

تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا به همراه صمغ زانتان بر برخی از

خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی خمیر و کیک روغنی بدون گلوتن

پرستو قائمی^۱، سعیده عربشاهی دلویی^{۲*}، مهران اعلمی^۳، سید حسین حسینی قابوس^۲

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

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

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

چکیده

فرآورده‌های نانوائی بدون گلوتن فاقد مواد مغذی بوده و به سرعت بیات می‌شوند. از این رو این مطالعه با هدف بهبود خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی خمیر و کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج صورت گرفت. در این مطالعه بررسی تاثیر درصدهای مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا در ۳ سطح (صفر تا ۱۰ درصد) و سطوح مختلف صمغ زانتان (صفر تا ۰/۳ درصد) بر وزن مخصوص، سفتی، قوام، چسبندگی، رفتار جریان، رویش کرنش و رویش فرکانس (ویسکوزیته کمپلکس) نمونه‌ها صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا میزان وزن مخصوص، شاخص قوام، سفتی و چسبندگی خمیرها افزایش یافت به گونه‌ای که نمونه دارای ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا و ۰/۳ درصد صمغ زانتان دارای بالاترین میزان قوام (۳۰/۸۵ نیوتن ثانیه)، سفتی خمیر (۱/۰۸ نیوتن) و میزان چسبندگی (۲/۷۴- نیوتن) بود. نمونه حاوی ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین آب و ۰/۳ درصد صمغ زانتان دارای بیشترین میزان وزن مخصوص خمیر (۰/۹۸۹) بود. نمونه‌های خمیر تهیه شده دارای رفتار رقیق شونده با برش بودند. آزمون حسی نمونه‌ها نشان داد که کیک تهیه شده حاوی ۵ و ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا به ترتیب با ۰/۳ و ۰/۱۵ درصد صمغ زانتان، بالاترین امتیاز پذیرش کلی را کسب نمودند. در پایان با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان اذعان داشت که نمونه حاوی ۱۰ درصد ایزوله پروتئین سویا با ۰/۳ درصد صمغ زانتان به عنوان بهترین نمونه کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: ایزوله پروتئین سویا، کیک بدون گلوتن، کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ زانتان، ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژی

*مسئول مکاتبات: sa.arabshahi@iaau.ac.ir

سلیاک یکی از اختلالات قابل توجه مرتبط با گلوتن و یک آنترپاتی^۱ خود ایمنی است که در آن پپتیدهای حاصل از عدم هضم کامل پروتئین‌های گلوتنی توسط سیستم ایمنی بدن به‌عنوان آنتی ژن شناسایی می‌شوند. به‌طور میانگین یک درصد از جمعیت جهان درگیر این بیماری می‌باشند. علائم بالینی این بیماری از علائم گوارشی و خارج روده‌ای تا موارد بدون علامت متغیر است و در حال حاضر، تنها درمان مؤثر برای این بیماری یک رژیم غذایی مادام‌العمر بدون گلوتن است (۴). فرآورده‌های نانوائی بدون گلوتن موجود در بازار از نظر کیفیت و مقبولیت با فرآورده‌های حاوی گلوتن قابل قیاس نیستند. این فرآورده‌ها دارای پوسته و ویژگی‌های حسی نامناسب هستند و از آنجایی که این فرآورده‌ها عمدتاً حاوی نشاسته و فاقد مواد مغذی دیگر هستند به سرعت بیات می‌شوند. نقایص این گونه فرآورده‌ها شامل کاهش حجم و کیفیت آن است که به‌دلیل انبساط کم گاز ایجاد می‌شود و در نهایت ویژگی‌های بافتی، رئولوژیکی و در نهایت خواص کیفی این قبیل فرآورده‌ها بسیار ضعیف‌تر از فرآورده‌های بر پایه گلوتن است (۱۲) به‌طوری‌که توث و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که ۷۰/۸ درصد از مصرف کنندگان نان‌های بدون گلوتن از بافت و طعم این فرآورده‌ها ناراضی بودند (۲۷). یک رژیم غذایی بدون گلوتن مستلزم استفاده از غلات بدون گلوتن (برنج، تف و غیره)، شبه غلات (باکویت، کینوا و آمارانت) و همچنین سایر غذاها (سیب زمینی، تاپوکا، آجیل، دانه‌های روغنی، حبوبات، میوه‌ها و سبزی‌ها) که به‌طور طبیعی بدون گلوتن هستند. به‌طور معمول، حفظ بافت، حجم، طعم رضایت بخش، ماندگاری و کیفیت حسی فرآورده‌های نانوائی بدون گلوتن از چالش‌های اصلی پیش رو برای تولیدکنندگان این قبیل فرآورده‌ها می‌باشد، از این رو آن‌ها به دنبال استفاده از هیدروکلوئیدها، خمیر ترش یا آماده‌سازی آنزیمی خمیر می‌باشند (۲۴). پروتئین آب پنیر (WPC^۲) به‌علت ویژگی‌های عملکردی استثنایی آن مانند ظرفیت اتصال به آب، کف کردن، امولسیون کنندگی و توانایی تشکیل ژل باعث شده است که به‌عنوان یک ماده کاربردی رایج مورد استفاده قرار گیرد (۹). پیروتی و همکاران (۲۰۲۰) آرد دانه کینوا و WPC را جایگزین گلوتن در فرمولاسیون کیک یزدی نموده و اذعان داشتند که بیشترین پذیرش کلی نمونه‌ها به نمونه حاوی ۱۰ درصد آرد دانه کینوا و ۴ درصد WPC تعلق داشت (۱۸). ایزوله پروتئین سویا (SPI^۳) معمولاً از کنجاله سویای بدون چربی توسط استخراج قلیایی و یا اسیدی به‌دست می‌آید، یکی از مهم‌ترین و تجاری‌ترین فرآورده‌های پروتئین سویا در صنایع غذایی محسوب می‌گردد (۲۸). ویژگی امولسیفایری، خاصیت جذب و نگهداری آب و چربی، خاصیت تشکیل ژل،

^۱ Enteropathy^۲ Whey protein concentrate^۳ Soy protein isolate

همچنین کنترل رنگ و بافت از جمله ویژگی‌های عملکردی این پروتئین می‌باشد (۳۲). صالحی (۲۰۱۸) نشان داد که افزایش صمغ‌ها و SPI و در نمونه‌های کیک اسفنجی منجر به افزایش گرانروی خمیر گردید و نمونه‌های خمیر مورد مطالعه از سیال‌های غیر نیوتنی و از نوع وابسته به برش و وابسته به زمان می‌باشند (۲۰). صمغ زانتان (XG^۱) یک کربوهیدرات پلیمری بیرون سلولی است که برای تولید آن در صنعت از باکتری زانتوموناس کمپستریس^۲ استفاده می‌شود و معمولاً در صنعت غذا به عنوان تثبیت کننده، قوام‌دهنده و امولسیفایر کاربرد دارد (۲۶). با توجه به این مطالب، هدف اصلی از این تحقیق، بررسی تاثیر افزودن پروتئین آب پنیر، ایزوله پروتئین سویا و صمغ زانتان بر برخی از خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی خمیر و کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

برای تهیه کیک از برنج نیم دانه واریته فجر، کنسانتره WPC (USA, Lynn)، SPI (China, Crown)، XG (Meihua, China)، پودر قند، تخم مرغ، روغن آفتابگردان، بیکینگ پودر و وانیل استفاده گردید.

۲-۲- روش تهیه خمیر و کیک

از روش بنیون (۱۹۹۷) با کمی تغییرات در مقدار مواد اولیه برای تهیه خمیر کیک استفاده گردید (۲). مواد اولیه شامل پودر قند، آرد برنج، وانیل، روغن، بیکینگ پودر، تخم مرغ و آب به ترتیب به میزان ۷۲، ۱۰۰، ۰/۵، ۵۷، ۲، ۷۲ و ۳۰ گرم، WPC و SPI در سطوح مختلف (۰، ۵ و ۱۰ درصد) و XG نیز در ۳ غلظت (۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد) بودند و مقدار این ترکیبات براساس وزن آرد برنج که ۱۰۰ گرم بود، در نظر گرفته شد (۵). جدول ۱، تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. جهت تهیه کیک، ابتدا سه دقیقه مخلوط پودر قند و روغن را با دور متوسط همزن (بوش، آلمان) هم‌زده تا به مایع کرم رنگی تبدیل شد. سپس تخم مرغ که قبلاً زده شده بود به نمونه حاصل از مرحله قبل افزوده گردید و به مدت ۲ دقیقه با دور تند کاملاً مخلوط گردید. در مرحله بعد ۱۵ گرم آب افزوده و هم‌زده شد و سپس مواد پودری که قبلاً آماده و مخلوط شده بودند نیز به نمونه‌های تهیه شده اضافه گردیدند و با دور آهسته هم‌زده شدند. در نهایت مابقی آب به خمیر اضافه گردید. نمونه‌های خمیر (در حدود ۳۰ گرم) درون قالب‌های کیک ریخته شد و در

^۱ Xanthan gum

^۲ *Xanthomonas Campestris*

دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ دقیقه در فر (Romega، ایران) قرار گرفت. کیک‌ها پس از پخته شدن، سرد گردیده و در دمای محیط در کیسه‌های پلی اتیلنی تا هنگام آزمایشات نگهداری شدند.

جدول ۱- تیمارها و علائم اختصاری مورد استفاده در این مطالعه

شماره	کنسانتره پروتئین آب پنیر (WHC)	شماره	ایزوله پروتئین سویا (SPI) × صمغ
	× صمغ زانتان (XG)		زانتان (XG)
	(درصد)		(درصد)
۱	۰ و ۰ (شاهد)	۱۰	۰ و ۰ (شاهد)
۲	۰ و ۰/۱۵	۱۱	۰ و ۰/۱۵
۳	۰ و ۰/۳	۱۲	۰ و ۰/۳
۴	۰ و ۰/۵	۱۳	۰ و ۰/۵
۵	۰/۱۵ و ۰/۵	۱۴	۰/۱۵ و ۰/۵
۶	۰/۳ و ۰/۵	۱۵	۰/۳ و ۰/۵
۷	۰ و ۰/۱۰	۱۶	۰ و ۰/۱۰
۸	۰/۱۵ و ۰/۱۰	۱۷	۰/۱۵ و ۰/۱۰
۹	۰/۳ و ۰/۱۰	۱۸	۰/۳ و ۰/۱۰

۲-۳- ارزیابی خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی خمیر

۲-۳-۱- تعیین وزن مخصوص

برای اندازه گیری وزن مخصوص خمیر (ρ) از روش سومیا و همکاران (۲۰۰۹) و رابطه ۱، استفاده شد که در این رابطه V و M به ترتیب حجم خمیر و وزن همان حجم آب در یک ظرف مشخص بود (۲۵).

$$\rho = \frac{V}{M} \quad \text{رابطه ۱}$$

۲-۳-۲- آزمون اکستروژن پسرو

جهت انجام این آزمون از دستگاه بافت‌سنج (Stable Micro Systems Ltd، مدل TA-XT Plus، England) و از پروب A/B-d۳۵ (قطر ۳۵ میلی‌متر) استفاده شد. سرعت قبل، حین و پس از آزمون به ترتیب ۱، ۱ و ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. با نفوذ پروب به درون نمونه های خمیر و برگشت آن به ترتیب بخش مثبت و منفی منحنی نیرو-زمان به دست آمد (۱۳). شاخص های مورد مطالعه شامل: سفتی، قوام و چسبندگی که به ترتیب با واحدهای نیوتن، نیوتن بر ثانیه و نیوتن مشخص می‌شوند و با استفاده از منحنی نیرو-زمان محاسبه گردیدند.

۲-۳-۳- آزمون رئولوژیکی پایا

آزمون رئولوژیکی پایا (رفتار جریان) توسط دستگاه رئومتر (مدل MCR۳۰۱، Anton Paar، Austria) با استفاده از دو صفحه موازی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. در این آزمون فاصله صفحات و محدوده نرخ برش به ترتیب ۱ میلی‌متر و S^{-1} ۰/۲۵-۰/۰۱ بود و به منظور مشخص نمودن رفتار وابسته به زمان، سرعت برشی تا رسیدن به مقدار S^{-1} ۲۵۰ افزایش یافت، سپس به مدت ۲۰ ثانیه در همان حالت ثابت بود و سپس سرعت برشی به حالت اولیه بازگشت. جهت تعیین مدل مناسب برای وصف رفتار جریان، مدل قانون توان^۱ با دارا بودن ضریب همبستگی بالاتر جهت برازش داده‌ها انتخاب گردید و پارامترهای مدل مذکور برای همه نمونه‌های تهیه شده تعیین گردید. رابطه ۲، این مدل را نشان می‌دهد.

$$\sigma = ky^n \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه ۲: σ ، γ ، k و n به ترتیب نشان‌دهنده تنش برشی (Pa)، سرعت برشی (S^{-1})، شاخص قوام (Pa.S) و شاخص رفتار جریان (بدون بعد) بود (۲۳).

۲-۳-۴- آزمون های رئولوژیکی دینامیکی

آزمون‌های رئولوژیکی دینامیکی یا نوسانی (رویش کرنش و رویش فرکانس) توسط دستگاه رئومتر همانند آزمون رفتار جریان در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با کمک دو صفحه موازی صورت پذیرفت. آزمون رویش کرنش در محدوده کرنش مشخص (۱۰۰-۰/۰۱ درصد) و فرکانس ثابت (یک هرتز) به منظور تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی صورت پذیرفت (۶). پارامترهای به دست

^۱ Power Low

آمده از آزمون روبش فرکانس، ویسکوزیته کمپلکس بود. برای انجام آزمون روبش فرکانس از محدوده فرکانس معین (۴۰-۰/۰۰۱ هرتز) و اعمال کرنش ثابت (۰/۱ درصد) در محدوده ویسکوالاستیک خطی استفاده گردید.

۲-۴- آزمون‌های کیک

۲-۴-۱- پذیرش کلی کیک‌های تولیدی

برای این آزمون از روش قائمی و همکاران (۲۰۲۲) استفاده شد. در ابتدا ۱۰ نفر برای تکنیک‌های ارزیابی حسی آموزش داده شدند و سپس نمونه‌های کیک پخته شده دو ساعت بعد از تولید در اختیار ارزیاب‌ها قرار داده شدند و پذیرش کلی با استفاده از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱=نامطلوب و ۵=مطلوب) مورد پایش قرار گرفت (۵).

۲-۵- آنالیز آماری

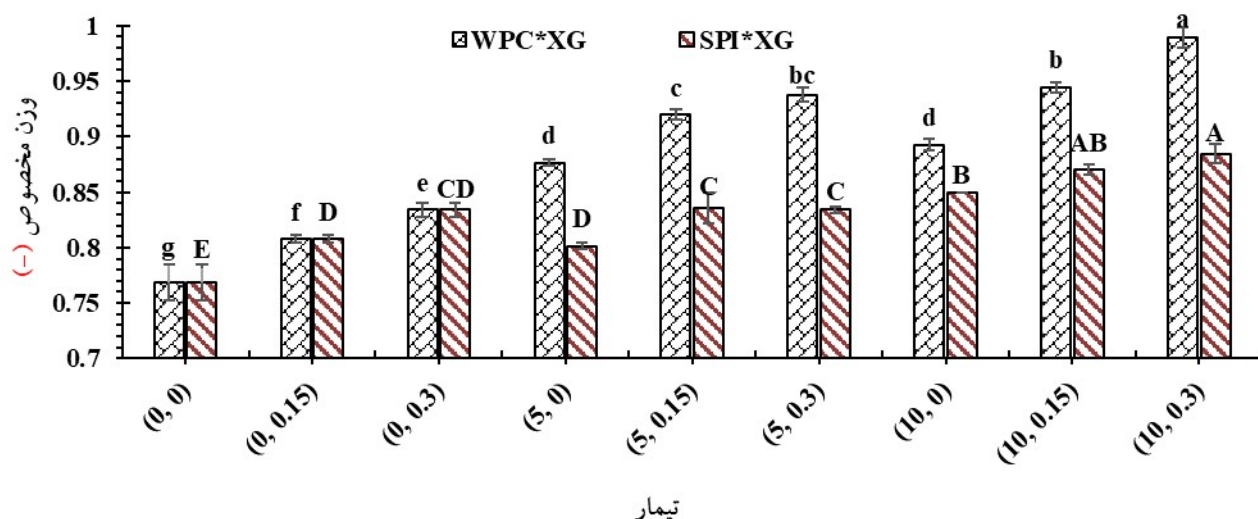
در این پژوهش بعد از انجام تمامی آزمایشات با سه تکرار، داده‌های به‌دست آمده با طرح کاملاً تصادفی (برای هر فرمولاسیون به‌صورت مجزا) و با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین داده‌ها (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (۲۰۱۰) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وزن مخصوص

شکل ۱ نتایج اثرات متقابل XG با WPC و همچنین با SPI بر میزان وزن مخصوص نمونه‌های خمیر را نشان می‌دهد. افزودن XG و WPC هر کدام به‌تنهایی و نیز به‌صورت همزمان در سطوح ذکر شده وزن مخصوص خمیر را نسبت به نمونه شاهد افزایش داد. در نمونه‌های حاوی SPI و XG نیز روندهای مشابهی دیده شد. یافته‌های این مطالعه مشخص نمود که استفاده از WPC به‌همراه XG موجب افزایش هر چه بیشتر وزن مخصوص خمیر در مقایسه با SPI گردید. به‌طور کلی کمینه وزن مخصوص خمیر مربوط به نمونه شاهد (۰/۷۶۹) و بیشینه آن نیز (۰/۹۸۹) متعلق به نمونه حاوی ۱۰ درصد WPC و ۰/۳ درصد XG بود. با توجه به نتایج، افزودن XG، SPI و WPC منجر به تقویت شبکه داخلی خمیر گردید. کاهش حجم هوای وارد شده به داخل خمیر می‌تواند باعث افزایش وزن مخصوص گردد (۱). همراستا با این نتایج، مطالعات صورت گرفته مشخص نمود که استفاده از برخی صمغ‌های مختلف به‌علت واکنش با آب، وزن مخصوص خمیر را افزایش می‌دهند (۱). نورلیلا و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تاثیر صمغ زانتان و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر خواص فیزیکی کیک اسفنجی نشان دادند که هرچند استفاده از هیدروکلئیدها منجر به افزایش ظرفیت نگهداری گاز در

کیک می گردد ولی از آنجا که ارتباط مستقیمی بین سختی و وزن مخصوص وجود دارد این ترکیبات منجر به افزایش وزن مخصوص خمیر کیک گردید که همراستا با نتایج این بخش بود (۱۵). برخی از محققین نیز افزایش وزن مخصوص خمیر با افزایش WPC، SPI و صمغ دانه ریحان (BSG^۱) را به افزایش ویسکوزیته خمیر نسبت دادند (۵).



شکل ۱- وزن مخصوص نمونه های خمیر بدون گلو تن حاوی مقادیر مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر، ایزوله پروتئین سویا و صمغ زانتان. داده های استفاده شده برای رسم هر ستون عبارتند از میانگین سه تکرار $\pm$ انحراف معیار و حروف کوچک مشابه برای نمونه های حاوی WPC با XG و حروف بزرگ مشابه برای نمونه های حاوی SPI و XG نشان از عدم معنی داری در سطح ۵ درصد بود.

۳-۲- قوام، سفتی و چسبندگی

نتایج اثر متقابل SPI با XG و همچنین WPC به همراه XG بر میزان قوام، سفتی و چسبندگی خمیر کیک در شکل ۲-الف، ب و ج نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، افزودن XG و SPI منجر به افزایش معنی دار ولی افزایش سطوح WPC منجر به افزایش غیر معنی دار قوام نمونه ها گردید ($p > 0.05$). در مجموع می توان گفت که SPI دارای تأثیر بیشتری نسبت به WPC بر میزان قوام نمونه ها بود. بالاترین میزان قوام (۳۰/۸۵ نیوتن ثانیه) در نمونه حاوی ۱۰ درصد SPI و ۰/۳ درصد XG مشاهده شد و کمترین میزان قوام (۷/۰۴ نیوتن ثانیه) نیز مربوط به نمونه شاهد بود. دلیل افزایش قوام خمیر را می توان به جذب سریع مقادیر زیاد آب

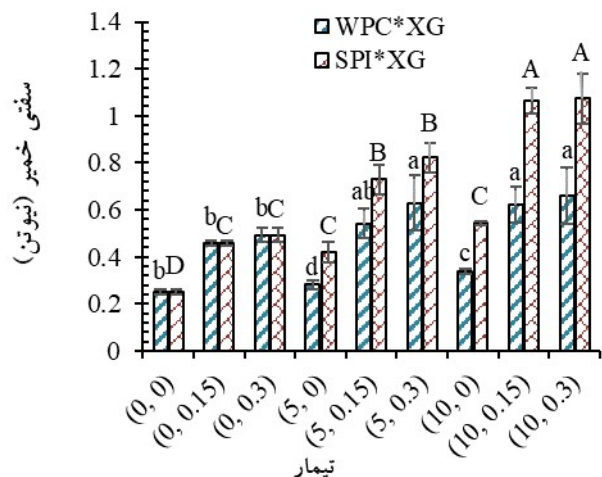
^۱ Basil seed gum

توسط WPC، SPI و در نهایت XG نسبت داد. مور و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که در فرمولاسیون فرآورده‌های بدون گلوتن، خمیر با میزان پروتئین زیاد قوام بالاتری دارد که همراستا با نتایج این بخش بود (۱۱). در نتیجه می‌توان بالاتر بودن قوام خمیر نمونه‌های حاوی SPI نسبت به نمونه‌های حاوی WPC را به بیشتر بودن میزان پروتئین در SPI نسبت داد. قائمی و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی تأثیر افزودن WPC، SPI و صمغ دانه ریحان بر کیک بدون گلوتن بیان داشتند که با افزایش این ترکیبات به خمیر کیک به‌علت بیشتر شدن ظرفیت جذب آب و محبوس کردن بیشتر آب و متصل شدن با شبکه پروتئینی آرد خمیر که منجر به تحرک کمتر آن‌ها شد، قوام خمیر افزایش یافت (۵).

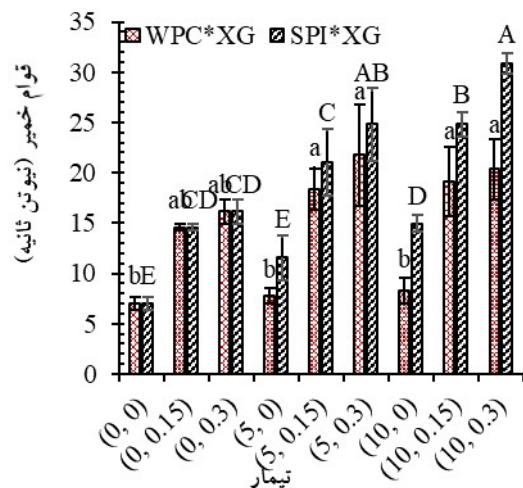
نتایج نشان داده شده در شکل ۲-ب، مشخص نمود که افزایش SPI، WPC و XG به‌صورت مستقل و ترکیبی، سفتی نمونه‌های خمیر را افزایش داد و به‌طور کلی تأثیر به‌کارگیری SPI بر سفتی خمیر بیشتر از اثر WPC پدیدار بود. کمترین (۰/۲۵ نیوتن) و بیشترین (۱/۰۸ نیوتن) میزان سفتی به‌ترتیب در نمونه شاهد و در نمونه حاوی ۱۰ درصد SPI و ۰/۳ درصد XG مشاهده گردید. هیدروکلوئیدها و پروتئین‌ها با مولکول‌های پروتئین موجود در آرد خمیر واکنش داده و کمپلکس تولیدی که احتمالاً نامحلول در آب است، قدرت زیادی در نگهداری گاز دارد. در نهایت این ساختار، بر استحکام دیواره حباب‌های هوا تأثیر گذاشته و بافت خمیر را سفت‌تر می‌کند (۱۶). برخی از محققان نیز علت بیشتر شدن سفتی خمیر کیک را واکنش میان صمغ‌های مختلف با پروتئین دانستند که در این مطالعه میزان سفتی خمیر کیک حاوی ۱ درصد XG بسیار بیشتر از نمونه‌های حاوی ۱ درصد هیدورکسی پروپیل متیل سلولز بود (۱۴). در واقع میزان بالای پروتئین در SPI و WPC روی پلیمریزاسیون پروتئین‌ها تأثیر گذاشته و در نتیجه پلاستیسیته خمیر افزایش می‌یابد که این امر نیز منجر به افزایش سفتی بافت خمیر می‌شود.

تأثیر WPC، SPI و XG بر چسبندگی خمیر در جدول ۲، نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، خمیر شاهد دارای کمترین چسبندگی در بین نمونه‌های خمیر بوده و افزودن XG، SPI و WPC سبب افزایش چسبندگی نمونه‌های خمیر گردید. همچنین مشخص گردید که تأثیر استفاده از SPI بر چسبندگی خمیر بیشتر از اثر افزودن WPC بود. در بین نمونه‌های خمیر، خمیر شاهد دارای کمترین میزان چسبندگی (۰/۴۳- نیوتن) و نمونه دارای ۱۰ درصد SPI و ۰/۳ درصد XG بیشترین میزان چسبندگی (۲/۷۴- نیوتن) را داشت که اختلاف آماری معنی‌داری با برخی از نمونه‌ها در سطح ۵ درصد نداشت. چسبندگی، تعاملات یک ماده (خمیر) با یک سطح را نشان می‌دهد، در حالی که پیوستگی نشان دهنده فعل و انفعالات درونی خمیر است (۶). زو و همکاران (۲۰۱۷)

بیان کردند که با افزودن WPC به خمیر نان به علت افزایش جذب آب، چسبندگی خمیر افزایش می یابد که با نتایج این بخش مطابقت داشت (۳۳). ظرفیت جذب آب و سطح پروتئین محلول در آب آردها با چسبندگی خمیر همبستگی مثبتی دارند، در نتیجه افزودن هر ترکیبی که میزان ظرفیت جذب آب یا پروتئین های خمیر را افزایش دهد منجر به افزایش چسبندگی در خمیر می شود (۳۱).



(ب)



(ب)

شکل ۲- میزان (الف) قوام و (ب) سفتی خمیرهای کیک بدون گلوتن، داده های استفاده شده برای رسم هر ستون عبارتند از میانگین سه تکرار $\pm$ انحراف معیار و حروف کوچک مشابه برای نمونه های حاوی WPC با XG و حروف بزرگ مشابه برای نمونه های حاوی SPI و XG نشان از عدم معنی داری در سطح ۵ درصد بود.

جدول ۲- تاثیر نوع فرمولاسیون بر میزان چسبندگی خمیرهای کیک بدون گلوتن

نوع فرمولاسیون	چسبندگی (نیوتن)	نوع فرمولاسیون	چسبندگی (نیوتن)
WX(۰-۰)	$-۰/۴۲۸ \pm ۰/۰۳۵^a$	SX(۰-۰)	$-۰/۴۲۸ \pm ۰/۰۳۵^A$
WX(۰-۰.۱۵)	$-۱/۱۳۹ \pm ۰/۰۴۱^{bc}$	SX(۰-۰.۱۵)	$-۱/۱۳۹ \pm ۰/۰۴۱^{AB}$
WX(۰-۰.۳)	$-۱/۲۰۸ \pm ۰/۰۹۲^{cd}$	SX(۰-۰.۳)	$-۱/۲۰۸ \pm ۰/۰۹۲^{AB}$
WX(۵-۰)	$-۰/۵۳۴ \pm ۰/۰۵۷^a$	SX(۵-۰)	$-۰/۷۹۹ \pm ۰/۰۷۵^{AB}$
WX(۵-۰.۱۵)	$-۱/۴۲۳ \pm ۰/۱۷۵^{cde}$	SX(۵-۰.۱۵)	$-۲/۶۴۳ \pm ۰/۰۶۵^D$
WX(۵-۰.۳)	$-۱/۷۴۶ \pm ۰/۲۷۱^{de}$	SX(۵-۰.۳)	$-۲/۰۵۵ \pm ۰/۱۵۵^{CD}$
WX(۱۰-۰)	$-۰/۶۳۷ \pm ۰/۰۷۷^{ab}$	SX(۱۰-۰)	$-۱/۳۰۹ \pm ۰/۰۰۹^{BC}$
WX(۱۰-۰.۱۵)	$-۱/۸۵۸ \pm ۰/۲۰۱^e$	SX(۱۰-۰.۱۵)	$-۲/۳۵۶ \pm ۰/۲۳۰^D$
WX(۱۰-۰.۳)	$-۱/۹۷۹ \pm ۰/۳۳۳^e$	SX(۱۰-۰.۳)	$-۲/۷۴۳ \pm ۰/۲۹۵^D$

داده‌ها عبارتند از میانگین سه تکرار $\pm$ انحراف معیار و حروف کوچک مشابه برای نمونه‌های حاوی WPC با XG و حروف بزرگ مشابه برای

نمونه‌های حاوی SPI و XG نشان از عدم معنی‌داری در سطح ۵ درصد

۳-۳- رفتار جریان

برای تعیین رفتار جریان نمونه‌های خمیر، از مدل قانون توان با ضریب تبیین (R^2) بیشتر، برای برازش داده‌های حاصل از تنش برشی در مقابل سرعت برشی استفاده گردید. در جدول‌های ۳ و ۴، مقادیر پارامترهای این مدل برای نمونه‌های خمیر نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول‌ها مشخص است با توجه به کمتر از یک بودن شاخص رفتار جریان در همه نمونه‌ها، خمیرهای تولیدی رفتار سودپلاستیک (رقیق شونده با برش) داشتند. یافته‌ها حاکی از آن بود که همه نمونه‌های خمیر مورد مطالعه نسبت به نمونه شاهد، شاخص k بالاتری را نشان دادند که نشان‌دهنده افزایش قدرت شبکه ژلی می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، نمونه‌های حاوی SPI و XG از شاخص قوام بالاتری نسبت به نمونه‌های WPC و XG برخوردار بودند. بیشترین شاخص قوام (Pa.s^n ۲۷۷) در نمونه خمیر حاوی ۱۰ درصد SPI به همراه ۰/۳ درصد XG و کمترین آن (Pa.s^n ۳۸/۳) در نمونه شاهد مشاهده شد. محققان گزارش کردند که خمیرهای حاصل از آرد برخی از غلات مانند برنج رفتار سودپلاستیک نشان دادند و با افزایش سطوح XG به نمونه‌های خمیر شاخص قوام و شاخص رفتار جریان به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد (۲۹). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی تأثیر

هیدروکلوئیدها بر برخی از خواص خمیر و نان بدون گلوتن صورت گرفته بود، مشخص شد که افزودن هیدروکلوئیدهای مختلف همانند یافته‌های مطالعه حاضر منجر به افزایش شاخص k گردید که این محققین علت این اتفاق را به جذب بیشتر آب توسط خمیر حاوی هیدروکلوئیدهای مختلف نسبت دادند و نشان دادند که هیدروکلوئیدهای مختلف بر خواص رئولوژیکی خمیر تاثیر گذار می‌باشد (۱۹).

جدول ۳- پارامترهای مدل قانون توان در نمونه‌های خمیر حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان

نوع فرمولاسیون	n	k (Pa. s ⁿ)	R ^۲
WX(۰-۰)	۰/۴۷	۳۸/۳۰	۰/۹۹
WX(۰-۰.۱۵)	۰/۴۳	۹۵/۹۹	۰/۹۹
WX(۰-۰.۳)	۰/۳۳	۱۵۰/۱۰	۰/۹۸
WX(۵-۰)	۰/۴۷	۴۹/۱۰	۰/۹۹
WX(۵-۰.۱۵)	۰/۵۰	۶۴/۲۴	۰/۹۹
WX(۵-۰.۳)	۰/۳۹	۱۴۹/۷۰	۰/۹۹
WX(۱۰-۰)	۰/۵۱	۵۳/۳۲	۰/۹۹
WX(۱۰-۰.۱۵)	۰/۵۰	۸۷/۵۲	۰/۹۸
WX(۱۰-۰.۳)	۰/۴۵	۱۷۶/۶۰	۰/۹۸

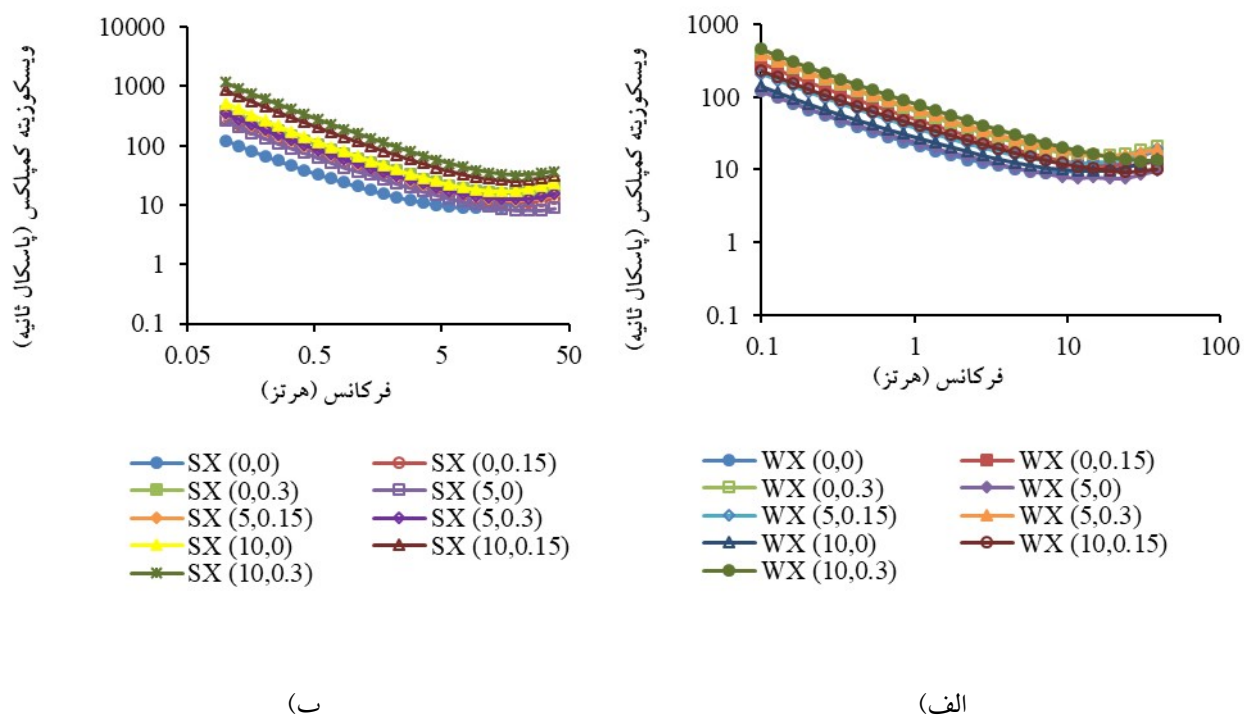
جدول ۴- پارامتر های مدل قانون توان در نمونه های خمیر حاوی ایزوله پروتئین سویا و صمغ زانتان

نوع فرمولاسیون	n	k (Pa. s ⁿ)	R ^۲
SX(۰-۰)	۰/۴۷	۳۸/۳۰	۰/۹۹
SX(۰-۰.۱۵)	۰/۴۳	۹۵/۹۹	۰/۹۹
SX(۰-۰.۳)	۰/۳۳	۱۵۰/۱۰	۰/۹۸
SX(۵-۰)	۰/۴۴	۶۵/۸۷	۰/۹۹
SX(۵-۰.۱۵)	۰/۴۶	۸۹/۹۲	۰/۹۹
SX(۵-۰.۳)	۰/۴۴	۹۵/۹۳	۰/۹۹
SX(۱۰-۰)	۰/۳۸	۱۰۴/۹۰	۰/۹۹
SX(۱۰-۰.۱۵)	۰/۳۰	۲۰۸/۹۰	۰/۹۸
SX(۱۰-۰.۳)	۰/۳۱	۲۷۷/۰۰	۰/۹۷

۳-۴- ویسکوزیته کمپلکس

تأثیر WPC، SPI و XG بر ویسکوزیته خمیر در شکل ۳، آورده شده است. نتایج به دست آمده، رفتار سودوپلاستیک نمونه های خمیر حاوی WPC یا SPI و XG را تایید کرد، زیرا افزایش فرکانس منتج به کاهش ویسکوزیته کمپلکس نمونه ها گردید. نتایج به دست آمده در فرکانس ۱ هرتز نشان داد که کمترین ویسکوزیته کمپلکس (۲۰/۶۵۱ پاسکال ثانیه) مربوط به نمونه خمیر شاهد و بیشترین آن در نمونه های خمیر حاوی ۰/۳ درصد XG با ۱۰ درصد WPC (۷۶/۲۵۶ پاسکال ثانیه) و ۰/۳ درصد XG با ۱۰ درصد SPI (۱۵۹/۳۰۷ پاسکال ثانیه) به دست آمد و این نمونه ها دارای سفتی بیشتری نسبت به سایر نمونه ها بودند. محققین بیان نمودند که خمیر بدون گلوتن یک سیستم نیمه مایع پیچیده است که چگالی بالا و خاصیت ارتجاعی کمی دارد و از آنجا که پروتئین ها بر خواص رئولوژیکی و اتصال آب در خمیر تأثیر می گذارند و با نشاسته و لیپیدها در محصولات پخت تعامل برقرار می نمایند، می توانند به پایداری خمیر و ساختار محصول نهایی کمک کنند، در نتیجه منجر به افزایش ویسکوزیته شوند، بنابراین هر ترکیبی مانند WPC و SPI به افزایش پایداری خمیر محصولات بدون گلوتن کمک می نماید، افزایش ویسکوزیته را به دنبال دارد (۸). در مجموع می توان انتظار داشت که کیک های حاوی SPI و XG دارای سفتی بیشتری نسبت به نمونه های حاوی WPC و XG باشند. به طور کلی

افزودن این ترکیبات از عوامل تأثیرگذار بر روی خمیر بودند، به طوری که نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد WPC، ۱۰ درصد SPI و ۰/۳ درصد XG دارای ویژگی‌های الاستیسیته بیشتری بودند. پژوهشگران بیان کردند که افزودن برخی از صمغ‌ها نظیر XG باعث افزایش الاستیسیته خمیر کیک می‌شود (۳۰). واکنش‌های نشاسته-هیدروکلونید با چسباندن و محصور کردن XG به گرانول‌های نشاسته می‌تواند دلیل این امر باشد (۱۷). سینگ و همکاران (۲۰۱۵) افزایش ویسکوالاستیسیته در محصولات حاوی XG را به ظرفیت بالای اتصال آب این ترکیبات نسبت دادند که آب در دسترس کم می‌شود (۲۲).



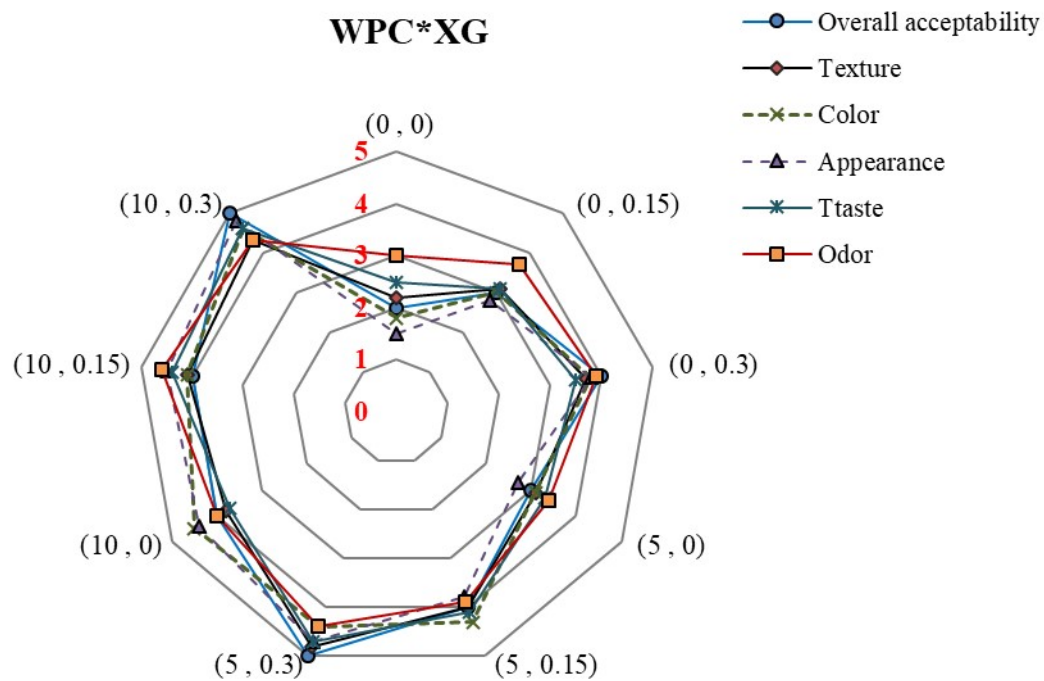
شکل ۳- ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌های خمیر حاوی (الف) کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان (ب) ایزوله پروتئین سویا با

صمغ زانتان

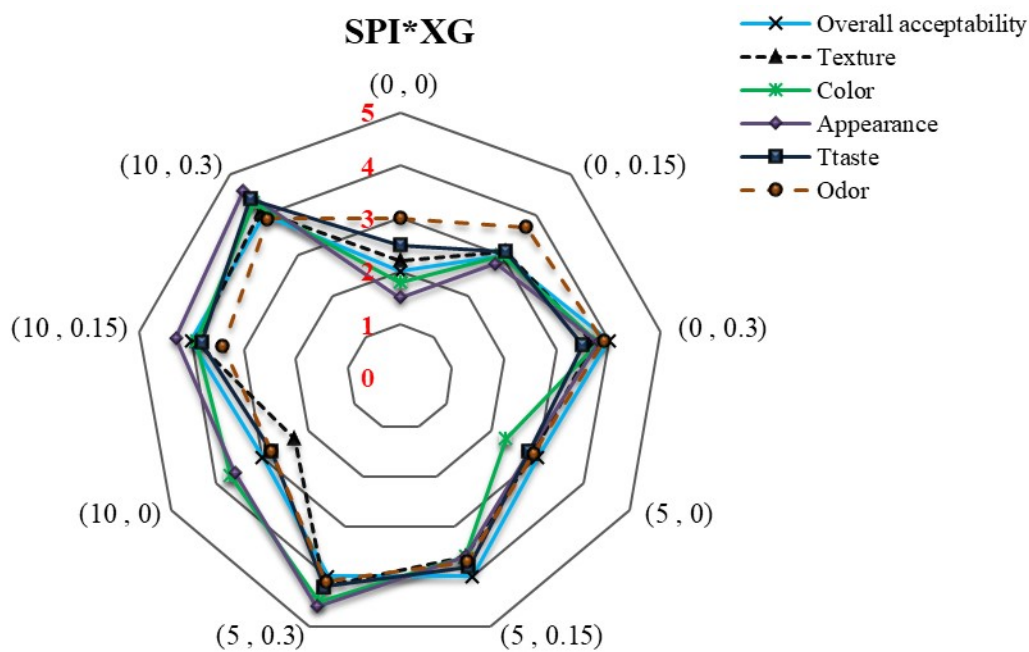
۳-۵- ارزیابی حسی

تأثیر WPC، SPI و XG بر پذیرش کلی کیک در شکل ۴، ارائه شده است. با توجه به امتیازهای ارائه شده در پذیرش کلی نمونه‌ها، مشخص شد که نمونه شاهد دارای پایین‌ترین میزان پذیرش بوده و نمونه حاوی ۵ و ۱۰ درصد WPC یا SPI با ۰/۳ درصد XG و همچنین نمونه حاوی ۵ و ۱۰ درصد SPI با ۰/۱۵ درصد XG بالاترین میزان پذیرش را از نظر ارزیاب‌ها به خود اختصاص دادند. این نتایج نشان دهنده این واقعیت است که افزودن WPC، SPI و XG موجب بهبود ویژگی‌های حسی محصول گردید. در

مطالعات آورده شده بود که نمونه‌های حاوی XG در ترکیب با سطوح پایین آرد ارزن (۵۰ درصد) نسبت به سطوح بالا اختلاف معنی‌داری داشتند و امتیاز بالاتری را کسب کردند زیرا آرد ارزن دارای ظرفیت نگهداشت آب پایین‌تری می‌باشد. در نتیجه کیک تولیدی دارای حجم و تخلخل کمتر و سفتی بالاتری می‌باشد، ولی افزودن XG با بهبود این ویژگی‌ها منجر به افزایش ویژگی‌های حسی از قبیل پذیرش کلی و غیره می‌گردد (۱۰). محققان همچنین نشان دادند که افزایش XG در فرمولاسیون فراورده‌های تولیدی (کیک بدون گلوتن) تأثیر معنی‌داری بر رنگ و بو از دید ارزیاب‌ها نداشت ولی میزان طعم و مزه آن را به‌علت وجود ترکیبات آزاد شده در طول پخت بهبود می‌بخشد و از طرفی این ترکیبات به‌علت جذب و نگهداری بیشتر آب دارای پذیرش کلی نسبت به شاهد بودند (۳۲). کامرگو و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تأثیر افزودن WPC بر ویژگی‌های تغذیه‌ای، تکنولوژیکی و حسی کیک موز، بیان داشتند که افزودن WPC به نمونه‌های تهیه شده باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشد و تمامی کیک‌های تولیدی دارای پذیرش کلی بالاتر از ۷ بودند که نشان از مقبولیت این کیک‌ها از دید ارزیاب‌ها داشت (۳). صالحی و همکاران (۲۰۱۸) نیز با بررسی ویژگی‌های خمیر و خصوصیات کیک اسفنجی حاوی SPI و صمغ دانه ریحان بیان داشتند که استفاده از SPI و صمغ دانه ریحان به‌علت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی خمیر کیک و همچنین بهبود طعم، آروما و رنگ کیک منجر به افزایش پذیرش کلی کیک‌های تولیدی گردید که همراستا با نتایج این بخش بود (۲۱).



(الف)



(ب)

شکل ۴- ارزیابی حسی نمونه های کیک بدون گلو تن حاوی (الف) کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان (ب) ایزوله پروتئین سویا

با صمغ زانتان

۴- نتیجه گیری کلی

فرآورده های نانوائی بدون گلو تن موجود در بازار از نظر کیفیت و مقبولیت با فرآورده های حاوی گلو تن قابل قیاس نمی باشند. این فرآورده ها دارای پوسته و ویژگی های حسی نامناسب می باشند. یافته های مطالعه حاضر مشخص نمود که افزودن ترکیبی XG با SPI یا WPC موجب بهبود ویژگی های کیفی و حسی خمیر و کیک بدون گلو تن بر پایه آرد برنج گردید. آنالیز حسی نمونه ها حاکی از آن بود که نمونه شاهد دارای پایین ترین میزان پذیرش کلی بوده و نمونه حاوی ۵ و ۱۰ درصد WPC یا SPI با ۰/۳ درصد XG و هم چنین نمونه حاوی ۵ و ۱۰ درصد SPI با ۰/۱۵ درصد XG بالاترین میزان پذیرش را از نظر ارزیاب ها به خود اختصاص دادند. با توجه به نتایج آورده شده در این مطالعه می توان بیان داشت که نمونه حاوی ۱۰ درصد SPI با ۰/۳ XG به عنوان بهترین نمونه کیک بدون گلو تن پیشنهاد می گردد.

۵- منابع

۱. Beikzadeh S, Peighambaroust SH, Homayouni-rad A, Beikzadeh M. Effects of Psyllium and Marve Seed Mucilages on Physical, Sensory and Staling Properties of Sponge Cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*. ۲۰۱۷; ۱۹ (۵):۱۰۷۹-۱۰۸۹. dor: ۲۰.۱۰۰۱.۱.۱۶۸۰۷۰۷۳.۲۰۱۷.۱۹.۵.۱۴.۷
۲. Bennion EB, Bamford GST. The Technology of cake making. Blackie Academic and Professional. London. UK. ۱۹۹۷.
۳. Camargo LR, Silva LM, Komerowski MR, Kist TBL, Rodrigues C.E, de O. Rios A, Silva MM, Doneda D, de O. Schmidt H, Oliveira VR. Effect of Whey Protein Addition on the Nutritional, Technological and Sensory Quality of Banana Cake. *International Journal of Food Science and Technology*. ۲۰۱۸; ۵۳: ۲۶۱۷-۲۶۲۳. doi: ۱۰.۱۱۱۱/ijfs.۱۳۸۵۷
۴. Catassi C, Verdu EF, Bai JC, Lionetti E. Coeliac disease. *The Lancet*. ۲۰۲۲; ۳۹۹ (۱۰۳۴۴): ۲۴۱۳-۲۴۲۶. doi: ۱۰.۱۰۱۶/S۰۱۴۰-۶۷۳۶(۲۲)۰۰۷۹۴-۲

۵. Ghaemi P, Arabshahi Delouee S, Alami M, Hosseini ghaboos SH. Effect of whey protein concentrate, soy protein isolate and basil seed gum on some physicochemical and sensory properties of rice flour based gluten-free batter and cake. *Journal of food science and technology (Iran)*. ۲۰۲۲; ۱۹ (۱۲۷): ۱۳۹-۱۵۴. [In Persian]. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/FSCT.۱۹.۱۲۷.۱۳۹
۶. Heitmann M, Zannini E, Arendt EK. Impact of different beer yeasts on wheat dough and bread quality parameters. *Journal of Cereal Science*. ۲۰۱۵; ۶۳: ۴۹-۵۶. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.jcs.۲۰۱۵.۰۲.۰۰۸
۷. Khoshdouni Farahani Z. Physicochemical, textural and sensorial properties of cocoa sponge cake formulated with xanthan gum during shelf-life. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*. ۲۰۲۱; ۴(۱): ۹۴-۹۸. doi: ۱۰.۲۲۰۵۹/JFABE.۲۰۲۱.۳۱۹۷۰۳.۱۰۸۷
۸. Komerowski MR, Oliveira VRD. Influence of the amount and type of whey protein on the chemical, technological, and sensory quality of pasta and bakery products. *Foods*. ۲۰۲۳; ۱۲(۱۴): ۲۸۰۱. doi: ۱۰.۳۳۹۰/foods۱۲۱۴۲۸۰۱
۹. Maravić N, Škrobot D, Dapčević-Hadnadev T, Pajin B, Tomić J, Hadnadev M. Effect of Sourdough and Whey Protein Addition on the Technological and Nutritive Characteristics of Sponge Cake. *Foods*. ۲۰۲۲; ۱۱(۱۴):۱۹۹۲. doi: ۱۰.۳۳۹۰/foods۱۱۱۴۱۹۹۲
۱۰. Mohajer Khorasani S, Alami M, Kashaninejad M, Shahiri Tabarestani H. Effect of adding millet flour and xanthan gum on the physicochemical and sensorial properties of gluten-free cake. *Food processing and preservation Journal*. ۲۰۲۱; ۱۳(۱): ۵۷-۷۰. [In Persian]. doi: ۱۰.۲۲۰۶۹/EJFPP.۲۰۲۱.۱۶۵۶۸.۱۵۴۷
۱۱. Moore MM, Schober TJ, Dockery P, Arendt EK. Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*. ۲۰۰۴; ۸۱(۵): ۵۶۷-۵۷۵. doi: ۱۰.۱۰۹۴/CCHEM.۲۰۰۴.۸۱.۵.۵۶۷
۱۲. Naqash F, Gani A, Gani A, Masoodi FA. Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*. ۲۰۱۷; ۶۶: ۹۸-۱۰۷. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.tifs.۲۰۱۷.۰۶.۰۰۴

۱۳. Nasaruddin F, Chin N, Yusof Y. Effect of processing on instrumental textural properties of traditional dodol using back extrusion. *International Journal of Food properties*. ۲۰۱۲; ۱۵(۳):۴۹۵-۵۰۶. doi: ۱۰.۱۰۸۰/۱۰۹۴۲۹۱۲.۲۰۱۰.۴۹۱۹۳۲
۱۴. Noorlaila A, Hasanah H, Yusoff A, Sarijo S, Asmeda R. Effects of xanthan gum and HPMC on physicochemical and microstructure properties of sponge cakes during storage. *Journal of food science and technology*. ۲۰۱۷; ۵۴(۱۱): ۳۵۳۲-۳۵۴۲. doi: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۳۱۹۷-۰۱۷-۲۸۱۰-۶
۱۵. Noorlaila A, Hasanah HN, Asmeda R, Yusoff A. The effects of xanthan gum and hydroxypropylmethylcellulose on physical properties of sponge cakes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. ۲۰۲۰; ۱۹(۲): ۱۲۸-۱۳۵. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.jssas.۲۰۱۸.۰۸.۰۰۱
۱۶. Ozge Ozkoc S, Sumnu G, Sahin S. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*. ۲۰۰۹; ۲۳(۸): ۲۱۸۲-۲۱۸۹. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.foodhyd.۲۰۰۹.۰۴.۰۰۳
۱۷. Peressini D, Pin M, Sensidoni A. Rheology and breadmaking performance of rice-buckwheat batters supplemented with hydrocolloids. *Food hydrocolloids*. ۲۰۱۱; ۲۵(۳): ۳۴۰-۳۴۹. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.foodhyd.۲۰۱۰.۰۶.۰۱۲
۱۸. Piruti S, Faraji A, Naghipour F. Evaluation of the synergistic effect of quinoa flour and whey protein as a substitute for gluten in the production of Yazdi cake based on rice flour. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. ۲۰۲۰; ۱۲(۱): ۴۷-۶۲. [In Persian]. doi: ۱۰.۳۰۴۹۰/jfst.۲۰۲۰.۶۶۵۳۳۳
۱۹. Sabanis D, Tzia C. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food science and technology international*. ۲۰۱۱; ۱۷(۴): ۲۷۹-۲۹۱. doi: ۱۰.۱۱۷۷/۱۰۸۲۰۱۳۲۱۰۳۸۲۳۵۰
۲۰. Salehi F. Improving the Textural and Sensory Properties of Sponge Cake Containing Soy Protein Isolate Using Balangu Seed Gum. *Journal of food science and technology (Iran)*. ۲۰۱۸; ۱۵ (۸۱): ۱۱-۲۱. [In Persian].

۲۱. Salehi F, Amin Ekhlās S, Sourī F. Investigation of the batter characteristic and sponge cake properties containing soy protein isolate and basil seed gum. *Journal of Food Science and technology (Iran)*. ۲۰۱۸; ۱۴(۷۰): ۳۲۳-۳۱۵. [In Persian].
۲۲. Singh JP, Kaur A, Shevkani K, Singh N. Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidant and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins. *International Journal of Food Science and Technology*. ۲۰۱۵; ۵۰ (۵):۱۱۹۰-۱۱۹۷. doi: ۱۰.۱۱۱۱/ijfs.۱۲۷۶۴
۲۳. Shaabani S, Yarmand MS, Kiania H, Emam-Djomeh, Z. 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 - Food Science and Technology*. ۲۰۱۸; ۹۰: ۳۶۲-۳۷۲. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.lwt.۲۰۱۷.۱۲.۰۲۳
۲۴. Smidova, Z, Rysova, J. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods*. ۲۰۲۲; ۱۱(۳): ۴۸۰. doi: ۱۰.۳۳۹۰/foods۱۱۰۳۰۴۸۰
۲۵. Sowmya M, Jeyarani T, Jyotsna R, Indrani D. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. *Food Hydrocolloids*. ۲۰۰۹; ۲۳(۷): ۱۸۲۷-۱۸۳۶. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.foodhyd.۲۰۰۹.۰۲.۰۰۸
۲۶. Sudirgo MM, Surya RA, Kristianto H, Prasetyo S, Sugih AK. Application of xanthan gum as coagulant-aid for decolorization of synthetic Congo red wastewater. *Heliyon*. ۲۰۲۳; ۹(۴): e۱۵۰۱۱, ISSN ۲۴۰۵-۸۴۴۰. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.heliyon.۲۰۲۳.e۱۵۰۱۱
۲۷. Toth M, Vatai G, Koris A. Consumers' Acceptance, Satisfaction in Consuming Gluten-free Bread: A Market Survey Approach. *International Journal of Celiac Disease*. ۲۰۲۰; ۸(۲): ۴۴-۴۹. doi: ۱۰.۱۲۶۹۱/ijcd-۸-۲-۱

۲۸. Wang J, Xu Z, Jiang L, Zhang Y, Sui X. Further evaluation on structural and antioxidant capacities of soy protein isolates under multiple freeze–thaw cycles. *Food Chemistry: X*. ۲۰۲۳; ۱۷: ۱۰۰۵۷۴, ISSN ۲۵۹۰–۱۵۷۵. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.fochx.۲۰۲۳.۱۰۰۵۷۴
۲۹. Xue J, Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. ۲۰۰۷; ۸۷(۷): ۱۲۹۲–۱۳۰۰. doi: ۱۰.۱۰۰۲/jsfa.۲۸۴۵
۳۰. Yildiz E, Sumnu SG, Sahin S. 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*. ۲۰۱۸; ۱۰(۳): ۲۴۵–۲۵۴. doi: ۱۰.۳۹۲۰/qas۲۰۱۷.۱۲۲۱
۳۱. Yildiz O, Meral R, Dogan, IS. Determination of stickiness values of different flour combinations. *International journal of food engineering*. ۲۰۱۲; ۸(۳): ۱–۱۱. doi: ۱۰.۱۵۱۵/۱۵۵۶-۳۷۵۸.۲۴۱۲
۳۲. Zaric DB, Pajin BS, Rakin MB, Seres ZI, Dokic LP, Tomic JM. Effect of soya milk on nutritive, antioxidative, reological and textural properties of chocolate produced in a ball mill. *Hemijaska industrija*. ۲۰۱۱; ۶۵: ۵۶۳–۵۷۳. doi: ۱۰.۲۲۹۸/HEMIND۱۱۰۵۲۵۰۴۵Z
۳۳. Zhou J, Liu J, Tang X. Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*. ۲۰۱۷; ۴۹(۱):۳۸–۴۶. doi: ۱۰.۱۱۱۱/jtxs.۱۲۲۷۵

The Effect of Whey Protein Concentrate and Soy Protein Isolate with Xanthan Gum on the Physical and Rheological Properties of Gluten-Free Batter and Oil Cake

Parastoo Ghaemi^۱, Saeedeh Arabshahi Delouee^{*۲}, Mehran Alami^۳, Seyyed Hossein Hosseini

Ghaboos^۲

^۱- Ph.D. Graduated, Department of Food Science and Technology, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

^۲- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

^۳- Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Abstract

Gluten-free bakery products lack nutrients and tend to go stale quickly. Therefore, this study aimed to enhance the physical and rheological properties of gluten-free dough and cake made with rice flour. The study examined the impact of varying percentages of whey protein concentrate and soy protein isolate (ranging from ۰ to ۱۰٪) and different levels of xanthan gum (ranging from ۰ to ۰.۳٪) on specific gravity, stiffness, consistency, adhesion, flow behavior, strain growth, and frequency sweep (complex viscosity) of the samples. The results indicated that as xanthan gum, whey protein concentrate, and soy protein isolate levels increased, the specific gravity, consistency index, stiffness, and adhesion of the doughs also increased. The sample containing ۱۰٪ soy protein isolate and ۰.۳٪ xanthan gum exhibited the highest consistency (۳۰.۸۵ Newton seconds), dough stiffness (۱.۰۸ Newton), and adhesion (-۲.۷۴ Newton). Additionally, the sample with ۱۰٪ whey protein concentrate and ۰.۳٪ xanthan gum had the highest dough specific gravity (۰.۹۸۹). The prepared dough samples displayed shear thinning behavior. Sensory evaluation of the cakes revealed that those made with ۵٪ and ۱۰٪ whey protein concentrate and soy protein isolate, along with ۰.۳٪ and ۰.۱۵٪ xanthan gum, respectively, received the highest overall acceptance scores. In conclusion, based on the study findings, the sample containing ۱۰٪ soy protein isolate and ۰.۳٪ xanthan gum is recommended as the optimal gluten-free cake made with rice flour.

*Corresponding Author: sa.arabshahi@iau.ac.ir

Keywords: Soy Protein Isolate, Gluten-Free Cake, Whey Protein Concentrate, Xanthan Gum, Physical and Rheological Properties

Introduction

Celiac disease is a significant gluten-related disorder and an autoimmune enteropathy in which peptides resulting from incomplete digestion of gluten proteins are recognized as antigens by the immune system. The clinical manifestations of this disease range from gastrointestinal and extra intestinal symptoms to asymptomatic cases, and currently, the only effective treatment for this disease is a lifelong gluten-free diet (۳). Gluten-free bakery products available on the market are not comparable in quality and acceptability to gluten-containing products. These products have poor crust and sensory properties, and they quickly go stale because they are mainly starch-based and lack other nutrients (۷). Whey protein concentrate (WPC) has been commonly used as a functional ingredient due to its exceptional properties such as water-binding capacity, foaming, emulsification, and gel-forming ability (۶). Soy protein isolate (SPI) is typically obtained from defatted soybean meal by alkaline or acid extraction and is one of the most important and commercially used soy protein products in the food industry (۱۳). Its functional properties include emulsifying properties, water and fat absorption and retention properties, gel formation properties, as well as color and texture control (۱۴). Xanthan gum (XG) is an extracellular polymeric carbohydrate produced in the food industry by the bacterium *Xanthomonas Campestris* and is commonly used as a stabilizer, thickener, and emulsifier (۱۷). Given these materials, the main objective of this study was to investigate the effect of adding WPC, SPI, and XG on some physical and rheological properties of gluten-free batter and cake based on rice flour.

Materials and Methods

In this study, half-grain rice of the Fajr variety, WPC concentrate (Lynn, USA), SPI (Crown, China), XG, powdered sugar, eggs, sunflower oil, baking powder, and vanilla were used to prepare the cake batter. The Bennion (۱۹۹۷) method was utilized with slight adjustments in the quantities of raw materials to prepare the cake batter (۷).

Three levels of WPC and SPI (۰, ۵, and ۱۰ percent) and three concentrations of XG (۰, ۰.۱۵, and ۰.۳ percent) were employed to prepare the cake batter. The physical and rheological properties of the cake batter (specific gravity, backward extrusion test, steady state rheological test, and dynamic rheological tests) were evaluated, along with the overall acceptance of the cake (۴, ۵, ۸, ۱۰, and ۱۱).

After conducting all experiments with three replications, the data obtained were statistically analyzed using a completely randomized design and SAS software. Duncan's multiple range test was utilized to compare data means (at a 95% confidence level), and Excel (2010) was used to create graphs.

Results and Discussion

The addition of XG and WPC, both individually and simultaneously, increased the specific gravity of the batter compared to the control sample. Similar trends were observed in samples containing SPI and XG. The findings of this study indicated that the use of WPC together with XG increased the specific gravity of the batter more than SPI. Consistent with these results, studies have shown that the use of different gums increases the specific gravity of the batter due to their interaction with water (1). On the other hand, it was found that the addition of XG and SPI led to a significant increase, while increasing the levels of WPC led to a non-significant increase in the consistency of the samples ($p > 0.05$). In general, it can be said that SPI had a greater effect on the consistency of the samples than WPC.

Ghaemi et al. (2022) studied the effect of adding WPC, SPI, and basil seed gum (BSG) on gluten-free cakes and stated that by increasing these compounds in cake batter, batter consistency increased due to increased water absorption capacity, increased water retention, and binding to the protein network of batter flour, which led to lower mobility (2). The findings indicated that by increasing SPI, WPC, and XG independently and in combination, the stiffness of batter samples increased, with SPI having a greater effect on batter stiffness than WPC. Some researchers also attributed the increased stiffness of cake batter to the reaction between different gums and proteins (3).

The control batter had the lowest adhesion among batter samples, and the addition of XG, SPI, and WPC increased the adhesion of batter samples. Given that the flow behavior index was less than one in all samples, the produced batters exhibited a pseudoplastic behavior (thinning with shear). Samples containing SPI and XG had a higher consistency index than those containing WPC and XG.

The results obtained at a frequency of 1 Hz showed that the lowest complex viscosity (20.601 Pascal second) was obtained for the control batter sample, while the highest was obtained for the batter samples containing 0.3% XG with 10% WPC (206.76 Pascal second) and 0.3% XG with 10% SPI (307.109 Pascal second), indicating higher stiffness in these samples. According to the overall acceptance scores, the control sample had the lowest acceptance rate, while samples containing 0 and 10% WPC or SPI with 0.3% XG, as well as samples containing 0 and 10% SPI with 0.10% XG, had the highest acceptance rate among evaluators. These results suggest that the addition of WPC, SPI, and XG improved the sensory properties of the product.

Conclusion

Gluten-free bakery products available in the market are not comparable in quality and acceptability to gluten-containing products. These products often have inappropriate crust and sensory properties. The findings of the present study revealed that the combined addition of Xanthan Gum (XG) with Soy Protein Isolate (SPI) or Whey Protein Concentrate (WPC) improved the qualitative and sensory properties of gluten-free batter and cake based on rice flour. Sensory analysis of the samples indicated that the control sample had the lowest overall acceptance rate. However, the samples containing 0% and 10% WPC or SPI with 0.3% XG, as well as the samples containing 0% and 10% SPI with 0.10% XG, had the highest acceptance rate according to the evaluators.

Based on the results presented in this study, it can be concluded that the sample containing 10% SPI with 0.3% XG is recommended as the best gluten-free cake sample.

References

۱. Beikzadeh S, Peighambaroust SH, Homayouni-rad A, Beikzadeh M. Effects of Psyllium and Marve Seed Mucilages on Physical, Sensory and Staling Properties of Sponge Cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*. ۲۰۱۷; ۱۹ (۵):۱۰۷۹-۱۰۸۹. dor: ۲۰.۱۰۰۱.۱.۱۶۸.۷۰۷۳.۲۰۱۷.۱۹.۵.۱۴.۷
۲. Bennion EB, Bamford GST. The Technology of cake making. Blackie Academic and Professional. London. UK. ۱۹۹۷.
۳. Catassi C, Verdu EF, Bai JC, Lionetti E. Coeliac disease. *The Lancet*. ۲۰۲۲; ۳۹۹ (۱۰۳۴۴): ۲۴۱۳-۲۴۲۶. doi: ۱۰.۱۰۱۶/S۰۱۴۰-۶۷۳۶(۲۲)۰۰۷۹۴-۲
۴. Ghaemi P, Arabshahi Delouee S, Alami M, Hosseini ghaboos SH. Effect of whey protein concentrate, soy protein isolate and basil seed gum on some physicochemical and sensory properties of rice flour based gluten-free batter and cake. *Journal of food science and technology (Iran)*. ۲۰۲۲; ۱۹ (۱۲۷): ۱۳۹-۱۵۴. [In Persian]. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/FSCT.۱۹.۱۲۷.۱۳۹
۵. Heitmann M, Zannini E, Arendt EK. Impact of different beer yeasts on wheat dough and bread quality parameters. *Journal of Cereal Science*. ۲۰۱۵; ۶۳: ۴۹-۵۶. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.jcs.۲۰۱۵.۰۲.۰۰۸
۶. Maravić N, Škrobot D, Dapčević-Hadnađev T, Pajin B, Tomić J, Hadnađev M. Effect of Sourdough and Whey Protein Addition on the Technological and Nutritive Characteristics of Sponge Cake. *Foods*. ۲۰۲۲; ۱۱(۱۴):۱۹۹۲. doi: ۱۰.۳۳۹۰/foods۱۱۱۴۱۹۹۲

٧. Naqash F, Gani A, Gani A, Masoodi FA. Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*. ٢٠١٧; ٦٦: ٩٨-١٠٧. doi: ١٠.١٠١٦/j.tifs.٢٠١٧.٠٦.٠٠٤
٨. Nasaruddin F, Chin N, Yusof Y. Effect of processing on instrumental textural properties of traditional dodol using back extrusion. *International Journal of Food properties*. ٢٠١٢; ١٥(٣):٤٩٥-٥٠٦. doi: ١٠.١٠٨٠/١٠٩٤٢٩١٢.٢٠١٠.٤٩١٩٣٢
٩. Noorlaila A, Hasanah H, Yusoff A, Sarijo S, Asmeda R. Effects of xanthan gum and HPMC on physicochemical and microstructure properties of sponge cakes during storage. *Journal of food science and technology*. ٢٠١٧; ٥٤(١١): ٣٥٣٢-٣٥٤٢. doi: ١٠.١٠٠٧/s١٣١٩٧-٠١٧-٢٨١٠-٦
١٠. Shaabani, S., Yarmand, M.S., Kiania, H, Emam-Djomeh, Z. 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 - Food Science and Technology*. ٢٠١٨; ٩٠: ٣٦٢-٣٧٢. doi: ١٠.١٠١٦/j.lwt.٢٠١٧.١٢.٠٢٣
١١. Sowmya M, Jeyarani T, Jyotsna R, Indrani D. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. *Food Hydrocolloids*. ٢٠٠٩; ٢٣(٧): ١٨٢٧-١٨٣٦. doi: ١٠.١٠١٦/j.foodhyd.٢٠٠٩.٠٢.٠٠٨
١٢. Sudirgo MM, Surya RA, Kristianto H, Prasetyo S, Sugih AK. Application of xanthan gum as coagulant-aid for decolorization of synthetic Congo red wastewater. *Heliyon*. ٢٠٢٣; ٩(٤): e١٥٠١١, ISSN ٢٤٠٥-٨٤٤٠. doi: ١٠.١٠١٦/j.heliyon.٢٠٢٣.e١٥٠١١
١٣. Wang J, Xu Z, Jiang L, Zhang Y, Sui X. Further evaluation on structural and antioxidant capacities of soy protein isolates under multiple freeze-thaw cycles. *Food Chemistry: X*. ٢٠٢٣; ١٧: ١٠٠٥٧٤, ISSN ٢٥٩٠-١٥٧٥. doi: ١٠.١٠١٦/j.fochx.٢٠٢٣.١٠٠٥٧٤
١٤. Zaric DB, Pajin BS, Rakin MB, Seres ZI, Dokic LP, Tomic JM. Effect of soya milk on nutritive, antioxidative, reological and textural properties of chocolate produced in a ball mill. *Hemijaska industrija*. ٢٠١١; ٦٥: ٥٦٣-٥٧٣. doi: ١٠.٢٢٩٨/HEMIND١١٠٥٢٥٠٤٥Z