



## ویژگی‌های رئولوژیکی پایا و دینامیک خمیر کیک بدون گلوتن غنی شده با کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا به همراه صمغ دانه ریحان

پرستو قائمی<sup>۱</sup>، سعیده عربشاهی دلویی<sup>۲\*</sup>، مهران اعلمی<sup>۳</sup>، سید حسین حسینی قابوس<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در سال‌های اخیر، تقاضا برای محصولات غذایی بدون گلوتن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. بنابراین، انجام پژوهش‌هایی درباره تأثیر ترکیبات مختلف به‌منظور بهبود کیفیت این محصولات ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه با هدف بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج با استفاده از کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد) و سطوح مختلف صمغ دانه ریحان (۰، ۵/۵ و ۱ درصد) صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که ویسکوزیته ظاهری در تمامی نمونه‌ها با افزایش میزان پروتئین و صمغ افزایش یافت به گونه‌ای که بالاترین ویسکوزیته ظاهری (۲۷/۹ پاسکال ثانیه) مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا و ۱ درصد صمغ دانه ریحان بود. شاخص رفتار جریان همه نمونه‌ها کمتر از یک بود، بنابراین تمامی نمونه‌های خمیر رفتار رقیق شونده با برش (سودپلاستیک) داشتند. افزایش درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر، ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه ریحان در فرمولاسیون خمیر کیک منجر به افزایش مدول ذخیره و مدول افت گردید. مقدار تانژانت افت نمونه‌های خمیر حاوی سطوح مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر و یا ایزوله پروتئین سویا با صمغ دانه ریحان کمتر از یک بود که الاستیک بودن نمونه‌ها را تایید نمود. یافته‌ها نشان داد که نمونه‌های حاوی ۱ درصد صمغ دانه ریحان با ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر یا ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا دارای سفتی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بوده و در فرکانس ۱ هرتز میزان ویسکوزیته کمپلکس آن‌ها به ترتیب ۲۷۷/۲۶۸ و ۵۲۳/۲۹۹ پاسکال ثانیه بود. در نهایت، نمونه‌های کیک حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا با ۱ درصد صمغ دانه ریحان از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی به‌عنوان جایگزین کیک‌های معمولی برای افراد مبتلا به سلیاک پیشنهاد گردید.

### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶

### کلمات کلیدی:

صمغ دانه ریحان،  
خمیر کیک بدون گلوتن،  
ویژگی‌های رئولوژیکی،  
ایزوله پروتئین سویا،  
کنسانتره پروتئین آب پنیر.

DOI: 10.48311/fsct.2026.115687.0

\* مسئول مکاتبات:

sa.arabshahi@iaau.ac.ir

## ۱- مقدمه

با توجه به نقش مهم و کلیدی گلوتن در فرآورده‌های نانوائی و از طرفی تشخیص روزافزون موارد حساسیت به گلوتن در جوامع، تولید فرآورده‌های بدون گلوتن با کیفیت مطلوب از چالش‌های مهم صنایع غذایی می‌باشد. گلوتن گندم با ایجاد انسجام و حفظ CO<sub>2</sub> تولید شده در طی تخمیر، نقش اصلی را در توسعه فرآورده‌های نانوائی مانند نان و کیک ایفا می‌کند. انبساط گاز باعث می‌شود این فرآورده‌ها حجم بهتری پیدا کنند و بافت قابل قبولی به دست آورند [۱ و ۲]. به غلاتی که فاقد گلوتن بوده یا میزان گلوتن در آن‌ها از ۲۰ پی‌ام کمتر باشد، غلات بدون گلوتن گویند. از این قبیل غلات می‌توان به برنج، ذرت، سورگوم، ارزن اشاره نمود [۳]. با این حال، مصرف گلوتن در برخی افراد باعث التهاب پرزهای روده کوچک شده که منجر به کاهش جذب چندین ماده مغذی مهم از جمله آهن، اسید فولیک، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی می‌شود [۴]. رژیم غذایی بدون گلوتن (GF) سومین عبارت رژیمی است که معمولاً در گوگل جستجو می‌شود. فرآورده‌های نانوائی بدون گلوتن به علت جایگزینی آرد گندم با آرد غلات بدون گلوتن دارای ساختار بسیار شکننده‌تر، ظاهر نامناسب و عطر و طعم کمتری می‌باشند و بنابراین از کیفیت تغذیه‌ای پایین‌تر، بافت ضعیف‌تر و همچنین مقبولیت کمتری از نظر ویژگی‌های حسی برخوردار هستند [۵ و ۶]. بنابراین انجام تحقیقات برای استفاده از جایگزین‌های مناسب گلوتن مانند هیدروکلوئیدها، آنزیم‌ها و پروتئین‌ها در تهیه فرآورده‌های فاقد گلوتن امری ضروری جهت بهبود ویژگی‌های این دسته از فرآورده‌ها ضروری به نظر می‌رسد [۷ و ۸]. دانش خواص فیزیکی مواد و محصولات کشاورزی برای طراحی تجهیزات مورد استفاده در فرآوری، حمل و نقل، درجه‌بندی، جداسازی و ذخیره‌سازی اهمیت فراوانی دارد [۹].

هیدروکلوئیدهای غذایی بر ویژگی‌های بافتی، رئولوژیکی و حسی فرآورده غذایی نهایی تأثیر می‌گذارند، آن‌ها معمولاً در غلظت‌های پایین استفاده شده و به عنوان عوامل غلیظ کننده، ژل کننده، نگهدارنده آب، پخش کننده، تثبیت کننده،

تشکیل دهنده فیلم، کف کننده و اصلاح کننده بافت در مواد غذایی کاربرد دارند [۱۰]. آن‌ها معمولاً در سیستم‌ها و فرمول‌های غذایی برای افزایش راندمان پخت، کاهش افت وزن، بهبود ویسکوزیته و پایداری امولسیون استفاده می‌شود. افزودن ایزوله پروتئین سویا به محصولات نانوائی با بهبود یکنواختی، نرم شدن، کاهش چسبندگی خمیر، رنگ، بافت و تقارن بهتری همراه است و به طور کلی، این ترکیب با توجه به پروتئین بالای آن (۸۵-۹۰ درصد) نسبت به سایر ترکیبات ارجحیت دارد [۱۱]. رحیم منفرد و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که استفاده از ایزوله‌های پروتئینی در کیک بدون گلوتن منجر به افزایش ویسکوزیته خمیر، حجم ویژه و تخلخل و در عین حال کاهش افت پخت گردید [۱۲]. در مطالعه‌ی ییلدیز و همکاران (۲۰۱۸) که به بررسی تأثیر پروتئین‌ها، آرد گندم سیاه و صمغ‌ها بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر کیک بدون گلوتن پرداخته بود، مشخص گردید که تمامی نمونه‌های خمیر کیک رفتار رقیق‌شوندگی با برش (شبه‌پلاستیک) از خود نشان دادند [۱۳]. یکی از محصولات جانبی تولید پنیر، پروتئین آب پنیر می‌باشد که عمدتاً از  $\beta$ -لاکتوگلوبولین (حدود ۶۰ درصد)،  $\alpha$ -لاکتالبومین (حدود ۲۰ درصد)، ایمونوگلوبولین، پیتون، آلبومین سرم، لاکتوز، چربی و سایر پروتئین‌ها تشکیل شده است [۱۴]. برخی مطالعات حاکی از مقبولیت بیشتر کیک فاقد گلوتن حاوی پروتئین آب پنیر نسبت به سایر پروتئین‌ها از قبیل سفیده تخم مرغ و نخود بود [۱۵]. عمار و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که افزودن پروتئین آب پنیر به خمیر آرد برنج یا ذرت می‌تواند جایگزین مناسبی برای گندم در تهیه کیک گردد [۱۶].

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum L.* متعلق به خانواده *Lamiaceae* می‌باشد. دانه‌های این گیاه در محلول‌های آبی موسیلاژ تولید می‌کنند. ماهیت هیدروکلوئیدی موسیلاژ دانه ریحان راه را برای استفاده گسترده‌تر از این ماکرومولکول‌ها در مواد غذایی به عنوان تثبیت کننده، امولسیفایر و بهبود دهنده بافت هموار نموده است. استفاده از این موسیلاژ در فرآورده‌های غذایی مختلف

### ۲-۲- استخراج صمغ

دانه ریحان از بازار محلی (گرگان، ایران) خریداری شد و ناخالصی‌های همراه دانه حذف گردید. صمغ دانه ریحان با کمی تغییرات در روش رضوی و همکاران (۲۰۰۹) تهیه شد. در این پژوهش، نسبت آب به دانه ۲۰ به ۱ بود. ابتدا دانه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه درون آب مقطر با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و  $\text{pH}=7$  قرار گرفتند. جهت استخراج صمغ دانه ریحان از دستگاه اکستراکتور (پارس خزر، ایران) استفاده گردید. سپس در دستگاه خشک کن نیمه صنعتی هوای داغ با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس آسیاب شد و در بسته‌های پلی اتیلن غیرقابل نفوذ به رطوبت نگهداری گردید [۱۹].

### ۲-۳- تهیه خمیر کیک

مواد اولیه شامل ۱۰۰ گرم آرد برنج، ۷۲ گرم پودر قند، ۵۷ گرم روغن، ۷۲ گرم تخم مرغ، ۰/۵ گرم وانیل، ۲ گرم بکینگ پودر، ۳۰ گرم آب، ایزوله پروتئین سویا در ۳ سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد)، کنسانتره پروتئین آب پنیر در ۳ سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد) و صمغ دانه ریحان در ۳ سطح (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) بودند و مقدار مواد براساس ۱۰۰ گرم آرد برنج در نظر گرفته شد. خمیر کیک از روش ترابی و همکاران (۲۰۰۸) با کمی تغییرات در مقدار مواد اولیه تهیه گردید [۲۰]. تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱، آورده شده است.

منجر به بهبود خواصی از جمله ظرفیت جذب روغن، ظرفیت نگهداری آب، توانایی تورم، ظرفیت کف کردن، امولسیون شدن، بافت و طعم می‌گردد [۱۷]. پور محمدی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که با افزایش صمغ دانه ریحان، ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های خمیر نان افزایش یافت [۱۸]. بررسی منابع نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی در خصوص ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی پایا و دینامیک خمیر کیک بدون گلوتن حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا به همراه صمغ دانه ریحان انجام نشده است. لذا هدف اصلی از این مطالعه، بررسی تاثیر افزودن این منابع پروتئینی (جانوری و گیاهی) به همراه صمغ بومی دانه ریحان بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج بود.

### ۲- مواد و روش‌ها

#### ۲-۱- مواد

برنج مورد استفاده در این پژوهش از نوع نیم دانه رقم فجر (گرگان، ایران) بود که پس از خیساندن و خشک کردن با استفاده از آسیاب چکشی تبدیل به آرد گردید و سپس از الک شماره ۸۰ (با اندازه منافذ ۱۸۰ میکرون) عبور داده شد. پودر قند، روغن آفتابگردان، تخم مرغ تازه، بیکینگ پودر و وانیل از فروشگاه‌های مواد غذایی (گرگان، ایران) خریداری شدند. کنسانتره پروتئین آب پنیر از شرکت لین آمریکا و ایزوله پروتئین سویا نیز از شرکت کرون چین تهیه شدند.

**Table 1 - Treatments prepared and abbreviations used in the present research**

Treatment			
No	W*B (%)	No	S*B (%)
1	0, 0 (Control)	1	0, 0 (Control)
2	0, 0.5	2	0, 0.5
3	0, 1	3	0, 1
4	5, 0	4	5, 0
5	5, 0.5	5	5, 0.5
6	5, 1	6	5, 1
7	10, 0	7	10, 0



پروتئین بود که به ترتیب ۸۰ و ۹۰ درصد از ترکیبات تشکیل دهنده این مواد را به خود اختصاص داد.

**Table 2- Chemical composition of Rice flour, whey protein concentrate (WPC), and soy protein isolate (SPI)**

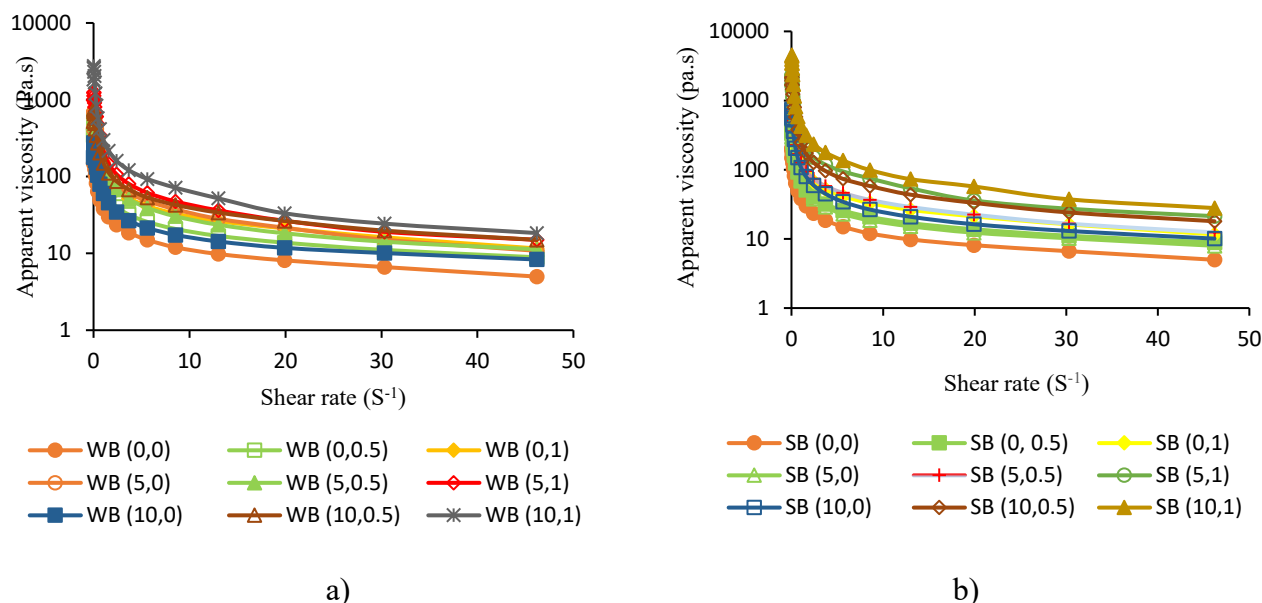
Sample	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)
Rice flour	9.97± 0.10	8.33± 0.20	0.51± 0.09	0.81± 0.10
WPC	6.17± 0.17	80.00± 1.90	4.28± 0.96	4.00± 0.97
SPI	5.97± 0.30	90.00± 2.17	0.49± 0.17	4.27± 0.24

Data are the mean of three replicates ± standard deviation

بود. در شکل ۱b که ویسکوزیته ظاهری در مقابل سرعت برشی نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه ریحان به نمایش در آورده شده است، بالاترین ویسکوزیته ظاهری (۲۷/۹ پاسکال ثانیه) مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا و ۱ درصد صمغ دانه ریحان بود. بنابراین با افزایش درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر، ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه ریحان ویسکوزیته ظاهری افزایش یافت. بالا رفتن میزان ویسکوزیته و شاخص قوام را می‌تواند به علت افزایش مولکول‌هایی که بر رئولوژی موثرند باشد که سبب افزایش برهم کنش‌های بین مولکولی و درگیری زنجیره‌ها می‌گردند [۲۷]. همچنین افزایش میزان ویسکوزیته ظاهری را می‌توان به قابلیت جذب آب پروتئین‌ها و واکنش این ترکیبات با پروتئین‌ها و نشاسته آرد نسبت داد که ایجاد شبکه‌ای می‌کنند که آب آزاد را به دام می‌اندازد [۲۸]. لازاریدو و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر زانتان، کربوکسی متیل سلولز، پکتین، آگارز و بتاگلوکان جوی دوسر بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر را بررسی کرده و گزارش کردند که بالاترین ویسکوزیته ظاهری مربوط به نمونه دارای صمغ زانتان بود [۲۹].

### ۲-۳- ویسکوزیته ظاهری خمیر

یکی از ویژگی‌های مهم و تاثیرگذار در پخت کیک، ویسکوزیته خمیر می‌باشد. خمیر با ویسکوزیته کم، قادر به نگهداری حباب‌های هوای محبوس شده نیست و این حباب‌ها به سمت بالا و سطح خمیر حرکت نموده و در فر پخت از کیک خارج می‌گردند، در نتیجه حجم کیک‌های تولیدی را کاهش می‌دهند [۲۴ و ۲۵]. تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه ریحان بر ویسکوزیته ظاهری خمیر در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، ویسکوزیته ظاهری در تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت برشی کاهش یافت و نمونه‌های خمیر از نظر رئولوژیکی، غیرنیوتنی بوده و رفتار رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) نشان دادند. علت این کاهش را می‌توان به شکست احتمالی ساختار خمیر نسبت داد، به طوری که زنجیره‌های ماکرومولکولی در خمیر به جای درهم تنیده شدن، در جهت نرخ برش منسجم می‌گردند [۲۶]. در مورد نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه ریحان (شکل ۱a)، در سرعت برشی ۴۶/۲ (یک بر ثانیه) بیشترین میزان ویسکوزیته ظاهری (۱۸/۴ پاسکال ثانیه) مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر و ۱ درصد صمغ دانه ریحان بود و نمونه فاقد پروتئین و صمغ دارای کمترین ویسکوزیته ظاهری (۴/۹۹ پاسکال ثانیه)



**Fig. 1- The effect of (a) whey protein concentrate with basil seed gum (WB) and (b) soy protein isolate with basil seed gum (SB) on the apparent viscosity of batter samples**

این ترکیبات با یکدیگر و کاهش تحرک مولکول‌ها نسبت داد [۳۱]. شعبانی و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر ایزوله پروتئین نخود به همراه صمغ زانتان را بر روی خمیر مافین بدون گلوتن بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص قوام با افزایش درصد صمغ افزایش یافته است [۳۲]. ییلدیز و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند کیک‌های حاوی صمغ دارای شاخص قوام بالاتری بودند که ممکن است مربوط به مولکول‌های نیمه جامد و ظرفیت نگهداری آب بالای صمغ‌ها باشد که باعث کاهش آب آزاد موجود شده و حرکات ذرات در کیک‌ها را کاهش می‌دهند [۱۳]. نورلیلا و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی تاثیر صمغ زانتان و هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز را روی کیک اسفنجی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تمام نمونه‌های خمیر کیک دارای اندیس جریان کمتر از یک و رفتار رقیق شوندگی با برش بوده‌اند. این رفتار جریانی نشان می‌دهد ویسکوزیته خمیر با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد [۳۳].

### ۳-۳- رفتار جریان خمیر

جهت تعیین رفتار جریان نمونه‌های خمیر، از مدل قانون توان با ضریب تبیین ( $R^2$ ) بالا، برای برازش داده‌های تنش برشی در مقابل سرعت برشی استفاده گردید. در جداول ۳ و ۴، مقادیر پارامترهای این مدل برای نمونه‌های خمیر نشان داده شده است. همانطور که در این جداول مشاهده می‌شود، شاخص رفتار جریان همه نمونه‌ها کمتر از یک بوده است، بنابراین نمونه‌های خمیر رفتار رقیق شونده با برش (سودپلاستیک) داشتند. دوگان و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که به‌طور کلی هیدروکلئیدهای با شاخص  $n$  کمتر سبب گرانروی بالا و احساس دهانی مطلوب می‌شوند [۳۰]. همانطور که مشخص است، همه نمونه‌های خمیر مورد مطالعه نسبت به نمونه شاهد شاخص  $k$  بالاتری را نشان دادند که نشان دهنده افزایش قدرت شبکه ژلی می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که نمونه‌های با  $n$  کمتر، مقادیر  $k$  بیشتری داشتند. بیشترین شاخص قوام ( $Pa.s^n$  ۴۵۰/۲) مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا و ۱ درصد صمغ دانه ریجان و کمترین شاخص  $k$  ( $Pa.s^n$  ۳۸/۳) مربوط به نمونه شاهد بود. علت افزایش شاخص  $k$  را می‌توان به واکنش میان هیدروکلئیدهای مختلف با نشاسته آرد برنج و درهم تنیدگی

**Table 3- Power law model parameters in batter samples containing whey protein concentrate with basil seed gum (WB)**

Cake batter sample	k (Pa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
WB (0 - 0)	38.3	0.47	0.99
WB (0 - 0.5)	67.35	0.47	0.99
WB (0 - 1)	119.3	0.40	0.99
WB (5 - 0)	49.1	0.47	0.99
WB (5 - 0.5)	450.2	0.28	0.99
WB (5 - 1)	206.3	0.31	0.97
WB (10 - 0)	53.32	0.51	0.99
WB (10 - 0.5)	151.6	0.40	0.99
WB (10 - 1)	311.1	0.27	0.97

**Table 4- Power law model parameters in batter samples containing soy protein isolate with basil seed gum (SB)**

Cake batter sample	k (Pa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
SB (0 - 0)	38.3	0.47	0.99
SB (0 - 0.5)	67.35	0.47	0.99
SB (0 - 1)	119.3	0.40	0.99
SB (5 - 0)	65.87	0.44	0.99
SB (5 - 0.5)	130.2	0.40	0.99
SB (5 - 1)	278.9	0.33	0.98
SB (10 - 0)	104.9	0.38	0.99
SB (10 - 0.5)	257.2	0.31	0.98
SB (10 - 1)	450.2	0.28	0.98

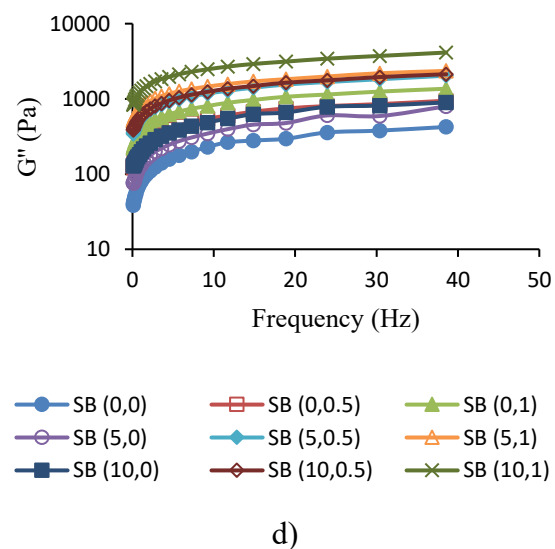
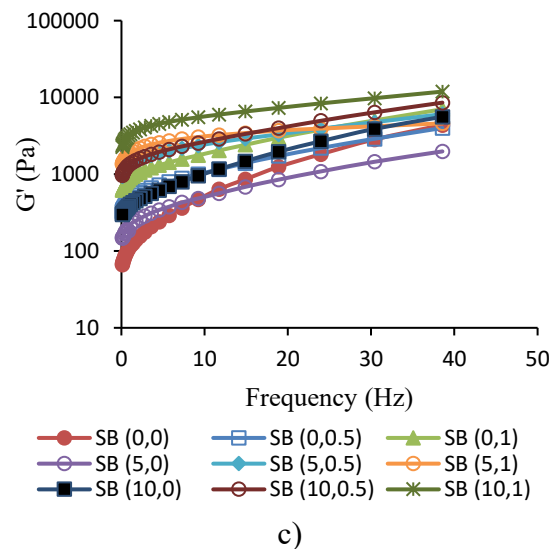
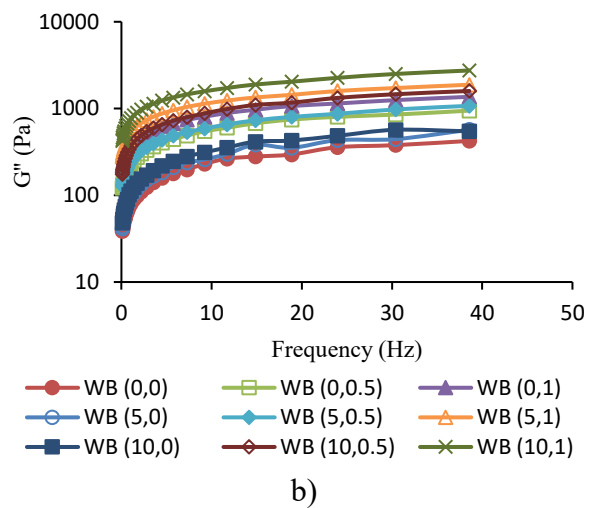
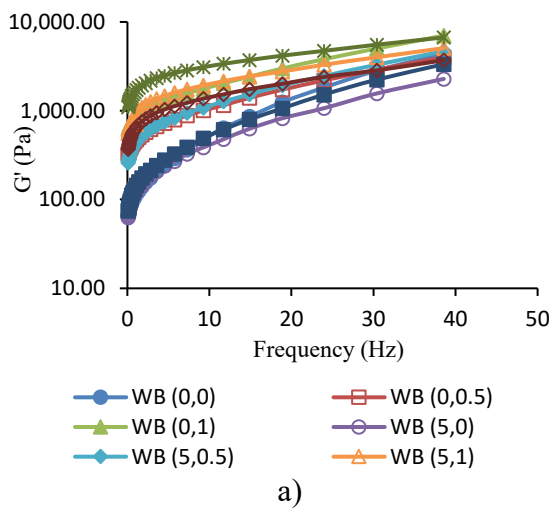
آمده در فرکانس ۱ هرتز برای نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه ریحان نشان داد که مدول ذخیره در محدوده (۱۷۲۰/۰۷۹-۱۱۵/۱۴۴ پاسکال) و مدول افت در محدوده (۷۷۳/۷۴۱-۸۰/۴۷۶ پاسکال) و برای نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه ریحان، مدول ذخیره در محدوده (۳۳۱۷/۲۱۷-۱۱۵/۱۴۴ پاسکال) و مدول افت در رنج (۱۲۹۱/۳۱۶-۸۰/۴۷۶ پاسکال) قرار داشت. بنابراین نمونه حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا با ۱۰ درصد صمغ دانه ریحان دارای مدول افت و ذخیره بالاتری نسبت به نمونه‌های دیگر بود، کمترین مدول ذخیره و افت نیز در نمونه شاهد مشاهده شد (شکل ۲).

### ۳-۴- مدول ذخیره و مدول افت

مدول ذخیره بیانگر میزان رفتار الاستیک و مقدار انرژی بازیابی شده در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش می‌باشد و مدول افت میزان رفتار جریان‌ی و مقدار انرژی هدر رفته در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش را نشان می‌دهد [۳۴]. اشکال ۲a و ۲b تغییرات در مدول افت و ذخیره نمونه‌های خمیر حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه ریحان را نشان می‌دهند. در تمامی نمونه‌های خمیر، مدول ذخیره بالاتر از مدول افت بوده است، بنابراین ویژگی الاستیک بر ویسکوز غالب شده است. مقادیر به دست

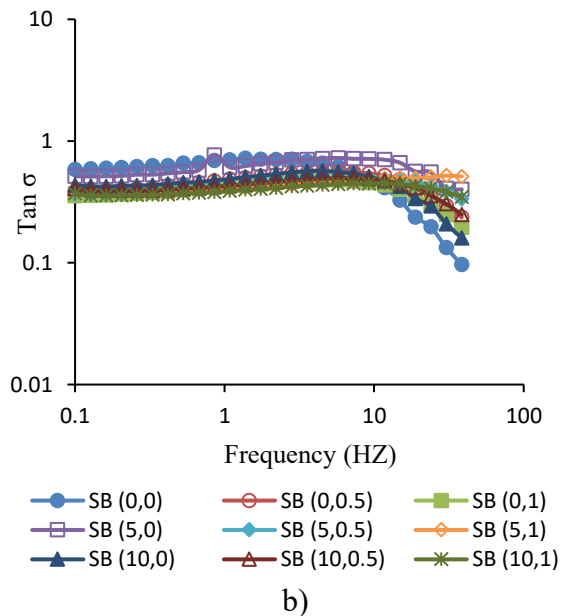
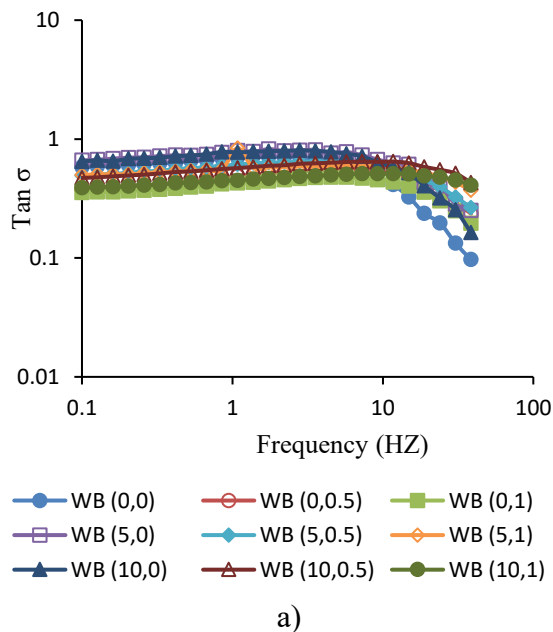
مافین بر پایه آرد برنج دارای رفتار ژل مانند به همراه مقادیر بالاتر مدول ذخیره از افت بودند. افزودن پروتئین روی رفتار ویسکو الاستیک خمیر اثر گذار بوده است و میزان تاثیر وابسته به منبع پروتئین است. حضور تمام پروتئین های گیاهی، جزء الاستیک و ویسکوز خمیر مافین بر پایه آرد برنج را اصلاح کردند و باعث افزایش در مدول ذخیره و افت شدند. خمیرهای دارای پروتئین نخود فرنگی و سویا دارای  $G'$  و  $G''$  بالاتری بودند [۳۶]. ویلانوا و همکاران (۲۰۱۸) افزایش مدول ذخیره و افت ناشی از غنی سازی خمیر بدون گلوتن با پروتئین سویا یا کازئینات کلسیم را مشاهده کردند و نشان دادند که خصوصیات رئولوژیکی خمیر نه تنها بر اساس نوع پروتئین اضافه شده، بلکه بر اساس نوع نشاسته مورد استفاده به عنوان پایه خمیر نیز تعیین می شود [۳۷].

افزایش درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا از صفر به ۱۰ درصد و افزایش درصد صمغ دانه ریحان از صفر به ۱ درصد باعث افزایش مدول ذخیره و افت شد. علت افزایش مدول الاستیک با افزودن پروتئین آب پنیر احتمالا به دلیل حلالیت خوب این ترکیب است. از طرفی پروتئین آب پنیر دارای محتویات بالایی از گروه های سولفیدریل کل و آزاد است که تمایلات اتصال عرضی قوی با سایر اجزای تشکیل دهنده کیک دارند که در نتیجه منجر به بهبود خواص ویسکوالاستیک خمیر می گردد [۳۵]. بیلدیز و همکاران (۲۰۱۸) دلیل افزایش مدول الاستیک در خمیر کیک بدون گلوتن با افزودن صمغ را خاصیت ذاتی الاستیک صمغ و بر همکنش هیدروکلوئیدها با نشاسته دانستند [۱۳]. ماتوس و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند نمونه های خمیر



**Fig. 2- Storage modulus of batter samples containing (a) whey protein concentrate with basil seed gum (WB) and (c) soy protein isolate with basil seed gum (SB) and loss modulus of batter samples containing (b) whey protein concentrate with basil seed gum (WB) and (d) soy protein isolate with basil seed gum (SB)**

کاهش تانژانت افت در مقادیر بالاتر صمغ و پروتئین را می‌توان به هیدراتاسیون بهتر نشاسته و پروتئین نسبت داد که منجر به شروع سفت شدن خمیر کیک می‌گردد [۳۸]. بیلدیز و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند نمونه های خمیر کیک دارای تانژانت افت کمتر از ۱ بودند [۱۳]. هرانز و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان داشتند که کاهش میزان پروتئین میزان تانژانت افت خمیر بدون گلوتن را افزایش می‌دهد ولی با افزایش میزان پروتئین در فرمولاسیون میزان این شاخص کاهش یافت که مطابق نتایج این بخش بود [۳۹].



**Fig. 3- Loss tangent of batter samples containing (a) whey protein concentrate with basil seed gum (WB) and (b) soy protein isolate with basil seed gum (SB)**

ایزوله پروتئین سویا دارای سفتی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بوده و در فرکانس ۱ هرتز میزان ویسکوزیته کمپلکس آن‌ها به ترتیب (۲۷۷/۲۶۸ پاسکال ثانیه) و (۵۲۳/۲۹۹ پاسکال ثانیه) بود (شکل ۴). به عبارت دیگر با افزایش میزان صمغ و پروتئین میزان ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌ها افزایش یافت، علت این افزایش را می‌توان به محتوای پروتئین بالای کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا نسبت داد. پاتیل و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی خواص ویسکوالاستیک و رئولوژی خمیر آردهای بدون

### ۳-۵- تانژانت افت

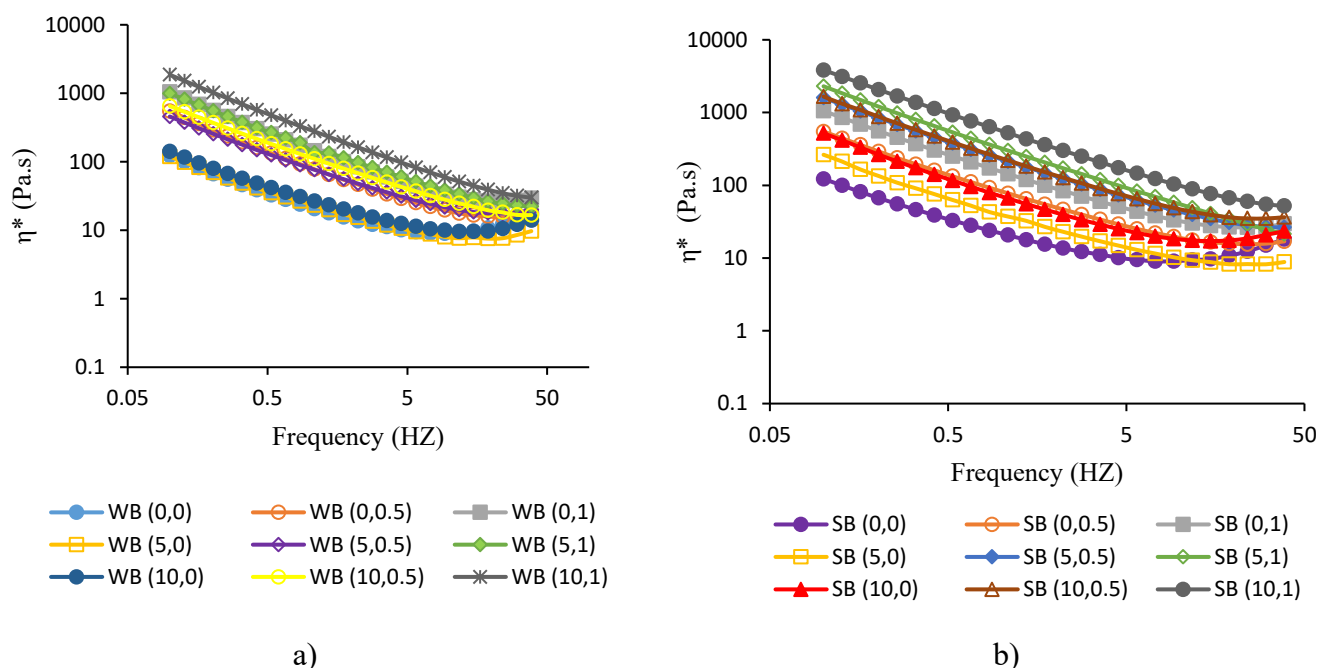
شکل ۳، نشان داد که مقدار تانژانت افت نمونه های خمیر حاوی سطوح مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر و یا ایزوله پروتئین سویا با صمغ دانه ریحان کمتر از یک به دست آمده است که الاستیک بودن نمونه ها را تایید می‌کند. نمونه حاوی ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر به همراه ۱ درصد صمغ دانه ریحان و هم چنین نمونه دارای ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا به همراه ۱ درصد صمغ دانه ریحان با داشتن مدول ذخیره و افت بیشتر دارای تانژانت افت پایینی بودند. علت

### ۳-۶- ویسکوزیته کمپلکس

نتایج نشان داد که مقادیر ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌های خمیر حاوی سطوح مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر و یا ایزوله پروتئین سویا با صمغ دانه ریحان با افزایش فرکانس کاهش یافت که این مطلب خاصیت الاستیک بودن نمونه ها را تایید می‌کند. بنابراین نمونه‌های حاوی ۱ درصد صمغ دانه ریحان با ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر یا ۱۰ درصد

هیدروکلوئیدها بر خواص رئولوژی خمیر بدون گلوتن آرد ذرت نشان دادند که علت کاهش ویسکوزیته کمپلکس با افزایش فرکانس به دلیل تخریب گرانول‌های متورم خمیر می‌باشد و از طرفی افزایش هیدروکلوئیدهای مختلف به علت تشکیل پیوند هیدروژنی منجر به افزایش ویسکوزیته خمیر می‌گردد که مشابه با یافته‌های این بخش بود [۴۱].

گلوتن بیان داشتند که با افزایش میزان پروتئین میزان ویسکوزیته خمیرها افزایش می‌یابد. آن‌ها گزارش کردند که ویسکوزیته کمپلکس کمتر نشان دهنده همگنی کمتر نمونه های خمیر مانند خمیر برنج به دلیل عدم وجود شبکه پروتئینی است، که همراستا با نتایج این بخش بود [۴۰]. بنازیر و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تاثیر افزودن



**Fig. 4- The complex viscosity of batter samples containing (a) whey protein concentrate with basil seed gum (WB) and (b) soy protein isolate with basil seed gum (SB)**

یک بوده است. نتایج آزمون های نوسانی حاکی از آن بود که در تمامی نمونه های خمیر، مدول ذخیره از مدول افت بالاتر بوده و ویژگی الاستیک بر ویسکوز غالب شده است. از طرفی مقادیر تانژانت افت نمونه های خمیر حاوی سطوح مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر و یا ایزوله پروتئین سویا با صمغ دانه ریحان کمتر از یک بود که این موضوع نیز الاستیک بودن نمونه ها را تایید کرد. با افزایش کنسانتره پروتئین و ایزوله پروتئین سویا به همراه صمغ دانه ریحان، میزان ویسکوزیته کمپلکس افزایش یافت. با توجه به این نتایج نمونه های حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا و ۱ درصد صمغ دانه ریحان را می‌توان به عنوان تیمار بهینه معرفی نمود که قابلیت تولید صنعتی را داراست و ضمن بهبود ویژگی های خمیر، بخشی از کمبود تغذیه ای برنج را نیز تامین نماید. به منظور

#### ۴- نتیجه گیری کلی

برای اطمینان از کیفیت مناسب تکنولوژیکی خمیر محصولات نانوائی بایستی ویژگی های بافتی، رئولوژیکی، حرارتی، ساختاری و میکروسکوپی خمیر مورد بررسی قرار گیرد زیرا این پارامترهای خمیر با ویژگی های بافتی محصول نهایی در ارتباط هستند و بر ویژگی های حسی و مقبولیت مصرف کننده تاثیر بسزایی دارند. یافته های این پژوهش حاکی از آن بود که با افزودن کنسانتره آب پنیر، ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه ریحان در خمیر کیک، ویسکوزیته ظاهری در تمامی نمونه ها با افزایش سرعت برشی کاهش یافت. نمونه های خمیر تهیه شده از نظر رئولوژیکی، غیرنیوتنی بوده و رفتار رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) نشان دادند و شاخص رفتار جریان همه نمونه ها کمتر از

### مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

### منافع رقابتی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

### تأمین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

### ۵- منابع

- [1] Salehi, F., *Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review*. Food science & nutrition, 2019. 7(11): p. 3391-3402.
- [2] Seyedahmadi, S., et al., *Enhancing the quality of rice-based gluten-free bread using sourdoughs fermented with Lactobacillus fermentum and Lactobacillus plantarum*. Scientific Reports, 2025. 15(1): p. 26543.
- [3] Fajardo, V., et al., *Updated food composition database for cereal-based gluten free products in Spain: is reformulation moving on?* Nutrients, 2020. 12(8): p. 2369.
- [4] Burbano Moreano, J.J., D.M. Cabezas, and M.J. Correa, *Effect of walnut flour addition on rheological, thermal and microstructural properties of a gluten free-batter*. 2022.
- [5] Rodríguez, R., et al., *Effect of microwave technology and upcycled orange fibre on the quality of gluten-free muffins*. LWT, 2022. 158: p. 113148.
- [6] Gharekhani, M., et al., *Sourdoughs fermented by autochthonous Lactobacillus strains improve the quality of gluten-free bread*. Food Science & Nutrition, 2021. 9(11): p. 6372-6381.
- [7] Rosell, C.M., M. Aalami, and S.A. Mahdavi, *Innovative gluten-free products*. Innovative processing technologies for healthy grains, 2020: p. 177-198.
- [8] Mohammadzadeh, F., et al., *Optimizing the formulation of gluten-free sponge cake based on rice flour containing tragacanth gum and date pomace powder using mixed statistical design*. Journal of food science and technology (Iran), 2025. 22(161): p. 229-243.
- [9] Gharekhani, M., et al., *Physical and aerodynamic properties of paddy and white rice as a function of moisture content*. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2013. 5(3): p. 187-197.
- [10] Moniri, H., R. Farahmandfar, and A. Motamedzadegan, *Investigation of hot air and foam-mat dried cress seed gum by FT-IR, zeta potential, steady shear viscosity, dynamic oscillatory behavior, and other physical properties*. Food science & nutrition, 2020. 8(4): p. 2143-2155.
- [11] Azmoon, E., et al., *The effects of hydrocolloids-protein mixture as a fat replacer on physicochemical characteristics of sugar-free muffin cake: Modeling and optimization*. Foods, 2021. 10(7): p. 1549.
- [12] Rahim Monfared, M., L. Nouri, and A. Mohammadi Nafchi, *The effects of sesame protein isolate and transglutaminase enzyme on the quality characteristics of gluten-free batter and cake*. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023. 17(5): p. 4881-4891.
- [13] Yıldız, E., S. Şumnu, and S. Şahin, *Effects of buckwheat flour, gums and proteins on rheological properties of gluten-free batters and structure of cakes*. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2018. 10(3): p. 245-254.
- [14] Pu, X., et al., *Development and characterization of acid-induced whey protein concentrate and egg white protein composite gel*. Lwt, 2022. 164: p. 113624.
- [15] Sahagún, M., et al., *Influence of protein source on the characteristics of gluten-free layer cakes*. Lwt, 2018. 94: p. 50-56.
- [16] Ammar, I., et al., *Optimization of gluten-free sponge cake fortified with whey protein concentrate using mixture design methodology*. Food Chemistry, 2021. 343: p. 128457.
- [17] Nazir, S. and I.A. Wani, *Functional characterization of basil (Ocimum basilicum L.) seed mucilage*. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2021. 25: p. 100261.
- [18] Pourmohammadi, O., S.H. Hosseini Ghaboos, and S. Jafarian, *Physicochemical, rheological, and sensorial properties of bread supplemented with pumpkin powder and basil seed gum*. Journal of Food Processing and Preservation, 2020. 44(12): p. e14739.
- [19] Razavi, S.M., et al., *Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (Ocimum basilicum*

- L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 2009. **44**(9): p. 1755-1762.
- [20] Turabi, E., G. Sumnu, and S. Sahin, *Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend*. *Food hydrocolloids*, 2008. **22**(2): p. 305-312.
- [21] AACC, *Approved methods of the American association of cereal chemists (Vol. 1): American Association of Cereal Chemists*. 2000.
- [22] Rahmati, F., et al., *Investigation of rheological, physicochemical, and sensorial properties of traditional low-fat Doogh formulated*. *Food Science & Nutrition*, 2023. **11**(11): p. 7218-7228.
- [23] Arab, K., et al., *Gelling and rheological properties of a polysaccharide extracted from *Ocimum album L. seed**. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023. **246**: p. 125603.
- [24] Delcour, J. and R.C. Hosney, *Principles of cereal science and technology authors provide insight into the current state of cereal processing*. *Cereal Foods World*, 2010. **55**(1): p. 21-22.
- [25] Fathi, B., et al., *Utilization of heat-moisture treated proso millet flour in production of gluten-free pound cake*. *Journal of food quality*, 2016. **39**(6): p. 611-619.
- [26] Abbaszadeh, F., et al., *Effect of Pickering emulsion stabilized by soy protein nanoparticles on physical and rheological properties of gluten-free cake batter*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023. **2023**(1): p. 3348944.
- [27] Chen, R.H. and W.Y. Chen, *Rheological properties of the water-soluble mucilage of a green laver, *Monostroma nitidum**. *Journal of Applied phycology*, 2001. **13**: p. 481-488.
- [28] Ahmadi, F., N. Aghajani, and A. Gohari Ardabili, *Response surface optimization of cupcake physicochemical and sensory attributes during storage period: Effect of apricot kernel flour addition*. *Food Science & Nutrition*, 2022. **10**(3): p. 661-677.
- [29] Lazaridou, A., et al., *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations*. *Journal of food engineering*, 2007. **79**(3): p. 1033-1047.
- [30] Dogan, S.F., S. Sahin, and G. Sumnu, *Effect of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets*. *Journal of Food Engineering*, 2005. **71**: 127– 132.
- [31] Mahmood, K., et al., *Wheat flour and gum cordia composite system: Pasting, rheology and texture studies*. *Food Science and Technology*, 2018. **38**(4): p. 691-697.
- [32] Shaabani, S., et al., *The effect of chickpea protein isolate in combination with transglutaminase and xanthan on the physical and rheological characteristics of gluten free muffins and batter based on millet flour*. *LWT*, 2018. **90**: p. 362-372.
- [33] Noorlaila, A., et al., *Effects of xanthan gum and HPMC on physicochemical and microstructure properties of sponge cakes during storage*. *Journal of food science and technology*, 2017. **54**: p. 3532-3542.
- [34] Gope, S., et al., *Effect of alcohol-acid modification on physicochemical, rheological and morphological properties of glutinous rice starch*. *International journal of biological macromolecules*, 2016. **93**: p. 860-867.
- [35] Waziroh, E., et al., *Ohmic baking of gluten-free bread: role of non-gluten protein on GF bread structure and properties*. *International Journal of Food Science and Technology*, 2023. **58**(2): p. 595-609.
- [36] Matos, M.E., T. Sanz, and C.M. Rosell, *Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins*. *Food Hydrocolloids*, 2014. **35**: p. 150-158.
- [37] Villanueva, M., et al., *Impact of acidification and protein fortification on rheological and thermal properties of wheat, corn, potato and tapioca starch-based gluten-free bread doughs*. *Food Science and Technology*, 2018. **96**: 446-454.
- [38] Chompoorat, P., et al., *Physical and dynamic oscillatory shear properties of gluten-free red kidney bean batter and cupcakes affected by rice flour addition*. *Foods*, 2020. **9**(5): p. 616.
- [39] Herranz, B., W. Canet, and M. Alvarez, *Dolores Corn starch and egg white enriched gluten-free chickpea flour batters: Rheological and structural properties*. *International Journal of Food Properties*, 2017. **20**: 489-506.
- [40] Patil, S., et al., *Pasting, viscoelastic and rheological characterization of gluten free (cereals, legume and underutilized) flours with reference to wheat flour*. *Journal of Food Science and Technology*, 2020. **57**: p. 2960-2966.
- [41] Benazir, S., et al., *Influence of hydrocolloids on rheological properties of gluten-free dough based on corn flour*. *Journal of Postharvest Technology*, 2019. **7**(1): p. 72-83.



## Scientific Research

### Stable and dynamic rheological characteristics of gluten-free cake batter enriched with whey protein concentrate, soy protein isolate and basil seed gum

Parastoo Ghaemi <sup>1</sup>, Saeedeh Arabshahi Delouee <sup>2\*</sup>, Mehran Alami <sup>3</sup>, Seyyed Hossein Hosseini Ghaboos <sup>2</sup>

1- Ph.D. Graduated of Food Science and Technology, Az.C., Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

2- Department of Food Science and Technology, Az.C., Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

\*Corresponding author: [sa.arabshahi@iau.ac.ir](mailto:sa.arabshahi@iau.ac.ir)

3- Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received: 2025/09/13

Review: 2025/09/30

Accepted: 2025/10/08

## Keywords:

Basil seed gum,  
Gluten-free cake batter,  
Rheological properties,  
Soy protein isolate,  
Whey protein concentrate

DOI: [10.48311/fsct.2026.115687.0](https://doi.org/10.48311/fsct.2026.115687.0)

\*Corresponding Author E-

[sa.arabshahi@iau.ac.ir](mailto:sa.arabshahi@iau.ac.ir)

In recent years, the demand for gluten-free food products has been growing exponentially. Thus, research on the effects of various compounds for improving the quality of these products seems necessary. The current study aimed to enhance the rheological properties of a gluten-free batter and cake based on rice flour using whey protein concentrate (WPC), soy protein isolate (SPI) at three levels (0, 5, and 10%), and various amounts of basil seed gum (BSG) (0, 0.5, and 1%). The results revealed that the apparent viscosity in all the samples increased with protein and gum, so the highest apparent viscosity (27.9 Pa·s) related to the sample containing 10% SPI and 1% BSG. The flow behavior index of each sample was less than one. Hence, shear thinning behavior (pseudoplasticity) was seen in all batter samples. The storage modulus and loss modulus of the cake batter increased as the proportion of WPC, SPI, and BSG increased. The samples' elasticity was confirmed by the loss tangent value of batter samples with varying concentrations of WPC or SPI, with BSG being less than one. These findings showed that samples with 10% WPC, 10% SPI, and 1% BSG had greater stiffness than other samples at a frequency of 1 Hz. Their complex viscosity values were 277.268 and 523.299 Pa·s, respectively. In terms of rheological qualities, cake samples with 10% SPI and 1% BSG were recommended as an alternative to regular cakes for those with celiac disease.