

اثر جایگزینی پودر هویج با آرد گندم بر خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی

فخرالدین صالحی^{1*}، مهدی کاشانی نژاد²

1- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

2- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: 1396/03/10

تاریخ دریافت: 1395/09/19

چکیده

به منظور بررسی اثر جایگزینی آرد گندم با پودر هویج خشک شده بر خواص ویسکوالاستیک کیک اسفنجی آزمون رهایی تنش انجام گرفت. هویج‌ها در شرایط بهینه خشک شدند و سپس پودر هویج جهت غنی‌سازی کیک اسفنجی در پنج سطح 0، 5، 10، 20 و 30 درصد به عنوان جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون استفاده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، آزمایش رهایی تنش با استفاده از دستگاه بافت سنج (TA-XT Plus, Stable Micro Systems, UK) در طی دوره نگهداری (14 روز) انجام و ضرایب مدل پلگ- نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته محاسبه شدند. نتایج نشان داد با افزایش درصد جایگزینی پودر هویج 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 داده و با افزایش درصد جایگزینی، مجموع نیروهای کاهشی ($F_3 + F_2 + F_1$) مدل ماکسول تعمیم‌یافته افزایش یافت که نشان‌دهنده کاهش الاستیسیته است. نتایج مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی رهایی تنش با مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته نشان داد که مدل ماکسول کارایی بیشتری جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر هویج دارد.

واژه های کلیدی: بافت سنجی، پلگ-نورمند، پودر هویج، رهایی تنش، کیک اسفنجی، ماکسول.

1- مقدمه

تعیین شده قرار می‌گیرد، سپس مقادیر تغییر تنش به عنوان تابعی از زمان در یک تغییر کرنش ثابت اندازه‌گیری می‌شود (7, 8). 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 باقیمانده² بعد از سپری شدن زمان آزمون در مواد ویسکوالاستیک جامد عددی بزرگتر از صفر است (7, 8). جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک‌ها و محاسبه زمان رهایی تنش، سه مدل عمومی رهایی تنش به نام‌های مدل ماکسول تعمیم‌یافته³، پلگ-نورمند⁴ و ناسینویچ⁵ توسط محققین بررسی شده‌اند (9, 10). مدل پلگ-نورمند یک روش سریع و مؤثر برای ارزیابی داده‌های رهایی تنش محسوب می‌شود (11, 12). مدل ماکسول برای نشان‌دادن رفتار رهایی تنش استفاده و شامل یک فنر و یک ضربه‌گیر است که به صورت سری متصل می‌شود. از کنار هم قرار گرفتن چند مدل ماکسول ساده، مدل ماکسول تعمیم‌یافته به دست می‌آید. سه مدل ماکسول تعمیم‌یافته، پلگ-نورمند و ناسینویچ برای بررسی رفتار ویسکوالاستیکی ارقام مختلف خرما در طی مرحله رسیدن توسط حسن و همکاران (2005) 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 (13). 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 (14-16). بر اساس نتایج انتشاریافته از میان این سه مدل مکانیکی، مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته جهت بررسی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی توصیه شده‌اند (9, 13). هدف از این پژوهش بررسی رفتار ویسکوالاستیکی کیک اسفنجی حاوی پودر هویج با استفاده از آزمون رهایی تنش بود. لذا

هویج یک سبزی ریشه‌ای منبع غنی بتاکاروتن و پیش‌ساز ویتامین A می‌باشد. هویج به صورت خام و پخته‌شده در اکثر مرباها، دسرها، سالاد، سوپ‌ها، شوربجیات و غذاها استفاده می‌شود. خشک کردن هویج یکی از روش‌های نگهداری آن محسوب شده و هویج خشک‌شده را می‌توان در انواع مواد غذایی استفاده نمود. این محصول حاوی انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبر بوده و به محصول رنگ مناسبی می‌دهد. پودر هویج جهت غنی‌سازی انواع نان‌ها و کیک‌ها استفاده شده است (1-3). کمبود فیبرهای رژیمی در ساختار کیک اسفنجی، یکی از معایب آن است (4). جهت غنی‌سازی این محصول، از محصولات خشک‌شده مختلفی استفاده شده است. برای مثال ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی کیک غنی‌شده با پودر کدوخلوایی به عنوان جایگزین آرد گندم توسط محققان بررسی شده است (5). همچنین لسی و همکاران (2011) اثر افزودن فیبرهای مغذی و سبوس غلات را به کیک مورد بررسی قراردادند و مشاهده کردند که افزودن فیبرهای مغذی به کیک باعث تولید کیک‌هایی با حجم بیشتر و بافت نرم‌تر نسبت به شاهد شده درحالی‌که افزودن سبوس غلات به کیک باعث تولید کیک‌هایی با حجم کمتر و بافت سخت‌تر نسبت به نمونه شاهد می‌شود (4). صالحی و همکاران (2016) امکان تولید کیک غنی‌شده با پودر هویج را بررسی نمودند. در این مطالعه خصوصیات فیزیکیوشیمیایی، حسی و بافتی کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر هویج بررسی شد. با افزایش پودر هویج به فرمولاسیون کیک از 0 به 30 %، ویسکوزیته ظاهری خمیر کیک از 12/3 به 37/2 پاسکال ثانیه افزایش یافت. با افزایش درصد جایگزینی پودر هویج دانسته، خاکستر و مقدار بتاکاروتن کیک‌ها افزایش یافت (1). آزمون رهایی تنش¹ یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین رفتار ویسکوالاستیکی مواد غذایی می‌باشد و با استفاده از دستگاه بافت سنج قابل‌اندازه‌گیری و بررسی می‌باشد (6). در این آزمون نمونه تحت یک تغییر شکل سریع و از پیش

2-Residual stress

4-Generalized Maxwell model

5-Peleg-Normand

6-Nussinovitch

1-Strees Relaxation

در این مطالعه اثر جایگزینی پودر هویج در پنج سطح 0، 5، 10، 20 و 30 درصد و زمان نگهداری، بر رفتار ویسکوالاستیکی کیک اسفنجی با استفاده از آزمون رهایی تنش بررسی و داده‌های به دست آمده با مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته تعادلی برازش شد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تهیه هویج خشک شده

هویج تازه (*Daucus carota*) با یک چاقوی تیز، به طور عمودی به برش‌هایی به ضخامت 5 میلی‌متر برش داده شدند. بر اساس بررسی منابع مختلف در زمینه خشک کردن هویج و سایر محصولات کشاورزی، جهت خشک کردن نمونه‌های هویج از سامانه مادون‌قرمز-هوای داغ با توان 250 وات در فاصله 5 سانتی‌متری از نمونه‌ها، دمای 60 درجه سانتی‌گراد هوای داغ با سرعت جریان 1 متر بر ثانیه به مدت 110 دقیقه استفاده گردید (1، 17، 18). برش‌های خشک شده هویج آسیاب شده و سپس با استفاده از الک با مش 50 غربال شدند. مقدار رطوبت پودر هویج تهیه شده در محدوده 1-2 درصد بر پایه مرطوب بود.

2-2- تهیه کیک اسفنجی

فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی تهیه‌شده در این پژوهش در جدول 1 گزارش شده است. آرد گندم نول با رطوبت 11/8 درصد، 0/50 درصد خاکستر، 10/4 درصد پروتئین و 17/5 درصد گلوتن مرطوب از شرکت تک ماکارون تهیه شد. ابتدا شکر و روغن به مدت چهار دقیقه توسط همزن برقی مخلوط شدند. سپس تخم‌مرغ در سه مرحله و در مدت‌زمان دو دقیقه به مخلوط اضافه گردید. 15 سی‌سی از آب اضافه و دو دقیقه هم زده شد. همه موارد پودری که از قبل باهم مخلوط و غربال‌شده 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 هویج در پنج سطح 0، 5، 10، 20 و 30 درصد جایگزین آرد کیک شد. سی گرم خمیر درون هر قالب ریخته شد و جهت پخت در آون توستر (Oven toaster, Noble, Model:KT-45XDRC) با دمای 195 درجه سانتی‌گراد و به مدت 20 دقیقه قرار گرفت. کیک‌های پخته‌شده، خنک و سپس در بسته‌های پلی‌پروپیلن عایق نسبت به رطوبت و اکسیژن نگهداری شدند (1).

جدول 1- فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی

ترکیب	محل تهیه	مقدار به گرم
آرد	تک ماکارون، ایران	100
تخم‌مرغ تازه	گرگان، ایران	72
پودر شکر	مشهد، ایران	72
روغن مایع	لادن، بهشهر، ایران	57
پودر آب‌پنیر	پگاه، گلستان، ایران	4
پودر شیر خشک	پگاه، گلستان، ایران	2
بیکینگ پودر	مهسا، تهران، ایران	2
وانیل	شاهسوند، مشهد	0/5
صمغ گزانتان	تجاری، چین	0/25
آب	-	30

2-3- آزمون رهایی تنش

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 λ) مربوط به آن در تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفته است (10, 13). جمله ای که دارای بیشترین مقدار جزء الاستیک و زمان رهایی به عنوان زمان رهایی تنش در نظر گرفته شد (10). بنابراین در این فرمول، $F(t)$ مقدار نیرو در هر لحظه از زمان، F_4 نشان دهنده تنش تعادلی یا تنش باقیمانده (مقدار تنش وقتی که t به سمت بی نهایت میل می کند)، F_1 ، F_2 ، F_3 نیروهای کاهشی⁴ می باشند و λ_1 ، λ_2 ، λ_3 زمان های رهایی می باشند. مدل دو پارامتری پلگ-نورمند به صورت رابطه 2 بیان می شود (21):

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

F_0 نیروی اولیه، $F(t)$ نیروی لحظه ای در زمان t و k_1 (ثانیه) و k_2 (بدون بعد) ثابت های معادله هستند. مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب عرض از مبدأ و شیب نمودار نرمال شده نیرو و زمان می باشند. عبارت اول مدل پلگ-نورمند به عنوان نیروی نرمال شده بیان می شود. نیروی نسبی⁵ نیز برای داده ای تجربی رهایی تنش از طریق رابطه 3 محاسبه شد. F_0 نیروی اولیه و $F(t)$ نیروی لحظه ای در هر زمان می باشد.

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

همچنین درصد رهایی تنش (SR%) از طریق رابطه 4 محاسبه شد (21):

$$\% \text{ SR} = \frac{F_0 - F_{t=20}}{F_0} \cdot 100 \quad (4)$$

در این رابطه، F_0 نیروی اولیه، $F_{t=20}$ نیرو در 20 ثانیه بعد از اعمال کرنش اولیه می باشد. به منظور مدل کردن داده های آزمایشگاهی از نرم افزار Curve Expert ویرایش 1/34 استفاده شد.

برای انجام آزمون رهایی تنش از دستگاه بافت سنج¹ (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) و نرم افزار مربوطه (Texture Expert 1.05) استفاده شد. جهت انجام آزمون رهایی تنش، نمونه ها به روش آزمون فشاری و با پروب با قطر 100 میلی متر (P/100)، با سرعت 1/0 میلی متر بر ثانیه و 50 درصد کرنش به مدت 60 ثانیه تحت تنش قرار گرفتند. دستگاه با ثابت نگه داشتن مقدار تغییر شکل ایجاد شده در نمونه، مقدار نیروی متناظر با آن (نیروی اعمال شده از سمت کیک به پروب دستگاه) را به مدت 60 ثانیه ثبت و منحنی نیرو در برابر زمان رسم شد. در این آزمون اثر جایگزینی هویج در پنج سطح 0، 5، 10، 20 و 30 درصد در روزهای اول و چهاردهم بر منحنی رهایی تنش و خصوصیات ویسکوالاستیک کیک مورد بررسی قرار گرفت (19, 20).

2-4- مدل سازی رفتار رهایی تنش

در کرنش های پایین (در دامنه ویسکوالاستیک خطی)، رفتار خمیر مواد غذایی را می توان به خوبی با مدل های مکانیکی مانند فنر² و ضربه گیر³ (ماکسول و مدل ماکسول تعمیم یافته) تخمین زد و در کرنش های بالا (در دامنه ویسکوالاستیک غیرخطی) مدل دو پارامتری پلگ-نورمند برای تفسیر داده های رهایی تنش مناسب تر بوده و با دقت بالاتری می تواند داده های آزمایشگاهی را مورد برازش قرار دهد (21). در این مطالعه از دو مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته برای برازش داده های رهایی تنش استفاده شد.

معادله مربوط به مدل تعمیم یافته ماکسول با فنر اضافی توسط رابطه زیر ارائه می شود (21):

$$F(t) = F_1 \exp(-t/\lambda_1) + F_2 \exp(-t/\lambda_2) + F_3 \exp(-t/\lambda_3) + F_4 \quad (1)$$

هر کدام از جملات مدل با اندیس های 1، 2 و 3 نشان داده شده است. تابع زمانی تنش حاصل جمع سه جمله ای، 1، 2، 3 و یک عدد ثابت (F_4) مربوط به فنر

1 - Texture analyzer
2--spring
3-dashpot

4-decay forces
5- Relative force (F(t)/F₀)

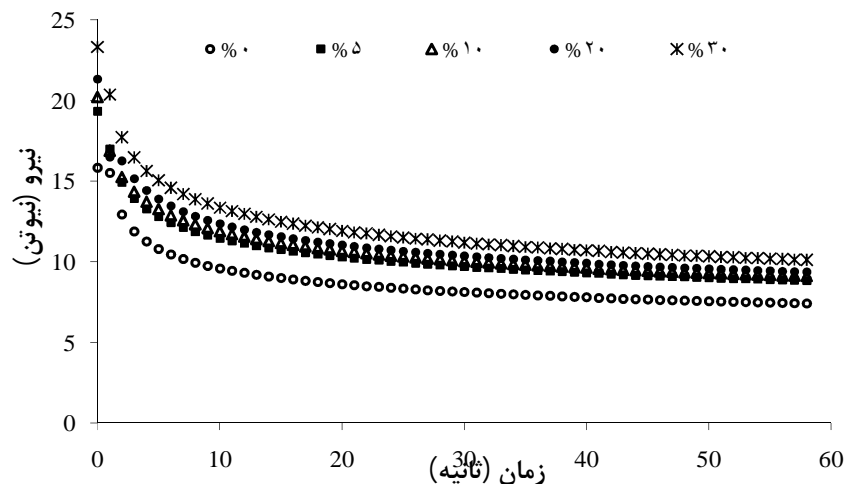
3- نتایج و بحث

3-1- بررسی اثر زمان و جایگزینی هویج بر مقدار

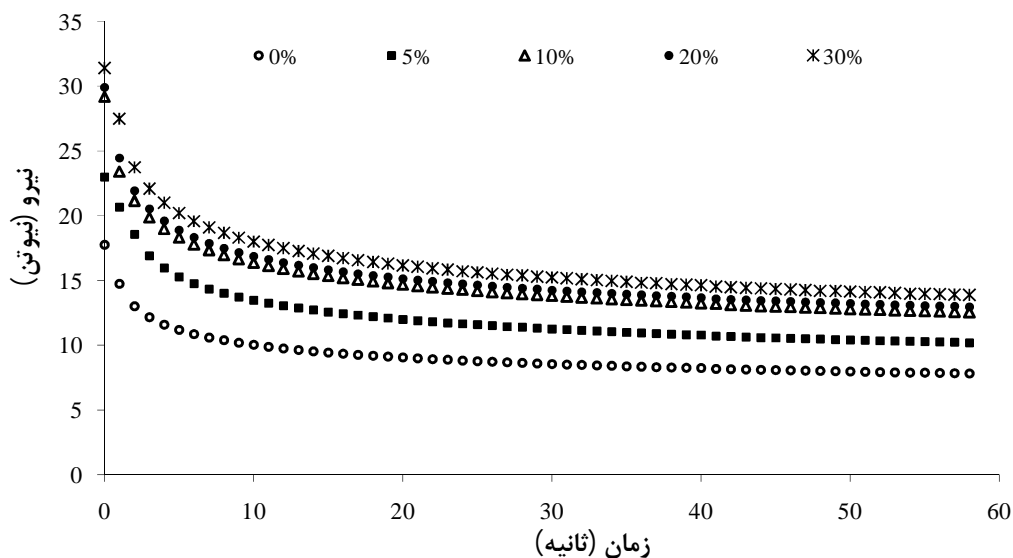
نیروی اولیه

در مواد غذایی جامد و نیمه جامد، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، یک کاهش در مقدار نیرو در طی زمان مشاهده می‌شود. اثر جایگزینی هویج در فرمولاسیون کیک اسفنجی بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش در روزهای اول و چهاردهم به ترتیب در شکل‌های 1 و 2 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 جایگزینی افزایش یافته است. همچنین با مقایسه شکل‌های 1 و 2، 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. مقدار نیروی اولیه مربوط به داده‌های آزمایش رهایی تنش نمونه‌های کیک هویج در روز اول و چهاردهم

و در درصد جایگزینی‌های مختلف در جدول 2 گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش درصد جایگزینی هویج، مقدار نیروی اولیه نیز افزایش یافته است. با افزایش درصد جایگزین هویج از 0 به 30 درصد، مقدار نیروی اولیه روز اول و چهاردهم به ترتیب از 15/84 به 23/33 نیوتن و از 17/76 به 31/40 نیوتن افزایش یافت که حاکی از سفت شدن بافت کیک با افزودن هویج به فرمولاسیون کیک اسفنجی است. همچنین با گذشت زمان کیک‌ها سفت تر شد که مقدار نیروی اولیه به دست آمده نیز این افزایش را نشان می‌دهد. با افزایش مدت نگهداری کیک تا دو هفته، مقدار نیروی اولیه کیک اسفنجی حاوی 30 درصد هویج از 23/33 نیوتن به 31/40 نیوتن افزایش یافت. افزایش F_0 با افزایش جایگزینی هویج، به دلیل تشکیل حفرات ریز و کاهش خلل و فرج در ساختمان کیک و افزایش مقاومت لایه‌ها در برابر نیروی وارده است (1). با گذشت زمان نیز به دلیل بیاتی و افزایش مقاومت لایه‌های درونی کیک، مقدار F_0 افزایش یافته است.



شکل 1- اثر جایگزینی هویج در فرمولاسیون کیک اسفنجی بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش (روز اول).



شکل 2- اثر جایگزینی هویج در فرمولاسیون کیک اسفنجی بر تغییر نیروی آزمون رهایی تنش (روز چهاردهم).

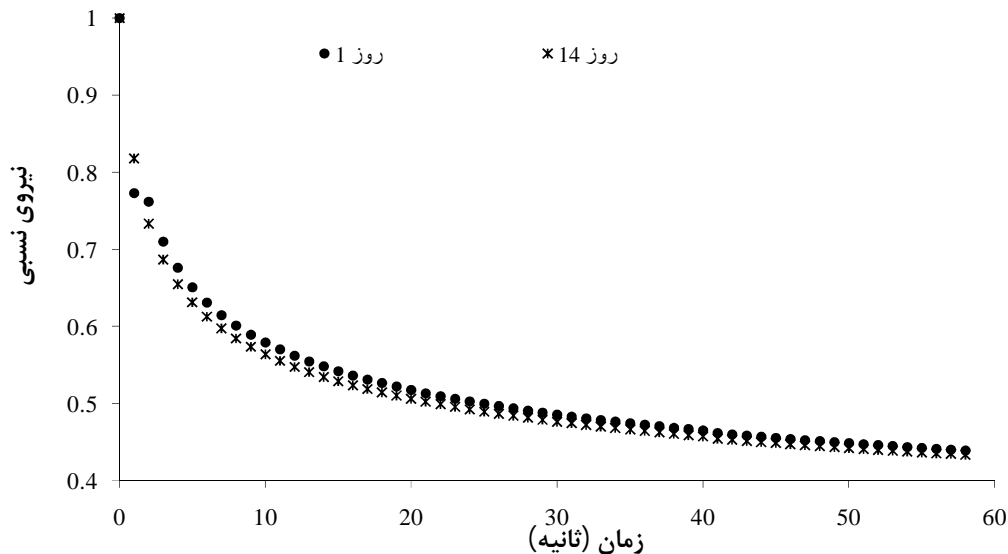
جدول 2- مقادیر نیروی اولیه به دست آمده از آزمون رهایی تنش کیک هویج

F ₀ (N)	درصد جایگزینی	زمان
15/84 ^c	% 0	روز اول
19/34 ^b	% 5	
20/22 ^{ab}	% 10	
21/34 ^{ab}	% 20	
23/33 ^a	% 30	
17/76 ^c	% 0	روز چهاردهم
23/00 ^b	% 5	
29/19 ^a	% 10	
29/92 ^a	% 20	
31/40 ^a	% 30	

نیروی نسبی در طی زمان کاهش یافت. همچنین مقادیر نیروی نسبی در کیک هویج در طول رهایی 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 (0، 5، 10 و 30%) نیز رفتار مشابهی مشاهده شد.

2-3- بررسی اثر زمان و جایگزینی هویج بر مقدار نیروی نسبی

شکل 3 نشان دهنده مقدار نیروی نسبی به دست آمده از منحنی های رهایی تنش کیک اسفنجی حاوی 20 درصد هویج در روزهای اول و چهاردهم است. همانطور که ملاحظه می شود، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقادیر



شکل 3- اثر زمان نگهداری بر تغییر مقادیر نیروی نسبی (20 درصد جایگزینی هویج).

3-3- اثر زمان و جایگزینی هویج بر پارامترهای مدل پلگ- نورمند

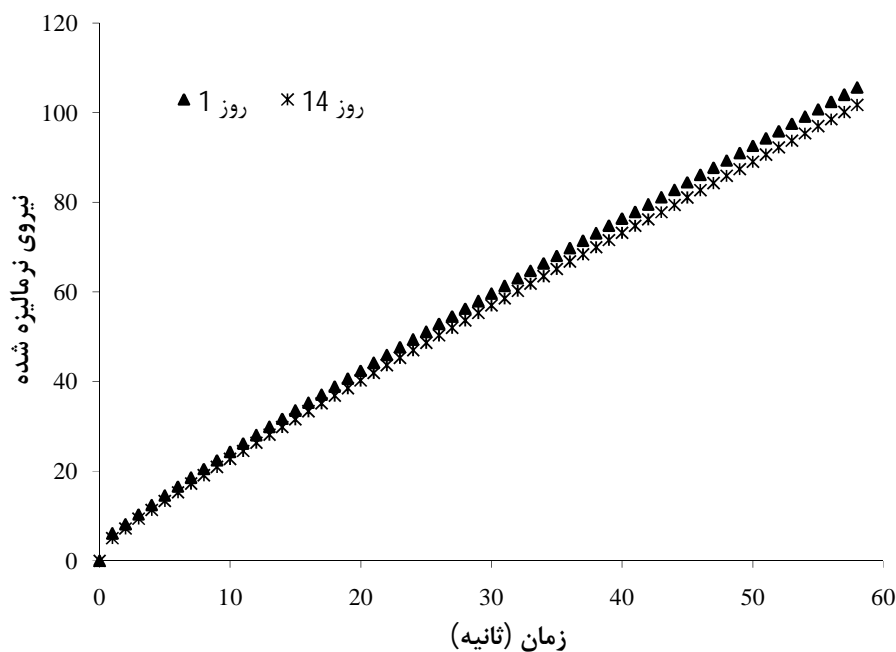
جهت محاسبه ضرایب مربوط به مدل پلگ- نورمند ابتدا نیروی نرمال شده محاسبه گردید و سپس مقادیر k_1 و k_2 از روی عرض از مبدأ و شیب آن‌ها محاسبه گردید. مقادیر مربوط به نیروی نرمال شده برای روزهای اول و چهاردهم در شکل 4 به نمایش درآمده است. با افزایش زمان نگهداری کیک هویج مشاهده می‌شود که نیروی نرمال شده کاهش یافت. در سایر درصدهای جایگزینی هویج در فرمولاسیون کیک اسفنجی (0، 5، 20 و 30%) نیز رفتار مشابهی مشاهده شد و شیب به دست آمده برای روز چهاردهم کمتر از روز اول بود. گروهی از محققان خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی شده با پودر سیب را بررسی نموده‌اند. نتایج گزارش شده حاکی از این است که 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 یافته که نشان از کاهش الاستیسیته کیک با گذشت زمان می‌باشد (22). پارامترهای برازش

شده مدل پلگ- نورمند با استفاده از داده‌های رهایی تنش کیک هویج در درصدهای جایگزینی مختلف و در روز اول و چهاردهم در جدول 3 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) بالا و خطای استاندارد¹ (SE) پایین محاسبه شده حاکی از مناسب بودن مدل پلگ- نورمند جهت بررسی رفتار رهایی از تنش کیک اسفنجی غنی شده با هویج می‌باشد. در این جدول مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، مقادیر k_1 و k_2 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 نشد. مقدار بالای k_1 نشان‌دهنده رفتار الاستیک در مواد غذایی است. لذا با توجه به اینکه مقادیر k_1 در روز اول بیشتر از روز چهارم است، رفتار الاستیک در روز چهاردهم به دلیل بیاتی و سفت شدن کیک، کاهش یافته است. بیشترین مقدار k_1 مربوط به کیک با صفر درصد هویج که حالت الاستیکی بیشتری از خود نشان‌دهنده و بر اساس نتایج گزارش شده در جدول 2

1-- Standard error

الاستیک بیشتری از خود نشان داده اند (k_1 بالا)، مقادیر k_2 به دست آمده برای آن‌ها نیز نسبت به روز چهاردهم بالاتر است. سینگ و همکاران (2006) عنوان کردند که مقدار k_2 معرف بهتری برای طبیعت الاستیک مواد غذایی است (23). مقدار k_2 همچنین نشان دهنده درجه استحکام و به هم پیوستگی بافت نیز می‌باشد (21).

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 1 تا بی‌نهایت متغیر است. برای مواد مایع واقعی مقدار آن برابر با یک و برای الاستیک ایده‌آل برابر بی‌نهایت است. با توجه به اینکه نمونه‌های روز اول حالت



شکل 4- اثر زمان نگهداری بر نیروی نرمال شده (10 درصد جایگزینی هویج).

جدول 3- پارامترهای برازش شده مدل پلگ - نورمند با استفاده از داده‌های رهایی تنش کیک هویج

SE	r	K_2	$K_1(S)$	درصد جایگزینی	زمان
0/76	0/999	1/76	7/91	% 0	روز اول
0/79	0/999	1/73	7/37	% 5	
0/92	0/999	1/72	7/10	% 10	
0/95	0/999	1/68	6/89	% 20	
0/72	0/999	1/66	6/91	% 30	
0/75	0/999	1/70	6/02	% 0	روز چهاردهم
0/61	0/999	1/68	7/66	% 5	
0/84	0/999	1/66	6/06	% 10	
0/80	0/999	1/67	6/18	% 20	
0/69	0/999	1/69	6/69	% 30	

3-4- بررسی اثر زمان و جایگزینی هویج بر پارامترهای مدل ماکسول

مدل مکانیکی ماکسول تعمیم یافته برای بررسی و مقایسه رفتار رهایی تنش کیک اسفنجی حاوی هویج استفاده و ضرایب مربوطه بعد از برازش مدل با داده‌های آزمایشگاهی رهایی تنش، در جدول 4 گزارش شد. عناصر الاستیک در المان‌های ماکسول را می‌توان توسط نیروهای کاهشی (F_1 ، F_2 و F_3) نشان داد که به طور غیرمستقیم جامدیت (سختی) ماده مورد آزمایش را نشان می‌دهند. زمان‌های رهایی (λ_1 ، λ_2 و λ_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 دشپات به مدول الاستیسیته جزء فنر. براساس نتایج جدول 4 در تمام نمونه‌ها، با افزایش درصد جایگزینی، مجموع نیروهای کاهشی ($F_1 + F_2 + F_3$) افزایش یافته است. وو و همکاران (2012) گزارش کرده‌اند که افزایش مجموع مقادیر F_1 ، F_2 و F_3 به عنوان اجزاء الاستیک در مدل ماکسول، ناشی از کاهش ویژگی الاستیسیته ماده‌ی تحت آزمایش است (21). 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 4، در تمامی نمونه‌های مورد آزمایش مقدار تنش تعادلی بزرگ‌تر از صفر می‌باشد؛ به عبارت دیگر تنشی در کیک اسفنجی باقی‌مانده که مقدار آن بعد از گذشت زمان نگهداری (60 ثانیه) تقریباً ثابت می‌شود. این موضوع نشان

می‌دهد که کیک مورد آزمایش همانند جامد ویسکوالاستیک رفتار می‌کند. با توجه به نتایج جدول 4 مقدار نیروی تعادلی برای روز اول و چهاردهم به ترتیب در محدوده 6/89 تا 8/70 نیوتن و 7/23 تا 12/06 نیوتن می‌باشد و اعداد محاسبه شده برای تمامی درصدها در روز چهاردهم، از روز اول بیشتر است. بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک مواد غذایی به روش رهایی تنش توسط سایر محققان نیز بررسی شده است. حسن و همکاران (2005) گزارش نمودند که مدل ماکسول تعمیم یافته برای پیشگویی داده‌های تجربی رفتار ویسکوالاستیک مواد غذایی مناسب می‌باشد (13). با توجه به ضرایب تبیین و خطای پایین محاسبه شده با استفاده از مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته (جداول 3 و 4)، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو مدل جهت بررسی رفتار رهایی تنش کیک هویج مناسب می‌باشند و اما با توجه به تئوری مطرح شده ماکسول تعمیم یافته و پارامترهای موجود در این مدل، استفاده از این مدل جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک هویج 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 برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد (9، 13). صالحی و کاشانی‌نژاد (2017) خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی حاوی پودر سیب را بررسی نمودند. نتایج مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی رهایی تنش با مدل‌های پلگ نورمند و ماکسول تعمیم یافته نشان داد که مدل ماکسول تعمیم یافته کارایی بیشتری جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی شده با پودر سیب دارد (22).

جدول 4- پارامترهای برازش شده مدل ماکسول با استفاده از داده‌های رهایی تنش در کیک هویج

SE	r	λ_3	λ_2	λ_1	F ₄	F ₃	F ₂	F ₁	درصد جایگزینی	زمان
0/045	0/999	39/96	19/21	3/47	6/89	1/95	1/52	4/53	% 0	روز اول
0/044	0/999	1/84	72/86	9/84	7/24	5/49	3/49	3/17	% 5	
0/007	0/999	5/01	1/07	32/84	8/42	3/64	3/98	4/02	% 10	
0/071	0/999	33/95	4/60	33/95	8/58	2/17	4/94	2/13	% 20	
0/060	0/999	9/55	1/86	55/48	8/70	3/66	7/05	3/99	% 30	
0/013	0/999	1/26	5/75	35/45	7/23	4/63	2/84	3/05	% 0	روز چهاردهم
0/053	0/999	36/73	2/63	11/71	9/41	3/80	7/69	2/20	% 5	
0/015	0/999	29/55	0/76	4/20	11/75	5/68	5/92	5/82	% 10	
0/009	0/999	1/04	32/48	4/90	12/03	6/42	5/60	5/56	% 20	
0/096	0/999	56/84	1/89	9/93	12/06	4/95	9/82	4/70	% 30	

Dried Carrot, Journal of texture studies, 47: 34-39.

2. Akubor, P. I., Eze, J. I. 2012. Quality evaluation and cake making potential of sun and oven dried carrot fruit, Int. J. Biosci, 2: 19-27.

3. Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., Attri, S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review, Journal of food science and technology, 49: 22-32.

4. 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.

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

6. Rodríguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A., Cuvelier, G. 2009. Stress relaxation of reconstituted cassava dough, LWT-Food Science and Technology, 42: 202-206.

7. Sahin, S., Sumnu, S. G. 2006. Physical properties of foods, Springer Science & Business Media,

8. 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.

9. Vozáry, E., Mészáros, P. Effect of mechanical stress on apple impedance

4- نتیجه گیری

در این پژوهش خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی شده با هویج خشک شده بررسی شد. نشان داد که کیک اسفنجی غنی شده با هویج 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 هویج 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 هویج در طول رهایی تنش در طی زمان نگهداری کاهش یافت و اعداد به دست آمده برای روز چهاردهم کمتر از روز اول بود. با توجه به نتایج به دست آمده، درجه الاستیسیته کیک هویج در طی زمان کاهش یافت. با توجه به 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 هویج توصیه می‌شود.

5- منابع

1. Salehi, F., Kashaninejad, M., Akbari, E., Sobhani, S. M., Asadi, F. 2016. Potential of Sponge Cake Making using Infrared-Hot Air

21. 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.
22. Salehi, F., Kashaninejad, M. 2017. Evaluation of viscoelastic properties of rich sponge cake with apples powder, *Food Technology and Nutrition*, 15: 1-9.
23. 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.
- parameters. in: 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography, Springer, 2007, pp. 118-121.
10. 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.
11. Steffe, J. F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*, Freeman press,
12. Peleg, M. 1980. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials, *Journal of Rheology (1978-present)*, 24: 451-463.
13. 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.
14. 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: 97-100.
15. Eliasson, A.-C. 1990. Rheological properties of cereal proteins, in: *Dough Rheology and Baked Product Texture*, Springer, pp. 67-110.
16. 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: 36-39.
17. Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaiiifar, A. M. 2016. Drying of Button Mushroom by Infrared-Hot Air System, *Iranian journal of food science and technology*, 59: 151-159.
18. Nowak, D., Lewicki, P. P. 2004. Infrared drying of apple slices, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5: 353-360.
19. Salehi, F., Kashaninejad, M., Alipour, N. Evaluation of Physicochemical, Sensory and Textural Properties of Rich Sponge Cake with Dried Apples Powder. in: *Innovative Food Science and Technology*, 2016.
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.