

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

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

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

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

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۱۹

## 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 ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ 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 (۱۴ روز) انجام و ضرایب مدل پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته محاسبه شدند. نتایج نشان‌داد 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 نشان‌داده 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 نشان‌داد که مدل ماکسول کارایی بیشتری جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر هویج دارد.

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

\*مسئول مکاتبات: [f.salehi@basu.ac.ir](mailto:f.salehi@basu.ac.ir)

## ۱- مقدمه

هویج یک سبزی ریشه‌ای منبع غنی بتاکاروتن و پیش‌ساز ویتامین A می‌باشد. هویج به صورت خام و پخته‌شده در اکثر مرباها، دسرها، سالاد، سوپ‌ها، شوربیجات 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 (۳-۱). کمبود فیبرهای رژیمی در ساختار کیک اسفنجی، یکی از معایب آن است (۴). جهت غنی‌سازی این محصول، از محصولات خشک‌شده مختلفی استفاده شده است. برای مثال ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک غنی‌شده با پودر کدو حلوائی به عنوان جایگزین آرد گندم توسط محققان بررسی شده است (۵). همچنین لسی و همکاران (۲۰۱۱) اثر افزودن فیبرهای مغذی و سبوس غلات را به کیک مورد بررسی قرار دادند 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 (۴). صالحی و همکاران (۲۰۱۶) امکان تولید کیک غنی‌شده با پودر هویج را بررسی نمودند. در این مطالعه 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 (۱). آزمون رهایی تنش یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین رفتار ویسکوالاستیکی مواد غذایی می‌باشد و با استفاده از دستگاه بافت سنج قابل اندازه‌گیری و بررسی می‌باشد (۶). 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 (۷، ۸). 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 بعد از سپری شدن زمان آزمون در مواد ویسکوالاستیک جامد عددی بزرگ‌تر از صفر است (۷، ۸). جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک کیک‌ها و محاسبه زمان رهایی تنش، سه مدل عمومی رهایی تنش به نام‌های مدل ماکسول تعمیم‌یافته<sup>۱</sup>، پلگ-نورمند<sup>۲</sup> و ناسینویچ<sup>۵</sup> توسط محققین بررسی شده‌اند (۹، ۱۰). مدل پلگ-نورمند یک روش سریع و مؤثر برای ارزیابی داده‌های رهایی تنش محسوب می‌شود (۱۱، ۱۲). مدل ماکسول برای نشان دادن 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 (۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج کار این پژوهشگران نشان داد که هر سه مدل به کار رفته برای برازش داده‌ها مناسب بوده و مدل ماکسول تعمیم‌یافته برازش داده‌ها را با دقت بالاتری انجام داد (۱۳). 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 (۱۶-۱۴). بر اساس نتایج انتشاریافته از میان این سه مدل مکانیکی، مدل‌های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم‌یافته جهت بررسی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی توصیه شده‌اند (۹، ۱۳). هدف از این پژوهش بررسی رفتار ویسکوالاستیکی کیک اسفنجی حاوی پودر هویج با استفاده از آزمون رهایی تنش بود. لذا

2-Residual stress

4-Generalized Maxwell model

5-Peleg-Normand

6-Nussinovitch

1-Strees Relaxation

## ۲-۲- تهیه کیک اسفنجی

فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی تهیه شده در این پژوهش در جدول ۱ گزارش شده است. آرد گندم نول با رطوبت ۱۱/۸ درصد، ۰/۵۰ درصد خاکستر، ۱۰/۴ درصد پروتئین و ۱۷/۵ درصد گلوتن مرطوب از شرکت تک ماکارون تهیه شد. ابتدا شکر و روغن به مدت چهار دقیقه توسط همزن برقی مخلوط شدند. سپس تخم مرغ در سه مرحله و در مدت زمان دو دقیقه به مخلوط اضافه گردید. ۱۵ سی سی 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. باقی مانده آب نیز اضافه و به مدت یک دقیقه مخلوط هم زده شد. در ادامه پودر هویج در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ 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 ۱۹۵ درجه سانتی گراد و به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. کیک های پخته شده، خنک و سپس در بسته های پلی پروپیلن عایق نسبت به رطوبت و اکسیژن نگهداری شدند (۱).

در این مطالعه اثر جایگزینی پودر هویج در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و زمان نگهداری، بر رفتار ویسکوالاستیکی کیک اسفنجی با استفاده از آزمون رهایی تنش بررسی و داده های به دست آمده با مدل های پلگ-نورمند و ماکسول تعمیم یافته تعادلی برازش شد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تهیه هویج خشک شده

هویج تازه (*Daucus carota*) با یک چاقوی تیز، به طور عمودی به برش هایی به ضخامت ۵ میلی متر برش داده شدند. بر اساس بررسی منابع مختلف در زمینه خشک کردن هویج و سایر محصولات کشاورزی، جهت خشک کردن نمونه های هویج از سامانه مادون قرمز- هوای داغ با توان ۲۵۰ وات در فاصله ۵ سانتی متری از نمونه ها، دمای ۶۰ درجه سانتی گراد هوای داغ با سرعت جریان ۱ متر بر ثانیه به مدت ۱۱۰ دقیقه استفاده گردید (۱، ۱۷، ۱۸). برش های خشک شده هویج آسیاب شده و سپس با استفاده از الک با مش ۵۰ غربال شدند. مقدار رطوبت پودر هویج تهیه شده در محدوده ۲-۱ درصد بر پایه مرطوب بود.

جدول ۱- فرمولاسیون پایه کیک اسفنجی

ترکیب	محل تهیه	مقدار به گرم
آرد	تک ماکارون، ایران	۱۰۰
تخم مرغ تازه	گرگان، ایران	۷۲
پودر شکر	مشهد، ایران	۷۲
روغن مایع	لادن، بهشهر، ایران	۵۷
پودر آب پنیر	پگاه، گلستان، ایران	۴
پودر شیر خشک	پگاه، گلستان، ایران	۲
بیکنگ پودر	مهسا، تهران، ایران	۲
وانیل	شاهسوند، مشهد	۰/۵
صمغ گزانتان	تجاری، چین	۰/۲۵
آب	-	۳۰

### ۳-۲- 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  $\lambda$ ) مربوط به آن در تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفته است (۱۰، ۱۳). جمله ای که دارای بیشترین مقدار جزء الاستیک و زمان رهایی به عنوان زمان رهایی تنش در نظر گرفته شد (۱۰). 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 کاهشی<sup>۴</sup> می باشند و  $\lambda_1$ ،  $\lambda_2$ ،  $\lambda_3$  زمان های رهایی می باشند. مدل دو پارامتری پلگ-نورمند به صورت رابطه ۲ بیان می شود (۲۱):

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

$F_0$  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 نسبی<sup>۵</sup> نیز برای داده ای تجربی رهایی تنش از طریق رابطه ۳ 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 ۴ محاسبه شد (۲۱):

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

در این رابطه،  $F_0$  نیروی اولیه،  $F_{t=20}$  نیرو در ۲۰ ثانیه بعد از اعمال کرنش اولیه می باشد. به منظور مدل کردن داده های آزمایشگاهی از نرم افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳۴ استفاده شد.

برای انجام آزمون رهایی تنش از دستگاه بافت سنج (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 ۱۰۰ میلی متر (P/100)، با سرعت ۱/۰ میلی متر بر ثانیه و ۵۰ درصد کرنش به مدت ۶۰ 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 ۶۰ ثانیه ثبت و منحنی نیرو در برابر زمان رسم شد. در این آزمون اثر جایگزینی هویج در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در روزهای اول و چهاردهم بر منحنی رهایی تنش و خصوصیات ویسکوالاستیک کیک مورد بررسی قرار گرفت (۱۹، ۲۰).

### ۴-۲- 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 فنر<sup>۳</sup> و ضربه گیر<sup>۳</sup> (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 (۲۱). 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 (۲۱):

(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 اندیس های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. تابع زمانی تنش حاصل جمع سه جمله ای، ۱، ۲، ۳ و یک عدد ثابت ( $F_4$ ) مربوط به فنر

1 - Texture analyzer

7--spring

8-dashpot

1-decay forces

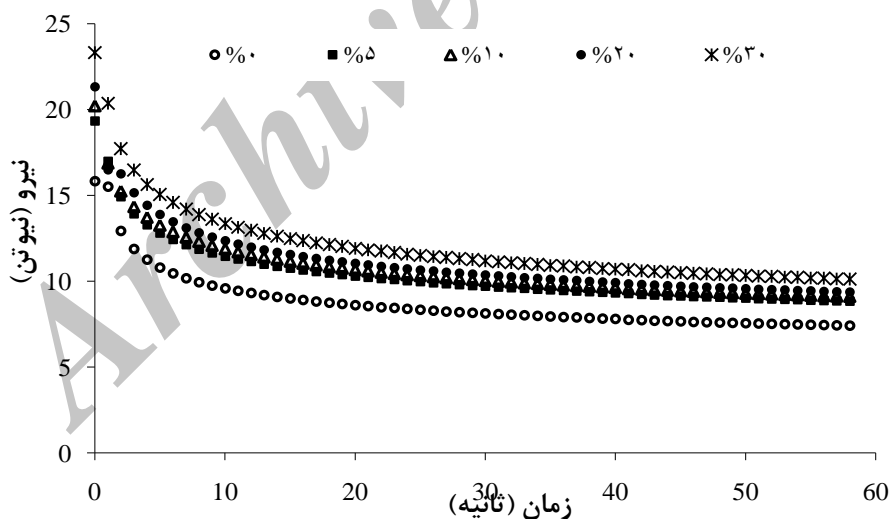
10- Relative force ( $F(t)/F_0$ )

### ۳- نتایج و بحث

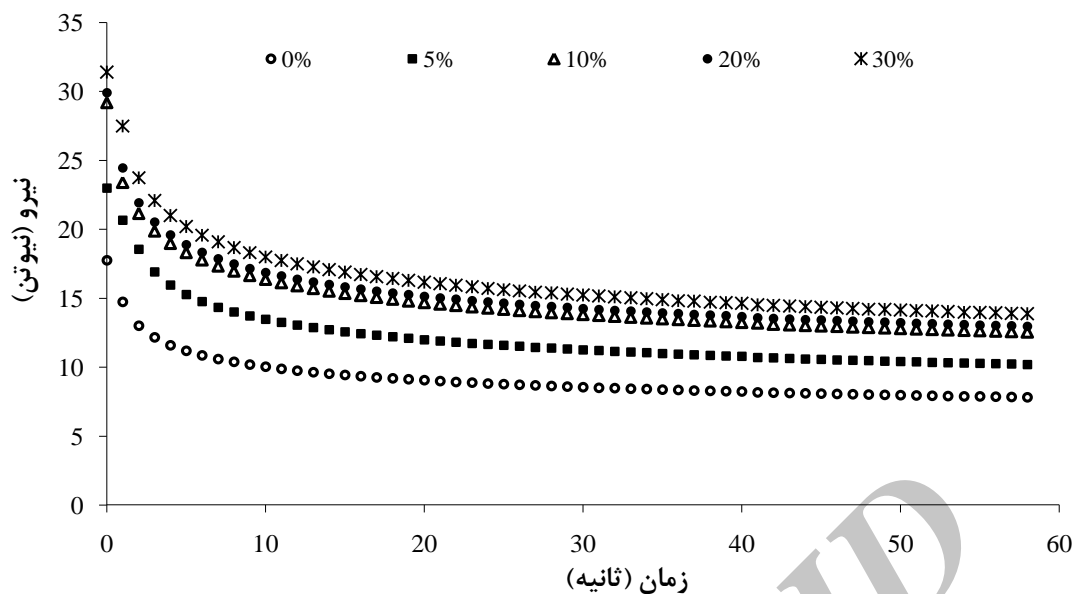
#### ۳-۱- بررسی اثر زمان و جایگزینی هویج بر مقدار نیروی اولیه

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 ۱ و ۲ 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 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. مقدار نیروی اولیه مربوط به داده‌های آزمایش رهایی تنش نمونه‌های کیک هویج در روز اول و چهاردهم

و در درصد جایگزینی‌های مختلف در جدول ۲ 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 ۰ به ۳۰ درصد، مقدار نیروی اولیه روز اول و چهاردهم به ترتیب از ۱۵/۸۴ به ۲۳/۳۳ نیوتن و از ۱۷/۷۶ به ۳۱/۴۰ 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 ۳۰ درصد هویج از ۲۳/۳۳ نیوتن به ۳۱/۴۰ 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 (۱). با گذشت زمان نیز به دلیل بیاتی و افزایش مقاومت لایه‌های درونی کیک، مقدار  $F_0$  افزایش یافته است.



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



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

جدول ۲- مقادیر نیروی اولیه به دست آمده از آزمون رهایی تنش کیک هویج

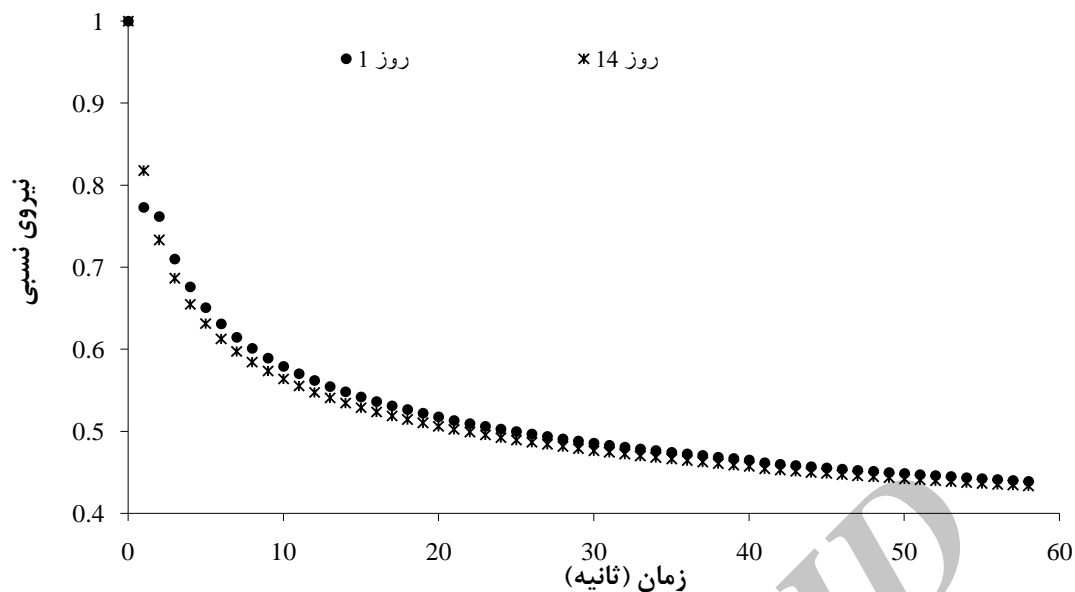
F <sub>0</sub> (N)	درصد جایگزینی	زمان
۱۵/۸۴ <sup>c</sup>	٪ ۰	روز اول
۱۹/۳۴ <sup>b</sup>	٪ ۵	
۲۰/۲۲ <sup>ab</sup>	٪ ۱۰	
۲۱/۳۴ <sup>ab</sup>	٪ ۲۰	
۲۳/۳۳ <sup>a</sup>	٪ ۳۰	
۱۷/۷۶ <sup>c</sup>	٪ ۰	روز چهاردهم
۲۳/۰۰ <sup>b</sup>	٪ ۵	
۲۹/۱۹ <sup>a</sup>	٪ ۱۰	
۲۹/۹۲ <sup>a</sup>	٪ ۲۰	
۳۱/۴۰ <sup>a</sup>	٪ ۳۰	

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 (۰، ۵، ۱۰ و ۳۰٪) نیز رفتار مشابهی مشاهده شد.

### ۳-۲- بررسی اثر زمان و جایگزینی هویج بر مقدار

#### نیروی نسبی

شکل ۳ نشان دهنده مقدار نیروی نسبی به دست آمده از منحنی های رهایی تنش کیک اسفنجی حاوی ۲۰ درصد هویج در روزهای اول و چهاردهم است. همان طور که ملاحظه می شود، بعد از اعمال یک کرنش ثابت، مقادیر نیروی نسبی در طی زمان کاهش یافت. همچنین مقادیر



شکل ۳- اثر زمان نگهداری بر تغییر مقادیر نیروی نسبی (۲۰ درصد جایگزینی هویج).

کیک هویج 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 پیش بین نمود. ضریب تبیین ( $r$ ) بالا و خطای استاندارد<sup>۱</sup> (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 نشان داده و بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۲

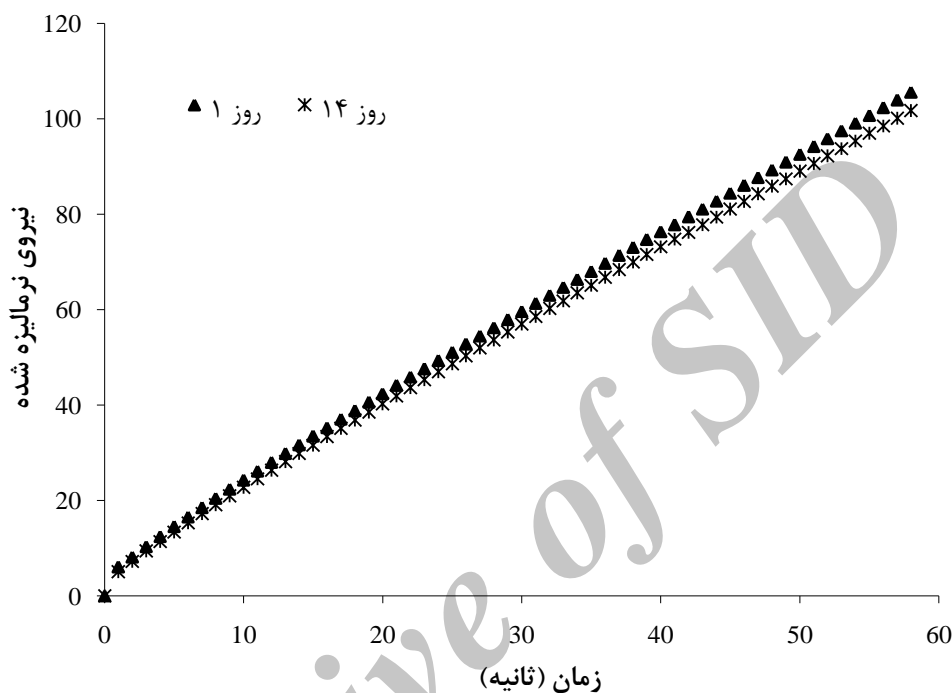
### ۳-۳- اثر زمان و جایگزینی هویج بر پارامترهای مدل پلگ-نورمند

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 ۴ 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 (۰، ۵، ۲۰ و ۳۰٪) 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 (۲۲). پارامترهای برازش شده مدل پلگ-نورمند با استفاده از داده‌های رهایی تنش

<sup>۱</sup> - 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 (۲۰۰۶) عنوان کردند که مقدار  $k_2$  معرف بهتری برای طبیعت الاستیک مواد غذایی است (۲۳). مقدار  $k_2$  همچنین نشان دهنده درجه استحکام و به هم پیوستگی بافت نیز می‌باشد (۲۱).

مشاهده گردید که نرم‌تر نیز می‌باشد و توانایی بیشتری برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش از خود نشان داد. مقدار  $k_2$  نشان دهنده درجه جامد بودن یک ماده غذایی است و مقدار آن بین ۱ تا بی‌نهایت متغیر است. برای مواد مایع واقعی مقدار آن برابر با یک و برای الاستیک ایده آل برابر بی‌نهایت است. با توجه به اینکه نمونه‌های روز اول حالت



شکل ۴- اثر زمان نگهداری بر نیروی نرمال شده (۱۰ درصد جایگزینی هویج).

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

زمان	درصد جایگزینی	$K_1(S)$	$K_2$	$r$	SE
روز اول	٪ ۰	۷/۹۱	۱/۷۶	۰/۹۹۹	۰/۷۶
	٪ ۵	۷/۳۷	۱/۷۳	۰/۹۹۹	۰/۷۹
	٪ ۱۰	۷/۱۰	۱/۷۲	۰/۹۹۹	۰/۹۲
	٪ ۲۰	۶/۸۹	۱/۶۸	۰/۹۹۹	۰/۹۵
	٪ ۳۰	۶/۹۱	۱/۶۶	۰/۹۹۹	۰/۷۲
روز چهاردهم	٪ ۰	۶/۰۲	۱/۷۰	۰/۹۹۹	۰/۷۵
	٪ ۵	۷/۶۶	۱/۶۸	۰/۹۹۹	۰/۶۱
	٪ ۱۰	۶/۰۶	۱/۶۶	۰/۹۹۹	۰/۸۴
	٪ ۲۰	۶/۱۸	۱/۶۷	۰/۹۹۹	۰/۸۰
	٪ ۳۰	۶/۶۹	۱/۶۹	۰/۹۹۹	۰/۶۹



### ۳-۴- 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 ۴ گزارش شد. عناصر الاستیک در المان‌های ماکسول را می‌توان توسط نیروهای کاهش  $(F_1)$ ،  $(F_2)$  و  $(F_3)$  نشان داد 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 در تمام نمونه‌ها، با افزایش درصد جایگزینی، مجموع نیروهای کاهش  $(F_1+F_2+F_3)$  افزایش یافته است. وو و همکاران (۲۰۱۲) 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 (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، 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 (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 روز اول و چهاردهم به ترتیب در محدوده ۶/۸۹ تا ۸/۷۰ نیوتن و ۷/۲۳ تا ۱۲/۰۶ 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 (۲۰۰۵) گزارش نمودند که مدل ماکسول تعمیم یافته برای پیشگویی داده‌های تجربی رفتار ویسکوالاستیک مواد غذایی مناسب می‌باشد (۱۳). 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 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 (۹، ۱۳). صالحی و کاشانی‌نژاد (۲۰۱۷) 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 (۲۲).

جدول ۴- پارامترهای برازش شده مدل ماکسول با استفاده از داده‌های رهایی تنش در کیک هویج

زمان	درصد جایگزینی	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	λ <sub>1</sub>	λ <sub>2</sub>	λ <sub>3</sub>	r	SE
	٪ ۰	۴/۵۳	۱/۵۲	۱/۹۵	۶/۸۹	۳/۴۷	۱۹/۲۱	۳۹/۹۶	۰/۹۹۹	۰/۰۴۵
	٪ ۰.۵	۳/۱۷	۳/۴۹	۵/۴۹	۷/۲۴	۹/۸۴	۷۲/۸۶	۱/۸۴	۰/۹۹۹	۰/۰۴۴
روز اول	٪ ۱.۰	۴/۰۲	۳/۹۸	۳/۶۴	۸/۴۲	۳۲/۸۴	۱/۰۷	۵/۰۱	۰/۹۹۹	۰/۰۰۷
	٪ ۲.۰	۲/۱۳	۴/۹۴	۲/۱۷	۸/۵۸	۳۳/۹۵	۴/۶۰	۳۳/۹۵	۰/۹۹۹	۰/۰۷۱
	٪ ۳.۰	۳/۹۹	۷/۰۵	۳/۶۶	۸/۷۰	۵۵/۴۸	۱/۸۶	۹/۵۵	۰/۹۹۹	۰/۰۶۰
	٪ ۰	۳/۰۵	۲/۸۴	۴/۶۳	۷/۲۳	۳۵/۴۵	۵/۷۵	۱/۲۶	۰/۹۹۹	۰/۰۱۳
	٪ ۰.۵	۲/۲۰	۷/۶۹	۳/۸۰	۹/۴۱	۱۱/۷۱	۲/۶۳	۳۶/۷۳	۰/۹۹۹	۰/۰۵۳
روز چهاردهم	٪ ۱.۰	۵/۸۲	۵/۹۲	۵/۶۸	۱۱/۷۵	۴/۲۰	۰/۷۶	۲۹/۵۵	۰/۹۹۹	۰/۰۱۵
	٪ ۲.۰	۵/۵۶	۵/۶۰	۶/۴۲	۱۲/۰۳	۴/۹۰	۳۲/۴۸	۱/۰۴	۰/۹۹۹	۰/۰۰۹
	٪ ۳.۰	۴/۷۰	۹/۸۲	۴/۹۵	۱۲/۰۶	۹/۹۳	۱/۸۹	۵۶/۸۴	۰/۹۹۹	۰/۰۹۶

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

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش خصوصیات ویسکوالاستیک کیک اسفنجی غنی شده با هویج خشک شده بررسی شد. نشان 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 می پذیرد. 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 می شود.

#### ۵- 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., Ziaifar, 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.