



Application of Pickering emulsion stabilized with soy protein nanoparticles in the formulation of gluten-free cake and evaluation of its quality indicators

Fatemeh Abbaszadeh¹, Mehran Aalami^{2✉}, Rasoul Kadkhodaei³, Yahya Maghsoudlou² and Alireza Sadeghi Mahoonak²

¹Ph.D student of Food Science and Technology, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Associate Professor and Professor respectively, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³ Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran

✉ Corresponding author: mehralalami@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: February 9, 2023

Accepted: December 2, 2023

Published: May 19, 2024

Keywords:

Pickering emulsion, emulsion stability, qualitative characteristics, soy protein nanoparticles, gluten-free cake

ABSTRACT

Background: Today, research into the use of emulsions in the structure of gluten-free products has been extended to improve their quality characteristics.

Aims: The purpose of this research was to use Pickering emulsion (PE) stabilized by soy protein nanoparticles and xanthan gum in gluten-free cake dough based on rice flour and to monitor its quality indicators during shelf life.

Methods: In this study, Pickering emulsion was prepared from soy protein nanoparticles and 0.1% (weight/volume) xanthan solution. Next, the intrinsic properties of the emulsion such as particle size distribution, determination of zeta potential and creaming index were discussed.

Finally, the qualitative and viscoelastic properties of the gluten-free cake containing emulsion were investigated in comparison with the control sample during shelf-life.

Results: The results showed that the presence of SPNs (soy protein nanoparticles) together with xanthan provided stability, proper dispersion, particle homogeneity and determined the electrical state of the particle surface in PE. The ability of the emulsion to resist changes during three weeks showed insignificant phase separation and also with an emulsion activity of 78%. In addition, the presence of PE in the formulation of gluten-free cake dough improved the viscoelastic properties and the quality of the final product during the shelf-life of one week.

Conclusion: The presence of PE in the formulation of gluten-free cake dough, by creating a coherent and integrated structure, resulted in a relative decrease in volume and porosity compared to the control sample. While retaining more moisture during storage, much better viscoelastic and color properties were observed compared to the control sample.



Extended Abstract

Introduction: Nowadays, with the development of technology, following an appropriate diet is of great importance, and different people go on various diets. Moreover, some food intolerance cause people to change their diets inevitably, with celiac disease being one of them. In celiac, which is an autoimmune and hereditary disease, the mucosal membrane of the patient small intestine is damaged and inflamed after the consumption of gluten-containing cereal-based products. Accordingly, Rice flour is typically used in the production of gluten-free cake, and given the qualitative defects of gluten-free products, gluten substitutes should be employed. Application of Pickering emulsion (PE) is a way of enhancing the properties viscoelastic of cake. Nowadays, the research about the use of emulsion in the structure of gluten-free products has been expanded to improve its quality features. According to this, one of the practical applications gluten-free food products are important for individuals with celiac disease or gluten-related disorders since they need to follow a strict gluten-free diet. This study provides information on a Pickering emulsion stabilized by soy protein nanoparticles use to boost the physical properties of gluten-free cake batter. Results showed that use of these additives improved the techno-functional properties of the gluten-free cake batter. Therefore, the findings of this study can be useful for the production of functional free-gluten food products with health-promoting attributes. This was investigated by some studies that the quality attributes of the bakery products can be improved by incorporating of PE. The cellulose-based PE was employed successfully to produce reduced-fat biscuits. Moreover, the dietary fibers of this PE also increased the dough viscoelasticity by changing the gluten network resulting in a disintegrated and heterogeneous matrix. Furthermore, the effect of PE, stabilized by zein nanoparticles and enriched with cinnamon oil, as a fat replacer, improved the cake viscoelastic properties by interacting with the zein nanoparticles and hence forming a gel-like network. The aim of this research was to use Pickering emulsion

(PE) stabilized by soy protein nanoparticles and xanthan gum in gluten-free cake dough based on Rice flour and monitor its quality indicators during shelf life. Considering the studies conducted so far, PE based on plant proteins like soy protein and microbial polysaccharides like xanthan, has not ever been reported in the preparation of gluten-free cake. Therefore, the purpose of this research is to stabilize PE by soy protein nanoparticles (SPNs), as well as investigating its effects on gluten-free rice flour-based cake and evaluation of its quality indicators during shelf life.

Material and methods: In this study, Pickering emulsion was prepared from soy protein nanoparticles and xanthan solution 0.1% (w/v). For this purpose, sunflower oil (20%) was gently added to the mixture of xanthan solution (20%) and SPNs (60%), which was subsequently agitated using a homogenizer at 11000 rpm. Next, the intrinsic properties of emulsion such as hydrodynamic diameter, polydispersity index (PDI) zeta potential, and creaming index of the SPNs and the PE were measured. Furthermore, the emulsifying activity (EA) test was performed according to the method presented by Dalev & Simeonova (1995) with slight changes. Finally, the qualitative and viscoelastic properties of gluten-free cake-containing emulsion were investigated in comparison with the control sample during shelf life.

Results and discussion: The results of this research showed that the presence of soy protein nanoparticles along with xanthan gum caused stability, proper dispersion index, homogeneity of particles, and determining the electrical state of the surface of particles in PE. In fact, the prepared PE had an acceptable dispersity, because the lower the PDI is, the more suitable the dispersity is, and the more homogenous the particles are. The zeta potentials of the SPNs and the PE were equal to -13.166 and -30.696 mV, respectively. The high zeta potential of colloidal particles causes an increase in electrostatic repulsive forces between them, thus raising the system physical stability at pH values above its isoelectric point. On the other hand, the emulsion

prepared using the SPNs and the xanthan solution showed a higher zeta potential. Generally, xanthan solution is negatively charged at neutral pH, due to the occurrence of acidic groups in the structure of this gum. The presence of negative charge in both the SPNs and the gum elevated the zeta potential of the emulsion. The ability of the emulsion to resist the changes during three weeks showed insignificant phase separation and also with 78% emulsion activity. In addition, the presence of PE (20 mL/100g rice flour) in the formulation of gluten-free cake dough improved the viscoelastic properties and quality of the final product during the shelf life of one week. In fact, considering the capability and usage of these emulsions in the food industry, especially the bakery industry, it improved the quality characteristics of cake products for the consumer, such as the specific volume and porosity of the cake, its texture strength, and its shelf life. Pickering emulsion increased the moisture content in the cake, which had a positive effect on the hardness of the sample. Whereas, the volume and porosity decreased in the cake containing Pickering emulsion. On the other hand, the color of the sample was better maintained over time by adding emulsion during shelf life.

Conclusion: Based on the results of this research, SPNs improved the PE stability. Furthermore, xanthan gum inhibited the aggregation of the oil droplets by increasing the PE consistency and forming a network in the emulsion. The presence of PE in the gluten-free cake batter formulation caused a relative decrease in volume and porosity compared to the control sample by creating a coherent and uniform structure. By maintaining more moisture during the storage period, PE had much better viscoelastic and color characteristics compared to the control sample. Gluten-free food products are important for individuals with celiac disease or gluten related disorders since they need to follow a strict gluten free diet. This study provides information on a Pickering emulsion stabilized by soy protein nanoparticles use to boost the physical and rheological properties of gluten free cake batter. Results showed that use of

these additives improved the techno-functional properties of the gluten free cake batter. Therefore, the findings of this study can be useful for the production of functional free gluten food products with health-promoting attributes.

بکارگیری امولسیون پیکرینگ تثبیت شده با نانوذرات پروتئین سویا در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن و ارزیابی شاخص‌های کیفی آن

فاطمه عباس‌زاده^۱، مهران اعلمی^۲✉، رسول کدخدایی^۲، یحیی مقصودلو^۲ و علیرضا صادقی ماهونک^۲

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
^۲ به ترتیب دانشیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
^۳ استاد، گروه نانوتکنولوژی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی مشهد، ایران

✉ مسئول مکاتبه: mehranalami@gmail.com

چکیده

مشخصات مقاله

زمینه مطالعاتی: امروزه تحقیقات در خصوص بکارگیری از امولسیون در ساختار فراورده‌های بدون گلوتن در جهت بهبود ویژگی‌های کیفی آن گسترش یافته است.

هدف: بر این اساس، هدف از انجام این پژوهش، استفاده از امولسیون پیکرینگ (PE) پایدار شده توسط نانوذرات پروتئین سویا و صمغ زانتان در خمیر کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج و پایش شاخص‌های کیفی آن در طول ماندگاری بود.

روش کار: در این مطالعه، آماده‌سازی امولسیون پیکرینگ از نانو ذرات پروتئین سویا و محلول زانتان ۰/۱ درصد (وزنی / حجمی) صورت گرفت. در ادامه خصوصیات ذاتی امولسیون مانند توزیع اندازه ذرات، تعیین پتانسیل زتا و شاخص خامه‌ای شدن پرداخته شد. در نهایت به بررسی خصوصیات کیفی و ویسکوالاستیک کیک بدون گلوتن حاوی امولسیون در مقایسه با نمونه شاهد در طول مدت ماندگاری صورت گرفت.

نتایج: نشان داد حضور SPNs (نانوذرات پروتئین سویا) به همراه صمغ زانتان سبب پایداری، پراکندگی مناسب، همگنی ذرات و تعیین وضعیت الکتریکی سطح ذرات در PE گردید. توانایی امولسیون به مقاومت در برابر تغییرات طی سه هفته جداسازی ناچیز فازی و همچنین با فعالیت امولسیونی ۷۸٪ را نشان داد. علاوه بر این حضور PE در فرمولاسیون خمیر کیک بدون گلوتن سبب بهبود خصوصیات ویسکوالاستیک و کیفی محصول نهایی در طول دوره ماندگاری یک هفته شد.

نتیجه گیری: حضور PE در فرمولاسیون خمیر کیک بدون گلوتن با ایجاد ساختار منسجم و یکپارچه، سبب کاهش نسبی حجم و تخلخل نسبت به نمونه شاهد شد. در حالیکه با حفظ رطوبت بیشتر در طول دوره نگهداری خصوصیات ویسکوالاستیک و رنگی به مراتب بهتری در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده گردید.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

انتشار: ۱۴۰۳/۲/۳۰

کلید واژه:

امولسیون پیکرینگ، پایداری امولسیون، خصوصیات کیفی، نانوذرات پروتئین سویا، کیک بدون گلوتن

مقدمه

محصولات صنایع پخت در سبب غذایی افراد جامعه، حتی در سبب غذایی بیماران خاص نظیر بیماران سللیاکی، جایگاهی ویژه دارد. از این رو کیفیت محصولات نانوایی بدون گلوتن (ساختار، احساس دهانی، قابلیت پذیرش و عمر ماندگاری) پایین‌تر از محصولات حاوی گلوتن است، بر این اساس تولید و بهبود ویژگی‌های محصولات بدون گلوتن برای بیماران سللیاکی، یکی از چالش‌های مهم در صنعت غذا می‌باشد (اعلمی و فتحی ۱۳۹۹). کیک نوع شیرینی با بافتی مخصوص، به عنوان یک میان وعده غذایی پرطرفدار که عنصر اصلی تشکیل دهنده آن آرد گندم است. پروتئین گلوتهنی موجود در آرد گندم عامل اصلی ایجاد حالت اسفنجی در کیک می‌باشد و در واقع از گلوتن تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید کیک و سایر محصولات صنایع پخت یاد می‌شود. از طرفی گلوتن موجود در آرد گندم موجب ایجاد بیماری سللیاک در بین بعضی از افراد جامعه می‌شود. در سللیاک، که نوعی بیماری خود ایمنی و وراثتی است، غشای مخاطی روده کوچک فرد مبتلا پس از مصرف فرآورده‌های غله‌ای حاوی پروتئین گلوتن آسیب دیده و دچار التهاب می‌شود (دمیرکسن و همکاران ۲۰۱۰).

رژیم غذایی بدون گلوتن تنها راه درمانی برای افرادی است که از سللیاک (عدم تحمل گلوتن) رنج می‌برند. یک رژیم غذایی بدون گلوتن، نیاز به استفاده از غلات بدون گلوتن نظیر ذرت، برنج، سورگوم، ارزن و غیره دارد (سمیدوا و ریسوا ۲۰۲۲). برنج یکی از مناسب‌ترین غلات جهت تولید محصولات فاقد گلوتن برای بیماران مبتلا به سللیاک می‌باشد که علت این امر ویژگی‌های آن از جمله طبیعی بودن، عدم ایجاد حساسیت، بی‌رنگی و طعم ملایم آن می‌باشد (گوجرال و همکاران، ۲۰۰۳). یافته‌های هرا و همکاران (۲۰۱۲) و نظری و قره‌خانی (۱۴۰۰) نشان دادند که ذرات نرم آرد برنج می‌توانند خمیرهایی با حجم مخصوص کم و حباب‌های کوچک و یکنواخت تولید کنند و خمیرهای با حجم کم منجر

به ایجاد کیک با حجم و شاخص تقارن بالا می‌شوند. با این حال به دلیل عدم وجود گلوتن، استفاده از افزودنی‌ها و فناوری‌های جدید برای حفظ بافت، حجم، پذیرش حسی و ماندگاری مورد نیاز است. یکی از روش‌های بهبود دهنده ویژگی‌های خمیر استفاده از امولسیون پیکرینگ (Pickering Emulsion) است، که این امولسیون توسط نانو ذرات دارای تلفیقی از خصوصیات آبدوستی و آبگریزی دارند مانند پروتئین‌ها یا پلی‌ساکاریدها پایدار شده که این نانوذرات امولسیون را از طریق مانع فیزیکی در برابر ادغام شدن پایدار می‌کنند (شیائو و همکاران ۲۰۱۶)، که با جذب بی‌بازگشت ذرات جامد در سطح مشترک آب-روغن منجر به پایداری فوق العاده امولسیون‌های بدون عامل فعال سطحی می‌گردد. در بین امولسیون‌کننده‌های طبیعی، پروتئین‌های طبیعی نظیر سویا به دلیل دارا بودن دو جز اصلی گلیسینین^۱ و بتا-کانگلیسینین^۲ رفتار مختص مولکول‌های کروی شامل یک پوسته آبدوست و یک هسته آبگریز در محیط‌های آبی را نشان می‌دهند (پاتل ۲۰۲۰). بنابراین ذرات سویا دارای خواص امولسیون‌کنندگی و ژل‌کنندگی خوبی بدون افزودن اصلاح‌کننده شیمیایی هستند (لیو و تانگ ۲۰۱۶). از نانوذرات سویا در پژوهش‌های مختلفی جهت پایدارسازی امولسیون پیکرینگ استفاده کردند و به نتایج مثبتی در این زمینه رسیدند (یانگ و همکاران ۲۰۲۰؛ ژانگ و همکاران ۲۰۲۰ و لیو و تانگ ۲۰۱۳). بکارگیری از امولسیون پیکرینگ در فرمولاسیون بسیاری از مواد غذایی توجه زیادی را به خود جلب نموده است که از این موارد استفاده از آن در سس مایونز، سوسیس، خامه و فرآورده‌های بر پایه غلات نظیر بیسکوئیت، کیک، مافین و کوکی را می‌توان نام برد. فنگ و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی تاثیر امولسیون پیکرینگ تثبیت شده با نانوذرات زئین غنی شده با اسانس روغن دارچین (EO) جهت مهار رشد کپک و همچنین جایگزینی جزئی کره در کیک‌های اسفنجی پرداختند. نتایج حاصل از دستاورد محققین نشان داد که بکارگیری امولسیون پیکرینگ شامل (۲۰ گرم نانوذرات زئین، ۱۵ گرم

کشور چین تهیه شد. روغن آفتابگردان تجاری جهت تشکیل امولسیون تهیه شد. صمغ زانتان با نام تجاری (Rhodia Gel Gum E415) از شرکت Rhodia food خریداری شدند. مواد اولیه جهت تهیه کیک (پودر قند، روغن گیاهی، تخم مرغ، آب، وانیل و بکینگ پودر) از فروشگاه‌های معتبر شهرستان گرگان واقع در استان گلستان خریداری شد. برنج نیم دانه رقم طارم هاشمی از یکی از فروشگاه‌های معتبر شهرستان قائم‌شهر واقع در استان مازندران تهیه و سپس جهت تهیه آرد آن خیس‌اندازه و خشک گردید و در نهایت توسط آسیاب به آرد تبدیل شد. مواد شیمیایی با درجه آزمایشگاهی و از نمایندگی‌های مجاز شرکت‌های معتبر تهیه شدند.

تهیه نانوذرات پروتئین سویا

آماده‌سازی نانو ذرات پروتئین سویا (SPNs²) توسط ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) با کمی تغییرات انجام شد. برای این منظور پودر ایزوله پروتئین سویا (SPI) (۱۰ mg/ml) طی ۳۰ دقیقه در آب مقطر یکنواخت شد (دمای اتاق). pH سوسپانسیون با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا pH ۱۲ افزایش یافت و سپس سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه ثابت نگه داشته شد. جهت دناتوره کردن سوسپانسیون SPI و به هم زدن ساختار آن، در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و بعد از گذشت این مدت بلافاصله تا رسیدن به دمای اتاق سرد گردید. سپس pH محلول تا مقدار ۸ با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال کاهش یافت. محلول تا رسیدن غلظت نهایی پروتئین به ۶ mg/ml (آب مقطر) رقیق شد. سپس کلسیم کلرید ۲/۵ میلی مولار برای القا تشکیل ذرات و تعدیل قدرت یونی اضافه شد. pH محلول نهایی در محدوده ۸/۸-۶/۸ تنظیم گردید. غلظت نهایی محلول پروتئین به ۵ mg/ml در محدوده دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی یک شبانه روز نگهداری شد. جهت کنترل رشد میکروبی نگهدارنده خوراکی نانتاهایسین با غلظت ۲۰ ppm افزوده شد. در نهایت تیمار التراسوند (dr. Hilelscher GmbH, UP200H، آلمان) با توان ۸۰ وات به مدت ۲ دقیقه (مدت زمان پالس: زمان روشن

روغن و ۵ گرم اسانس روغن دارچین)، جایگزینی مناسب برای ۲۰ درصد کره در کیک های اسفنجی جهت کاهش کالری و افزایش ماندگاری بدون تغییر بافت و رنگ نشان داد. شی یی و همکاران (۲۰۲۱)، به مطالعه بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیسکوئیت کم چرب تهیه شده با PE بر پایه سلولز پرداختند. میزان چربی جایگزین ۹۰-۰ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فیبر رژیمی موجود در PE با تغییر شبکه گلوتن و تشکیل یک ماتریکس ناپیوسته و نامنظم، ویژگی ویسکوالاستیک خمیر را افزایش داد. ظاهر کلی و بافت محصول در میزان جایگزینی ۳۵ درصد نتایج بهتری را نشان داد. استفاده از صمغ زانتان بعنوان ذرات آملی‌فیلک بر پایه پلی‌ساکارید در تهیه امولسیون استفاده می‌شود، به دلیل داشتن ویسکوزیته ظاهری بالا و ویژگی غلیظ شونده‌گی با برش معمولاً به عنوان یک عامل قوام دهنده در امولسیون پیکرینگ برای جلوگیری از بهم پیوستن قطرات و ایجاد خواص بافتی مطلوب استفاده می‌شود (کاپوراسو و همکاران ۲۰۱۶). در امولسیون پایدار شده با پروتئین، اثر صمغ زانتان به برهمکنش آن با پروتئین نیز بستگی دارد و از آنجاییکه بار پروتئین از مثبت به منفی با افزایش pH تغییر می‌کند، این برهمکنش بسیار وابسته به pH می‌باشد (فو و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون از PE بر پایه پروتئین‌های گیاهی نظیر سویا و پلی‌ساکارید میکروبی نظیر زانتان در تهیه کیک بدون گلوتن استفاده نشده است، بنابراین هدف از این پژوهش تهیه PE تثبیت شده با نانو ذرات پروتئین سویا و بررسی اثر افزودن آن در خمیر کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج و در نهایت ارزیابی ویژگی‌های کیفی محصول نهایی بود.

مواد و روش‌ها

مواد مصرفی

ایزوله پروتئین سویا (SPI)^۱ (۹۰/۰۳۲ درصد پروتئین) از شرکت wonderful Shandong LTD., Co group industrial

1- Soy protein isolate

2- Soy Protein Nanoparticle

حجم فاز امولسیون (EPV) اندازه‌گیری شد. بر اساس رابطه (۱) درصد فعالیت امولسیون کنندگی محاسبه گردید.

$$EA (\%) = \frac{EPV}{WV} \times 100 \quad [1]$$

شاخص خامه‌ای شدن امولسیون پیکرینگ

پس از آماده‌سازی نمونه‌های امولسیون، ۱۰ میلی‌لیتر از امولسیون در لوله فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شده و پس از بستن درب آن‌ها، به مدت ۲۱ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگه‌داری شد. خامه‌ای شدن امولسیون پس از ۷، ۱۴ و ۲۱ روز بررسی گردید. ارتفاع کل امولسیون (HE) و ارتفاع سرم (HS) اندازه‌گیری شد. درصد شاخص خامه‌ای شدن با استفاده از رابطه (۲) دست آمد (محمدزاده و همکاران ۲۰۱۳).

$$CI (\%) = \left(\frac{HS}{HE} \right) \times 100 \quad [2]$$

تهیه خمیر و تولید کیک

تهیه کیک بدون گلوتن از آرد برنج مطابق روش عباس‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) انجام گرفت (جدول ۱). بر این اساس، مواد اولیه شامل: ۱۰۰ گرم آرد برنج، ۷۲ گرم پودر قند، ۵۷ گرم روغن، ۰/۵ گرم وانیل، ۷۲ گرم تخم مرغ، ۲ گرم بکینگ پودر و ۳۰ گرم آب و ۲۰ میلی‌لیتر امولسیون پیکرینگ بودند (مقدار مواد بر اساس ۱۰۰ گرم آرد برنج). جهت تهیه خمیر ابتدا روغن و پودر قند را هم زده تا به مایع کرم رنگی تبدیل شد. سپس تخم مرغ را که قبلاً زده شده بود به مایع اضافه کرده و ۲ دقیقه با دور تند کاملاً مخلوط شدند. نصف آب را اضافه کرده و هم زده و سپس مواد پودری را که قبلاً مخلوط شده بودند با دور آهسته هم زده شدند. در مرحله بعد PE اضافه شده و ۱ دقیقه با دور آهسته مخلوط شد. در نهایت نصف دیگر آب به خمیر اضافه و با دور متوسط ۳۰ ثانیه هم زده شد. ۳۰ گرم از خمیر آماده شده را در قالب‌های فنجان‌ی کوچک که همراه با کاغذ مخصوص کیک بود ریخته و به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در فر برقی (LETO-010) پخته شدند. پس از پخت و سرد شدن، کیک‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی

بودن، ۰/۵ ثانیه؛ زمان خاموش بودن، ۰/۵ ثانیه) بر روی آن اعمال گردید.

تهیه امولسیون پیکرینگ

تهیه امولسیون پیکرینگ از SPNs و محلول زانتان ۰/۱ درصد (وزنی / حجمی) استفاده شد. برای تهیه امولسیون روغن به آرامی به مخلوط حاوی محلول زانتان (۲۰ درصد) و SPNs (۶۰ درصد) تحت هم‌وزنایزر التراتوراکس (Ultra Turrax, Micra D-9, Germany) با سرعت ۱۱۰۰۰ rpm اضافه شد. در ادامه، هم‌گن‌سازی در ۱۶۰۰۰ rpm به مدت ۲/۵ دقیقه ادامه یافت. سپس تیمار التراسوند با توان ۸۰ وات به مدت ۲ دقیقه (مدت زمان پالس: زمان روشن بودن، ۰/۵ ثانیه؛ زمان خاموش بودن، ۰/۵ ثانیه) برای هم‌گن‌سازی بیشتر بر روی امولسیون تشکیل شده اعمال گردید (لیو و تانگ ۲۰۱۳).

توزیع اندازه ذرات نانوذرات پروتئین سویا و امولسیون پیکرینگ

قطر هیدرودینامیکی و شاخص پراکندگی (PDI)، SPNs و PE توسط دستگاه پراش نور دینامیکی (DLS) (Malvern Instruments, UK) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفت (ژو و همکاران ۲۰۱۸).

تعیین پتانسیل زتا نانوذرات پروتئین سویا و امولسیون پیکرینگ

پتانسیل زتا SPNs و PE توسط دستگاه اندازه‌گیری زتا (Zeta Compact, CAD، فرانسه) مورد بررسی قرار گرفتند (ژو و همکاران ۲۰۱۸). به طور خلاصه، مقدار کمی از نمونه در آب مقطر به نسبت ۱:۱۰۰ جهت شفاف‌سازی رقیق شد و سپس توسط دستگاه اندازه‌گیری زتا مورد بررسی قرار گرفت.

تعیین فعالیت امولسیون پیکرینگ

آزمون فعالیت امولسیون^۱ (EA) توسط روش دالو و سیمنوا (۱۹۹۵) با کمی تغییرات انجام شد. جهت انجام این آزمون امولسیون به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۲۶۰۰g سانتی‌فیوژ (EBA200, Hettich، آلمان) و حجم کل سیستم (wv) و

ارزیابی تخلخل کیک در طول مدت ماندگاری

جهت اندازه‌گیری تخلخل نمونه‌ها، نخست حجم واقعی کیک تعیین شد. برای این منظور، نمونه کیک داخل استوانه مدرج فشرده شد به طوری که هیچ گونه خلل و فرجی باقی نماند. سپس طبق رابطه (۶) درصد تخلخل محاسبه شد (ترابی و همکاران، ۲۰۰۸).

$$[۶] \quad \text{درصد تخلخل} = \left[1 - \frac{V_{\text{true}}}{V_{\text{bulk}}} \times 100 \right]$$

V_{true} : حجم واقعی

V_{bulk} : حجم کل کیک اندازه‌گیری شده به روش جا به جایی دانه کلزا

میزان تخلخل در فاصله زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز بعد از پخت انجام گردید.

بررسی خصوصیات رنگ پوسته و مغز کیک در طول مدت

ماندگاری

برای تجزیه و تحلیل رنگ نمونه‌ها و اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی (L^* ، a^* و b^*) از روش پردازش تصویر استفاده شد. شاخص L^* معرف میزان روشنایی نمونه که محدوده آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص)، شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز که محدوده آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) و در نهایت شاخص b^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد در دامنه ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر است (صادقی و همکاران ۲۰۱۹). عکس برداری از نمونه‌ها توسط اسکنر با وضوح ۶۰۰ پیکسل از پوسته و مغز کیک صورت گرفت، سپس تصاویر در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای Lab در بخش Plugins، شاخص‌های فوق محاسبه شد (عابدفر و همکاران ۱۳۹۵). همچنین برآیند اختلاف رنگی (TCD) نیز از رابطه (۷) تعیین گردید، که در آن L^* ، a^* و b^* ابعاد رنگ مربوط به کیک حاوی امولسیون پیکرینگ و L_0^* ، a_0^* و b_0^* ابعاد رنگ مربوط به کیک شاهد بود. علاوه بر این به پایش‌های تکمیلی پارامترهای رنگی براساس شاخص‌های رنگی به دست می‌آیند

و در دمای محیط برای انجام آزمون‌ها نگهداری شدند. نمونه شاهد فاقد امولسیون پیکرینگ نیز تهیه گردید.

جدول ۱- فرمولاسیون مورد استفاده در تهیه نمونه کیک‌های

بدون گلوتن

Table 1- Formulation used to prepare the samples of gluten-free cakes.

Ingredients	Control (gr)	PE (gr)
Rice flour	100	100
Sugar powder	72	72
Oil	57	57
Egg	72	72
Vanilla	0.5	0.5
Baking Powder	2	2
Water	30	30
Pickering emulsion	-	20 (ml)

ارزیابی رطوبت کیک در طول مدت ماندگاری

مقدار رطوبت با استفاده از روش AACC 44-15 (۲۰۱۰) تعیین شد. به منظور بررسی ماندگاری و شاخص‌های بیاتی کیک، رطوبت را در بازه زمانی ۲ ساعت (تازه خوری)، ۳ و ۷ روز بعد از پخت پایش گردید.

ارزیابی حجم کیک در طول مدت ماندگاری

برای اندازه‌گیری حجم کیک از روش جابه‌جایی دانه کلزا استفاده شد. در این روش ابتدا دانسیته توده‌ای کلزا با استفاده از وزن و حجم مشخصی از دانه‌ها محاسبه شد. سپس نمونه به همراه دانه‌های کلزا با هم داخل ظرفی با ابعاد مشخص قرار داده و توزین شد. در نهایت حجم براساس روابط ۳، ۴ و ۵ محاسبه شد (AACC, 05-10).

$$[۳] \quad W_{\text{ظرف}} - W_{\text{کیک}} - W_{\text{کلزا}} = W_{\text{کلزا}}$$

$$[۴] \quad V_{\text{کلزا}} = \frac{W_{\text{کلزا}}}{\rho_{\text{کلزا}}}$$

$$[۵] \quad V_{\text{کلزا}} - V_{\text{ظرف}} = V_{\text{کیک}}$$

این آزمون در زمان‌های تازه خوری (۲ ساعت بعد از پخت)، ۳ و ۷ روز بعد از پخت (نگهداری در دمای محیط) انجام گردید.

نتایج و بحث

اندازه ذرات و پتانسیل زتا

بررسی اندازه ذرات و شاخص پراکندگی SPNs و PE در جدول ۲ نشان داد. بسیاری از شاخص‌های کیفی امولسیون‌ها به توزیع اندازه ذرات آن‌ها بستگی دارد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش امولسیون پیکرینگ تشکیل شده پراکندگی مناسبی و کمی داشت. در واقع هر چقدر شاخص پراکندگی کمتر باشد نشان‌دهنده پراکندگی مناسب و همگن بودن ذرات خواهد بود. میزان تجمع بار در لایه غیرمتحرک و شدت جذب یون‌های مخالف بر روی سطح ذره توسط شاخص پتانسیل زتا نمایش داده می‌شود. بنابراین، پتانسیل زتا بهترین شاخص برای تعیین وضعیت الکتریکی سطح ذرات در یک سیستم کلوئیدی خواهد بود (قنبرزاده و همکاران ۲۰۱۳). ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز مقدار اندازه ذرات را در محدوده ۱۷۹-۲۸ و شاخص پراکندگی را در محدوده ۰/۲۳-۰/۲۹ گزارش کردند. نمودار توزیع اندازه ذرات در شکل ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از پتانسیل زتا SPNs و PE بترتیب (mv) ۱۳/۱۶۶- و ۳۰/۶۹۶- بود. بالا بودن پتانسیل زتا ذرات کلوئیدی موجب بالا رفتن نیروی دافعه الکترواستاتیک و در نتیجه افزایش پایداری فیزیکی در pH‌های بالای نقطه ایزوالکتریک سیستم می‌شود. از طرف دیگر پتانسیل زتا امولسیون تشکیل شده از SPNs و محلول زانتان مقدار بیشتری را نشان داد. در pH‌های خنثی، محلول حاوی صمغ زانتان دارای بار الکتریکی منفی است که به حضور گروه‌های اسیدی در ساختمان این صمغ مربوط می‌باشد. وجود بار منفی هم در نانوذرات پروتئین و هم در صمغ سبب افزایش میزان پتانسیل زتا امولسیون گردید. بنابراین در شرایط آزمایش به دلیل بار الکتریکی یکسان یکدیگر را دفع می‌کنند که این امر از وقوع مکانیسم‌های ناپایداری نظیر بهم پیوستگی در امولسیون جلوگیری می‌کند. ناجی طبسی و همکاران (۲۰۲۱) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز مقدار پتانسیل زتا نانوذرات ایزوله پروتئین سویا را به ترتیب ۱۰/۳۲ mv- و ۱۵/۸ mv- گزارش کردند که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت.

شامل زاویه هیو (رابطه ۸)، شاخص روشنایی (سفیدی) (رابطه ۹) و شاخص قهوه‌ای شدن (رابطه ۱۰) پرداخته شد (پالو و همکاران ۱۹۹۹). بررسی خصوصیات رنگ پوسته و مغز در فاصله زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز بعد از پخت انجام گردید.

[۷]

$$TCD = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

[۸]

$$\text{Hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

[۹]

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

[۱۰]

$$BI = [100(X - 0.31)] / 0.172$$

$$X = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$$

ارزیابی سفتی کیک در طول مدت ماندگاری

ارزیابی بافت کیک در فاصله زمانی‌های ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز بعد از پخت صورت گرفت. بدین منظور ابتدا قطعات ۲×۲ سانتی‌متر از مغز نمونه‌ها بدون پوسته تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه بافت سنج (شرکت استیل میکروسیستم، مدل TA.XT plus، انگلستان) و با به کارگیری پروب P/36R (قطر ۳۶ میلی‌متر) به اندازه ۱ سانتی‌متر (۵۰ درصد) از بافت فشرده شد. بیشترین نیرویی که به نمونه در پایان عمل فشردن وارد شد بر حسب نیوتن گزارش گردید (مارکو و راسل ۲۰۰۸).

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، تمامی آزمون‌ها در سه تکرار برای بررسی مقایسه نمونه با شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده، آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه 9.0) در $P < 0.05$ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح ۹۵٪ انجام شد.

Table 2- The particle size distribution of SPNs and PE

Samples	Z- Average (d.nm)	PDI	Zeta Potential (mV)
SPNs	61.213 ± 4.65	0.397 ± 0.003	-13.166 ± 1.560
PE	7752 ± 0.65	0.504 ± 0.024	-30.696 ± 1.671

شدن و فلوکوله شدن رخ می‌دهند (مک کلمنت ۲۰۰۴). زانتان به دلیل اندازه مولکولی بالا و ایجاد قوام و تشکیل شبکه در امولسیون از قطرات روغن در برابر تجمع محافظت نمود (جدول ۳).

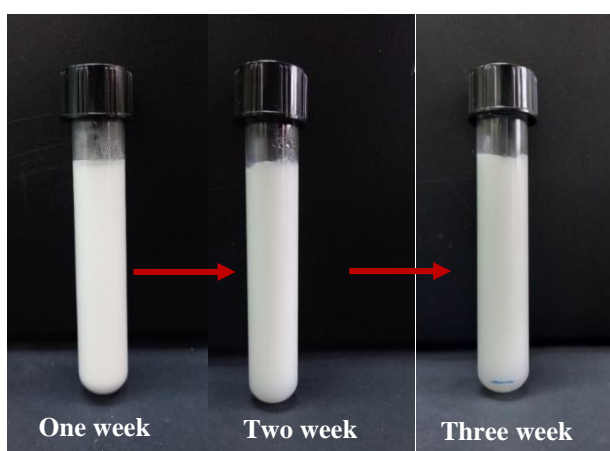


Figure 2- Visual images of the Pickering emulsions during the storage

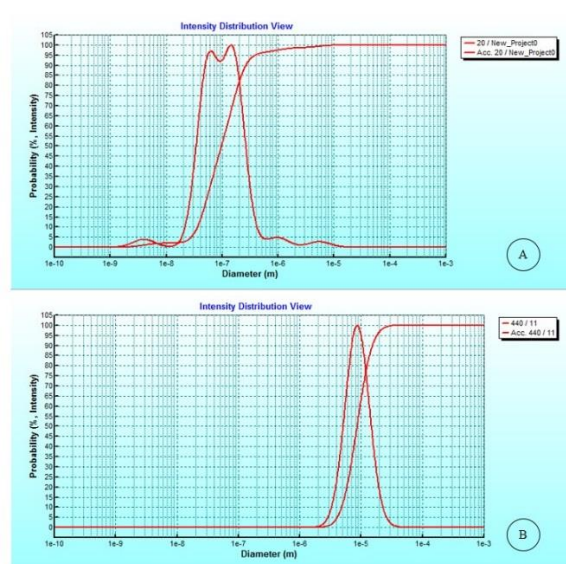


Figure 1- The particle size distribution Graph of SPNs (A) and PE (B)

بررسی پایداری امولسیون

بررسی پایداری PE طی ۲۱ روز نگهداری نشان داد که، در دو هفته اول هیچگونه جداسازی فازی در امولسیون رخ نداد در حالیکه در انتهای دوره نگهداری جدایی فازی ناچیزی صورت گرفت (شکل ۲). در واقع حضور صمغ اعمال نیروی گریز از مرکز سبب تسریع در ادغام قطرات در امولسیون و نزدیک شدن قطرات به یکدیگر می‌شود (مک کلمنت ۲۰۰۷). نتایج حاصل از پایداری PE در جدول ۳ نشان داد که حضور نانوذرات پروتئینی ضمن بهبود خصوصیات امولسیفایری سبب پایداری قطرات روغن و همچنین مانع از بهم پیوستگی سطح قطرات روغن می‌گردد. از این رو اندازه نانوذرات تأثیر زیادی بر پایداری PE دارد. از آنجایی که SPNs کوچکتر از فاز پراکنده امولسیونی هستند، بنابراین روی سطوح قطرات روغن جذب شده و سبب تثبیت فاز پراکنده می‌گردد. علاوه بر این، توانایی امولسیون به مقاومت در برابر تغییرات و خصوصیات ذاتی آن در طی زمان به پایداری امولسیونی آن مرتبط است که این تغییرات بوسیله کواگوله شدن، خامه‌ای

Table 3- Emulsion stability of PE stabilized with SPNs during 21 day at 4 °C

Samples	Creaming index (%)			Emulsion activity (%)
	One weeks (%)	Two weeks (%)	Three week (%)	
PE	0	0	3.77 ± 0.516	78 ± 4.358

رطوبت کیک در طی مدت ماندگاری

شاخص‌های کیفی محصول نهایی پایش رطوبت کیک است. نتایج حاصل از این پژوهش در شکل ۳ نشان داد که تاثیر افزودن PE بر مقدار رطوبت کیک در مقایسه با نمونه شاهد کاملا مشهود بود که در واقع با افزودن امولسیون پیکرینگ مقدار رطوبت در زمان تازه‌خوری (روز اول) در فرآورده نهایی افزایش پیدا کرد، که سبب کاهش ویسکوزیته و لطافت یا نرمی بیشتر بافت خمیر کیک شد، این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. محتوای چربی یا روغن عامل مهمی است که بر قابلیت حفظ رطوبت در طول پخت تاثیر می‌گذارد. محتوای چربی بالاتر به حفظ رطوبت در محصولات نانوایی کمک می‌کند (پاینتر ۱۹۸۱). از آنجایی که در ساختار PE روغن بکار گرفته شده، بنابراین یکی از دلایل افزایش رطوبت

کیک حاوی PE نسبت به نمونه شاهد را می‌توان این مورد بیان کرد. سیحون و همکاران (۲۰۰۵) بیشترین میزان از دست دادن رطوبت را از کیک‌های فرموله شده بدون چربی مشاهده کردند. همچنین با افزایش محتوای چربی حفظ رطوبت افزایش یافت. تغییران رطوبت در طی ماندگاری در شکل ۳ نشان داد که این شاخص در روزهای سوم و هفتم برای هر دو نمونه کیک کاهش یافت و در هر دو روز نیز مانند روز اول، اختلاف معنی‌داری بین کیک PE و کیک شاهد وجود داشت. از سوی دیگر کاهش رطوبت از روز ۳ تا ۷ در کیک PE غیرمعنی‌دار و در کیک شاهد معنی‌دار بود ($P < 0.05$). این تغییرات نشان داد که کیک حاوی PE مقدار رطوبت بیشتری را در طی دوره نگه‌داری در خود حفظ کرده است. حفظ رطوبت سبب تاخیر در بیاتی احساس دهانی مطلوب‌تری خواهد شد

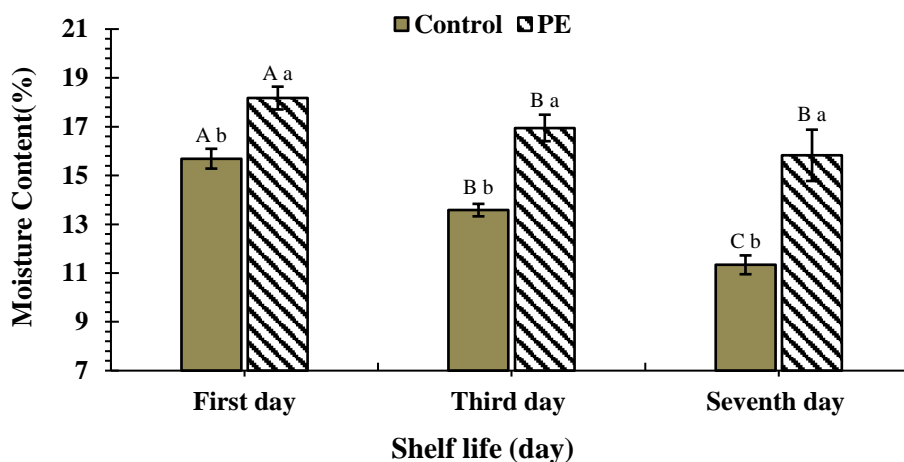


Figure 3- Evaluation of moisture content of gluten-free cake samples during shelf-life in comparison to the control sample.

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation

a-d Different superscript letters in the each day between samples denote significant differences ($P < 0.05$).

A-B-C Different superscript letters in the during shelf life between samples denote significant differences ($P < 0.05$).

حجم مخصوص کیک در طی مدت ماندگاری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری حجم کیک بدون گلوتن با روش جا به جایی دانه کلزا در طی ۲ ساعت بعد از پخت (تازه-خوری) و در طول ماندگاری در شکل ۴ نشان داده شد. در طی فرایند پخت و در اواسط زمان آن حجم کیک ابتدا یک روند افزایشی داشت اما در مراحل نهایی پخت از این مقدار کاسته شد. کاهش حجم کیک حاوی PE بدلیل کاهش ویسکوزیته و کاهش حفظ حباب‌های هوای در خود خواهد بود. نتایج حاصل از این پژوهش با تحقیقات ییلدیز و دوغان (۲۰۱۴) و گالگو و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت داشت. این کاهش هم در زمان تازه

خوری و هم در طول نگه‌داری نسبت به نمونه شاهد غیر معنی-دار بوده است ($P > 0.05$). اما تغییرات حجم در هر نمونه در روزهای مختلف، به جز کیک شاهد در روز سوم نسبت به روز هفتم، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. ارتفاع کیک و میزان افزایش آن به شدت تحت تاثیر دمای پخت و ساختار خمیر است (شکل ۴). انبساط حجمی به محض به وجود آمدن یک پوسته در سطح کیک و تبدیل خمیر ویسکوز به یک سطح الاستیک متوقف می‌شود (کرونوز و همکاران ۱۹۹۹). اگر این پوسته تشکیل شده نتواند به خوبی از خروج حباب‌های تشکیل شده ناشی از تبخیر آب و سایر عوامل حجیم کننده جلوگیری کند، از میزان حجم نمونه کاسته خواهد شد.

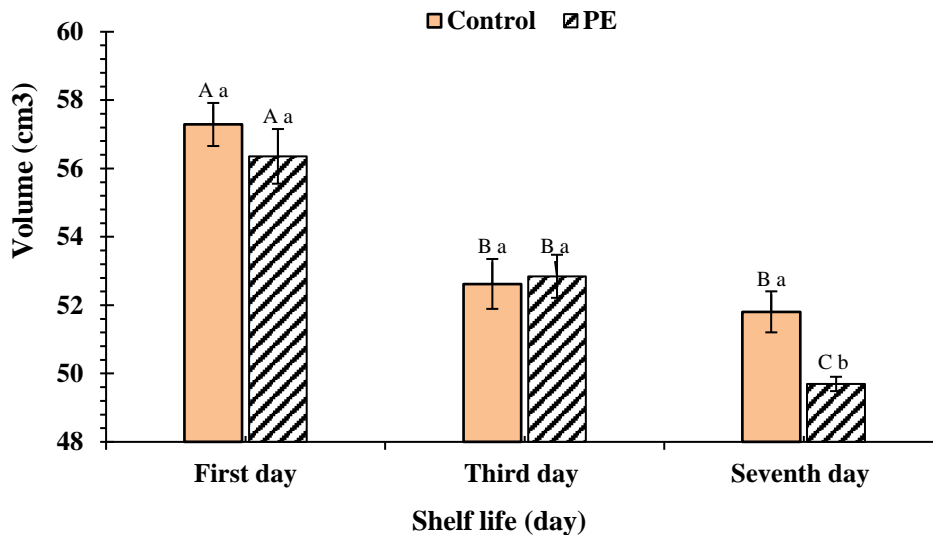


Figure 4- Evaluation of volume of gluten-free cake samples during shelf-life in comparison to the control sample.

Results expressed as mean values of triplicates \pm standard deviation

a-d Different superscript letters in the each day between samples denote significant differences ($P < 0.05$).

A-B-C Different superscript letters in during shelf life between samples denote significant differences ($P < 0.05$).

تخلخل کیک در طی مدت ماندگاری

افزایش میزان تخلخل به دلیل کاهش اندازه و افزایش تعداد سلول‌های گازی و توزیع یکنواخت آنها در بافت محصول است (زیوبرو و همکاران ۲۰۱۲). نتایج حاصل از این پژوهش در شکل ۵ نشان داد که با گذشت زمان از مقادیر تخلخل نمونه‌ها کاسته شد، این در حالیست که این کاهش تخلخل در نمونه حاوی امولسیون پیکرینگ به مراتب بیشتر از نمونه شاهد بود ($P < 0.05$). بر این اساس روان بودن خمیر و کاهش

ویسکوزیته عامل مهم در تشکیل حباب‌های شده که به راحتی به سطح آمده و در حین پخت از سطح خارج خواهند شد (تورایی و همکاران، ۲۰۰۸). خارج شدن حباب‌ها در حین پخت باعث حجم و تخلخل کمتر فرآورده می‌شوند. افزودن PE به خمیر کیک به دلیل ساختار مایع آن سبب کاهش ویسکوزیته خمیر شد. نانوذرات پروتئین سویا که در تشکیل PE از آن‌ها استفاده شده است مانند یک امولسیفایر عمل می‌کنند بنابراین اثر افزودن آن‌ها به خمیر نیز می‌تواند همانند

ایجاد حفرات ریز، متعدد و یکنواخت در بافت نمونه کیک می‌گردد، و این عاملی در کاهش تخلخل در مقایسه با نمونه شاهد موثر خواهد بود که نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعه آشورینی و همکاران (۲۰۰۸)، سکیان و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت.

امولسیفایر باشد. کاهش ویسکوزیته با افزودن امولسیفایر در مطالعات تورابی و همکاران (۲۰۰۸) و رحمتی و مظاهری تهرانی (۲۰۱۴) گزارش شده است. علاوه بر این مقایسه میانگین نمونه شاهد در برابر با نمونه غنی شده با PE در هر روز نگهداری اختلاف معنی داری را در سطح ۵ درصد نشان داد. در واقع حضور ترکیبات امولسیفایری بر پایه روغن سب

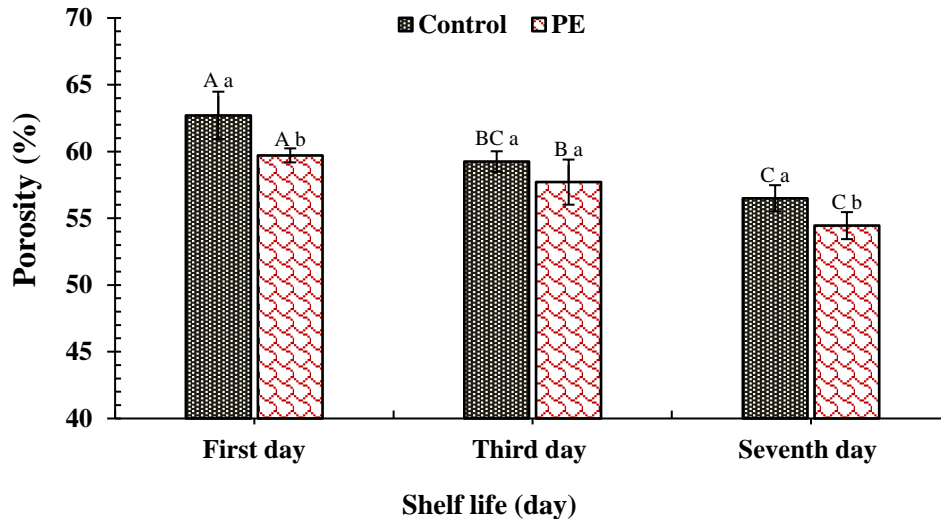


Figure 5- Evaluation of porosity percentage of gluten-free cake samples during shelf-life in comparison to the control sample.

Results expressed as mean values of triplicates \pm standard deviation

a-d Different superscript letters in the each day between samples denote significant differences ($P < 0.05$).

A-B-C Different superscript letters in the during shelf life between samples denote significant differences ($P < 0.05$).

قهوه‌ای در محصولات نانوائی است را مهار کرد (بولک ۲۰۲۰). گذشت زمان کاهش معنی داری را در میزان روشنایی رنگ پوسته کیک شاهد نشان داد ($P < 0.05$) ولی این کاهش در کیک PE غیرمعنی دار بود ($P > 0.05$). اثر افزودن PE تاثیر معنی داری بر روی شاخص a^* و b^* ایجاد نکرد و تنها در قسمت پوسته (روز اول و سوم) نمونه شاهد کاهش معنی دار در این شاخص a^* داشت. شی بی و همکاران (۲۰۲۱) از امولسیون پیکرینگ در خمیر بیسکوئیت استفاده کرده و به نتایج مشابهی در خصوص پارامترهای رنگی رسیدند. آنالیز برآیند اختلاف رنگ پوسته و مغز کیک‌ها ۲ ساعت پس از پخت و در طی نگهداری از طریق تعیین شاخص‌های a^* ، L^* و b^* صورت پذیرفت. این پارامتر نشان‌دهنده برآیند اختلاف رنگی نسبت به نمونه شاهد بود. با افزایش زمان میزان اختلاف رنگ در پوسته از روز اول تا هفتم افزایش پیدا کرد. علت

بررسی خصوصیات رنگی پوسته و مغز کیک

رنگ در محصولات صنایع پخت از منابع مختلفی به دست می‌آید. به این صورت که رنگ ذاتی مواد تشکیل دهنده آن‌ها می‌تواند بر رنگ نهایی تاثیر بگذارد (گولارته و همکاران ۲۰۱۲) و هم اینکه رنگ به دست آمده از واکنش بین مواد تشکیل دهنده مانند مایلارد یا واکنش‌های کاراملیزاسیون رنگ محصول را تشکیل دهد (آکاستا و همکاران ۲۰۱۱). نتایج بررسی شاخص‌های L^* ، a^* و b^* در زمان تازه‌خوری و در طول نگهداری در جدول ۴ (A) پوسته و (B) مغز آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزودن PE میزان شاخص L^* در پوسته و مغز نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی داشت. اختلاف معنی داری در طول مدت ماندگاری مشهود بود ($P < 0.05$). افزایش رطوبت و هیدراتاسیون با ایجاد پیوندهای هیدروژنی تا حدی واکنش مایلارد که عامل اصلی ایجاد رنگ

قابلیت نگه‌داری رطوبت در کیک PE را نسبت به شاهد بیان نمود. در قسمت مغز برآیند شاخص‌های رنگی روند کاهشی را نشان داد.

اصلی تیره‌تر شدن رنگ پوسته کیک در طی نگه‌داری مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته و تغییر در مقدار رطوبت پوسته دانست که عاملی بر کدر شدن پوسته کیک بود. به عبارت دیگر این موضوع کاهش مهاجرت رطوبت و افزایش

Table 4- (A & B). Color characteristics of crust (A) and crumb (B) Cake during 7 day.

Storage	Cake crust (Control)	Cake crust (PE)
L* index		
Fresh (1 day)	74.898 ± 4.635 ^{A a}	78.295 ± 3.564 ^{A a}
3 day	69.066 ± 3.941 ^{B b}	76.029 ± 2.493 ^{A a}
7 day	67.264 ± 2.499 ^{B b}	75.005 ± 3.317 ^{A a}
a* index		
Fresh (1 day)	14.898 ± 1.435 ^{A a}	12.501 ± 0.684 ^{A b}
3 day	11.891 ± 1.254 ^{B a}	11.728 ± 1.217 ^{A b}
7 day	11.004 ± 0.822 ^{C a}	10.050 ± 0.803 ^{B a}
b* index		
Fresh (1 day)	46.720 ± 3.498 ^{A a}	44.924 ± 4.611 ^{A a}
3 day	45.341 ± 2.287 ^{A a}	48.250 ± 3.600 ^{A a}
7 day	45.243 ± 4.511 ^{A a}	47.697 ± 2.188 ^{A a}
TCD index		
Fresh (1 day)		6.141 ± 0.850 ^A
3 day		8.823 ± 3.801 ^A
7 day		11.271 ± 2.420 ^A

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation.

a-b-c Different superscript letters in the same row between samples denote significant differences (P< 0.05)

A-B-C Different superscript letters in the same column between samples denote significant differences (P< 0.05)

Table 4 (A & B)- Continued

Storage	Cake crumb (Control)	Cake crumb (PE)
L* index		
Fresh (1 day)	88.669 ± 1.935 ^{A a}	89.733 ± 3.124 ^{A a}
3 day	87.382 ± 0.433 ^{AB a}	87.722 ± 0.751 ^{B a}
7 day	86.996 ± 0.946 ^{B a}	87.581 ± 1.022 ^{B a}
a* index		
Fresh (1 day)	3.001 ± 0.607 ^{A b}	4.340 ± 1.333 ^{A a}
3 day	2.519 ± 0.373 ^{AB a}	2.608 ± 0.687 ^{B a}
7 day	1.432 ± 0.588 ^{B a}	2.044 ± 0.582 ^{B a}
b* index		
Fresh (1 day)	30.619 ± 1.045 ^{A a}	28.441 ± 1.081 ^{A a}
3 day	27.985 ± 1.735 ^{AB a}	27.716 ± 1.640 ^{A a}
7 day	30.326 ± 1.252 ^{A a}	29.706 ± 1.416 ^{A a}
TCD index		
Fresh (1 day)		4.028 ± 0.718 ^A
3 day		2.057 ± 0.364 ^B
7 day		1.896 ± 0.205 ^B

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation.

a-b-c Different superscript letters in the same row between samples denote significant differences (P< 0.05)

A-B-C Different superscript letters in the same column between samples denote significant differences (P< 0.05)

شاخص‌های تکمیلی رنگ در جدول ۵ نشان داد. با افزودن PE شاخص سفیدی و قهوه‌ای شدن در پوسته و مغز به ترتیب افزایش و کاهش پیدا کرد که در پوسته هر دو پارامتر اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد داشتند ($P < 0.05$). بعد از ۷ روز نگهداری WI و BI نسبت به روز اول به ترتیب کمتر و بیشتر شدند. بررسی این نتایج تایید کننده روشن‌تر بودن کیک PE در مقایسه با کیک شاهد و کدر شدن هر دو کیک در طی ماندگاری می‌باشد. میزان زاویه هیو به دست آمده نشان‌دهنده زرد رنگ بودن کیک‌ها است که در پوسته نسبت به مغز میزان زردی اشیاعیت بیشتری دارد.

زاویه هیو از پارامترهای اندازه‌گیری رنگ مواد غذایی است که در آن زاویه صفر و ۳۶۰ درجه نمایانگر رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه به ترتیب نشان‌دهنده رنگ‌های زرد، سبز متمایل به آبی و آبی خواهد بود. به عبارت دیگر زاویه هیو بیانگر رنگ غالب نمونه است و هرچه این زاویه به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر قرمز رنگ بودن نمونه است. شاخص روشنایی (سفیدی) تمایل نمونه به رنگ سفید را نشان می‌دهد و هرچه مقدار آن به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده سفیدی بیشتر نمونه است. شاخص قهوه‌ای شدن نیز میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد (چانچ و همکاران ۲۰۱۴؛ باقری و همکاران ۱۳۹۵). نتایج مربوط

Table 5 (A & B)- Color characteristics (Brown index, White index and Hue index) of crust (A) and crumb (B) Cake during 7 day

Storage	Cake crust (Control)	Cake crust (PE)
BI index		
Fresh (1 day)	106.803 ± 7.177 ^{B a}	93.566 ± 8.220 ^{B b}
3 day	114.148 ± 3.828 ^{A a}	104.830 ± 4.012 ^{A b}
7 day	114.327 ± 5.021 ^{A a}	103.505 ± 6.772 ^{C b}
WI index		
Fresh (1 day)	44.836 ± 4.490 ^{A a}	48.540 ± 5.574 ^{A b}
3 day	42.993 ± 0.946 ^{A a}	44.794 ± 3.276 ^{B a}
7 day	42.967 ± 3.152 ^{A a}	45.132 ± 1.851 ^{B b}
Hue index		
Fresh (1 day)	72.357 ± 0.771 ^{B a}	74.361 ± 1.485 ^{B a}
3 day	71.818 ± 1.892 ^{B b}	76.353 ± 0.752 ^{AB a}
7 day	76.293 ± 0.803 ^{A a}	78.093 ± 0.963 ^{A a}

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation.

a-b-c Different superscript letters in the same row between samples denote significant differences ($P < 0.05$)

A-B-C Different superscript letters in the same column between samples denote significant differences ($P < 0.05$)

Table 5 (A & B)- Continued

Storage	Cake crumb (Control)	Cake crumb (PE)
BI index		
Fresh (1 day)	43.345 ± 1.690 ^{A a}	39.393 ± 2.352 ^{A a}
3 day	42.508 ± 2.735 ^{A a}	40.504 ± 2.898 ^{A a}
7 day	38.390 ± 3.322 ^{A a}	41.693 ± 3.175 ^{A a}
WI index		
Fresh (1 day)	67.160 ± 0.762 ^{A a}	69.341 ± 1.928 ^{A a}
3 day	69.181 ± 1.373 ^{A a}	69.564 ± 1.732 ^{A a}
7 day	66.961 ± 1.375 ^{A a}	67.727 ± 1.592 ^{A a}
Hue index		
Fresh (1 day)	84.429 ± 0.964 ^{B a}	81.312 ± 2.698 ^{B b}
3 day	84.821 ± 0.988 ^{B a}	84.652 ± 1.247 ^{A a}
7 day	87.315 ± 1.066 ^{A a}	86.088 ± 0.971 ^{A a}

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation.

a-b-c Different superscript letters in the same row between samples denote significant differences ($P < 0.05$)

A-B-C Different superscript letters in the same column between samples denote significant differences ($P < 0.05$)

سفتی بافت کیک در طی مدت ماندگاری

تغییرات سفتی بافت نمونه‌های کیک به عنوان معیاری از بیاتی و بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی بافت مغز کیک با دستگاه بافت سنج در کیک غنی شده با PE و کیک شاهد در طی دو ساعت بعد از پخت (تازه‌خوری) و در طول ماندگاری (۳ و ۷ روز) در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج پیداست، کیک حاوی PE هم در زمان تازه‌خوری و هم در طی ماندگاری بافت نرم‌تری نسبت به کیک شاهد دارد و این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. این نشان‌دهنده تاثیر مثبت PE بر روی بافت کیک بود. علاوه بر این تاثیر طول دوره نگهداری سبب افزایش سفتی در هر دو نمونه گردید که این امری طبیعی به دلیل بیاتی و فعل و انفعالات به وجود آمده در طی نگهداری است. اما کیک غنی شده با PE سفتی کمتری را در روزهای سوم و هفتم بعد از

تولید از خود نشان داده است. از نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که افزودن PE نرخ بیاتی را در طول دوره ماندگاری به تاخیر انداخته است. PE سبب افزایش پلاستیسیته خمیر شد که این به دلیل ماهیت و ساختار امولسیون و حضور روغن در آن است (شی یی و همکاران ۲۰۲۱). زیرا روغن تا حدودی مسئول شکل‌پذیری، پلاستیسیته، نرمی و تردی بافت محصولات نانویی است. باور بر این است که در طول مخلوط کردن خمیر، روغن با محتوای جامدتر بر تراکم خمیر تاثیر می‌گذارد و در نتیجه خمیر هوادهی بیشتر و قوام نرم‌تری خواهد داشت (جاکوب و لیلواتهی ۲۰۰۷). این ساختار نرم‌تر خمیر می‌تولند سفتی را بعد از پخت و در طی زمان کاهش دهد. نو و همکاران (۲۰۲۰) در افزودن پودر امولسیون حاوی بتاکاروتن در تولید کیک برنجی و اکین و همکاران (۲۰۲۱) در استفاده از نانوامولسیون بر پایه روغن جهت تولید کوکی کم چرب به نتایج مشابهی رسیدند.

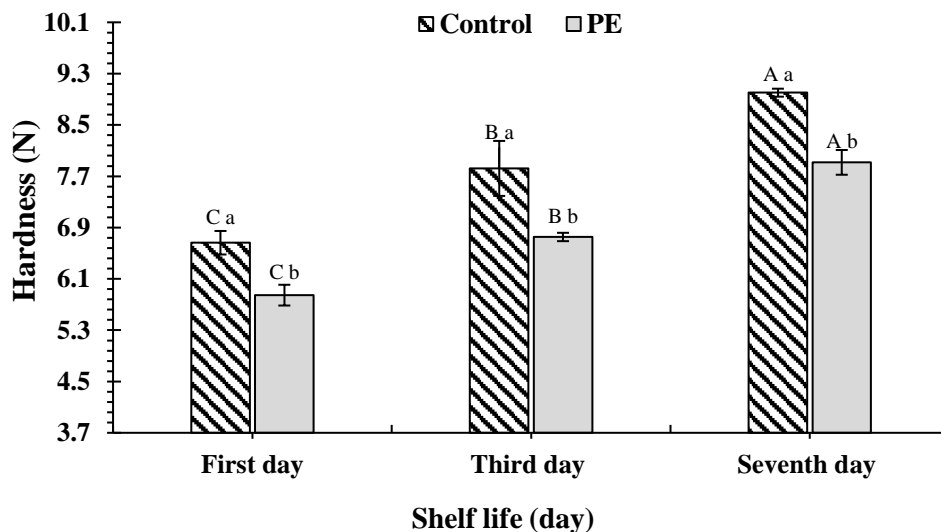


Figure 6- Evaluation of hardness of the crumb of gluten-free cake samples during shelf-life in comparison to the control sample

Results expressed as mean values of triplicates \pm standard deviation.

a-b-c Different superscript letters in each day between samples denote significant differences ($P < 0.05$)

A-B-C Different superscript letters in the during shelf life between samples denote significant differences ($P < 0.05$)

خاص افزایش یافته است، که این امر ضمن افزایش طول عمر و جلوگیری از بروز بیماری‌های گوارشی برای بیماران محدود و خاص سبب گسترش و نگاه عمیق‌تر به این حوزه خواهد

نتیجه‌گیری

امروزه تمایل مصرف کنندگان به طور روز افزون به دانستن نقش فعال مواد غذایی عملگرا در سلامت انسان و بیماران

بر سفتی بافت نمونه گذاشت. اما حجم و تخلخل در کیک حاوی امولسیون پیکرینگ کاهش پیدا کرد. از طرفی رنگ نمونه در طی زمان با افزودن امولسیون بهتر حفظ شد. بنابراین افزودن امولسیون پیکرینگ با اثر بر ویژگی‌های بافتی و ماندگاری نقش موثری در بهبود ویژگی‌های کیک بدون گلوتن دارد. در نهایت در شرایط رقابتی بازار، رویکرد جدید صنعت غذا در راستای تولید فرآورده‌های سودمند و مدیریت آن، سبب توجه بیشتر به این محصولات و تحقیقاتی از این قبیل خواهد شد.

شد. در این پژوهش ضمن تولید، امکان سنجی برای آماده‌سازی فرمولاسیون و تولید کیک بدون گلوتن با افزودن امولسیون پیکرینگ تثبیت شده با نانوذرات پروتئین سویا پرداخته شد. حضور نانوذرات پروتئین سویا و صمغ زانتان موجب بهبود پایداری امولسیون پیکرینگ شدند. با توجه به قابلیت و نحوه کاربری این امولسیون‌ها در صنعت غذا بالخص صنعت نانواپی سبب بهبود ویژگی‌های کیفی در محصولات کیک برای مصرف کننده نظیر حجم و تخلخل کیک، استحکام بافت و ماندگاری آن شد. امولسیون پیکرینگ سبب افزایش رطوبت در کیک شد که این افزایش تاثیر مثبتی

References

- اعلمی م، فتحی ب، ۱۳۹۹. بررسی کیفیت کیک بدون گلوتن تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی. شریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران ۱۶(۵)، ۶۰۷-۶۱۹.
- باقری ه، کاشانی نژاد م، ضیایی فر الف. م، و اعلمی م، ۱۳۹۵. ارزیابی پارامترهای رنگی، رطوبت و میزان انرژی مصرفی طی برشته کردن مغز بادام زمینی با استفاده از هوای داغ. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی ۳(۱۱)، ۷۱-۵۹.
- عابدفرع، حسینی نژاد م، و صادقی ع.ر، ۱۳۹۵. عملکرد کشت میکروبی آغازگر جداشده از تخمیر کنترل شده خمیر ترش بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و خصوصیات پوسته نان نیمه حجیم. فصلنامه میکروبیولوژی کاربردی در صنایع غذایی ۲، ۱۵-۲۴.
- عباس زاده ف، اعلمی م، صادقی ماهونک ع.ر، کاشانی نژاد م، ۱۳۹۶. تأثیر کنسانتره پروتئین بادام شیرین و صمغ زانتان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی خمیر و کیک برنجی. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی ۴(۱۵)، ۱۱۸-۱۰۷.
- نظری الف و قره‌خانی م، ۱۴۰۰. تاثیر جایگزینی آرد برنج با آرد ماش خام و جوانه‌زده بر ترکیبات فنولی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان بدون گلوتن. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ۳۱(۲)، ۳۳-۱۷.
- AACC. 2010. Moisture 44-15 and specific volumes 05-10 methods. In. St. Paul, MN, USA: American association of cereal chemists 357 (AACC) international.
- Acosta K, Cavender G, and Kerr, W.L, 2011. Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheat flour. *Journal of Food Quality* 34: 343.351.
- Ashwini A, Jyotsna R, and Indrani, D, 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids* 23: 700-707.
- Bolek S, 2020. Olive stone powder: A potential source of fiber and antioxidant and its effect on the rheological characteristics of biscuit dough and quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 64: 102423.
- Caporaso N, Genovese A, Burke R, Barry-Ryan C, and Sacchi R, 2016. Effect of olive mill wastewater phenolic extract, whey protein isolate and xanthan gum on the behaviour of olive O/W emulsions using response surface methodology. *Food Hydrocolloids* 61: 66-76.
- Chung H.S, Kim J.K, Moon K.D, and Youn K.S, 2014. Changes in color parameters of corn kernels during roasting. *Food Science and Biotechnology* 23(6): 1829-1835.
- Dalev P.G, and Simeonova L.S, 1995. Emulsifying properties of protein-pectin complexes and their use in oil-containing foodstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 68(2): 203-206.
- De la Hera E, Martinez M, Oliete B, and Gómez M, 2012. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. *Food and Bioprocess Technology* 6(9): 2280-2288.

- Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, and Sahin S, 2010. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of food engineering* 101(3): 329-336.
- Ekin M.M, Kutlu N, Meral R, Ceylan Z, and Cavidoglu İ, 2021. A novel nanotechnological strategy for obtaining fat-reduced cookies in bakery industry: Revealing of sensory, physical properties, and fatty acid profile of cookies prepared with oil-based nanoemulsions. *Food Bioscience* 42: 101184.
- Feng X, Sun Y, Yang Y, Zhou X, Cen K, Yu C, and Tang X, 2020. Zein nanoparticle stabilized Pickering emulsion enriched with cinnamon oil and its effects on pound cakes. *LWT* 122: 109025.
- Fu D, Deng S, McClements D.J, Zhou L, Zou L, Yi J, and Liu W, 2019. Encapsulation of β -carotene in wheat gluten nanoparticle-xanthan gum-stabilized Pickering emulsions: Enhancement of carotenoid stability and bioaccessibility. *Food hydrocolloids* 89: 80-89.
- Ghanbarzadeh B, Almasi H and Niknia N, 2013. *Physic and chemistry of food colloidal system and biopolymer solutions*. Sharif University Press.
- Gujral H.S, Guardiola I, Carbonell J.V, and Rosser C.M, 2003. Effect of cyclodextrinase on dough Rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 3814-3818.
- Gularte M.A, Gómez M, and Rosell C.M, 2012. Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. *Food Bioprocess Technology: An International Journal* 5: 3142-3150.
- Jacob J, and Leelavathi K, 2007. Effect of fat-type on cookie dough and cookie quality. *Journal of food Engineering* 79(1): 299-305.
- Kusunose C, Fujii T, and Matsumoto H, 1999. Role of starch granules in controlling expansion of dough during baking. *Cereal chemistry* 76(6): 920-924.
- Liu F, and Tang C.H, 2013. Soy protein nanoparticle aggregates as pickering stabilizers for oil-in-water emulsions. *Journal of agricultural and food chemistry* 61(37): 8888-8898.
- Liu F, and Tang C.H, 2016. Soy glycinin as food-grade Pickering stabilizers: Part. III. Fabrication of gel-like emulsions and their potential as sustained-release delivery systems for β -carotene. *Food Hydrocolloids* 56: 434-444.
- Marco C, and Rosell C.M, 2008. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology* 227(4): 1205-1213.
- McClements D.J, 2004. Protein-stabilized emulsions. *Current opinion in colloid & interface science* 9(5): 305-313.
- McClements D.J, 2007. Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. *Critical reviews in food science and nutrition* 47(7): 611-649.
- Mohammadzadeh H, Koocheki A, Kadkhodae R, and Razavi S.M, 2013. Physical and flow properties of d-limonene-in-water emulsions stabilized with whey protein concentrate and wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food research international* 53(1): 312-318.
- Naji-Tabasi S, Mahdian E, Arianfar A, and Naji-Tabasi S, 2021. Nanoparticles fabrication of soy protein isolate and basil seed gum (*Ocimum bacilicum* L.) complex as pickering stabilizers in emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology* 42(5): 633-640.
- No J, Shin M, and Mun S, 2020. Preparation of functional rice cake by using b-carotene-loaded emulsion powder. *Journal of Food Science and Technology* 57(12): 4514-4523.
- Painter K.A, 1981. Functions and requirements of fats and emulsifiers in prepared cake mixes. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 58(2): 92-95.
- Palou E, Lopez-Malo A, Barbosa-Canovas G, Chanes-Welti J, and Swanson W, 1999. Polyphenoloxidase and colour of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science* 64: 42-45.
- Patel A.R, 2020. Functional and engineered colloids from edible materials for emerging applications in designing the food of the future. *Advanced Functional Materials* 30(18): 1806809.
- Rahmati N.F, and Mazaheri Tehrani M, 2014. Influence of different emulsifiers on characteristics of eggless cake containing soy milk: Modeling of physical and sensory properties by mixture experimental design. *Journal of food science and technology* 51(9): 1697-1710.

- Sadeghi A.R, Ebrahimi M, Mortazavi S.A, and Abedfar, A, 2019. Application of the selected antifungal LAB isolate as a protective starter culture in pan whole-wheat sourdough bread. *Food Control* 95: 298-307.
- Sakiyan O, Sumnu G, and Sahin S, 2004. Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter. *European Food Research and Technology* 1: 635–638.
- Seyhun N, Sumnu G, and Sahin S.E.R.P.İ.L, 2005. Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioproducts Processing* 83(1): 1-5.
- Šmídová Z, and Rysová J, 2022. Gluten-free bread and bakery products technology. *Foods* 11(3): 480
- Turabi E, Sumnu G, and Sahin S, 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food hydrocolloids* 22(2): 305-312.
- Xiao J, Gonzalez A.J.P, and Huang Q, 2016. Kafirin nanoparticles-stabilized Pickering emulsions: Microstructure and rheological behavior. *Food Hydrocolloids* 54: 30-39.
- Xie Y, Lei Y, Rong J, Zhang X, Li J, Chen Y, and Liu S, 2021. Physico-chemical properties of reduced-fat biscuits prepared using O/W cellulose-based pickering emulsion. *LWT* 148: 111745.
- Yang H, Su Z, Meng X, Zhang X, Kennedy J.F, and Liu B, 2020. Fabrication and characterization of Pickering emulsion stabilized by soy protein isolate-chitosan nanoparticles. *Carbohydrate polymers* 247: 116712.
- Zhang J, Liang L, Tian Z, Chen L, and Subirade M, 2012. Preparation and in vitro evaluation of calcium-induced soy protein isolate nanoparticles and their formation mechanism study. *Food Chemistry* 133(2): 390-399.
- Zhang X, Luo X, Wang Y, Li Y, Li B, and Liu S, 2020. Concentrated O/W Pickering emulsions stabilized by soy protein/cellulose nanofibrils: Influence of pH on the emulsification performance. *Food Hydrocolloids* 108: 106025.
- Zhu Y.Q, Chen X, McClements D.J, Zou L, and Liu W, 2018. Pickering-stabilized emulsion gels fabricated from wheat protein nanoparticles: Effect of pH, NaCl and oil content. *Journal of Dispersion Science and Technology* 39(6): 826-835.
- 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.