



ویژگی‌های رئولوژیکی کیک اسفنجی بر پایه آرد برنج و جوانه گندم

مهران اعلمی^{۱*}، مهشید رهبری^۲، عبدالستار عوض صوفیان^۳

^۱دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۲دکتری دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۳دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: کیک اسفنجی به‌عنوان یک میان وعده غذایی مقبولیت زیادی در بین افراد جامعه دارد. به نظر می‌رسد غنی سازی فرمولاسیون آن موجبات تولید ترکیبی فراسودمند با ارزش تغذیه‌ای بالا را فراهم کند. از سوی دیگر، با افزایش حساسیت به گلوتن و بیماری گوارشی سلیاک، تقاضا جهت مصرف فراورده‌های فاقد گلوتن یا با گلوتن کاهش یافته، افزایش یافته است. با توجه به اهمیت پروتئین‌های تشکیل دهنده شبکه ویسکوالاستیک گلوتن در ایجاد ویژگی‌های رئولوژیکی مطلوب محصولات خمیری، لزوم استفاده از پروتئین‌هایی با ویژگی‌های مشابه به منظور جایگزین کردن پروتئین گلوتن مشهود است. در تحقیق حاضر ترکیب آرد برنج و آرد جوانه گندم چربی گرفته با هدف تولید محصولی فراسودمند به عنوان جایگزین آرد گندم در کیک اسفنجی مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌های خمیر بر پایه ۱۰۰ درصد آرد برنج تهیه شده و آرد جوانه گندم در سطوح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ در فرمولاسیون‌های خمیر مورد استفاده قرار گرفتند. یک نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم نیز به عنوان شاهد تهیه شد. با توجه به نقش مهم پروتئین‌های آرد گندم در شکل گیری بافت خمیر و کیک اسفنجی، تاثیر جایگزینی آرد گندم با آرد برنج و آرد جوانه گندم بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر و کیک حاصل مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: پس از تهیه آرد چربی گرفته جوانه گندم، نمونه‌های کیک مطابق تیمارهای مورد نظر تهیه شدند. به‌منظور بررسی رفتار رئولوژیکی، آزمون‌های رئولوژیکی پایا (آزمون رفتار جریان) و آزمون‌های نوسانی (روبش کرنش و روبش فرکانس) توسط دستگاه رئومتر با استفاده از دو صفحه موازی روی خمیرهای حاصل اعمال شدند.

یافته‌ها: نتایج آزمون رفتار جریان، نشان دهنده رفتار تیکسوتروپیک رقیق شونده با برش کلیه نمونه‌های خمیر بود که با مدل قانون توان تطبیق داده شد و شاخص‌های مربوط به این مدل در هر تیمار تعیین گردید. همچنین، نمونه‌های خمیر از لحاظ رئولوژیکی ویژگی‌های یک ژل ضعیف را نشان داده و بر روی ویژگی‌های به‌دست آمده از آزمون نوسانی روبش فرکانس مانند مدول ذخیره، مدول افت و تانژانت افت، اثر معنی‌دار داشتند ($P < 0.05$). نمونه حاوی آرد برنج نسبت به نمونه شاهد ویژگی‌های رئولوژیکی ضعیفی را نشان داد. با افزایش سطوح آرد جوانه گندم (از ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد)، گرانیروی و شاخص قوام افزایش یافت و ترکیب آرد برنج و ۱۰ درصد آرد جوانه گندم بیشترین نزدیکی را به نمونه شاهد نشان داد.

نتیجه‌گیری: با ترکیب آرد برنج و آرد جوانه گندم به عنوان جایگزین آرد گندم در کیک اسفنجی در سطوح مناسب می‌توان محصولی فراسودمند با ویژگی‌های رئولوژیکی مطلوب تهیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آرد برنج، آرد جوانه گندم چربی گرفته، کیک اسفنجی، ویژگی‌های رئولوژیکی

*مسئول مکاتبات: mehranalami@gmail.com

مقدمه

محصولات آردی از پر مصرف‌ترین محصولات غذایی در سراسر جهان محسوب می‌شوند. از میان این محصولات، کیک به واسطه ویژگی‌های کام‌پذیری مناسب، مورد استقبال و پسند مصرف‌کنندگان واقع شده است. به طوری که امروزه در اکثر کشورهای اروپایی بیش از بیست نوع کیک با طعم و ارزش غذایی متنوع تولید می‌شود (۶). آرد، شکر، تخم‌مرغ و چربی ترکیبات اصلی در تولید کیک محسوب می‌شوند و هر کدام نقش مهمی را در ساختار و کیفیت محصول ایفا می‌کنند (۱۴). معمولاً در تولید کیک از آرد گندم استفاده می‌شود، اما با توجه به حساسیت برخی افراد به پروتئین‌های ذخیره‌ای موجود در گندم (پرولامین) و سایر غلات، تولید کیک‌های فاقد گلوتن یا با گوتن کاهش یافته در اکثر مناطق جهان رو به گسترش است و آرد برنج مهمترین غله‌ای است که به علت نداشتن گلوتن مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹). به هر حال، با توجه به نقش پروتئین‌های گلوتن در تشکیل شبکه و حفظ ویژگی‌های ویسکوالاستیک محصولات خمیری، جایگزینی گلوتن یکی از مسائل چالش برانگیز در صنعت غذا می‌باشد و تهیه مواد غذایی فاقد گلوتن با کیفیت تغذیه‌ای و عملکردی مطلوب، دشوار است. کیفیت محصولات برپایه برنج در مقایسه با محصولات برپایه گندم، به علت عدم وجود شبکه ویسکوالاستیک گلوتنی است. بنابراین، استفاده از مواد پلیمری مانند هیدروکلوئیدها که خواص ویسکوالاستیک گلوتن را شبیه سازی می‌کنند، اغلب برای بهبود کیفیت محصولات مبتنی برپایه برنج لازم است (۵).

مطالعات مختلفی در زمینه تولید کیک بدون گلوتن توسط آرد برنج در ترکیب با پروتئین‌ها و هیدروکلوئیدهای مختلف صورت گرفته است. روندا

و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی اثر آرد برنج و نشاسته ذرت، سیب زمینی و گندم و ایزوله‌ی پروتئین سویا در سطوح صفر تا ۲۰ درصد بر روی خواص کیک بدون گلوتن نشان دادند که بیشترین حالت الاستیک مربوط به خمیر حاوی آرد برنج و سطح ۱۰ درصد ایزوله‌ی پروتئین سویا بود که این نمونه خواص رئولوژیکی مشابه با خمیر آرد گندم از خود نشان داد (۱۹). تورابی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی بر روی فرمولاسیون کیک برنجی با ترکیب صمغ‌های مختلف و امولسیفایر دریافتند که نمونه‌های کیک حاوی ترکیب زانتان و امولسیفایر دارای حجم و تخلخل زیادی بوده و بافت مطلوبی نشان می‌دهند (۲۰). گولارت و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی اثر جایگزینی فیبرهای مختلف تا سطح ۲۰ درصد آرد برنج در فرمولاسیون کیک لایه‌ای برنجی دریافتند که وجود فیبرها به جز اینولین موجب افزایش گرانشی خمیر می‌شود (۱۰). مخلوط فیبرهای اینولین و سبوس جو در کیک‌های غنی شده باعث افزایش حجم ویژه کیک و سفتی مغز کیک شد. عوض صوفیان و همکاران (۲۰۱۴) با افزودن ترکیبی از کنجاله بادام و صمغ زانتان، خواص فیزیکی و حسی کیک بدون گلوتن را بهبود بخشیدند (۳).

جوانه گندم یکی از مهمترین فراورده‌های جانبی حاصل از آسیاب گندم است. این فراورده منبع غنی از ویتامین‌ها، پروتئین‌ها، فیبر رژیمی و مواد معدنی می‌باشد. علاوه بر این مقادیری از فلاونوئیدها، استرول‌ها و گلوکاتینون در آن وجود دارد که می‌تواند به پیش‌گیری از بیماری‌های مختلف و برخی از انواع سرطان‌ها کمک کند (۲۲). جوانه گندم حاوی حدود ۱۰ درصد روغن بوده که به‌طور عمده در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی، بهداشتی استفاده می‌شود. پروتئین جوانه گندم، که غنی از پروتئین‌های محلول در آب و محلول در آب نمک می‌باشد، از ویژگی‌های

تغذیه‌ای و عملکردی مطلوب بوده که پتانسیل خوبی برای کاربرد در فرمولاسیون مواد غذایی مختلف، به عنوان مکمل غذایی یا جایگزینی برخی ترکیبات را دارد. به همین دلیل تلاش زیادی به منظور کشف روش‌های کارآمد برای کاربرد آرد و پروتئین جوانه گندم در فرآورده‌های غذایی و تهیه محصولات فراسودمند برای مصرف انسانی، در حال انجام است.

با توجه به اینکه آرد جوانه گندم دارای سطح ناچیزی از پروتئین‌های تشکیل دهنده شبکه گلوتن در خمیر بوده و از طرفی دارای پروتئین‌های با ویژگی‌های عملکردی بی‌نظیر و ترکیبات مغذی می‌باشد و با در نظر گرفتن ترکیب فاقد گلوتن آرد برنج، این پژوهش با هدف دستیابی به یک میان وعده غذایی فراسودمند که نیاز تغذیه‌ای افراد حساس به گلوتن را رفع کند انجام شد. لذا با توجه به نقش پروتئین‌های گندم در شکل‌گیری بافت و شبکه ویسکوالاستیک خمیر کیک اسفنجی ساده از یک سو و نتایج مطالعات مختلف مبنی بر ویژگی‌های عملکردی مطلوب پروتئین‌های جوانه گندم از سوی دیگر، تاثیر جایگزینی آرد گندم با آرد برنج و آرد جوانه گندم بر روی ویژگی‌های رئولوژیکی محصول غنی شده مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: برنج طارم از کارخانه شالی‌کوبی شهرستان گرگان به صورت نیم‌دانه تهیه شد. سپس با استفاده از آسیاب به آرد تبدیل شد. جوانه گندم از یکی از کارخانه‌های آرد شهر گرگان تهیه گردید و با استفاده از هگزان چربی‌گیری و توسط آسیاب آزمایشگاهی (Perten, 3100 ساخت کشور آلمان)، آسیاب شد، به طوری که ذرات آرد شده از الک با مش 100^2 عبور کنند. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی در شرایط

عملکردی مطلوبی برخوردار است که آن را تبدیل به ترکیبی سودمند برای استفاده در فرآورده‌های غذایی مختلف، از جمله گوشت‌های فرایند شده، غلات، غذاهای پخته شده و نوشیدنی‌ها کرده است. فعالیت امولسیفایری، توانایی حفظ آب بالا، کف‌کنندگی و حلالیت بالا، از جمله این ویژگی‌ها می‌باشند (۱۱).

آرشد و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای به منظور بررسی ویژگی‌های عملکردی و تغذیه‌ای کلوچه، آرد چربی گرفته شده جوانه گندم را در سطوح صفر تا ۲۵ درصد جایگزین آرد گندم کردند (۲). استفاده از آرد چربی گرفته شده جوانه گندم باعث شد نسبت کارایی پروتئین و ارزش زیستی بالاتر رود و به‌طور کلی ارزش غذایی بهتری نسبت به نمونه کنترل (صفر درصد) نشان داد. به کارگیری ۵ تا ۱۵ درصد آرد چربی گرفته شده جوانه گندم، بهترین نتیجه را به دنبال داشت. فاتما و همکاران (۲۰۱۰) با افزودن پروتئین جوانه گندم به فرمولاسیون بیسکویت و ماست در مقادیر مختلف، فرآورده‌هایی با میزان پروتئین و کربوهیدرات بالاتر، همچنین ویسکوزیته و سفتی بافت بیشتر، تولید کردند. به طوری که میزان آب اندازی^۱ ماست کاهش یافت و بافت مطلوبی حاصل شد. استحکام بافت بیسکویت نیز افزایش یافت. همچنین، ارزش غذایی و ویژگی‌های حسی مطلوب تری نسبت به نمونه شاهد، مشاهده شد (۴). رهبری و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که کاربرد ایزوله پروتئین جوانه گندم به عنوان جایگزین تخم مرغ در سس مایونز موجب افزایش پارامترهای رئولوژیکی ویسکوزیته و قوام نمونه‌ها و سفتی بافت می‌گردد و بنابراین می‌توان به‌طور رضایت‌بخش از جنبه رئولوژیکی و ساختاری، زرده تخم مرغ موجود در مایونز را با ایزوله پروتئین جوانه گندم جایگزین نمود (۱۷). بنابراین، جوانه گندم فرآورده‌ای با ویژگی‌های

مدت ۱۰۰ ثانیه ثابت باقی ماند و مجدداً تا مقدار اولیه کاهش یافت. به منظور تعیین مدل مناسب برای توصیف رفتار جریانی، مدل قانون توان^۶ و مدل هرشل بالکلی مقایسه شدند، که مدل قانون توان با ضریب همبستگی بیشتر جهت برازش داده‌ها انتخاب شد و پارامترهای مدل مذکور برای کلیه نمونه‌ها تعیین گردید. معادله زیر، رابطه این مدل را نشان می‌دهد:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

که در این رابطه τ تنش برشی (پاسکال)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (یک بر ثانیه)، K ضریب قوام^۷ (پاسکال-ثانیه)^(n) و n شاخص رفتار جریان^۸ (بدون بعد) می‌باشد. ضریب قوام، بزرگی گرانشی سیال و شاخص رفتار جریان، میزان نزدیکی رفتار سیال به سیال نیوتونی را نشان می‌دهد.

آزمون‌های نوسانی: آزمون روبش کرنش در محدوده کرنش ۱۰۰۰-۰/۰۰۵ درصد و فرکانس ثابت ۱ هرتز، به منظور تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شد، زیرا آزمون‌های ویسکوالاستیک زمانی ارزشمند و قابل تفسیر خواهند بود که در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شوند. آزمون روبش فرکانس در محدوده فرکانس ۱۰۰-۰/۰۰۱ هرتز و با اعمال کرنش ثابت ۰/۵ درصد در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شد (۱۳). منحنی‌هایی که از آزمون روبش فرکانس بدست می‌آیند ممکن است بر حسب فرکانس (با واحد هرتز) یا فرکانس زاویه‌ای (با واحد رادیان بر ثانیه) رسم شوند. دو پارامتر مهم که از این آزمون نتیجه می‌شوند، مدول ذخیره^۹ یا مدول برشی (G') و مدول ویسکوز یا مدول افت^{۱۰} (G'') می‌باشند. مدول ذخیره میزان رفتار الاستیک و

دمایی ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پودر آب‌پنیر از کارخانه پگاه گرگان تهیه و سایر مواد از فروشگاه‌های معتبر شهرستان گرگان تهیه شدند.

روش تهیه خمیر کیک: خمیر کیک بر طبق روش تورابی و همکاران (۲۰۰۸) با تغییراتی در مقدار مواد اولیه که حاوی ۱۰۰ گرم آرد برنج، ۱۰۰ گرم پودر قند، ۲۵ گرم روغن گیاهی، ۷۰ گرم تخم مرغ تازه، ۲ گرم بیکنینگ پودر و ۲ گرم پودر آب پنیر (همه درصدهای مواد مورد استفاده در فرمول بر پایه ۱۰۰ درصد آرد برنج) بود (۲۰). آرد جوانه گندم در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. خمیر تهیه شده از آرد گندم (دارای گلوتن) به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. برای تولید خمیر کیک، از مخلوط‌کن آزمایشگاهی^۱ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شد.

بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی: آزمون‌های رئولوژیکی توسط دستگاه رئومتر MCR301 ساخت شرکت Anton Paar اتریش، با استفاده از دو صفحه موازی^۲ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. این آزمون‌ها شامل آزمون رئولوژیکی پایا (آزمون رفتار جریان) و آزمون‌های نوسانی (روبش کرنش^۳ و روبش فرکانس^۴) بودند.

آزمون رفتار جریان

در این آزمون فاصله صفحات ۱ میلی‌متر و محدوده نرخ برش s^{-1} ۰/۰۵-۲۵۰ بود. این آزمون برای رسم نمودارهای جریانی و مشخص نمودن تغییرات گرانشی ظاهری^۵ انجام شد. همچنین به منظور تشخیص رفتار وابسته به زمان، سرعت برشی تا رسیدن به مقدار s^{-1} ۲۵۰ افزایش یافت، سپس به

6. Power law
7. Consistency coefficient
8. Flow behavior index
9. Storage modulus
10. Loss modulus

1. Kenwood, AW34655, Germany
2. Parallel plate
3. Strain sweep
4. Frequency sweep
5. Apparent viscosity

نشان داد. بنابراین، نمونه‌های خمیر از لحاظ رئولوژیکی غیر نیوتونی بوده و رفتار رقیق شونده با برش نشان دادند. امبون و همکاران (۲۰۱۲) در مورد خمیرهای برپایه آرد برنج و رنزی و همکاران (۲۰۰۸) در مورد خمیر نان بدون گلوتن حاصل از آرد برنج قهوه ای و آنزیم ترانس گلوتامیناز به نتایج مشابهی دست یافتند (۱ و ۱۸). در یک مخلوط خمیر، به هم پیوستگی ذرات، منجر به شکل گیری شبکه سه بعدی از ذرات تجمع یافته می‌گردد. با ایجاد نیروی برشی، ذرات تجمع یافته به صورت پیش رونده تخریب شده و مقاومت مخلوط به جریان کاهش می‌یابد. این امر موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری خمیر کیک در طی زمان می‌شود (۱۸). گرانیروی ظاهری نمونه‌های خمیر در سرعت برشی میانی مقایسه شده است. با توجه به ارتباط ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی، از داده‌های گرانیروی ظاهری در سرعت‌های برشی میانی برای مطالعه ارزیابی حسی و احساس دهانی استفاده می‌شود. به همین منظور، گرانیروی ظاهری نمونه‌ها در سرعت برشی 50 s^{-1} مقایسه شد (جدول ۱).

نتایج نشان داد که افزایش سطوح آرد جوانه گندم (از ۱۰ تا ۲۰ درصد) در نمونه‌ها، موجب افزایش گرانیروی ظاهری می‌گردد. کمترین گرانیروی مربوط به نمونه ۱ (فاقد آرد جوانه گندم و دارای آرد برنج) بود. پس از آن نمونه ۲ با ۵ درصد آرد جوانه گندم کمترین گرانیروی ظاهری را نشان داد. اما در سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد آرد جوانه گندم گرانیروی ظاهری نمونه‌های خمیر نسبت به نمونه شاهد به طور قابل ملاحظه افزایش یافت ($P < 0.05$). نمونه ۴ و نمونه ۵ (به ترتیب ۱۵ و ۲۰ درصد آرد جوانه گندم) بیشترین گرانیروی را نشان دادند. با توجه به ویژگی‌های عملکردی مطلوب پروتئین‌های محلول جوانه گندم به نظر می‌رسد که علت افزایش گرانیروی ظاهری نمونه‌های خمیر در

مقدار انرژی بازیابی شده در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش را نشان می‌دهد و مدول افت یا مدول ویسکوز (G'') بیانگر میزان رفتار جریانی و مقدار انرژی به هدر رفته در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش می‌باشد. در آزمون روبش فرکانس چنانچه $G' > G''$ ، نمونه دارای رفتار ویسکوالاستیک جامد و چنانچه $G'' > G'$ ، نمونه رفتار ویسکوالاستیک مایع از خود نشان می‌دهد. نسبت G'' به G' ، پارامتر دیگری را نشان می‌دهد که تاثرات افت^۱ نامیده می‌شود. چنانچه تاثرات افت بزرگتر از یک باشد، بدین مفهوم است که ماده ویسکوالاستیک مایع است و در صورتی که کمتر از یک باشد، بیانگر رفتار ویسکوالاستیک جامد در ماده می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افز SPSS (نسخه ۱۸) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و اثر آرد جوانه گندم در سطوح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد بر خصوصیات خمیر بدون گلوتن حاصل از آرد برنج بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل گرفت. کلیه آزمون‌ها در سه تکرار انجام شده و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند و جهت رسم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

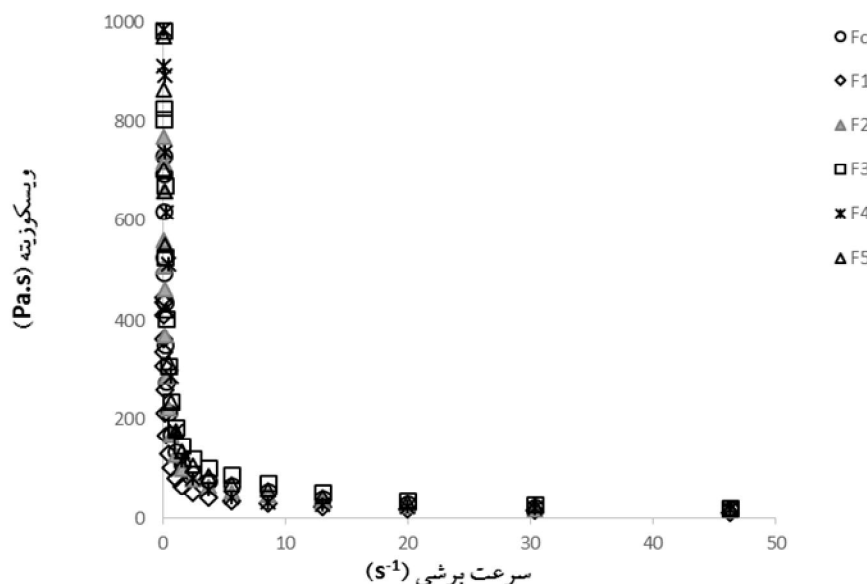
نتایج و بحث

گرانیروی ظاهری: ارتباط بین ویسکوزیته ظاهری و سرعت برشی نمونه‌های خمیر کیک در شکل ۱ نشان داده شده است. ویسکوزیته ظاهری تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت‌های برشی در محدوده پایین به آرامی کاهش یافت و سپس، شیب تغییرات افزایش شدیدی

1. Loss tangent

روسل (۲۰۰۸) و روندا و همکاران (۲۰۱۱) با افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیر حاوی آرد برنج نتایج مشابهی گزارش کردند (۱۵ و ۱۹).

مقادیر بیش از ۱۰ درصد آرد جوانه گندم، ظرفیت نگهداری بالای آب پروتئین‌های موجود در مخلوط خمیر می‌باشد که موجب آبیگری و تورم نشاسته و افزایش ویسکوزیته خمیر می‌گردد (۱۸). مارکو و



شکل ۱: تغییرات گرانروی ظاهری نمونه‌های خمیر کیک با افزایش سرعت برشی

Figure 1. Apparent viscosity changes of cake dough samples by shear rate increasing

Fc: نمونه شاهد (خمیر حاوی آرد گندم)، F1: نمونه ۱ (DWGF %۰)، F2: نمونه ۲ (DWGF %۵)، F3: نمونه ۳ (DWGF %۱۰)، F4: نمونه ۴ (DWGF %۱۵)، F5: نمونه ۵ (DWGF %۲۰)

Fc: Control sample (dough contained wheat flour), F1: sample 1 (0% DWGF), F2: sample 2 (5% DWGF), F3: sample 3 (10% DWGF), F4: sample 4 (15% DWGF), F5: sample 5 (20% DWGF)

شاخص رفتار جریان، شاخصی است که چگونگی رفتار ماده غذایی را مشخص می‌کند و مقادیر آن در محدوده، ۰-۱ می‌باشد. در سیالات نیوتنی $n=1$ ، در سیالات سودو پلاستیک (رقیق شونده با برش) $0 < n < 1$ و در سیالات دایلاتانت (غلیظ شونده با برش) $n > 1$ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، شاخص رفتار جریان همه نمونه‌ها کمتر از یک می‌باشد، بنابراین نمونه‌های خمیر کیک رفتار رقیق شونده با برش (سودپلاستیک) دارند. به‌طور کلی استفاده از هیدروکلوئیدهای با n کمتر موجب ایجاد گرانروی بالا و احساس دهانی مطلوب آن می‌شود (۱۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود

رفتار جریان: همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، رابطه تنش برشی - سرعت برشی غیر خطی می‌باشد، بنابراین در گروه سیالات غیر نیوتونی طبقه بندی می‌شوند. از طرفی همان‌طور که گفته شد به دلیل کاهش گرانروی ظاهری با افزایش سرعت برشی، نمونه‌های خمیر کیک رفتار رقیق شونده با برش دارند. به منظور تعیین رفتار جریان نمونه‌های خمیر کیک، مدل قانون توان با ضریب همبستگی (R^2) بالا، برای برازش داده‌های تنش برشی در مقابل سرعت برشی استفاده شد. در جدول ۱ مقادیر پارامترهای این مدل برای هر یک از نمونه‌های خمیر کیک نشان داده شده است.

به کاهش گرانشی ظاهری در طی زمان و افزایش سرعت برشی رفتار تیکسوتروپیک نشان دادند. در سیالات تیکسوتروپیک بر خلاف سیالات سودوپلاستیک، در نمودار تنش برشی - سرعت برشی، منحنی بارگذاری (افزایش تنش) و باربرداری (کاهش تنش پس از گذشت زمان t) بر هم منطبق نیستند. در واقع در سیالات تیکسوتروپیک اگر تنش برشی به عنوان تابعی از سرعت برش اندازه گیری شود، زمانی که سرعت برش ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد، در منحنی تنش برشی در برابر سرعت برش، یک حلقه هیسترسیس مشاهده می‌گردد (۱۲). تغییر مساحت بین دو منحنی (مساحت هیسترسیس)، متناسب با تجزیه پیش رونده ساختار فرآورده در طی زمان و افزایش سرعت برشی می‌باشد. هرچه وابستگی ماده غذایی به زمان بیشتر باشد، مساحت بین دو منحنی بیشتر خواهد بود. همچنین در منحنی‌های بارگذاری (افزایش سرعت برشی) در مقایسه با منحنی‌های باربرداری (کاهش سرعت برشی) ضریب قوام افزایش و اندیس رفتار جریان کاهش می‌یابد. با توجه به مشاهدات به عمل آمده، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تمامی نمونه‌های تولید شده در این تحقیق دارای خاصیت تیکسوتروپیک بودند.

در جدول ۲ مساحت هیسترسیس نمونه‌های مختلف خمیر کیک حاصل با هم مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه ۱ (شاهد) دارای بیشترین میزان مساحت هیسترسیس بود، که نشان می‌دهد رفتار آن بیش از سایر نمونه‌ها وابسته به زمان بوده و پس از حذف سرعت برشی، کمتر از سایر نمونه‌ها توانایی بازسازی ساختار خود را دارد. تیمار ۵ کمترین میزان مساحت هیسترسیس را نشان داد، بنابراین پایداری رئولوژیکی بیشتری دارد. به‌طور کلی با افزایش مقدار آرد جوانه گندم در نمونه‌های خمیر

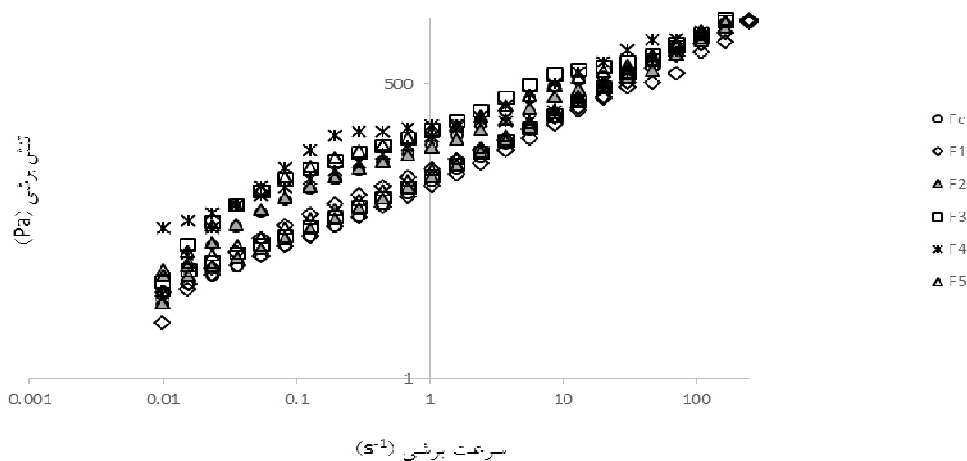
نمونه‌های ۳، ۴ و ۵ کمترین مقادیر n را نشان می‌دهند که از نمونه شاهد نیز پایین‌تر است. نمونه‌های ۱ و ۲ با سطوح کم آرد جوانه گندم مقدار n بیشتری دارند. با مقایسه داده‌های شاخص قوام و شاخص رفتار جریان می‌توان دریافت که نمونه‌های ویسکوزتر و دارای K بالاتر شاخص رفتار جریان کمتری را نشان دادند. بنابراین، افزایش مقادیر آرد جوانه گندم (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) با اثر مثبت بر ویسکوزیته و قوام نمونه‌های خمیر موجب کاهش n نمونه‌ها می‌گردند. به طوری که مقادیر K بیشتر و n کمتری از نمونه شاهد نشان می‌دهند و بیشترین K و کمترین n متعلق به نمونه حاوی ۲۰٪ آرد جوانه گندم می‌باشد ($P < 0.05$).

امبون و همکاران (۲۰۱۲) ضمن بررسی ویژگی‌های رفتار جریان خمیر تولید شده برپایه آرد برنج و ترکیب با شکر و هیدروکلئید، توسط مدل هرشل بالکلی دریافتند که خمیر حاصل از آرد برنج رفتار غلیظ شونده با برش نشان می‌دهد و با افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) و شکر به مخلوط، رفتار رقیق شونده با برش نمونه‌های خمیر را گزارش کردند. زیرا با افزودن هیدروکلئید و شکر به مخلوط خمیر، ویسکوزیته به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و موجب کاهش شاخص رفتار جریان و بنابراین تغییر رفتار جریان از غلیظ شونده به رقیق شوند می‌گردد (۱). همچنین، یو و انگادی (۲۰۰۷) نشان دادند خمیرهای تهیه شده از آردهای گندم، ذرت و برنج رفتار رقیق شونده با برش نشان می‌دهند و با افزایش سطوح زانتان و متیل سلولز به خمیرها شاخص قوام افزایش و شاخص رفتار جریان کاهش می‌یابد (۲۱).

نتایج آزمون رفتار وابسته به زمان نشان داد در تمام نمونه‌های خمیر کیک، منحنی‌های بارگذاری بر منحنی‌های باربرداری بر هم منطبق نبودند و با توجه

(۲۰۱۲) در مورد افزودن هیدروکلونید هیدروکسی پروپیل متیل سلولز نتایج متضادی را گزارش کردند (۱). آنها نشان دادند که با افزایش مقدار هیدروکلونید در فرمولاسیون خمیر آرد برنج حلقه تیکسوتروپیک نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد و آن را به قابلیت جذب آب زیاد و افزایش پیوندهای هیدروژنی حاصل از افزودن هیدروکلونید نسبت دادند که به راحتی در معرض نیروی برشی ساختار آن تخریب شده و توانایی بازسازی کمتری خواهد داشت.

کیک، مساحت هیسترسیس کمتر شد. در واقع می‌توان مساحت هیسترسیس نمونه‌های خمیر کیک را با میزان ویسکوزیته و قوام آن‌ها مرتبط دانست، به طوری که تیمارهای دارای ویسکوزیته و K بیشتر، مساحت هیسترسیس کمتر و تیمارهای کمتر ویسکوز، مساحت هیسترسیس بیشتری نشان دادند. در واقع می‌توان مساحت هیسترسیس کمتر نمونه‌های حاوی سطوح بالای آرد جوانه گندم را به پایداری بیشتر ساختمان آنها به واسطه عمل پروتئین‌های محلول در حفظ آب و پایداری رئولوژیکی نسبت داد. امبون و همکاران



شکل ۲: منحنی بارگذاری و باربرداری نمونه‌های خمیر کیک (رفتار تیکسوتروپیک)

Figure 2. Loading and unloading curves of cake dough samples

FC: نمونه شاهد (خمیر حاوی آرد گندم)، F1: نمونه ۱ (۰٪ DWGF)، F2: نمونه ۲ (۵٪ DWGF)، F3: نمونه ۳ (۱۰٪ DWGF)، F4: نمونه ۴ (۱۵٪ DWGF)، F5: نمونه ۵ (۲۰٪ DWGF)

FC: Control sample (dough contained wheat flour), F1: sample 1 (0% DWGF), F2: sample 2 (5% DWGF), F3: sample 3 (10% DWGF), F4: sample 4 (15% DWGF), F5: sample 5 (20% DWGF)

جدول ۱: پارامترهای مدل قانون توان برای نمونه‌های خمیر کیک

Table 1. Power law model parameters for cake dough samples

گرانروی در سرعت برشی 50 s^{-1} (پاسکال ثانیه)* Viscosity at 50 s^{-1} (Pa.s)	R^2	n	$K (\text{Pa} \cdot \text{s}^n)$	نمونه کیک (F) Cake sample
14 ± 0.28^d	0.98	0.56	74.91	1
14.6 ± 0.14^d	0.98	0.54	102.45	2
19.2 ± 0.074^b	0.98	0.53	130.27	3
19.65 ± 0.07^{ab}	0.99	0.56	98.15	4
20.45 ± 0.21^a	0.99	0.52	123.98	5
18.40 ± 0.42^c	0.89	0.49	182.92	شاهد

*اعداد دارای حروف مشابه از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ندارند.

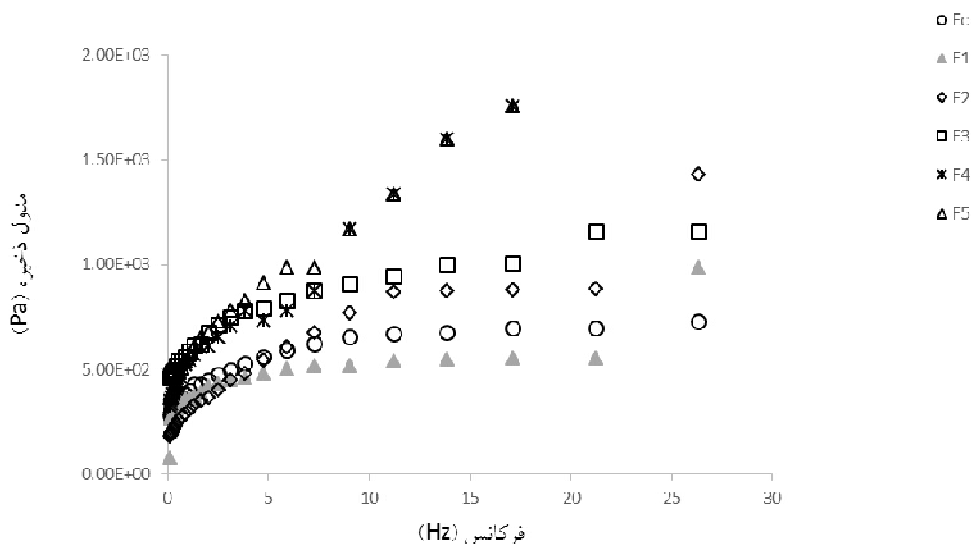
*Values with the same letter(s) have no significant difference.

همچنین نشان دادند که افزودن ایزوله پروتئین سویا و نخود فرنگی موجب افزایش و افزودن پروتئین آب پنیر و آلبومین تخم مرغ موجب کاهش مقادیر مدول ذخیره می‌شود. در این تحقیق به دنبال جایگزین کردن آرد گندم با آرد برنج و آرد جوانه گندم، رفتار ویسکوالاستیک جامد در بین نمونه‌ها مشاهده شد. در واقع علی‌رغم نداشتن پروتئین‌های گلوتنی در مخلوط نمونه‌های خمیر که مسئول تشکیل شبکه ویسکوالاستیک در خمیر می‌باشند، ساختار خمیر حفظ شده و رفتار مشابه با نمونه شاهد مشاهده شد. مدول ذخیره در نمونه‌های دارای سطوح صفر و ۵ درصد آرد جوانه گندم کمترین میزان بوده و تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نشان نداد و با افزایش سطوح آرد جوانه گندم مقادیر مدول ذخیره افزایش یافت و در نمونه دارای ۲۰ درصد آرد جوانه گندم بیشترین میزان را داشت ($P < 0/05$). به‌طور کلی با افزایش سطوح آرد جوانه گندم مدول افت نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که در نمونه شاهد کمترین و در نمونه دارای ۲۰ درصد آرد جوانه گندم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. البته سایر مقادیر مدول افت در سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۳). بنابراین، می‌توان بیان نمود که با افزایش سطوح آرد جوانه گندم مقادیر مدول ذخیره و مدول افت افزایش یافتند، این در حالی است که افزایش مدول افت در نمونه‌ها تقریباً به یک میزان بوده است و همین امر موجب شده است که نمونه‌های ۱ و ۲ با داشتن مدول ذخیره و مدول افت کمتر، تانژانت اتلاف بیشتری را نشان دهند. مقادیر این پارامترها در فرکانس ۱ هرتز، در نمونه‌های خمیر کیک، مقایسه شده است (جدول ۳). مقادیر تانژانت افت نمونه‌های خمیر کیک (کمتر از یک) نیز نشان دهنده بیشتر بودن خاصیت الاستیک نسبت به ویسکوز است. سایر محققان نیز در مورد خمیر کیک حاوی آرد برنج به

آزمون دینامیکی یا نوسانی: در آزمون روبش کرنش، کرنش ۰/۰۵ به‌عنوان بهترین کرنش متناظر با محدوده ویسکوالاستیک خطی مشخص شد. در محدوده فرکانس‌های اعمال شده در این آزمون، $G' > G''$ بود، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در نمونه‌های خمیر کیک رفتار الاستیک غالب بوده و ویژگی ویسکوالاستیک جامد نشان می‌دهند. مطالعات مختلف نیز گزارش کرده‌اند که خمیر تهیه شده از آردهای مختلف رفتار ویسکوالاستیک نشان می‌دهند که بسته به نوع آرد و فرکانس اعمال شده نوع رفتار متفاوت است گوادراما لزما و همکاران (۲۰۱۶) (۸). امبون و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که خمیر حاصل از آرد برنج در محدوده فرکانس‌های پایین (کمتر از ۲ هرتز) رفتار الاستیک ($G' > G''$) و در محدوده فرکانس‌های بالاتر رفتار ویسکوز ($G'' > G'$) غالب است و علت غالب شدن رفتار ویسکوز را تاثیر فرکانس بر جدا شدن بخشی از زنجیره پلیمری بیان کردند. آنها دریافتند که با افزودن سطوح مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به فرمولاسیون خمیر، رفتار الاستیک در محدوده فرکانس‌های اعمال شده غالب می‌شود. زیرا این ترکیب به عنوان یک هیدوکلوئید موجب پایداری ساختار و ایجاد پیوند بین مولکول‌ها می‌شود و به این ترتیب رفتار جریان را کاهش می‌دهد (۱). رنزی و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند خمیر حاصل از آردهای گندم، برنج، جو دوسر و سورگوم از لحاظ رئولوژیکی رفتار ویسکوالاستیک جامد از خود نشان می‌دهد (۱۸). ممارکو روسل (۲۰۰۸) در پژوهشی دیگر بر روی تاثیر ایزوله‌های پروتئینی سویا، آب پنیر و آلبومین تخم مرغ بر روی خمیر حاصل از آرد برنج نشان دادند که در محدوده فرکانس‌های ۱۰-۰/۱ هرتز، مدول الاستیک بیشتر از مدول ویسکوز بوده و خمیرهای حاصل رفتار ویسکوالاستیک جامد نشان می‌دهند (۱۵). آنها

به طوری که نمونه حاوی آرد برنج کمترین مقدار و نمونه دارای ۲۰ درصد آرد جوانه گندم بیشترین مقدار ویسکوزیته کمپلکس را نشان دادند، این در حالی است که مقادیر این پارامتر در سایر نمونه اختلاف معنی داری را نشان نداد. نمونه دارای ۱۰ درصد آرد جوانه گندم بیشترین نزدیکی را به نمونه شاهد نشان داد. نتایج فوق نشان داد پروتئین های آرد جوانه گندم با داشتن ویژگی های عملکردی مطلوب مانند ظرفیت نگهداری بالای آب می توانند موجب ایجاد و حفظ قوام و پایداری رئولوژیکی نمونه های خمیر کیک تهیه شده از آرد برنج گردند. به طوری که پروتئین های آرد برنج به تنهایی چنین قابلیت نداشته و ساختار مستحکم نشان نمی دهند. بنابراین، افزودن آرد جوانه گندم به فرمولاسیون خمیر حاوی آرد برنج می تواند موجب بهبود خواص رئولوژیکی خمیر حاصل گردد.

نتایج مشابهی دست یافتند (۱۶). همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود، خمیر تهیه شده از آرد گندم (شاهد) کمترین تانژانت افت را نشان داده و پس از آن به ترتیب نمونه های دارای سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد آرد جوانه گندم کمترین مقادیر را نشان می دهند. خمیر تهیه شده از آرد برنج با اختلاف معنی دار بیشترین مقدار تانژانت اتلاف را نشان داد (۰/۹۴). در حالی که، در نمونه های حاوی آرد جوانه گندم به همراه آرد برنج، مقدار این پارامتر به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافت. بنابراین، با افزودن آرد جوانه گندم به مخلوط کیک حاوی آرد برنج، خمیر خاصیت الاستیک بیشتری نشان می دهد به طوری که قابل مقایسه با نمونه شاهد (خمیر حاوی آرد گندم) است. مقایسه مقادیر گرانیوی کمپلکس نیز نشان دهنده ساختار مستحکم تر و مقاومت بیشتر به تغییر شکل در نمونه های دارای آرد جوانه گندم می باشد (۱).

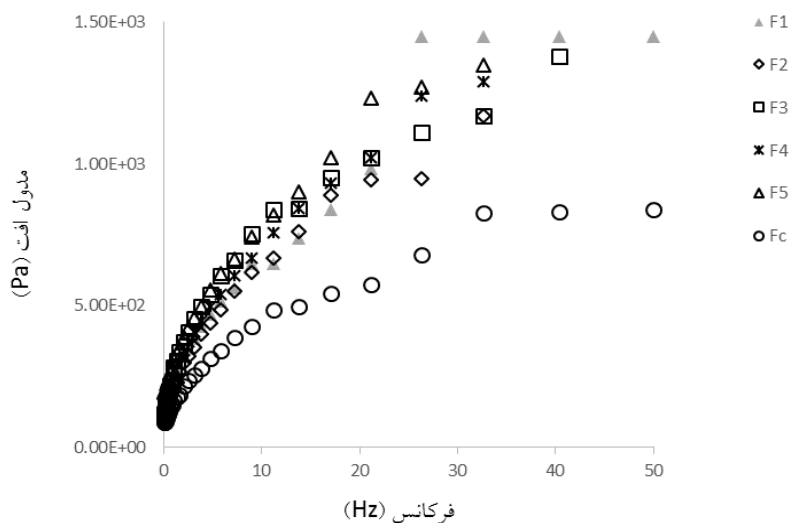


شکل ۳: مقایسه مدول ذخیره نمونه های خمیر کیک

Figure 3. Comparison of storage modulus of cake dough samples

Fc: نمونه شاهد (خمیر حاوی آرد گندم)، F1: نمونه ۱ (۰٪ DWGF)، F2: نمونه ۲ (۵٪ DWGF)، F3: نمونه ۳ (۱۰٪ DWGF)، F4: نمونه ۴ (۱۵٪ DWGF)، F5: نمونه ۵ (۲۰٪ DWGF)

Fc: Control sample (dough contained wheat flour), F1: sample 1 (0% DWGF), F2: sample 2 (5% DWGF), F3: sample 3 (10% DWGF), F4: sample 4 (15% DWGF), F5: sample 5 (20% DWGF)

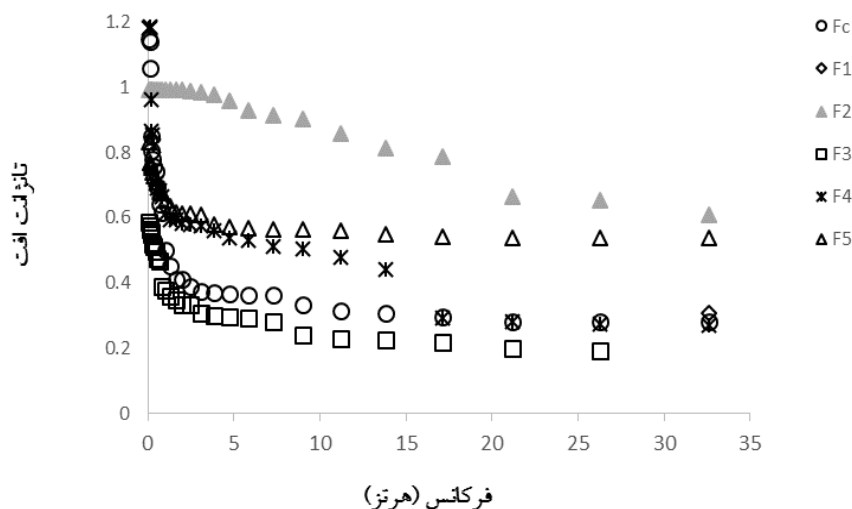


شکل ۴: مقایسه مدول افت نمونه‌های خمیر کیک

Figure 4. Comparison of loss modulus of cake dough samples

Fc: نمونه شاهد (خمیر حاوی آرد گندم)، F1: نمونه ۱ (DWGF %۰)، F2: نمونه ۲ (DWGF %۵)، F3: نمونه ۳ (DWGF %۱۰)، F4: نمونه ۴ (DWGF %۱۵)، F5: نمونه ۵ (DWGF %۲۰)

Fc: control sample (dough contained wheat flour), F1: sample 1 (0% DWGF), F2: sample 2 (5% DWGF), F3: sample 3 (10% DWGF), F4: sample 4 (15% DWGF), F5: sample 5 (20% DWGF)



شکل ۵: مقایسه تانژانت افت نمونه‌های خمیر کیک

Figure 5. Comparison of tan delta of cake dough samples

Fc: نمونه شاهد (خمیر حاوی آرد گندم)، F1: نمونه ۱ (DWGF %۰)، F2: نمونه ۲ (DWGF %۵)، F3: نمونه ۳ (DWGF %۱۰)، F4: نمونه ۴ (DWGF %۱۵)، F5: نمونه ۵ (DWGF %۲۰)

Fc: control sample (dough contained wheat flour), F1: sample 1 (0% DWGF), F2: sample 2 (5% DWGF), F3: sample 3 (10% DWGF), F4: sample 4 (15% DWGF), F5: sample 5 (20% DWGF)

جدول ۲: مساحت هیستریسیس نمونه‌های خمیر کیک*

Table 2. Hysteresis surface of cake dough samples

مساحت هیستریسیس (Pa.s)	نمونه
Hystersis area (Pa/s)	
54443.68± 61.96 ^b	1
54931.65±290.37 ^b	2
14745.3±141.43 ^c	3
11285.83±84.92 ^d	4
11246.8±155.35 ^d	5
75892.51±636.38 ^d	شاهد

*حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد.

*In each column, values with different levels have significant differences (p<0.05).

جدول ۳: پارامترهای رئولوژیکی حاصل از آزمون نوسانی (فرکانس ۱ هرتز)*

Table 3. Rheological parameters from amplitude sweep tests (Frequency sweep: 1 Hz)

گرانروی کمپلکس (Pa.s)	تانژانت افت	مدول افت (Pa)	مدول ذخیره (Pa)	نمونه
Complex viscosity	Loss tangent	Loss modulus	Storage modulus	Sample
66.20± 0.7 ^b	0.948± 0.12 ^a	534.46± 83.59 ^{ab}	608.67±46.1 ^{bc}	1
96.03± 0.45 ^{ab}	0.754± 0.06 ^{ab}	506.96±80.07 ^{ab}	607.35±56.55 ^{bc}	2
112.46± 0.95 ^{ab}	0.598± 0.05 ^b	559.89± 78.04 ^{ab}	856.03±55.88 ^{ab}	3
123.19± 3.45 ^{ab}	0.659± 0.05 ^b	566.96± 83.55 ^{ab}	892.53±154.81 ^{ab}	4
152.63± 0.2 ^a	0642± 0.01 ^b	626.89±90.15	964.75±149.02 ^a	5
100.57± 2.45 ^{ab}	0.547± 0.05 ^b	332.14± 45.56 ^b	550.92±32.65 ^c	شاهد

*حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد.

*In each column, values with different levels have significant differences (p<0.05).

نتیجه‌گیری

آرد برنج و فاقد آرد جوانه گندم مقادیر گرانروی در محدوده نمونه شاهد نشان دادند.

مقایسه نتایج حاصل از آزمون‌های رئولوژیکی رفتار جریان و نوسانی با نمونه شاهد نشان داد همه نمونه‌های خمیر فاقد گلوتن از لحاظ رئولوژیکی و ساختاری با نمونه تهیه شده از آرد گندم مشابه بودند. بنابراین، به منظور دستیابی به محصولی فراسودمند و با گلوتن کاهش یافته، می‌توان از جنبه رئولوژیکی و ساختاری، آرد گندم مورد استفاده در تهیه خمیر کیک را با مخلوطی از آرد برنج و آرد جوانه گندم جایگزین نمود. به طور کلی تمامی نمونه‌های خمیر کیک در سطوح بیشتر از ۱۰ درصد آرد جوانه گندم نتایج قابل قبولی را نشان دادند، به هر حال نمونه دارای ۱۰ درصد آرد جوانه گندم بیشترین نزدیکی را به نمونه شاهد نشان داد. بنابراین، می‌توان توسط مخلوطی از آرد برنج و ۱۰ درصد آرد جوانه گندم در تهیه خمیر

نتایج آزمون‌های رئولوژیکی نشان داد که تمام نمونه‌های خمیر کیک رفتار رقیق شونده با برش داشته و دارای خاصیت تیکسوتروپیک بودند. همچنین، حلقه هیستریسیس به وجود آمده در منحنی تنش برشی-سرعت برشی، در نمونه شاهد (تهیه شده از آرد گندم) بیشترین مساحت و در نمونه‌های ۴ و ۵ (۱۵ و ۲۰ درصد آرد جوانه گندم) کمترین مساحت را داشت که نشان دهنده پایداری رئولوژیکی بیشتر نمونه‌های حاوی آرد جوانه گندم می‌باشد. در تمامی نمونه‌های خمیر کیک، مدول ذخیره بیشتر از مدول افت بود، از این رو، نمونه‌ها در ردیف مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه بندی شدند. همچنین، با افزودن آرد جوانه گندم به فرمولاسیون خمیر کیک حاوی آرد برنج، مقادیر شاخص قوام و گرانروی افزایش یافت و کلیه نمونه‌ها به جز نمونه تهیه شده از

texture and microstructural characteristics of sponge cake made with native corn starch in partial or total replacement of wheat flour. *LWT - Food Science and Technology* 70: 46-54.

9. Gujral, H.S., and Rosell, C.M. 2004. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 39: 225–230.
 10. Gualarte, M.A., de la Hera, E., Gomez, M., and Rosell C.M. 2012. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT-Food Science and Technology* 48 (2):209-214.
 11. Hassan, H.M.M., Afify, A.S., Basyiony, A.E., Ahmed, A.E., and Ghada, T. 2010. Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2): 348–358.
 12. Liu, H., Xu, X.M., and Guo, Sh.D. 2007. Rheological, texture and sensory properties of low fat mayonnaise with different fat mimetics. *Journal of Food Science and Technology* 40: 946–954.
 13. Lorenzo, G., Zaritzky, N., and Califano, A. 2008. Modeling rheological properties of low in fat O/W emulsions stabilized with xanthan/guar mixtures. *International Food Research Journal*, 41(5): 487–494.
 14. Mastakidou, A., Blekas, G., and Paraskevopoulou, A. 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 949-957.
 15. Marco, C., and Rosell, C.M. 2008. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 88: 94–103.
 16. Ogan, S.F., Sahin, S., and Sumnu, G. 2005. Effect of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering* 71: 127–132.
 17. Rahbari, M., Aalami, M., Kashaninehad, M., Maghsoudlou, Y., and Amiri Aghdaei, S.S. 2014. A mixture design approach to optimizing low cholesterol mayonnaise formulation prepared with
- کیک، خواص رئولوژیکی محصول حاصل را نیز حفظ کرده و یا بهبود داد.

منابع

1. Amboon, W., Tulyathan, V., and Tattiyakul, J. 2012. Effect of hydroxypropyl hethylcellulose on rheological properties, coating pickup, and oil content of rice flour-based batters. *Food Bioprocess Technology* 5: 601-608.
2. Arshad, M.U., Anjum, F.M., and Zahoor, T. 2007. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry* 102:123–128.
3. Avas sufian, A.S., Aalami, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M., and Ziaeefar, A.M. 2014. Applicatio of sweet almond meal and xanthan gum in the production of gluten-free cake. *Research and innovation in food sciences and food industrial*. 3(2):185-196.
4. Fatma, L., Ahmed, A., Rezaq, M., and Rhman, M. 2010. Additional effect of defatted wheat germ protein isolate on nutritional value and functional properties of yogurts and biscuits. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(8): 3139–3147.
5. Gallagher, E., Gormley, T.R., and Arendt, E.K. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology* 15: 143-152.
6. Gomez, M.B., Oliete, C.M., Rosell, Pando, V., and Fernandez, E. 2008. Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT Food Science and technology* 41: 1701–1709.
7. Gomez, M., Gonzalez, J., and Oliete, B. 2012. Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food Bioprocess Technology* 5(6): 2409-2418.
8. Guadarrama-Lezama, A.Y., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., Vernon-Carter, E.J., and Alvarez Ramirez, J. 2016. Thermal and rheological properties of sponge cake batters and

20. 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.
21. Xue, J., and Ngadi, M. 2007. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 1292-1300.
22. Zhu, K.X., Zhou, H.M., and Qian, H.F. 2006. Proteins extracted from defatted wheat germ: nutritional and structural properties. *Cereal Chemistry*, 83(1): 69-75.
18. Renzetti, S., Bello, F., and Arendt, E.K. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 48: 33-45.
19. Ronda, F., Oliete, B., Gomez, M., Caballero, P., and Pando, V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering* 112: 272-277.



Rheological properties of sponge cake based on the rice and wheat germ flour

M. Aalami^{1*}, M. Rahbari², A. Avazsufiyan³

¹Associate Professor, Department of Food science and Technology,
 Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

²Ph.D. Department of Food Science and Technology,
 Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

³Ph.D. student, Department of Food science and Technology,
 Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2015/10/16; Accepted: 2017/11/11

Abstract

Background and objective: Sponge cake as a snack food has great popularity among individuals. It seems by fortifying its formulation as a popular snack food, can prepare a functional and nutritive formulation. On the other hand, with increase in sensitivity to gluten and celiac disease, demanding for gluten free or gluten reduced has increased. Due to the importance of proteins forming the viscoelastic gluten network products in creating of desirable rheological characteristics of bakery product, the necessity of using proteins with similar characteristics to replace the gluten proteins is inevitable. The aim of this study was to prepare a functional and nutritive product by using rice flour and wheat germ flour as substitute of wheat flour in sponge cake formulation. The cake batter samples were prepared based on 100 percent rice flour, also, wheat germ flour were used at levels of 0, 5, 10, 15, and 20 percent in batter formulations. Also, one sample containing wheat flour was prepared as control. Due to important role of wheat protein in forming of texture of dough and cake, Impact of replacing wheat flour with rice flour and wheat germ flour on dough rheological properties of resulting cake was investigated.

Materials and Methods: After defatted wheat germ flour, cake samples were prepared according to specified the preparation of formulations. To study the rheological behavior, stable rheological tests (flow behavior) and sweep tests (strain sweep and frequency sweep) on obtained dough were applied by using rheometer equipped with two parallel plates.

Results: Results of flow behavior test indicated that all batter samples exhibited thixotropic shear thinning behavior under steady shear tests, which fitted by Power law model and the factors related to this model were specified in the samples. Also, it was observed that batters exhibited weak- gel like properties, by using dynamic oscillatory shear tests and had significant effects on acquired parameters from frequency sweep test, such as storage modulus, loss modulus and tan delta ($P < 0.05$). Sample containing rice flour exhibited weak rheological characteristics compared with control. However, with increasing wheat germ flour levels (from 10 percent to 20 percent), viscosity and consistency coefficient increased, and the combination of rice flour and 10% wheat germ flour was closest to the control.

Conclusion: It can be concluded, this is possible to prepare a functional product with desirable rheological characteristics by applying appropriate levels of rice flour and wheat germ flour as wheat flour substitutes in sponge cake formulation.

Keywords: Rice flour, Defatted wheat germ flour, Sponge cake, Rheological characteristics

*Corresponding author; mehranalami@gmail.com

