تغییر شکل سریع و از پیش تعیین شده قرار می گیرد، سپس مقادیر تنش به عنوان تابعی از زمان در یک تغییر شکل ثابت اندازه گیری می شود (شاهین و سومنا، ۲۰۰۶؛ یادو و همکاران، ۲۰۰۶). اندازه و سرعت کاهش تنش پس از اعمال کرنش مورد نظر، وابسته به ساختار ملکولی ماده غذایی و مقدار کرنش اعمال شده است. معمولاً مقدار تنش باقیمانده<sup>۲</sup> بعد از سپری شدن زمان آزمون در مواد ویسکوالاستیک جامد عددی بزرگتر از صفر می باشد، در حالی که در مواد ویسکوالاستیک مایع مقدار تنش باقیمانده برابر صفر است.

رائو و همکاران (۲۰۰۰) به منظور بررسی خواص ویسکوالاستیکی خمیر نان گندم از آزمون رهایی تنش استفاده کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که خمیر تهیه شده از آرد قوی (دارای پروتئین بالاتر) نسبت به خمیر تهیه شده از آرد ضعیف داری مدول رهایی بزرگتری است. این محققان بیان داشتند که هر چه قدر مدول رهایی بیشتر باشد، به همان نسبت خمیر از کیفیت مناسب تری برخوردار است. لی و همکاران (۲۰۰۳) رفتار رهایی تنش خمیر و گلو تن و فراکسیون های پروتئین آرد مورد استفاده برای بیسکوئیت و نان را مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهشگران عنوان کردند که براساس توزیع اندازه ملکولی در خمیر، دو فرایند رهایی تنش برای هر خمیر وجود دارد که در زمان های اولیه یک پیک بزرگ و زمان های بعدی یک پیک کوتاه دیده می شود. اما فراکسیون های گلو تن تنها یک فرایند رهایی را از خود به نمایش می گذارند.

رفتار ویسکوالاستیک خمیر آرد گندم و چندین محصول تجاری مانند سوسیس، پنیر و ژله با استفاده از آزمون رهایی تنش توسط سیگ و همکاران (۲۰۰۶) مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که مدل پلگ<sup>۳</sup> دارای حساسیت پائینی در ارتباط با طبیعت ویسکوالاستیک مواد است و باید هنگام استفاده از این مدل دقت بیشتری به خرج داد. سه مدل عمومی به نام های مدل ماکسول تعمیم یافته<sup>۴</sup>،

1- Strees Relaxation

2- Residual stress

3- Peleg model

4- Generalized Maxwell model

پلگ-نورمند<sup>۱</sup> و ناسینویچ<sup>۲</sup> برای بررسی رفتار ویسکوالاستیکی ارقام مختلف خرما در طی مرحله رسیدن توسط حسن و همکاران (۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج کار این پژوهشگران نشان داد که هر سه مدل به کار رفته برای برازش داده‌ها از اعتبار بالای برخوردار بودند، اما مدل ماکسول تعمیم یافته برازش داده‌ها را با دقت بالاتری انجام می‌داد.

همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط محققین مشخص شد که در کرنش‌های پائین (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 تعمیم یافته) تخمین زد (محسنین و مایتال، ۱۹۷۷؛ دیل نوبایل و همکاران، ۲۰۰۷). این در حالی است که در کرنش‌های بالا (در دامنه ویسکوالاستیک غیر خطی) مدل‌های دو پارامتری پلگ و نورمند برای تفسیر داده‌های رهایی تنش مناسب ترند و با دقت بالاتری می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی را مورد برازش قرار دهند (پلگ و نورمند، ۱۹۸۳). از طرفی برازش داده‌ها با مدل پلگ نورمند یک روش سریع و موثر برای ارزیابی داده‌های رهایی تنش محسوب می‌شود (استف، ۱۹۹۶). در این مطالعه از دو مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته برای برازش داده‌های رهایی تنش استفاده شد.

مدل ماکسول که اغلب برای نشان دادن رفتار رهایی تنش مواد کشاورزی استفاده می‌شود شامل یک فنر و یک ضربه‌گیر که به صورت سری متصل شده اند، می‌باشد (شکل ۱-الف). نتایج تجربی نشان می‌دهد که مدل ماکسول ساده به اندازه کافی قادر به توصیف رفتار ویسکوالاستیک خطی نیست. به عنوان مثال اگر یک تنش ثابت (آزمون خزش) در مدل ماکسول به کار رود، مدل تنها رفتار نیوتنی از خود نشان می‌دهد و به طور معمول آنچه در یک آزمون خزش به طور عملی دیده می‌شود، در این مدل دیده نمی‌شود. بنابراین اولاً از این مدل بیشتر برای آزمون رهایی تنش استفاده می‌کنند، ثانیاً برای حل این مشکل و کاربرد برای تمام آزمون‌های ویسکوالاستیکی از مدل تعمیم یافته ماکسول استفاده می‌کنند. از کنار هم قرار گرفتن چند مدل ماکسول ساده، مدل ماکسول تعمیم یافته بدست می‌آید (شکل ۱-ب). از طرفی در مدل ماکسول تعمیم یافته، مقادیر تنش از مقدار اولیه به صفر می‌رسند و تنش تعادلی وجود ندارد، این در حالی است که اکثر مواد ویسکوالاستیک (مخصوصاً ویسکوالاستیک

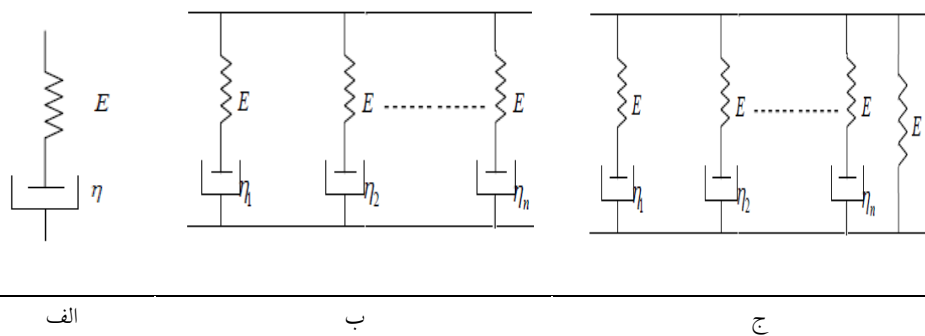
1- Peleg-Normand

2- Nussinovitch

3- Spring

4- Dashpot

شبه جامد) بعد از زمان طولانی رهایی، مقدار تنش به صفر نمی رسد و دارای یک تنش تعادلی است. برای حل این مسئله یک فنر به صورت موازی با مدل ماکسول تعمیم یافته در نظر می گیرند که نشان دهنده مدول رهایی تعادلی (مدل ماکسول تعمیم یافته تعادلی) است (شکل ۱-ج).



شکل ۱- المان و عناصر انواع مدل های مکانیکی (الف- مدل مکانیکی ساده، ب- مدل مکانیکی ماکسول تعمیم یافته، ج- مدل مکانیکی ماکسول تعمیم یافته با فنر اضافی) (تعادلی) (ساندوال و همکاران، ۲۰۰۹)

کیک برنجی یک نوع کیک بدون گلوتن است و با توجه به اینکه برنج یکی از مهمترین غلات مناسب برای تهیه رژیم های غذایی فاقد گلوتن می باشد. بنابراین تولید کیک برنجی از اهمیت زیادی برخوردار است از طرفی برنج دارای خواص تغذیه ای منحصر به فرد، ضدحساسیت، بی رنگ، دارای طعم دلپذیر و دارای مقادیر کم سدیم، پروتئین، چربی، فیبر و مقادیر زیاد کربوهیدرات های با قابلیت هضم بالاست. از این رو استفاده از آن در غذاهای کودک، پودینگ ها و کیک های بدون گلوتن غذا افزایش یافته است (گجرال و همکاران، ۲۰۰۳).

با در نظر گرفتن اینکه، کنجاله بادام یک محصول جانبی کارخانه تولید روغن کشی بادام است و کنجاله بادام یک ماده غذایی سرشار از مواد مغذی است و منبع غنی از ویتامین E، فیبر رژیمی، ویتامین های گروه B و مواد معدنی ضروری مانند منیزیم، مس، منگنز، کلسیم و پتاسیم می باشد (یادا و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین جایگزینی کنجاله بادام به جای آرد برنج، از یک طرف منجر به افزایش ارزش تغذیه ای کیک برنجی شده و از طرفی دیگر، کنجاله بادام که به عنوان یک محصول جانبی در تولید روغن بادام مطرح است، مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجا که پروتئین و نشاسته نقش عمده ای

در کیفیت نهایی کیک دارند، از این رو جایگزینی آرد برنج با کنجاله بادام بر خصوصیات رئولوژی و ویسکوالاستیکی خمیر آرد جایگزین شده تاثیر گذاشته، در نتیجه بر کیفیت محصول نهایی اثر می‌گذارد (ساتا و همکاران، ۱۹۸۱؛ الیسون، ۱۹۹۰؛ سینگ و رام، ۱۹۹۰). بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر جایگزینی کنجاله بادام بر رفتار ویسکوالاستیکی کیک برنجی با استفاده از آزمون‌های رهایی تنش و برازش داده‌های رهایی تنش با مدل ماکسول تعمیم یافته تعادلی و مدل پلک-نورمند می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**مواد:** مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه کیک برنجی شامل، آرد برنج (رطوبت ۹/۲ درصد، پروتئین ۸/۴۳ درصد و خاکستر ۰/۴ درصد)، روغن گیاهی، پودر قند، تخم مرغ، آب، پودر آب پنیر، بیکنینگ پودر و آرد کنجاله بادام شیرین (رطوبت ۵/۶ درصد، پروتئین ۲۲/۴ درصد، روغن صفر درصد و خاکستر ۲/۲ درصد) بود. برنج طارم از کارخانه شالی‌کوبی شهرستان گرگان به صورت نیم‌دانه تهیه شد. سپس با استفاده از آسیاب به آرد تبدیل شد. همچنین کنجاله بادام شیرین از شرکت داروسازی گیاه اسانس گرگان تهیه و با استفاده از آسیاب به آرد تبدیل شد. سایر مواد مورد استفاده از فروشگاه‌های معتبر شهرستان گرگان تهیه شدند.

**روش تهیه خمیر و کیک برنجی:** دستور تهیه خمیر کیک بر طبق روش ترابی و همکاران (۲۰۰۸) با کمی تغییراتی در مقدار مواد اولیه که حاوی ۱۰۰ قسمت آرد برنج، ۱۰۰ درصد پودر قند، ۲۵ درصد روغن گیاهی، ۷۰ درصد تخم مرغ تازه، بیکنینگ پودر ۲ درصد و پودر آب پنیر ۲ درصد (همه درصد‌های مواد مورد استفاده در فرمول بر پایه ۱۰۰ درصد آرد برنج) بود. کنجاله بادام در ۵ سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تولید کیک برنجی، ابتدا ترکیبات مورد نظر شامل آرد برنج، کنجاله بادام شیرین، بیکنینگ پودر، پودر آب پنیر به طور کامل با یکدیگر مخلوط شدند. شکر و روغن را در ظرف دیگری مخلوط نموده تا به صورت مایع کرم رنگی در آیند. سپس تخم مرغ‌های زده شده را به مخلوط شکر و روغن اضافه نموده و ۵ دقیقه تا مخلوط شدن کامل همزده می‌شوند. در این مرحله ترکیبات خشک فرمول، به‌طور همزمان به این مخلوط افزوده و به‌مدت ۳ دقیقه با دور پایین همزن، مخلوط می‌شوند. خمیر آماده شده را در قالب‌هایی با اندازه مشخص ریخته و به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۲۰۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در فر گازی پخته شد و پس از سرد شدن

هر یک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلن و در دمای محیط برای انجام آزمون‌ها نگهداری شد (ترابی و همکاران، ۲۰۰۸).

آزمون رهایی تنش: برای انجام آزمون رهایی تنش از دستگاه بافت سنج (Model TA.XT, plus) (شرکت استیل میکروسیستم، انگلستان) استفاده شد. برای اندازه‌گیری رهایی تنش، کیک آماده شده روی صفحه آزمون دستگاه قرار گرفته و با پروب استوانه‌ای با قطر ۱۰۰ میلی‌متر (P/100) آزمون اجرا شد. آزمایشات بدین صورت بود که هر نمونه کیک با سرعت ثابت ۱ میلی‌متر بر ثانیه توسط پروب دستگاه تحت فشار محوری قرار گرفت بعد از اینکه نمونه‌ها به تغییر شکل معین ( کرنش‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) رسیدند، دستگاه با ثابت نگه داشتن مقدار تغییر شکل ایجاد شده در نمونه، مقدار نیروی متناظر با آن (نیروی اعمال از سمت خمیر به پروب دستگاه) را به مدت ۸۰ ثانیه ثبت و منحنی نیرو بر حسب زمان رسم شد (سانداوال و همکاران، ۲۰۰۹). در این آزمون اثر جایگزینی کنجاله بادام در پنج سطح (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) و میزان کرنش در ۵ سطح (۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) بر ویژگی‌های منحنی رهایی تنش، به عنوان مشخصه‌ای از ویژگی‌های ویسکوالاستیک خمیر مورد بررسی قرار گرفت.

مدل‌سازی رفتار رهایی تنش: برای بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک و محاسبه زمان رهایی تنش این محصول، سه مدل عمومی رهایی تنش به نام‌های مدل ماکسول تعمیم یافته، پلگ و ناسینویچ مورد استفاده محققین قرار گرفته است (گائو و همکاران، ۱۹۹۹؛ وزاری و مزاروس، ۲۰۰۷؛ کامپوس و همکاران، ۲۰۱۰). براساس نتایج انتشار یافته از میان این سه مدل مکانیکی، مدل ماکسول تعمیم یافته با بهترین شرایط خواص ویسکوالاستیک خمیر را پیش بینی نمود و برآزش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داده است (وزاری و مزاروس، ۲۰۰۷؛ حسن و همکاران، ۲۰۰۴).

معادله مربوط به مدل تعمیم یافته ماکسول با فنر اضافی توسط رابطه زیر ارائه می‌شود.

$$F(t) = F_a \exp(-t/\lambda_a) + F_b \exp(-t/\lambda_b) + F_c \exp(-t/\lambda_c) + F_e \quad (1)$$

هر کدام از جملات مدل با اندیس‌های  $a$ ،  $b$  و  $c$  نشان داده شده است. تابع زمانی تنش حاصل جمع سه جمله‌ای،  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و یک عدد ثابت مربوط به فنر اضافی است. به دلیل اینکه جمله ی اول در مدل سه جزئی 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 (حسن و همکاران، ۲۰۰۵؛ کامپوس و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به نتایج و پژوهش محققانی همچون محسنین (۱۹۸۶) و کامپوس و همکاران (۲۰۱۰) (که جمله اول مدل را جمله‌ای دانستند که داری بیشترین مقدار جزیی الاستیک و زمان رهایی تنش بوده و مقدار زمان رهایی آن را به‌عنوان زمان رهایی تنش ماده عنوان کردند) ما نیز جمله‌ای که دارای بیشترین مقدار جزء الاستیک و زمان رهایی بوده، را به‌عنوان جمله اول در نظر گرفتیم و زمان رهایی ماده را بر اساس جمله اول تعیین کردیم. بنابراین در این فرمول،  $F(t)$  مقدار نیرو در هر لحظه از زمان،  $F_e$  نشان‌دهنده تنش تعادلی یا تنش باقیمانده (مقدار تنش وقتی که  $t$  به سمت بی‌نهایت میل می‌کند)،  $F_a$ ،  $F_b$ ،  $F_c$  نیروهای کاهشی<sup>۱</sup> می‌باشند و  $\lambda_a$ ،  $\lambda_b$ ،  $\lambda_c$  زمان‌های رهایی هستند. داده‌های تجربی با استفاده از رگرسیون غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات نسخه ۱۱ مورد برازش قرار گرفتند.

همچنین پلگ- نورمند (۱۹۷۰) معادله زیر (۲) که یک مدل دوپارامتری خطی می‌باشد، را برای بررسی و برازش خصوصیات ویسکوالاستیکی ارائه دادند.

$$(F_0 t) / (F_0 - F(t)) = K_1 + K_2 t \quad (2)$$

$F_0$  نیروی اولیه (نیوتن)،  $F(t)$  نیروی لحظه‌ای در هر زمان (نیوتن) و  $K_1$  (بدون بعد) و  $K_2$  (ثانیه) ثابت‌های معادله‌اند. مقدار  $K_1$  و  $K_2$  از روی شیب و عرض از مبدا نمودار نرمال شده نیرو و زمان با استفاده از رگرسیون خطی<sup>۲</sup> بدست می‌آید.

منظور از نمودار نرمال شده نیرو و زمان عبارت است از مدل دوپارامتری پلگ و نورمند که به صورت نمودار نیرو و زمان درآمده است و اصولاً منظور از نیرو نرمال شده همان عبارت اول مدل پلگ-نورمند است.

نیروی نسبی<sup>۳</sup> نیز برای داده‌ای تجربی از طریق فرمول<sup>۳</sup> مورد محاسبه قرار گرفت که  $F_0$  نیروی اولیه (میلی‌گرم) و  $F(t)$  نیروی لحظه‌ای در هر زمان (میلی‌گرم) می‌باشد.

$$RF = F(t) / F_0 \quad (3)$$

- 
- 1- Decay forces
  - 2- Linear regression
  - 3- Relative force

## نتایج و بحث

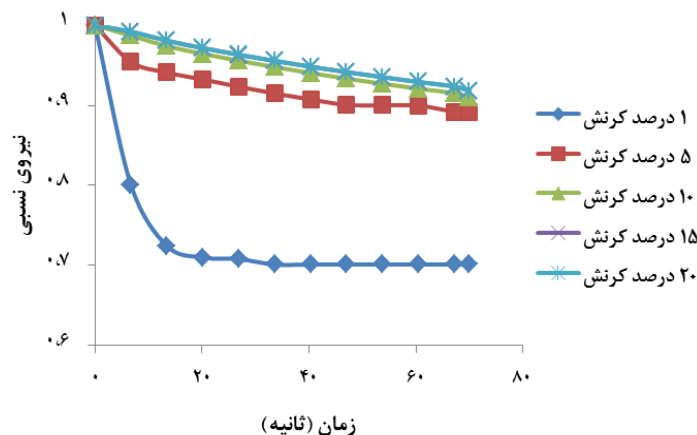
بررسی اثر کرنش و جایگزینی کنجاله بادام بر مقدار نیروی اولیه: داده‌های آزمایش‌های رهایی تنش نمونه‌های کیک برنجی در پنج کرنش مختلف و پنج جایگزینی مختلف کنجاله بادام (که هر کدام در ۳ تکرار انجام شده بود) میانگین‌گیری شدند و سپس مدل‌های ماکسول و پلگ برای بررسی و مقایسه رفتار رهایی تنش آن‌ها استفاده گردید با توجه به ضرایب آورده در جدول ۱ و ۲ و مقایسه  $R^2$  مشاهده شد که مدل تعمیم یافته ماکسول نسبت به مدل پلگ-نورمند برآزش بهتری از خود نشان می‌دهد. نتایج محققان دیگری همچون حسن و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان از برتری مدل تعمیم یافته ماکسول برای پیشگویی داده‌های تجربی رفتار ویسکوالاستیک می‌باشد. خصوصیات ویسکوالاستیک بنیادی مواد غذایی به کرات توسط رهایی تنش اندازه‌گیری شده است. به طور کلی با افزایش جایگزینی کنجاله بادام تا ۱۰ درصد، مقدار  $F_0$  (نیروی لازم برای ایجاد کرنش ثابت در زمان صفر)، به طور نسبی کاهش یافت، اما در سطوح بالاتر،  $F_0$  دوباره افزایش یافت (جدول ۱). کاهش  $F_0$  با افزایش جایگزینی کنجاله بادام تا ۱۰ درصد، احتمالاً به دلیل تشکیل حفرات بزرگ در ساختمان کیک که منجر به انبساط بیشتر هوای داخل حفرات شده و در نتیجه ساختمان کیک در برابر نیروی وارد توسط دستگاه به راحتی تخریب شوند. از طرفی در سطوح بالاتر جایگزینی کنجاله بادام، احتمالاً به دلیل ایجاد تجمع ذرات کنجاله بادام و به دلیل ساختار ذاتی کنجاله بادام نیروی اولیه مورد نیاز برای ایجاد کرنش مورد افزایش می‌یابد. و از طرفی بدیهی است که در همه تیمارها با افزایش کرنش، میزان  $F_0$  افزایش می‌یابد.

بررسی اثر کرنش و جایگزینی کنجاله بادام بر مقدار نیروی نسبی: شکل ۲ نشان‌دهنده منحنی‌های رهایی تنش در کیک برنجی (شاهد) در کرنش بین ۱ تا ۲۰ درصد است. در بیشتر مواد غذایی بعد از به کارگیری یک کرنش ثابت، یک کاهش در مقدار نیرو برای حفظ تغییر شکل قابل مشاهده است. مقدار نیروی باقیمانده نسبی<sup>۱</sup> در کیک برنجی در طول رهایی تنش با افزایش مقدار کرنش افزایش می‌یابد. این نشان‌دهنده این است که کیک برنجی در کرنش‌های پائین رفتار متمایل به شبه مایع بیشتری از خود نشان می‌دهد و با افزایش کرنش، رفتار کیک برنجی متمایل به شبه جامد می‌شود.

---

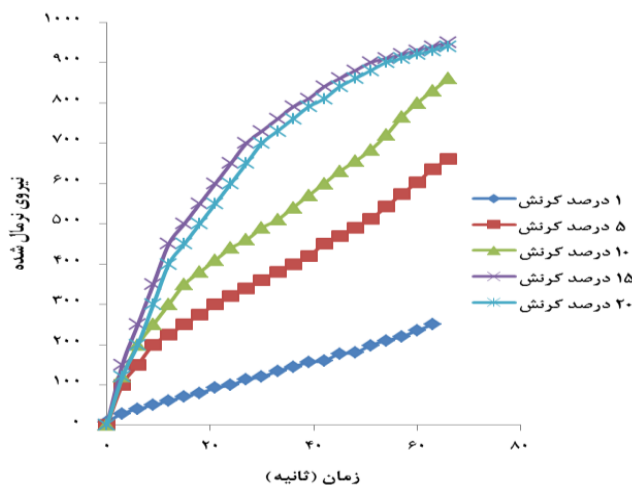
1-Relative residual force





شکل ۲- اثر کرنش‌های مختلف بر مقدار نیروی نسبی در نمونه کیک برنجی (شاهد)

از طرفی با افزایش جایگزینی کنجاله بادام (شکل ۳) نشان دهنده نیروی نرمال شده مدل پلگ-نورمند است که به راحتی مقادیر  $K_1$  و  $K_2$  از روی شیب آن قابل استخراج است.



شکل ۳- منحنی‌های تنش در کیک برنجی (شاهد) در کرنش‌های مختلف (نیوتن)

اثر کرنش و درصد جایگزینی کنجاله بادام بر روی پارامترهای مدل پلگ-نورمند: به‌طور کلی مقدار  $K_1$  در کیک برنجی (جدول ۱) با افزایش مقدار کرنش افزایش می‌یابد اما مقدار  $K_2$  با افزایش کرنش از یک درصد به ۵ درصد افزایش ولی در سطوح بالاتر کرنش رفتار متفاوتی را در نمونه‌های مختلف از خود به نمایش گذاشت. معکوس مقدار  $K_1$  در مدل پلگ-نورمند، نشان دهنده اندازه و نرخ کاهش

نیروی اولیه<sup>۱</sup> است. و مقدار  $K_1$  بالا نشان‌دهنده پائین بودن نرخ کاهش نیروی اولیه است؛ بنابراین مقدار بالای  $K_1$  نشان‌دهنده رفتار الاستیک در مواد غذایی است. از این رو با افزایش کرنش و افزایش مقدار  $K_1$ ، کیک برنجی توانایی بیشتری برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش از خود نشان داد. بنابراین، مقدار تنش باقیمانده در کیک برنجی با افزایش کرنش بیشتر شد و کیک رفتار ویسکوالاستیک متمایل به شبه جامد بیشتری از خود به نمایش گذاشت.

مقدار  $K_2$  نشان‌دهنده درجه جامد بودن یک ماده غذایی است و مقدار آن بین ۱ تا بی‌نهایت متغیر است. برای مواد مایع واقعی مقداری برابر با یک و برای الاستیک ایده‌آل که قابلیت‌های ندارند مقدار آن بی‌نهایت است (۱۸). مقدار  $k_2$  با افزایش کرنش از یک درصد به ۱۵ درصد افزایش یافت که این نشان‌دهنده این است که کیک برنجی در کرنش ۱ درصد رفتار متمایل به شبه مایع از خود به نمایش می‌گذارد در حالی که با افزایش کرنش و رسیدن به ۱۵ درصد رفتار کیک برنجی متمایل به شبه جامد می‌شود. از طرفی سینگ و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند که مقدار  $K_2$  معرف بهتری برای طبیعت الاستیک مواد غذایی است بنابراین رفتار کیک برنجی در این مطالعه در کرنش پائین رفتار ویسکوزتری از خود به نمایش گذاشت و با افزایش کرنش رفتار الاستیک غالب شد.

با افزایش درصد جایگزینی کنجاله بادام تا ۱۰ درصد، مقدار  $K_1$  به طور نسبی کاهش یافت، اما در سطوح بالاتر، مقدار  $K_1$  دوباره افزایش یافت. کاهش مقدار  $K_1$  با افزایش مقدار کنجاله بادام تا ۱۰ درصد نشان‌دهنده بروز رفتار ویسکوالاستیک شبه مایع در کیک برنجی است که احتمالاً به دلیل از بین رفتن شبکه داخلی کیک برنجی با افزایش کنجاله بادام است. از طرفی در سطوح بالاتر جایگزینی، رفتار کیک برنجی به دلیل افزایش نسبی مقدار  $K_1$  تمایل به شبه جامد پیدا می‌کند و رفتار الاستیک‌تری از خود به نمایش می‌گذارد. دلیل این رفتار احتمالاً به دلیل ایجاد یک ساختار شبکه مانند ناشی از جایگزینی کنجاله بادام و همچنین به دلیل ساختار ذاتی کنجاله بادام می‌باشد. با افزایش مقادیر کنجاله بادام تا ۱۰ درصد جایگزینی، مقدار  $K_2$  نیز کاهش یافت به طوری که بالاترین مقدار  $K_2$  مربوط به نمونه شاهد در کرنش ۱۵ درصد و پایین‌ترین مقدار  $K_2$  مربوط به نمونه ۱۰ درصد کنجاله بادام در کرنش ۱ درصد بود. مقدار  $K_2$  نشان‌دهنده درجه استحکام و به هم پیوستگی خمیر است (ویو و همکاران، ۲۰۱۲). این بدین معنی است که افزایش جایگزینی کنجاله بادام باعث کاهش به هم پیوستگی کیک

---

1- Initial decay rate

برنجی شد. در سطوح بالاتر جایگزینی دوباره مقدار  $k_2$  افزایش یافت. احتمالاً دلیل این افزایش  $K_2$  به خاطر تشکیل شبکه ناشی از وجود کنجاله بادام است.

**بررسی اثر کرنش و کنجاله بادام بر روی پارمترهای مدل ماکسول:** عناصر الاستیک در المان‌های ماکسول می‌تواند توسط نیروهای کاهشی<sup>۱</sup> ( $F_c$  و  $F_b, F_a$ ) نشان داده شوند که به‌طور غیرمستقیم جامدیت (سختی) ماده مورد آزمایش را نشان می‌دهد. زمان‌های  $\lambda_a, \lambda_b$  و  $\lambda_c$  به‌عنوان زمانی تعریف می‌شود که طول می‌کشد تا ماکرومولکول‌ها منبسط شوند وقتی که تغییر شکل داده‌اند و عبارت است از نسبت ویسکوزیته جزء دشیپات به مدول الاستیسیته جزء فنر می‌باشد (۷). برای برازش خوب مدل به داده‌های حاصل از آزمایش معمولاً ۲ یا ۳ المان مورد نیاز است. براساس نتایج جدول در تمام نمونه‌ها با افزایش کرنش تمام نیروهای کاهشی ( $F_c$  و  $F_b, F_a$ ) افزایش می‌یابند. جدول ۳ مقادیر ضرایب مدل سه جزئی ماکسول را که با استفاده از معادله ی ۱ و روش رگرسیون غیر خطی محاسبه شده برای کیک برنجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش کرنش، این مقادیر دارای تغییرات مشخصی است. با توجه به مقدار کرنش اعمال شده در نمونه‌ها، گستره‌ی زمان رهایی بین ۴۸ تا ۲۵۱ ثانیه متغیر بوده و متوسط آن برابر با ۱۵۴ ثانیه است. کاهش تنش (یا نیروی معادل آن) در مواد ویسکوالاستیک به تدریج صورت گرفته و بسته به ساختار مولکولی ماده در یک زمان معین متوقف می‌شود. این کاهش تنش (یا نیرو) تا یک تنش یا نیروی تعادلی ( $F_e$ ) که بزرگتر از صفر می‌باشد ادامه می‌یابد مقدار زمان رهایی بسته به سهم ویژگی ویسکوز یا الاستیک ماده متفاوت است. به‌طوری‌که این زمان برای مواد جامدالاستیک بسیار طولانی ولی برای مواد ویسکوالاستیک بین  $10^{-1}$  تا  $10^{-9}$  متغیر است. به‌طور کلی و با توجه به نتایج جدول ۳ مقدار نیروی تعادلی که محدوده تغییرات آن بین ۰/۰۱۱ تا ۳/۵۱ نیوتن می‌باشد، با افزایش سطح جایگزینی کنجاله بادام تا سطح ۱۰ درصد مقدار آن به‌طور نسبی کاهش یافت و مقدار  $F_0$  (نیروی لازم برای ایجاد کرنش ثابت در زمان صفر) نیز که با مجموع اجزاء نیرو برابر است از ۰/۰۷ تا ۴/۴۵ نیوتن متغیر بوده و دارای روند تغییرات مشابه با  $F_e$  است. در سطوح بالاتر جایگزینی کنجاله بادام مقدار  $F$  مشابه با تغییرات  $F_0$  به‌طور نسبی افزایش یافت. تغییرات خواص ویسکوالاستیک یک ماده با افزایش کرنش می‌تواند بر زمان استراحت تنش یا نیرو و بر مقدار اجزاء الاستیک اثرگذار باشد. کاجونا و همکاران (۱۹۹۸) اظهار نموده‌اند که کاهش مجموع مقادیر  $F_c$  و  $F_b, F_a$  به‌عنوان اجزاء الاستیک در مدل ماکسول حاکی از کاهش ویژگی الاستیسیته‌ی ماده تحت آزمایش است. بررسی تغییرات خواص ویسکوالاستیک کیک

1- Decay Force

عبدالستار عوض صوفیان و همکاران

برنجی نشان داد که تغییر در ویژگی الاستیک یا ویسکوز فقط تحت تأثیر تغییرات اجزاء نیرو یا تنش نیست بلکه به شدت تغییرات اجزاء تنش یا نیرو و زمان استراحت آنها بستگی دارد. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳، در تمامی نمونه‌های مورد آزمایش مقدار تنش تعادلی بزرگتر از صفر می‌باشد. به عبارت دیگر تنشی در کیک برنجی باقیمانده که مقدار آن بعد از گذشت زمان نگهداری (۸۰ ثانیه) تقریباً ثابت می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که کیک برنجی همانند جامد ویسکوالاستیک رفتار می‌کند.

جدول ۱- پارامترهای برازش شده مدل پلک- نورمند با استفاده از داده‌های رهایی تنش در کیک برنجی

$R^2$	$K_2$	$K_1(S)$	$F_0(N)$	درصد کرنش	درصد کنجاله بادام
۰/۸۴۷۶	۳/۰۸۸۵	۷/۷۸۱۶	۰/۱۶	۱	
۰/۸۴۰۷	۸/۰۷۹۷	۱۱۸/۰۲	۰/۷۹	۵	
۰/۸۵۲۴	۹/۱۲۳	۲۴۹/۲۱	۱/۹۵	۱۰	صفر (شاهد)
۰/۸۳۴۱	۹/۹۲۲۱	۳۳۹/۳۱	۳/۰۴	۱۵	
۰/۸۶۴۶	۹/۸۲۵	۴۳۱/۴۹	۴/۲۰۹	۲۰	
۰/۸۹۳۲	۲/۱۲۲۷	۲/۲۶۹۵	۰/۱۲	۱	
۰/۸۳۸۳	۶/۱۴۹۸	۴۶/۱۲۴	۰/۶	۵	
۰/۹۳۳۸	۷/۸۴۳۷	۱۰۶/۶۲	۱/۴۴	۱۰	۵ درصد
۰/۸۳۳۹	۸/۴۶۷۹	۳۳۴/۲۹	۲/۶۶	۱۵	
۰/۸۳۸۳	۷/۵۲۸۳	۳۶۲/۹۹۸	۴/۳۸	۲۰	
۰/۷۲۲۲	۱/۷۷۲۳	۱/۲۵۳	۰/۰۷	۱	
۰/۸۶۶۲	۶/۷۷۳۸	۶۰/۷۸۵	۰/۵۱	۵	
۰/۸۸۰۹	۷/۹۶۸۲	۱۹۳/۹۴	۱/۷۶	۱۰	۱۰ درصد
۰/۸۶۴۲	۷/۵۴۸۶	۲۶۳/۶۵	۲/۸۲	۱۵	
۰/۸۵۷۵	۷/۱۳۰۶	۲۲۶/۷۷	۳/۶۶	۲۰	
۰/۸۱۱۷	۳/۴۳۳۴	۱۳/۶۹۴	۰/۱۶۹	۱	
۰/۸۱۷۱	۸/۲۳۲۵	۱۴۲/۷۶	۰/۸۲	۵	
۰/۸۴۹۱	۸/۱۷۸۱	۳۳۷/۷۵	۱/۶۶	۱۰	۱۵ درصد
۰/۸۱۸۲	۷/۵۳۵۱	۴۱۰/۵۹	۳/۰۹	۱۵	
۰/۷۸۳	۶/۳۵۷۳	۴۱۰/۵۹	۴/۰۷	۲۰	
۰/۸۶۴۳	۲/۲۷۵۷	۱۵/۹۰۴۴	۰/۱۳	۱	
۰/۸۵۲۴	۷/۹۷۴۴	۱۴۹/۴۲	۱	۵	
۰/۸۵۰۴	۷/۷۴۰۱	۲۱۱/۳۶	۱/۵۵	۱۰	۲۰ درصد
۰/۸۰۸	۷/۲۱۵	۳۵۳/۲۱	۳/۰۷	۱۵	
۰/۸۶۴۳	۷/۵۱۳	۳۲۱/۳	۴/۴۵	۲۰	

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی جلد (۶)، شماره ۱، ۱۳۹۳

جدول ۲- پارامترهای برازش شده مدل سه پارامتری ماکسول با استفاده از داده‌های رهایی تنش در کیک برنجی

$R^2$	$\lambda_c$	$\lambda_b$	$\lambda_a$	$F_c$	$F_b$	$F_a$	$F_e$	$F_0$	کرنش	درصد کنجاله بادام
۰/۸۸	۱۲۵	۵۶	۱۲	۰/۰۶۱	۰/۰۳۸	۰/۰۲۴	۰/۰۳۷	۰/۱۶	۱	
۰/۷۵۵	۱۱۳/۶۴	۱۱۴/۹۴	۱۴/۷	۰/۰۶۶	۰/۰۵۷	۰/۰۴۳	۰/۶۲۴	۰/۷۹	۵	
۰/۹۶۰۴	۴۵/۲۴	۲۲۸/۷۸	۲۲۸/۹۳	۰/۰۶۸۳۵	۰/۱۸۸۶	۰/۱۷۷۸	۱/۵۱۵	۱/۹۵	۱۰	۰
۰/۹۸۶۲	۱۰/۱۴۸	۲۳۲/۱۲	۹۱/۵۷	۰/۰۷۱۶۴	۰/۲۹۲۲	۰/۲۶۹۲	۲/۴۰۷	۳/۰۴	۱۵	
۰/۹۹۱۵	۶/۸۳	۱۲۵/۱۸	۹۵/۴۱	۰/۰۸۶۴	۰/۳۴	۰/۳۳۵۹	۳/۴۴۷	۴/۲۰۹	۲۰	
۰/۸۵	۱۱۱	۴۸	۸	۰/۰۴۲	۰/۰۳۴	۰/۰۲۰	۰/۰۲۴	۰/۱۲	۱	
۰/۷۸	۲۷/۴۸	۲۵۱/۶۹	۲۵۱/۸۲	۰/۰۰۶۷۱۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۷۲۱۱	۰/۵۱۳۲	۰/۶	۵	
۰/۹۱۶۸	۳۳	۱۰۵/۶۸	۱۰۵/۷۶	۰/۰۷۲	۰/۰۹۱۵	۰/۱۲۰۷	۱/۱۶	۱/۴۴	۱۰	۵
۰/۹۷۵۹	۱۰/۰۷	۱۵۲	۱۲۹/۷۱	۰/۰۱۲	۰/۲۳۵۹	۰/۲۲۲۵	۲/۱۸	۲/۶۶	۱۵	
۰/۹۹۱۶	۱۳/۲۳	۱۳۹/۳۹	۱۳۹/۴۵	۰/۰۲۳۳۱	۰/۳۹۶۶	۰/۴۰۳۶	۳/۳۵	۴/۸۱	۲۰	
۰/۸۶	۱۰	۶۰	۶	۰/۰۲۰	۰/۰۲۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۷	۱	
۰/۸۶	۲۲۰	۹۴	۱۳	۰/۰۰۶۱۱	۰/۰۷۰۱۱	۰/۰۳۰۰۲	۰/۴۰۳۷	۰/۵۱	۵	
۰/۹۵۲	۲۷/۹۳	۲۵۰/۶۸	۲۵۰/۸۱	۰/۰۳۳۸۳	۰/۲۳۳۸	۰/۲۱۶۴	۱/۲۷	۱/۷۶	۱۰	۱۰
۰/۹۸۳۲	۹/۸۶	۱۲۵/۵۱	۱۲۵/۵۸	۰/۰۰۹۳۵	۰/۲۵۹۹	۰/۲۵۹۹	۲/۲۹	۲/۸۲	۱۵	
۰/۹۵۸۸	۳۲	۲۱۱	۲۱۱/۴۶	۰/۰۳۸۵	۰/۱۹۳۳	۰/۱۸۵۶	۳/۵۰	۳/۹۲	۲۰	
۰/۸۷۵	۳۰	۹۸	۱۸	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۲۱	۰/۰۲۶	۰/۱۷	۱	
۰/۷۸۸۷	۷۵/۹۳	۱۰۹/۳۰	۲۴/۲۹	۰/۰۶۲۶۸	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۵۸	۰/۸۲	۵	
۰/۹۴۴۴	۲۷	۲۶۶/۸۸	۲۶۶/۶۵	۰/۰۳۴	۰/۲۱۴۳	۰/۲۱۴۷	۱/۳	۱/۶۶	۱۰	۱۵
۰/۹۸۳	۳/۷۶	۲۳۷/۳۰	۹۲/۹۳	۰/۰۰۳۹۶۸	۰/۳۰۹۴	۰/۲۹۸۹	۲/۴۷	۳/۰۹	۱۵	
۰/۹۹۹۱	۱۵/۶۱	۱۴۳/۵۷	۹۶/۱۵	۰/۰۱۵	۰/۳۵۰۸	۰/۳۴۶۴	۳/۳۵	۴/۰۷۱۲	۲۰	
۰/۹۲۳۲	۲/۴	۶۰	۵	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۰۲۲	۰/۰۲۸	۰/۲۳	۱	
۰/۸۶۱۷	۵/۸۳	۱۱۰/۶۴	۱۱۰/۷۹	۰/۰۰۴۴۵۵	۰/۱۰۲۴	۰/۰۸	۰/۸	۰/۹۹۹	۵	
۰/۹۴۴۸	۱۱/۷۴	۲۴۱/۷۲	۸۲/۵۷	۰/۰۰۲۹۰۹	۰/۱۷۰۵	۰/۱۴۴۲	۱/۴۳	۱/۷۵	۱۰	۲۰
۰/۹۸۴۱	۷/۹۴	۱۳۵/۶۴	۱۰۱/۹۳	۰/۰۰۶۴	۰/۲۶۶۵	۰/۲۶۲۹	۲/۶۴	۳/۱۷	۱۵	
۰/۹۹۲	۲۲/۱۹	۱۵۷/۳۸	۱۵۷/۳۵	۰/۰۴۵	۰/۴۶	۰/۴۳	۳/۵۱۶	۴/۴۵	۲۰	

### نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج این تحقیق، کیک برنجی یک جامد ویسکوالاستیک محسوب می شود که خصوصیات ویسکوز و الاستیک آن از تغییرات ایجاد شده در ترکیبات شیمیایی کیک برنجی در اثر جایگزینی کنجاله بادام و میزان کرنش اعمال شده تاثیر می پذیرد. با توجه به نتایج بدست آمده، کیک برنجی در کرنش های بالا از درجه الاستیسیته بالاتری برخوردار است این در حالی است که در کرنش های پائین رفتار کیک بیشتر ویسکوز بوده و مقدار الاستیسیته کاهش می یابد. همچنین جایگزینی کنجاله بادام تا ۱۰ درصد به طور نسبی منجر به کاهش خصوصیات الاستیک شده و رفتار کیک متمایل به ویسکوالاستیک شبه مایع می شود و در سطوح بالاتر جایگزینی، رفتار کیک برنجی متمایل به شبه جامد می شود و رفتار الاستیک تری نسبت به سطوح پائین تر جایگزینی از خود نشان می دهد.

### منابع

- AACC International 2010. Physical method 54–21.01. Farinograph method for flour. In AACC international approved methods of analysis (11<sup>th</sup> ed.)
- Bhattacharya, S., Narasimha, H.V., and Bhattacharya, S. 2006. Rheology of corn dough with gum Arabic: stress relaxation and two-cycle compression testing and their relationship with sensory attributes. *Journal of Food Engineering*, 74(1): 89–95.
- Campus, M., Addis M.F., Cappuccinelli, R., Porcu, M.C., Pretti, L., Tedde, V., Secchi, N., Stara, G., and Roggio, T. 2010. Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. *Journal Food Engineering*, 96: 192-198.
- Eliasson, A.C. 1990. Rheological Properties of Cereal Proteins in Dough Rheology and Baked Product Texture. Van Nostrand, Reinhold, 67–110.
- Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V., and Rosell, C.M. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:3814–3818.
- Hassan, B.H., Alhamdan, A.M., and Elansari, A.M. 2005. Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*, 66: 439–445.
- Hatcher, D.W., Bellido, G.G., Dexter, J.E., Anderson, M.J., and Fu, B.X. 2008. Investigation of uniaxial stress relaxation parameters to characterize the texture of yellow alkaline noodles made from durum and common wheats. *Journal of texture studies*, 39: 695-708.

- Janssen, A.M., Vanvliet, T., and Vereijken, J.M. 1996. Fundamental and empirical rheological behaviour of wheat flour doughs and comparison with bread making performance. *Journal of Cereal Science*, 23:43–54.
- Li, W., Dobraszczyk, B.J., and Schofield, J.D. 2003. Stress relaxation behavior of wheat dough, gluten, and gluten protein fractions. *Cereal Chemistry*, 80(3): 333-338.
- Mohsenin, N.N., and Mittal, J.P. 1977. Use of rheological terms and correlation of compatible measurements in food texture research. *Journal of Texture Studies*, 8: 395–408.
- Peleg, M. 1980. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. *Journal of Rheology (1978-present)*, 24: 451–463.
- Peleg, M., and Normand, M.D. 1983. Comparison of two methods for stress relaxation data presentation of solid foods. *Rheological Acta*, 22: 108–113.
- Rao, V.K., Mulvaney, S.J. and Dexter, J.E. 2000. Rheological characterisation of long and short-mixing flours based on stress relaxation. *Journal of Cereal Science*, 31:159-171.
- Sahin, S., and Sumnu, S.G. 2006. *Physical properties of foods*. Springer.
- Sandoval, E.R., Quintero, A.F., and Cuvelier, G. 2009. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. *LWT-Food Science and Technology*, 42:202–206.
- Sathe, S.K., Ponte J.R., Rangnekar, P.D., and Salunkhe, D.K. 1981. Effects of addition of great northern bean flour and protein concentrates on rheological properties of dough and baking quality of bread. *Cereal Chemistry*, 58:97–100.
- Singh, H., Rockall, A., Martin, C.R., Chung, O.K., and Lookhart, G.L. 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.N., and Ram, H. 1990. Effect of phosphorous and sulphur application on protein and amino acid contents in chickpea. *Indian Journal of Pulses Research*, 3: 36–39.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*, (2nd ed.). East Lansing, MI: Freeman Press. 418 p.
- Wu, M.Y., Chang, Y.H., Shiaui, S.Y., and Chen, C.C. 2012. Rheology of Fiber-Enriched Steamed Bread: Stress Relaxation and Texture Profile Analysis. *Journal of Food and Drug Analysis*, 20(1):133-142.
- Turabi, E., Sumnu, G., and Sahin, S. 2008. Rheological properties and quality of rice cake formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22: 305-312.
- Yada, S., Lapsley K., and Huang, G. 2011. A review of composition studies of cultivated almonds: Macronutrients and micronutrients. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24: 469–480.

- Yadav, N., Roopa, B.S., and Bhattacharya, S. 2006. Viscoelasticity of a simulated polymer and comparison with chickpea flour doughs. *Journal of Food Process Engineering*, 29:234–252.
- Vozary, E., and Meszaros, P. 2007. Effect of mechanical stress on apple impedance parameters. *ICEBI, IFMBE Proceedings*, 17: 118-121.



## Evaluation the effect of replacing the almond meal on viscoelastic properties of rice cake

**A.S. Avazsufiyan<sup>1</sup>, M. Aalami<sup>\*2</sup> and H. Bagheri<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, <sup>2</sup>Associate Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, <sup>3</sup>Ph.D. Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

### Abstract

To evaluate the effect of replacing the almond meal on viscoelastic properties of rice cake, stress relaxation test was carried out. Stress relaxation test was carried out to evaluation the effect of adding almond meal in five levels (0, 5, 10, 15 and 20%) and five levels Strain (1, 5, 10, 15 and 20%) respectively with using a texture analyzer machine. Constants of the Peleg - Normand and the extended Maxwell model for variables were calculated. The results showed that with increasing strain rate increased amount of K1, K2 and decay forces, hence the rice cakes is higher elasticity in high strain rate, However at low strain The cake behavior is further viscous and the elasticity amount was decrease. Replacing the almond meal to 10 percent, reducing the amount of initial force, peleg-normand and extended Maxwell model parameters, however in the higher levels replacement the amount of this parameter is increased. Therefore, increasing the replacement level to 10% almond meal, rheological behavior of cake was indicative liquid-like viscoelastic behavior and in the higher levels replacement dough behavior was more amenable to semi-solid. Fitting the experimental data with Peleg Normand and Maxwell models shows the better performance Maxwell model was for fitting data.

**Keywords:** Viscoelastic properties, Rice cake, Almond meal, Maxwell model, Peleg-Normand model.

---

\*Corresponding author; [mehranalami@gau.ac.ir](mailto:mehranalami@gau.ac.ir)

