

## بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی کیک اسفنجی بدون گلوتن با استفاده از امواج فراصوت و پروتئین ایزوله سویا

هادی طالبی<sup>۱</sup>، مهدی قیافه داودی<sup>۲\*</sup>

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۲- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۴)

### چکیده

پروتئین گلوتن که مهم‌ترین ترکیب در ایجاد بافت و در برگیرنده اجزای فرمولاسیون محصولات صنایع پخت می‌باشد، در افراد مبتلا به بیماری سیلیاک ایجاد حساسیت می‌کند و تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی بدون گلوتن در تمام طول عمر فرد است. از این‌رو هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر پروتئین ایزوله سویا به‌عنوان مقلد گلوتن در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد (بر اساس وزن آرد برنج) و به‌کارگیری امواج فراصوت طی مدت زمان‌های صفر، ۲ و ۴ دقیقه بر بهبود خصوصیات تکنولوژیکی، تصویری، بافتی و حسی کیک اسفنجی برنجی فاقد گلوتن در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل بود ( $P \leq 0/05$ ). نتایج به وضوح نشان داد که اضافه نمودن پروتئین ایزوله سویا به میزان ۱۰ درصد سبب افزایش میزان حجم مخصوص، تخلخل و مؤلفه‌های  $L^*$  و  $a^*$  پوسته و کاهش میزان سفتی (۲ ساعت و یک هفته پس از پخت) محصول نهایی شد. از سوی دیگر مشاهده گردید که با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت از صفر تا ۴ دقیقه، خصوصیات کمی و کیفی نمونه‌های تولیدی بهبود یافت. این در حالی بود که افزودن پروتئین ایزوله سویا و اعمال امواج فراصوت تأثیر معنی‌داری بر میزان مؤلفه  $b^*$  پوسته کیک اسفنجی بدون گلوتن نداشت ( $P \leq 0/05$ ). در نهایت براساس نتایج حاصل از پذیرش کلی که میانگینی از سایر خصوصیات حسی بود، مشخص گردید که نمونه حاوی ۱۰ درصد پروتئین سویا و تحت اعمال امواج فراصوت به مدت زمان ۴ دقیقه، بیش‌ترین مقبولیت را در بین داوران چشایی برخوردار بود.

**کلید واژگان:** سیلیاک، بدون گلوتن، پروتئین ایزوله سویا، امواج فراصوت، کیک اسفنجی.

\* مسئول مکاتبات: mehdidavoodi@yahoo.com

## ۱- مقدمه

بیماری‌های گوارشی در بین جوامع انسانی به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه از اهمیت فراوانی برخوردار هستند. یکی از این بیماری‌ها، بیماری سیلیاک است. سیلیاک بیماری مزمنی است که در اثر دریافت جزء گلیداینی گلوتن موجود در دانه گندم و پرولامین چاودار (سکالین)، جو (هوردئین) و احتمالاً یولاف (آویدین)، حاصل می‌گردد [۱]. با توجه به اینکه تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی بدون گلوتن است، مطالعات پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به‌ویژه محصولات صنایع پخت از اهمیت زیادی برخوردار است. کیک به‌عنوان یکی از محصولات صنایع پخت دارای تنوع بالایی است و در بین افراد جامعه به‌خصوص کودکان و نوجوانان طرفداران زیادی دارد. از آرد به‌عنوان برگزیده اجزای مختلف کیک و شکل دهنده آن استفاده می‌شود. این محصول بایستی دارای بافتی متخلخل، حفره‌های ریز با دیواره نازک و حالت اسفنجی باشد. هرچند که برای ایجاد تخلخل در بافت کیک می‌توان از گازکربنیک، مواد شیمیایی مجازی که گازکربونیک آزاد می‌کنند و یا عمل هوا دادن در اثر گرم کردن روغن، شکر و تخم‌مرغ استفاده نمود اما حفظ حالت اسفنجی به عهده شبکه گلوتن است که در بیماران سیلیاکی ایجاد مشکل می‌نماید [۲]. پروتئین‌ها نظیر پروتئین ایزوله سویا از جمله ترکیباتی می‌باشند که قابلیت استفاده به‌عنوان جایگزین گلوتن را در محصولات فاقد گلوتن دارد.

سویا نقش مهمی در تعدیل فرآیند بیاتی و افزایش ماندگاری دارد. این بدین معنی است که کریستالیزاسیون آمیلوپکتین در محصولات صنایع پخت که حاوی سویا می‌باشند با سرعت کمتری در طی مدت زمان نگهداری انجام می‌گیرد [۱]. از روش‌های فیزیکی دیگر که در طی سال‌های اخیر در پیش‌فرآوری مواد اولیه مورد استفاده قرار گرفته است، امواج فراصوت است. مکانیسم اصلی امواج فراصوت به پدیده کاویتاسیون<sup>۱</sup> مربوط می‌شود. پدیده کاویتاسیون در نزدیک لایه مرزی آن سبب اغتشاش، از بین رفتن لایه مرزی، افزایش سطح تماس و تشکیل امولسیون با ذرات ریز می‌شود [۳]. از این‌رو انتظار می‌رود که تشکیل امولسیون پایدار و پخش سلول‌های

گازی در سیستم مواد غذایی سبب بهبود خصوصیات محصول نهایی نظیر کیک گردد.

در همین راستا کراکت (Crockett) و همکاران (۲۰۱۱) اثر صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد)، سفیده تخم مرغ (در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و ایزوله پروتئین سویا (در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) را در نان بدون گلوتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که دو سطح ۵ و ۱۰ درصد سفیده تخم مرغ و ایزوله پروتئین سویا در واکنش با صمغ هیدروکسی متیل سلولز باعث کاهش مقاومت خمیر و آب در دسترس آن شد. این در حالی بود که در سطح ۱۵ درصد این دو پروتئین هیچ عملکرد منفی در واکنش با صمغ مشاهده نگردید [۴]. هم‌چنین روندا (Ronda) و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر آرد برنج و نشاسته ذرت، سیب زمینی و گندم و ایزوله پروتئین سویا در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ بر خواص خمیر کیک بدون گلوتن پرداختند. بیشترین حالت الاستیک مربوط به خمیر حاوی آرد برنج و سطوح متفاوت ایزوله پروتئین سویا بود که این نمونه خواص رئولوژیکی مشابه با خمیر حاوی آرد گندم از خود نشان داد [۵]. علاوه بر این پاکباطن و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر امواج فراصوت و امولسیفایر استرهای مونو و دی‌گلیسرید اسیدهای چرب (E471) بر کیفیت کیک فنجانی پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده همزمان امواج فراصوت در شدت ۱۰۰ درصد به مدت زمان ۴ دقیقه به همراه ۰/۶ درصد امولسیفایر سبب بهبود حجم مخصوص و تخلخل نمونه‌های کیک تولیدی در مقایسه با نمونه شاهد گردید. همچنین میزان سفتی کاهش یافت که امر خود سبب افزایش ماندگاری و با تأخیر افتادن بیاتی در نمونه‌ها گردید [۶].

بنابراین با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه تولید و بهبود کیفیت و کمیت خصوصیات محصولات فاقد گلوتن، هدف از انجام این پژوهش استفاده از پروتئین ایزوله سویا به‌عنوان یک ترکیب جایگزین پروتئین گلوتن و به‌کارگیری امواج فراصوت به‌عنوان روش‌های فیزیکی نوین که در صنایع مختلف کاربرد گسترده‌ای پیدا نموده است و مقایسه تأثیر این روش‌ها بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی کیک اسفنجی بدون گلوتن بود.

1. Cavitation

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد

آرد برنج با ۱۰/۱ درصد رطوبت، ۷/۲۵ درصد پروتئین، ۱/۲۲ درصد چربی و ۰/۳۲ درصد خاکستر از بازار محلی خریداری گردید. برای این منظور، آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات به صورت یکجا تهیه و در سردخانه با دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد. سایر مواد مورد نیاز در آزمایشات شامل شکر، روغن نباتی مایع، شیر خشک و بیکنینگ‌پودر از یک فروشگاه عرضه‌کننده مواد اولیه قنادی خریداری شد. پروتئین ایزوله شده سویا از شرکت سویا سان (تهران، ایران) و صمغ گوار، گزانتان و وانیل از شرکت رودیا (فرانسه) خریداری گردید.

## ۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه خمیر و تولید کیک اسفنجی بدون گلوتن فرمول پایه (شاهد) خمیر کیک حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج، ۷۲ درصد شکر، ۷۲ درصد تخم‌مرغ، ۵۷ درصد روغن، ۱/۳۴ درصد بیکنینگ پودر، ۲ درصد شیر خشک، ۰/۵ درصد وانیل، ۰/۳ درصد صمغ گزانتان و ۰/۶ درصد صمغ گوار و ۳۵-۲۵ درصد آب بود [۸و۷].

در نمونه کیک‌های تولیدی پروتئین ایزوله سویا در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد (بر اساس وزن آرد برنج) با توجه به نتایج آزمون و خطا و مطالعات سایر محققان، مورد استفاده قرار گرفت و به منظور صوت‌دهی خمیر امواج فراصوت با درصد بزرگی پالس ۷۰ درصد در زمان‌های صفر، ۲ و ۴ دقیقه اعمال شدند. لازم به ذکر است که تولید امواج فراصوت توسط یک سونیکاتور آزمایشگاهی با توان اسمی ۷۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز انجام شد و برای انتقال از ترانس دیوسر (مبدل) به نمونه از سونوترود استوانه‌ای شکلی از جنس تیتانیوم به قطر ۱۹ میلی‌متر که تا عمق ۱ سانتی‌متر زیر سطح مایع غوطه‌ور می‌شود، استفاده گردید. برای این منظور سونوترود استوانه‌ای شکل درون خمیر کیک قرار گرفت و صوت‌دهی در زمان‌های فوق‌الذکر انجام گردید. تهیه نمونه‌های خمیر کیک مطابق با روش شکر-خمیر انجام شد. مقدار ۳۰۰ گرم از خمیر آماده شده بلافاصله پس از مخلوط کردن در قالب‌هایی به قطر ۳۰ سانتی‌متر ریخته شد و به مدت ۲۰ دقیقه در فر الکتریکی گردان (مدل فرونی، ساخت کشور ایتالیا) با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد پخت گردیدند. نمونه‌ها

پس از پخت به مدت ۴۰ دقیقه در دمای محیط خنک و سپس در کیسه‌هایی از جنس پلی‌اتیلن بسته‌بندی شدند [۹و۷].

## ۲-۲-۲- ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی کیک

## اسفنجی

## ۲-۲-۲-۱- رطوبت

جهت انجام این آزمایش از استاندارد AACC (۲۰۰۰) شماره ۱۶-۴۴ استفاده گردید [۱۰].

## ۲-۲-۲-۲- حجم مخصوص

برای اندازه‌گیری حجم مخصوص از روش جایگزینی حجم با دانه مطابق با استاندارد AACC، شماره ۱۰-۷۲ استفاده شد [۱۰].

## ۲-۲-۲-۳- تخلخل

بدین منظور به وسیله چاقوی اره‌ای برشی از قسمت میانی کیک اسفنجی تهیه و عکس آن به وسیله اسکنر (مدل: HP Scanjet G3010) گرفته شد. در ادامه تخلخل با استفاده از نرم‌افزار ImageJ و محاسبه نسبت نقاط روشن به نقاط تیره که شاخصی از میزان تخلخل بود، اندازه‌گیری گردید [۱۱].

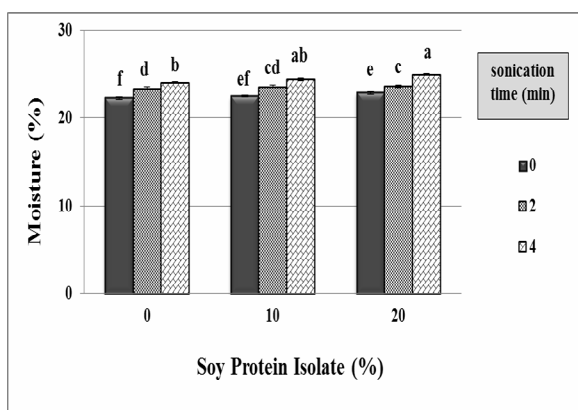
## ۲-۲-۲-۴- رنگ پوسته

آنالیز رنگ پوسته کیک از طریق تعیین سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  پس از ۲ ساعت گذشته از پخت صورت پذیرفت. شاخص  $L^*$  معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص  $a^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص  $b^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا برشی به ابعاد ۴ در ۴ سانتی‌متر از قسمت داخلی کیک اسفنجی تهیه گردید و به وسیله اسکنر با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد، سپس تصاویر در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای LAB در بخش Plugins، شاخص‌های فوق محاسبه شد [۱۲].

## ۲-۲-۲-۵- سفتی بافت

ارزیابی بافت کیک اسفنجی در فاصله زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (مدل CNS Farnell، ساخت کشور انگلستان) براساس روش روندا

گلوتن بودند ( $P \leq 0.05$ )، به طوری که با افزایش میزان پروتئین ایزوله از صفر تا سطح ۲۰ درصد (بر اساس وزن آرد برنج) بر میزان رطوبت محصول نهایی افزوده شد و بیشترین میزان رطوبت در نمونه حاوی ۲۰ درصد پروتئین ایزوله سویا مشاهده گردید. هم‌چنین با افزایش مدت زمان صوت‌دهی خمیر تا ۴ دقیقه، میزان رطوبت نمونه‌های کیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ( $P \leq 0.05$ ). در همین راستا محققان دریافتند که سویا و مشتقات آن علاوه بر خاصیت امولسیون‌کنندگی، تغلیظ‌کنندگی، کف‌زایی به منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب به دلیل محتوای بالای پروتئینی کاربرد زیادی دارند [۱۶]. هم‌چنین بلیتز (Belitz) و گروش (Grosch) (۱۹۸۷) در مطالعه خود به این نکته اشاره نمودند که استفاده از آرد سویا در مواد غذایی با قابلیت تشکیل فیلم پروتئینی سبب افزایش جذب آب خمیر و رطوبت محصول نهایی شد [۱۷]. از سوی دیگر شایان ذکر است که یکی از عوامل حفظ و نگهداری رطوبت در بافت مواد غذایی وجود سطوح بالاتر و ذرات ریزتر در آن‌ها می‌باشد که آب توسط آن‌ها محصور می‌گردد و توانایی خارج شدن از بافت محصول نهایی را در طی فرآیند پخت و پس آن نخواهد داشت. امواج فراصوت نیز با پدیده کاویتاسیون در نزدیک لایه مرزی آن سبب اغتشاش، از بین رفتن لایه مرزی، افزایش سطح تماس و تشکیل امولسیون با ذرات ریز می‌شود [۳] که نتایج این پژوهش نیز گواهی بر مطالعات صورت گرفته است.



**Fig 1** Effect of soy protein isolate and sonication time on moisture content of gluten free sponge cake.

(Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

(Ronda) و همکاران (۲۰۰۵) انجام گرفت [۱۳]. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب با انتهای استوانه‌ای (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت ۳۰ میلی‌متر، به‌عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید.

### ۲-۲-۶- آزمون خصوصیات حسی

آزمون حسی با استفاده از روش پیشنهادی رجب‌زاده (Rajabzadeh) (۱۹۹۱) انجام شد [۱۴]. بدین منظور ۱۰ داور از بین افراد آموزش دیده مطابق با آزمون مثلثی و روش گاسولا (Gacula) و سینگ (Singh) (۱۹۸۴) انتخاب گردیدند [۱۵] و سپس خصوصیات حسی کیک از نظر فرم و شکل، خصوصیات پوسته، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت و بو، طعم و مزه که به ترتیب دارای ضریب رتبه ۴، ۲، ۳ و ۳ بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضریب ارزیابی صفات از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش کلی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$Q = \frac{\sum (P \times G)}{\sum P}$$

Q= پذیرش کلی، P= ضریب رتبه صفات و G= ضریب ارزیابی صفات.

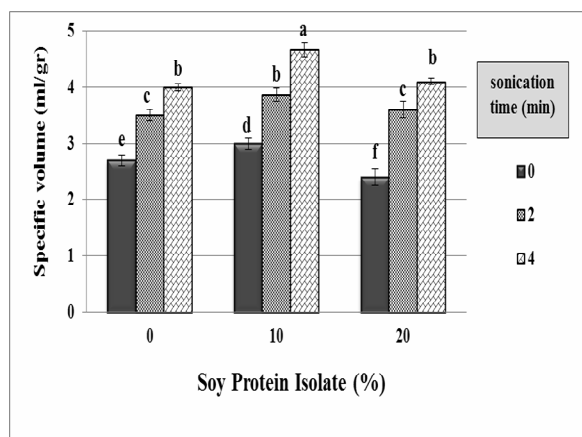
### ۲-۲-۳- طرح آماری و روش آنالیز نتایج

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Mstat C بر پایه طرح فاکتوریل با آرایش کاملاً تصادفی دو عامله که عامل اول زمان اعمال صورت در سطوح صفر، ۲ و ۴ دقیقه و عامل دوم میزان افزودن پروتئین ایزوله سویا در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد بود، مورد ارزیابی قرار گرفت. هر یک از نمونه‌ها در سه تکرار تهیه و آزمون‌های مربوطه در مورد آن‌ها انجام پذیرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) مورد مقایسه قرار گرفتند. در انتها برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- رطوبت

نتایج تأثیر سطوح مختلف پروتئین ایزوله سویا و زمان اعمال امواج فراصوت بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد هر دو عامل دارای اثر معنی‌داری بر میزان رطوبت کیک بدون



**Fig 2** Effect of soy protein isolate and sonication time on specific volume of gluten free sponge cake. (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

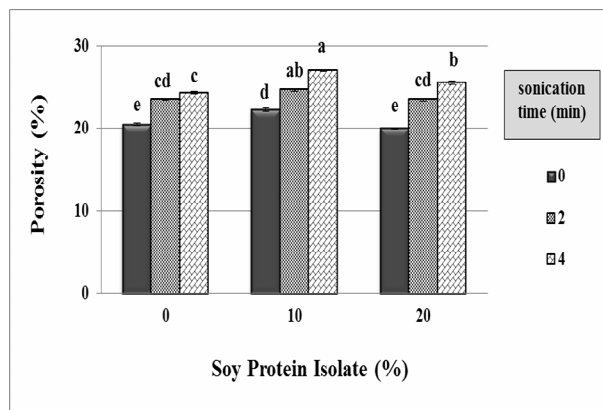
### ۳-۳- تخلخل

به‌طور کلی میزان تخلخل مغز بافت محصولات صنایع پخت تحت تأثیر تعداد حفرات موجود در مغز بافت و همچنین نحوه توزیع و پخش این حفرات می‌باشد، که هرچه تعداد حفرات و سلول‌های گازی بیشتر بوده و توزیع و پخش آن‌ها یکنواخت‌تر باشد، میزان تخلخل محصول نهایی بیشتر خواهد شد [۱۸]. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد با افزایش میزان پروتئین ایزوله سویا تا سطح ۱۰ درصد، میزان تخلخل بافت کیک اسفنجی بدون گلوتن بر پایه آرد برنج افزایش یافت و سپس کاهش نشان داد (شکل ۳). از سوی دیگر نتایج ارزیابی اثر زمان اعمال امواج فراصوت گویای بهبود میزان تخلخل بافت نمونه‌های تولیدی با افزایش مدت زمان اعمال امواج بود، به‌طوری که نمونه تحت ۴ دقیقه صوت‌دهی از بیش‌ترین میزان خلل و فرج در بافت نهایی خود برخوردار بود. در همین راستا دوگراستاکسیسا (Doxastakisa) (۲۰۰۲) در بررسی‌های خود به این نتیجه دست یافتند که سویا قابلیت حفظ گاز در خمیر و توزیع یکنواخت آن در محصول نهایی را افزایش می‌دهد که البته استفاده بیش از حد آن اثرات منفی بر خصوصیات بافت به‌خصوص به لحاظ سفتی، حجم و تخلخل داشت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت [۱۹]. از سوی دیگر شایان ذکر است که از جمله مزیت‌هایی که در پی انجام مناسب هوادهی توسط امواج فراصوت در طی تولید امولسیون حاصل می‌شود، ایجاد بافتی با حفرات ریز، متعدد و یکنواخت و به‌عبارت دیگر بافتی کاملاً متخلخل در محصول نهایی است [۲۰].

### ۳-۲- حجم مخصوص

همان‌گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد با افزودن پروتئین ایزوله سویا تا سطح ۱۰ درصد، میزان حجم مخصوص نمونه‌های کیک اسفنجی بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و با افزایش میزان این افزودنی از ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش معنی‌داری در میزان این پارامتر مشاهده گردید ( $P \leq 0.05$ ). از سوی دیگر با بررسی اثر مستقل زمان اعمال امواج فراصوت، مشخص گردید که بیش‌ترین میزان حجم مخصوص در نمونه تحت امواج فراصوت به مدت زمان ۴ دقیقه بود به‌طوری که بیش‌ترین میزان حجم مخصوص در نمونه حاوی ۱۰ درصد پروتئین ایزوله سویا و در مدت زمان صوت‌دهی ۴ دقیقه مشاهده گردید. به نظر می‌رسد مواد پروتئینی، از توانایی استحکام بخشیدن به دیواره سلول‌های گازی و ممانعت از پاره شدن آن‌ها برخوردارند. اما باید دقت نمود که استحکام بخشیدن به دیواره سلول‌های هوای ورودی چندان زیاد نباشد که از انبساط آن‌ها در طی پخت جلوگیری به عمل آورد و مانع از افزایش حجم و سبب فشردگی بیش از اندازه بافت محصول نهایی شود. در این راستا نقی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعات خود در زمینه کیک بدون گلوتن بیان نمودند که استفاده از ترکیباتی نظیر صمغ و پودر شیر سویا (یک منبع پروتئینی) از طریق افزایش مقاومت دیواره حباب‌های هوای ورودی به خمیر کیک سبب حفظ تعداد بیشتری از این حباب‌ها در طی فرآیند بهم‌زدن و حتی پخت محصول نهایی می‌گردند و از این‌رو قادرند حجم مخصوص نمونه‌های تولیدی را افزایش دهند [۸]. از سوی دیگر با اعمال امواج فراصوت، تعداد بیشتر ذرات با قطر کوچک‌تر در امولسیون ایجاد می‌شود که از مزایای آن می‌توان به مصرف انرژی کمتر، استفاده از مقادیر کمتر افزودنی و تولید امولسیون یکنواخت‌تر با اندازه قطرات کوچک‌تر نسبت به روش‌های معمول اشاره نمود [۶].

در همین راستا می‌توان گفت که افزودنی‌هایی نظیر پروتئین‌ها از طریق نگهداری بیشتر رطوبت در بافت محصول نهایی و از دست ندادن آن در طی فرآیند پخت توانسته‌اند در کاهش تغییرات سطح پوسته کیک مؤثر باشند که این امر به نوبه خود در افزایش میزان مؤلفه  $L^*$  دخیل است. در همین راستا پورلیس (Purlis) و سالوادوری (Salvadori) (۲۰۰۹) بیان نمودند، تغییرات سطح بافت به احتمال زیاد مسئول روشنایی سطح محصولات صنایع پخت بوده و سطوح منظم و صاف توانایی انعکاس بیشتر روشنایی نسبت به سطح چین‌دار را دارد [۲۱]. از سوی دیگر همان‌گونه که اشاره گردید اعمال امواج فراصوت نیز سبب افزایش میزان روشنایی نمونه نسبت به نمونه شاهد می‌گردد که این امر را می‌توان در ارتباط با قابلیت هموژنیزه کردن و ایجاد قطرات بسیار ریز در امولسیون خمیر و تولید خمیر روشن‌تر (مؤلفه  $L^*$  بالاتر) و در ادامه ایجاد بافت یکدست و یکنواخت و افزایش میزان مؤلفه  $L^*$  پوسته محصول نهایی دانست [۲۲]. علاوه بر آن همان‌گونه که اشاره گردید افزودن پروتئین ایزوله سویا سبب افزایش میزان مؤلفه  $a^*$  و یا همان قرمزی پوسته می‌گردد. به احتمال زیاد افزایش میزان مؤلفه  $a^*$  نمونه‌های حاوی پروتئین ایزوله سویا به دلیل انجام هرچه بهتر واکنش مایلارد (حضور اسید آمینه لیزین در پروتئین ایزوله شده سویا) در این نمونه‌ها می‌باشد. شایان ذکر است که افزودن پروتئین ایزوله سویا و اعمال امواج فراصوت تأثیر معنی‌داری بر میزان مؤلفه  $b^*$  (شدت رنگ زردی) پوسته نمونه‌های کیک اسفنجی بدون گلوتن تولیدی نداشت ( $P \leq 0.05$ ).



**Fig 3** Effect of soy protein isolate and sonication time on porosity of gluten free sponge cake. (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

### ۳-۴- مؤلفه‌های رنگی پوسته ( $L^*a^*b$ )

نتایج ارزیابی تأثیر سطوح مختلف پروتئین ایزوله سویا و زمان اعمال امواج فراصوت بر میزان مؤلفه‌های رنگی پوسته کیک اسفنجی بدون گلوتن در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد با افزودن پروتئین ایزوله سویا تا سطح ۱۰ درصد، میزان مؤلفه  $L^*$  پوسته کیک اسفنجی بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی با افزایش میزان این افزودنی از ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر معنی‌داری در میزان این پارامتر مشاهده نگردید ( $P \leq 0.05$ ). علاوه بر این با افزایش میزان این پروتئین میزان قرمزی (مؤلفه  $a^*$ ) پوسته کیک افزایش یافت، به‌طوری که نمونه حاوی ۲۰ درصد پروتئین ایزوله سویا از بالاترین میزان قرمزی پوسته برخوردار بود. از سوی دیگر مشخص گردید که بیش‌ترین میزان مؤلفه  $L^*$  و کمترین میزان مؤلفه  $a^*$ ، در نمونه تحت امواج فراصوت به مدت زمان ۴ دقیقه بود.

**Table 1** Effect of soy protein isolate and sonication time crust color values of gluten free sponge cake

Soy protein isolate (%)	Sonication time (min)	Crust Color (-)		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$ ns
0	0	36.12±0.25 <sup>e</sup>	10.33±0.31 <sup>de</sup>	21.27±0.25
	2	40.00±0.64 <sup>cd</sup>	10.08±0.21 <sup>ef</sup>	21.33±0.03
	4	41.63±0.32 <sup>c</sup>	8.06±0.35 <sup>f</sup>	20.98±0.05
10	0	38.23±0.55 <sup>d</sup>	15.25±0.20 <sup>c</sup>	21.55±0.20
	2	41.54±0.66 <sup>c</sup>	13.24±0.12 <sup>d</sup>	21.07±0.11
	4	45.38±0.80 <sup>a</sup>	10.26±0.42 <sup>e</sup>	21.58±0.11
20	0	38.74±0.65 <sup>d</sup>	19.36±0.05 <sup>a</sup>	20.86±0.15
	2	41.50±0.33 <sup>c</sup>	17.00±0.24 <sup>b</sup>	21.17±0.25
	4	43.75±0.32 <sup>b</sup>	14.58±0.11 <sup>cd</sup>	21.11±0.21

(Means ± SD in each column with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )  
(ns: not significantly different)

## ۳-۵- سفتی بافت

نهایت ایجاد بافت نرم و مطلوب در محصول نهایی می‌گردد. در همین راستا کراکت (Crockett) و همکاران (۲۰۱۱) در نتیجه افزودن صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز، سفیده تخم مرغ و پروتئین ایزوله سویا، لیک (Lieke) و همکاران (۲۰۱۱) با افزودن پروتئین‌های آب پنیر، استاتوپولوس (Stathopoulos) و اوکندی (Okennedy) (۲۰۰۸) نیز به ترتیب با به کار بردن کازئین و شیر پس چرخ در انواع محصولات نانوائی شبکه گلوته را تقویت نمودند [۴، ۲۳ و ۲۴].

هم‌چنین شیخ‌الاسلامی و همکاران (۱۳۸۹) عنوان نمودند که در اثر فرآیند صوت‌دهی میزان سفتی بافت نان کاهش یافت که این امر را در ارتباط با افزایش تعداد حفرات ناشی از هوادهی بهتر و پخش یکنواخت سلول‌های گازی در بافت خمیر و محصول نهایی دانستند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت [۲۵].

نتایج تأثیر سطوح مختلف پروتئین ایزوله سویا و زمان اعمال امواج فراصوت بر میزان سفتی بافت کیک اسفنجی بدون گلوته طی بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت، در جدول ۲ آورده شده است. با بررسی اثر میزان افزودن پروتئین ایزوله سویا مشخص گردید که با اضافه نمودن این افزودنی به فرمولاسیون کیک اسفنجی بدون گلوته، میزان سفتی بافت نمونه‌های تولید در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت. از سوی دیگر اعمال امواج فراصوت به تنهایی، سبب نرمی بافت نمونه‌ها گردید، به طوری که نمونه تحت امواج فراصوت به مدت ۴ دقیقه از نرم‌ترین بافت در بین سایر نمونه‌های تولیدی طی بازه زمانی دو ساعت پس از پخت برخوردار بود. در محصولات فاقد گلوته، افزودن ترکیباتی که از محتوای پروتئینی بالایی برخوردارند سبب ایجاد شبکه‌ای مشابه با گلوته شده و باعث حفظ و نگهداری حباب‌های هوا و در

**Table 2** Effect of soy protein isolate and sonication time on texture firmness of gluten free sponge cake during 2hr and one week after baking.

Soy protein isolate (%)	Sonication time (min)	Firmness (N)	
		2hr	One week
0	0	12.51±0.21 <sup>a</sup>	24.35±0.51 <sup>a</sup>
	2	10.55±0.22 <sup>b</sup>	21.20±0.22 <sup>b</sup>
	4	9.81±0.12 <sup>bc</sup>	20.52±0.28 <sup>bc</sup>
10	0	10.42±0.11 <sup>b</sup>	21.11±0.00 <sup>b</sup>
	2	9.87±0.21 <sup>bc</sup>	20.53±0.02 <sup>bc</sup>
	4	8.33±0.20 <sup>d</sup>	18.56±0.08 <sup>c</sup>
20	0	10.45±0.11 <sup>b</sup>	21.36±0.15 <sup>b</sup>
	2	8.33±0.13 <sup>d</sup>	18.57±0.26 <sup>c</sup>
	4	9.15±0.22 <sup>c</sup>	20.44±0.51 <sup>bc</sup>

(Means ± SD in each column with different letters differ significantly in p<0.05)

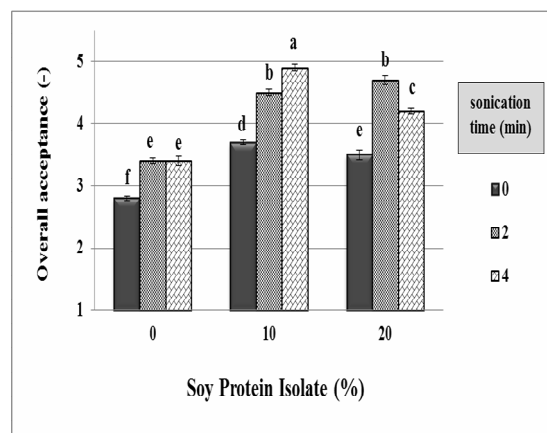
در همین راستا محققان اذعان داشتند که درک شدت طعم و رهایش مواد طعم‌زا بستگی به نوع بافت محصول نهایی دارد [۲۶]. علت این رخداد را برهمکنش‌های متفاوت بین مواد طعم‌زا و ساختار بافت بیان نمودند. از این‌رو با توجه به مطالعات صورت گرفته و نتایج به‌دست آمده از آزمون بافت‌سنجی پیش‌بینی می‌شد نمونه‌هایی که دارای بافت با نرمی مطلوب هستند، از امتیاز بهتری به لحاظ طعم و مزه برخوردار باشند. از سوی دیگر حفظ بیشتر رطوبت در این نمونه و ایجاد سطحی صاف و هموار که کم‌ترین تغییرات و انتقال رطوبت را

## ۳-۶- پذیرش کلی در آزمون حسی

نتایج تأثیر سطوح مختلف پروتئین ایزوله سویا و زمان اعمال امواج فراصوت بر میزان امتیاز پذیرش کلی کیک اسفنجی بدون گلوته که میانگین مجموع امتیازهای اختصاص یافته از سایر پارامترها طی ارزیابی حسی بود (شکل ۴)، نشان داد که نمونه حاوی ۱۰ درصد پروتئین ایزوله سویا و تحت اعمال امواج فراصوت به مدت زمان ۴ دقیقه، از بیش‌ترین مقبولیت را در بین داوران چشایی برخوردار بود.

- ultrasonic in food processing. *Trends Food Science Technology*, 15: 261-266.
- [4] Crockett, R., Ie, P., and Vodovotz, Y. 2011. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten free bread. *Food Chemistry*, 1(1): 84-91.
- [5] 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.
- [6] Pakbaten, S., Karimi, M., Elhamirad, A., and Sheikholeslami, Z. 2015. Effect of ultrasound and E471 on cupcake quality. *Journal of Food Science and Technology Research*, 11(1): 28-37 [in Persian].
- [7] Nourmohammadi, A., Peighambaroust, S.H., Olad Ghaffari, A., Azadmard-Damirchi, A., and Hesari, J. 2011. Effect of sucrose replacement with polyols and aspartame on the characteristics of sponge cake. *Journal of Food Research*, 21 (2): 155-165 [in Persian].
- [8] Naghipour, F., Karimi, M., Habibi Najafi, M.B., Haddad Khodaparast, M.H., Sheikholeslami, Z., Ghiyafeh Davoodi, M., and Sahraiyani, B. 2013. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. *Journal of Food Science*, 41(10): 127-139 [in Persian].
- [9] Shahinfar, R., Sheikholeslami, Z., and Estiri, M. 2014. Investigation on the effect of addition of pureed and concentrate dry plum on the rheological properties quality and shelf life of Sponge cake. Azad University, Sabzevar branch, MSc Thesis of Agriculture [in Persian].
- [10] AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN.
- [11] Haralick, R.M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6): 1995-2005.
- [12] Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.
- [13] Ronda, F., Gomes, M., Blanco, C. A., and Caballero, P. A. 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality

در طی فرآیند پخت و پس از آن متحمل گردیده است، سبب امتیاز بالاتر در ارزیابی خصوصیات پوسته در آزمون حسی شده است.



**Fig 4** Effect of soy protein isolate and sonication time on overall acceptance of gluten free sponge cake in sensory evaluation. (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به نیاز بیماران مبتلا به سیلیاک برای مصرف میان وعده های فاقد گلوتن، این تحقیق با هدف بررسی امکان بهبود کیفیت کیک اسفنجی بدون گلوتن بر پایه آرد برنج با استفاده از پروتئین ایزوله سویا و اعمال امواج فراصوت، انجام شد. نتایج نشان داد که نمونه حاوی ۱۰ درصد آرد سویا و تحت امواج فراصوت به مدت ۴ دقیقه از خصوصیات کمی و کیفی بالاتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. از این رو می توان گفت که پروتئین سویا قابلیت تقلید ویژگی های شبکه گلوتن و در نتیجه بهبود خصوصیات بافتی و تصویری کیک بدون گلوتن را داشت و این اثرات مثبت زمانی تشدید می شود که از امواج فراصوت به عنوان یک روش فیزیکی نوین در خمیر کیک استفاده گردد.

#### ۵- منابع

- [1] Hamaker Bruce, R. 2008. Technology of functional cereal products. Woodhead publishing limited, pp: 397-448.
- [2] Anton, A.A., and Artfield, S.D. 2007. Hydrocolloids in gluten free breads: review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 59(1): 11-23.
- [3] Knorr, D., Zenker, M., Heinc, V., and Lee, D.U. 2004. Applications and potential of



- [21] Purlis, E., and Salvadori, V. 2009. Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42: 865-870.
- [22] Kim, C.S., and Walker, C.E. 1992. Effects of sugars and emulsifiers on starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimetry. *Cereal Chemistry*, 212-217.
- [23] Lieke, E., Riemsdijk, V., Atze, J., Goot, V., Rob. J., and Remko, M. 2011. Preparation of gluten free bread using a meso structured whey protein particle system. *Journal of Cereal Science*, 53(3): 355-361.
- [24] Stathopoulos, C.E., and Okennedy, B.T. 2008. The effect of salt on the reology and texture of casein based ingredient intended to replace gluten. *Milchwissenschaft*, 63(4): 430-433.
- [25] Sheikholeslami, Z., Mortazavie, S.A., Porazarang, H., and Nasiri Mahalati, M. 2010. Effect of ultrasound on rheological properties and quality of wheat bug bread. *Journal of Food Science and Technology*, 7(2): 39-49 [in Persian].
- [26] Baines, Z.V., and Morris, E.R. 1988. Flavor/taste perception in thickened systems: The effect of guar gum above and below. *Food Hydrocolloids*, 1(3): 197-205.
- of sugar free sponge cakes. *Journal of Food Chemistry*, 90: 549-55.
- [14] Gacula, J.R., and Singh. 1984. Statistical methods in food and consumer research. Academic press Inc, U.S.A. 360-366.
- [15] Rajabzadeh, N. 1991. Iranian Flat Bread Evaluation. Pp. 1-50, Iranian Cereal and Bread Research Institute, Publication no.71, Tehran, Iran.
- [16] Marco, C., and Rosell, C.M. 2008. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite. *Journal of Food Engineering*, 88(1): 94-103.
- [17] Belitz, H.D., and Grosch, W. 1987. Food Chemistry. Springer Verlag: New York.
- [18] Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., and Juszczak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 68-74.
- [19] Doxastakisa, G., Zafiriadis, I., Iraklib, M., Marlanib, H., and Tananakib, C. 2002. Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chemistry*, 77: 219-227.
- [20] Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological characteristics and quality of flat bread. *Lebensm.Wiss.u.Technology*, 36: 18-193.

## Improvement physicochemical, textural and sensory properties of gluten free sponge cake by ultrasound and soy protein isolate

\*Taleby, H. <sup>1</sup>, Ghiafeh Davoodi, M. <sup>2</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Quechan Branch, Islamic Azad University Quchan, Iran.

2. Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Mashad, Iran.

(Received: 2015/06/15 Accepted: 2016/07/04)

Gluten causes food allergies in Celiac disease and is the most important part for creating texture and comprising ingredients in baking industry product. The only way to treat this disease is gluten-free diet during life. So the aim of this study was evaluation of the effect of soy protein isolate on levels of 0, 10 and 20% (Base on flour) and application sonication during 0, 2 and 4 min on improvement of technological, textural, visual and sensory properties of gluten-free rice sponge cake in a completely randomized factorial arrangement test ( $P < 0.05$ ). The results showed adding 10% soy protein isolate increased specific volume, porosity, crust  $L^*$  and  $a^*$  values and decreased firmness (2hr and one week after baking) of final product. On the other hand by increasing the time of treatment by sonication from 0 to 4 min, quantitative and qualitative properties of samples were improved. However soy protein isolate and sonication had no significant effect on crust  $b^*$  value ( $P < 0.05$ ). Finally, based on the results of the overall acceptance (means of other sensory properties), the sample containing 10% soy protein isolate and treated by sonication for 4 min was most accepted.

**Key words:** Celiac, Gluten free, Soy protein isolate, Sonication, sponge cake.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: mehdidavoodi@yahoo.com