مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۱ شماره ۴/ سال ۱۴۰۰/ صفحات ۱۲۹ تا ۱۵۳

DOI: 10.22034/FR.2021.41463.1758

بررسی تأثیر صمغ‌های مرو و گوار و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی کیک فنجانی فاقد گلوتن بر پایه آرد بلوط و آرد برنج

ستاره میرحسینی[۱] و هاجر عباسی[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۶

[۱] دانش‌آموخته ارشد کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

[۲] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

[*] مسئول مکاتبات: Email: H.Abbasi@Khuisf.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: بیماران مبتلا به سلیاک به دلیل حساسیت به گلیادین گلوتن باید از مصرف محصولات دارای گلوتن اجتناب کنند. **هدف**: هدف از این پژوهش، تهیه فرمولاسیون بهینه کیک فنجانی بدون گلوتن بر پایه نسبت‌های متفاوت آرد بلوط به آرد برنج (۱۰ تا ۵۰ درصد) است. **روش کار**: در این راستا، تأثیر افزودن نسبت مساوی هیدروکلوئید مرو و گوار (۰/۶٪-۰) وامولسیفایر داتم (۱-۰٪) برمهم‌ترین خصوصیات کیفی محصول شامل ویژگی‌های بافتی (سفتی، ارتجاعیت، پیوستگی)، دانسیته و تخلخل ارزیابی، توسط روش سطح پاسخ مدل‌سازی گردید. سپس ویژگی‌های کیفی نمونه‌های شاهد و منتخب حاصل از مدل، در طول ۱۴ روز مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. همچنین این دو نمونه از نظر خصوصیات حسی با هم مقایسه شدند. **نتایج:** نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سهم آرد بلوط و استفاده از هیدروکلوئیدها در سطوح بالا، باعث افزایش دانسیته و سختی محصول می‌شود، درحالیکه سطوح متوسط این متغیرها بر ویژگی‌های کیفی محصول تاثیر مناسبی دارد. افزودن امولسیفایر داتم نیز افزایش میزان تخلخل محصول را موجب می‌گردد. با درنظر گرفتن ویژگی‌های کیفی محصول و سطوح مطلوبیت به‌دست آمده، دو نمونه بهینه با مقادیر متفاوت از متغیرهای مستقل حاصل شد. مقایسه محصول بهینه با نمونه شاهد در طول مدت نگهداری، نشان‌دهنده‌ی پایداری بیشتر ویژگی‌های بافتی آنها در مقایسه با نمونه شاهد بود که به حفظ رطوبت مواد اولیه و افزودنی‌های فرمولاسیون و کاهش سرعت رتروگراداسیون نشاسته مرتبط می‌باشد. **نتیجه‌گیری نهایی**: درنهایت با درنظرگرفتن همه فاکتورهای کیفی محصول، ۱۶/۶۷٪ نسبت آرد بلوط به آرد برنج، ۰/۱٪ صمغ (نسبت مساوی مرو و گوار) و ۰/۸۳٪ امولسیفایر داتم به لحاظ وجود خصوصیات تغذیه‌ای، ویژگی‌های بافتی و حسی مطلوب و قیمت مناسب، برای تهیه این فرآورده با کیفیت مطلوب معرفی می‌گردد.

واژگان کلیدی: کیک بدون گلوتن، صمغ مرو، صمغ گوار، آرد بلوط، آرد برنج، روش سطح پاسخ

مقدمه

سلیاک بیماری مزمنی است که در اثر دریافت جزء گلیادینی گلوتن موجود در دانه گندم و پرولامین چاودار (سکالین)، جو (هوردئین) و احتمالاً یولاف (آویدین) که دارای ترکیب آمینواسیدی مشابه گلیادین می‌باشند، ایجاد شده و یکی از رایج‌ترین حساسیت‌های غذایی محسوب می‌گردد. در این بیماری خودایمن گوارشی، پرزهای روده کوچک آسیب می‌بینند و به‌صورت پهن و مسطح در می‌آیند (اسمیت۲۰۰۲) که منجر به تخریب ساختمان کرکی روده کوچک شده و ایجاد غشای مخاطی صاف می‌کند که با علائمی نظیر سوء هاضمه شدید، کاهش وزن یا چاق شدن، اسهال، کم‌خونی، خستگی، ادرار کم رنگ و شدید، نفخ شکم و بیماری‌های استخوانی همراه است (هاماکر۲۰۰۸). برای این‌بیماری راه درمانی وجود نداشته و تنها درمان ممکن این است که محصولات حاوی گلوتن به‌طور کامل از رژیم غذایی فرد حذف شده و فرد مبتلا از یک رژیم فاقد گلوتن در تمام عمر استفاده کند (گالاگر و همکاران ۲۰۰٤). بنابراین مطالعه پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به‌ویژه محصولات صنایع پخت که قوت غالب افراد جامعه را تشکیل می‌دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. ازآنجاییکه گلوتن ضروری‌ترین پروتئین سازنده بافت محصولات نانوایی و قنادی است و در ساختمان مغز و ظاهر بسیاری از محصولات آردی تهیه شده از آرد گندم از جمله نان و کیک و ... دخالت دارد، لذا حذف شبکه پروتئینی گلوتن از فرمولاسیون نان و کیک منجر می‌شود تا محصولات بدون گلوتن بافت داخلی ضعیف‌تری داشته باشند و همچنین مقاومت خمیر به عملیات مکانیکی و تغییرات انجام گرفته در فرایند تخمیر کاهش یابد. (پورفرزاد و همکاران ۱۳۹۰ و فرد و همکاران ۱۳۹٦). از این رو پروتئین‌ها، هیدروکلوئیدها و امولسیفایرهای مختلفی به‌منظور بهبود محتوای تغذیه‌ای و خواص فیزیکی محصولات فاقد گلوتن و تقلید از خواص ویسکوالاستیک گلوتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در همین راستا همتیان سورکی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر استفاده از آرد سویا و آرد بلوط بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ارگانولپتیکی کیک بدون گلوتن پرداختند. این محققین اذعان داشتند که استفاده از آرد شاه بلوط در فرمولاسیون کیک سبب تیرگی مغز محصول گردید که از نظر مصرف‌کنندگان قابل پذیرش بود. علاوه بر این استفاده از آرد شاه بلوط میزان تخلخل را افزایش داد درحالی‌که از میزان نرمی بافت محصول نهایی کاست. همچنین دادور (۱۳۹۳) به بررسی امکان تولید کیک بدون گلوتن با استفاده از آرد شاه بلوط، آرد ذرت و صمغ گزانتان پرداختند. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که با افزایش میزان آرد شاه بلوط در فرمولاسیون کیک روغنی بدون گلوتن، میزان تخلخل و مؤلفه رنگی a^* افزایش می‌یابد. آن‌ها درنهایت اذعان داشتند که نمونه حاوی ۷۵ درصد آرد شاه بلوط، ۲۵ درصد آرد ذرت و ۰/٦ درصد صمغ گزانتان بالاترین امتیاز پذیرش‌کلی را از جانب ارزیابان حسی کسب نمود.

میوه بلوط دارای ٥ درصد ماده روغنی، ٦/٥٦ درصد پروتئین، ۷ درصد قندهای مختلف، ۳/٤٤ درصد آمیدون، ۲/۳ درصد پنتوزان ومعادل ۷ درصد از انواع تانن است. میوه بلوط دارای مقادیر قابل توجهی از انواع تانن، گالیک اسید، الاجیک اسید و مشتقات گالویلیا هگزا هیدروکسی دی فنوئیل (از ترکیبات فعال بیولوژیکی با خواص آنتی‌اکسیدانی) است (قادری قهفرخی و همکاران ۱۳۹۱). هیدروکلوئیدهای موجود در بلوط به ویژه (پنتوزان و تانن‌ها) باعث افزایش قوام خمیر در طی مخلوط شدن می‌شوند، هرچند افزایش بیش از حد آن در فرمولاسیون این محصولات کاهش حجم و سفتی بافت را منجر می‌شود. از این ویژگی به ظاهر منفی بلوط میتوان برای تقویت آردهای ضعیف استفاده کرد (پارسایی و گلی ۱۳۹۲).

آرد برنج به‌عنوان یک آرد بدون گلوتن، دارای طعم مطلوب، رنگ سفید، هضم‌پذیری ساده و غیر حساسیت‌زا است و یکی از مناسب‌ترین مواد اولیه در تولید

محصولات بدون گلوتن شناخته می‌شود (فرد و همکاران ۱۳۹۷ و گادالاه و همکاران ۲۰۱۷). مقادیر کم سدیم، عدم حضور گلیادین، وجود کربوهیدرات‌های قابل هضم و قیمت پایین، آن را به غله‌ای مناسب برای بیماران سلیاکی تبدیل ساخته است (گوجرال و همکاران ۲۰۰۳). هرچند پروتئین‌های برنج فاقد خصوصیات الاستیکی و پلاستیکی منحصر به فرد گلوتن گندم که برای فرآورده‌های پخت ضروری محسوب می‌شود، هستند (جولیانو ۱۹۸۵).

به‌منظور ایجاد خواص مهم خمیر نظیر کشش پذیری، مقاومت در برابر کشش، قابلیت اتساع، تحمل به اختلاط و توانایی نگهداری گاز در محصولات بدون گلوتن، می‌بایست از افزودنی‌های مؤثر در این خصوص نظیر هیدروکلوئیدها و امولسیفایرها استفاده نمود (گالاکر و همکاران ۲۰۰٤).

در این پژوهش، از ترکیب آرد بلوط و آرد برنج به عنوان پایه اصلی و مناسب از نظر تغذیه‌ای برای تولید کیک بدون گلوتن استفاده شد. در راستای بهبود ویژگی‌های بافتی محصول پس از بررسی منابع، هیدروکلوئیدهای گوار و مرو و امولسیفایر داتم (*دی استیل* تارتاریک اسیداسترمنوگلیسرید) برگزیده شدند. گوار از نظر ساختمانی از واحدهای β-D- مانوپیرانوزی با پیوندهای ۱ به ٤ تشکیل گردیده است. این هیدروکلوئید در حلال‌های سرد محلول و در غلظت‌های کم، ویسکوزیته زیادی ایجاد می‌کند. موسیلاژ دانه مرو (*Salvia macrosiphon*) نیز با دارا بودن رفتار غیرنیوتنی و شل‌شونده با درجه برش و کم تاثیر نسبت به تغییرات دمایی (بستان ۱۳۸۷) یرای بهبود پارامترهای کیفی محصولات صنایع پخت و نان محسوب مناسب است (اسماعیلی‌فرد و همکاران۲۰۱۷). داتم یک امولسیفایر غیریونی است که به علت ایجاد تغییراتی که در ضخامت دیواره سلولی و کشش بین سطحی فازهای مختلف خمیر ایجاد می‌کند، تاثیرات متعددی در بهبود ویژگی‌های خمیر، نرم‌تر شدن بافت، افزایش حجم مخصوص نان و کند شدن سرعت بیاتی محصول دارد (اکتاویانی و همکاران ۲۰۰۷ و استافر ۱۹۹۳ و هاوت ۲۰۰۰). امولسیفایر داتم موجب افزایش ویسکوزیته، زمان توسعه خمیر، ثبات خمیر، اندیس والوریمتری و افزایش میزان جذب آب در محصول می‌گردد و دمای ژلاتیناسیون را در خمیر کاهش می‌دهد (قیافه داودی و همکاران ۱۳۹۳). در این راستا، به منظور بررسی و مدلسازی تاثیر نسبت آرد بلوط به برنج و بهبوددهنده‌های مورد استفاده و حصول شرایط بهینه بر مبنای ویژگی‌های کیفی محصول، مدل آماری سطح پاسخ مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های منتخب و شاهد نیز از لحاظ ویژگی‌های بافتی، کیفی و تغذیه ای در طول دوره نگهداری بررسی و مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور فرموله کردن کیک فنجانی بدون گلوتن، میوه بلوط از شهر لردگان در چهار محال بختیاری تهیه گردید و لایه سخت بیرونی و لایه دوم آن توسط دستگاه پوست‌گیر سایشی از مغز بلوط جدا شد و مغز آن دو مرتبه و هر بار به مدت ٢٤ ساعت با استفاده از جریان آب ٤٠°C تلخی‌زدایی و سپس آب‌شویی گردید (مولوی و همکاران ۱۳۹۳). در نهایت پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای اتاق، به‌وسیله دستگاه آسیاب غلطکی (آسیاب صنعتی بهار مدل ۸۲۰۰) آسیاب و سپس الک شد تا آرد بلوط حاصل شود. آرد برنج نیز از شرکت آردینه ایران تهیه گردید. سایر مواد مورد نیاز مانند، پودر شکر، وانیل، بکینگ پودر، شیر خشک، پودر آب پنیر، تخم مرغ از سوپرمارکت‌های سطح شهر خریداری شد. صمغ مرو و گوار به‌ترتیب از شرکت ریحان گام پارسیان و شرکت مرالو و امولسیفایر داتم نیز از شرکت فریر تهیه گردید.

بررسی ویژگی‌های کیفی آرد بلوط و آرد برنج

به‌منظور بررسی ویژگی‌های کیفی آرد بلوط و آرد برنج، آزمون‌های شیمیایی شامل رطوبت (استاندارد ملی شماره ۲۷۰۵)، پروتئین (استاندارد ملی شماره ۱۹۰۵۲)،

چربی (استاندارد ملی شماره ۲۸۶۲) ADF و NDF (کرکوندی و میرغفاری، ۱۳۸۵) و خاکستر (استاندارد ملی شماره ۲۷۰۶) بر روی این دو نمونه انجام گرفت.

تولید کیک فنجانی فاقد گلوتن

در جدول ۱ درصد مواد اولیه برای تهیه خمیرکیک بدون گلوتن نشان داده شده است. درکلیه تیمارها و نمونه‌ی شاهد درصد مواد اولیه کیک شامل روغن، پودر شکر، تخم‌مرغ، شیر خشک، پودر آب‌پنیر، بکینگ پودر و وانیل ثابت نگه‌داشته شد. در نمونه شاهد از آرد گندم استفاده گردید و در دیگر تیمارها تغییرات نسبت آرد بلوط و آرد برنج، غلظت امولسیفایر و نسبت هیدروکلوئیدها لحاظ گردید.

به‌منظور تهیه خمیر کیک ابتدا زرده تخم مرغ، پودر شکر و وانیل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۲۸ دور در دقیقه توسط همزن هم‌زده شد. پس‌ازآن روغن و سپس امولسیفایر و صمغ‌های حل شده در آب به مخلوط اضافه گردیدند و به مدت ۵ دقیقه هم‌زده شدند. سپس مخلوط آرد برنج و بلوط پس از سه بار الک کردن به‌صورت تدریجی به مخلوط افزوده و به آرامی با لیسک هم زده شد. در ظرف دیگری سفیده تخم مرغ با سرعت ۵ دور دردقیقه هم زده شد تا فرم کف مانندی حاصل شود و به آرامی به مخلوط افزوده و با استفاده از لیسک با دیگر مواد ترکیب گردید. خمیر در قالب‌های کیک فنجانی ها با وزن‌های یکسان ریخته و در فر (مدل تکنو ساخت کشور ایتالیا) تحت دمای ۱۸۰ °C به مدت ۲۵ دقیقه پخته شد. درنهایت، نمونه‌ها خنک و در ظروف پلی‌اتیلنی مستطیلی شکل بسته‌بندی شدند (شکوئی‌بناب وهمکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۱-مقادیر هر یک از اجزا اولیه در فرمولاسیون محصول

Table 1- the values of ingredients in product formulation

Ingredient	Weight (gr)
The mixture of oar flour and rice flour (ratio 50: 10)	100
hydrocolloids (equal ratio of Sage seed and Guar) DATEM emulsifier	0-0.6
DATEM emulsifier	0-1
Sugar	72
Oil	57
Egg	72
Whey powder	4
Milk powder	2
Baking powder	1.34
Vanilla	0.5
Water	25

ارزیابی ویژگی‌های کیفی کیک بدون گلوتن

رطوبت کیک

محتوای رطوبت موجود در کیک مطابق استاندارد ملی شماره ۲۷۰۵ اندازه‌گیری شد. بدین منظور نمونه‌ها در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت در آون با درجه حرارت ۱۳۰ °C به مدت ۱۲۰ دقیقه قرار گرفتند.

بررسی میزان تخلخل کیک بدون گلوتن

به‌منظورارزیابی میزان تخلخل مغز کیک در فاصله زمانی یک روز پس‌از پخت، از روش پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از مغز کیک تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد. درصد تخلخل بافتی تصویر نمونه‌ها توسط نرم‌افزارImage J مورد ارزیابی قرار گرفت (نقی پور و همکاران۱۳۹۲).

بررسی میزان دانسیته کیک بدون گلوتن

اندازه‌گیری دانسیته محصول با استفاده از روش جابجایی حجم با دانه کلزا مطابق با استاندارد ۲۰۰۰ AACC شماره ۱۰-۷۲ انجام شد (نقی پور۱۳۹۲).

بررسی ویژگی‌های بافتی کیک بدون گلوتن

ارزیابی بافت کیک یک روز پس از پخت، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج SANTAM مدل STM-20 ساخت ایران صورت گرفت. با استفاده از ابزار نمونه‌برداری استوانه‌ای شکل فلزی با قطر داخلی ۲۵ میلی‌متر، نمونه‌هایی با ارتفاع ۳۰ میلی‌متر و قطر ۲۵ میلی‌متر از قسمت مرکزی محصول تهیه شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای فشردن محصول، توسط یک پروب با قطر ٤ سانتی‌متر با سرعت ٦۰ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان شاخص سختی فرآورده اندازه‌گیری گردید. سایر ویژگی‌های بافتی کیک همچون پیوستگی[1] ارتجاعیت[2] و قابلیت جویدن[3] نیز ارزیابی شدند (نقی پور و همکاران۲۰۱۲).

مقایسه ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و کیفی نمونه‌های شاهد (گندم) و منتخب حاصل از مدل

نمونه‌های تهیه‌شده بر مبنی فرمولاسیون بهینه حاصل از مدل‌سازی پارامترها و نمونه شاهد از نظر ویژگی‌های کیفی مورد مقایسه قرار گرفت.

علاوه بر فاکتورهای کیفی مطرح شده در قسمت‌های قبل ازجمله دانسیته و تخلخل، ویژگی‌های شیمیایی محصول ازجمله محتوی پروتئین، چربی و رطوبت مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۵۵۳ ارزیابی گردید. در راستای ارزیابی سرعت بیات شدن و شدت ایجاد تغییرات بافتی در محصول، خصوصیات بافتی آنها در طول ١٤ روز نگهداری در روزهای اول، سوم، پنجم، نهم و چهاردهم ارزیابی شد.

به منظور ارزیابی پراکسید چربی نمونه‌ها، مقدار ٥-٤ گرم از چربی استخراج‌شده از نمونه با ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط اسیداستیک و کلروفرم در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتر ترکیب گردید، سپس ۰/٥ میلی‌لیتر محلول اشباع یدور پتاسیم به آن افزوده و به مدت یک دقیقه در تاریکی قرار داده شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و چند قطره معرف نشاسته اضافه گردید و با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی تیتر گردید. میزان عدد پراکسید مطابق رابطه ۱ محاسبه شد (استاندارد ملی شماره ۳۷).

رابطه [۱]

$$\rho = \frac{1000 \times N \times V}{W}$$

در این رابطه،V حجم تیوسولفات مصرفی (ml)، N نرمالیته تیوسولفات سدیم، W وزن چربی (گرم) و P عدد پراکسید برحسب میلی اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی استخراجی درنظر گرفته می‌شود.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از معرف ۲،۲ دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) انجام شد. برای این منظور ۱۰۰ میکرولیتر عصاره کیک به‌دست آمده با متانول: آب (٦:٤) با ۳ میلی‌لیتر محلول DPPH (۰/۱٦ میلی مولار) مخلوط، به‌شدت هم زده شد و در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری گردید. جذب محلول‌ها در طول موج ٥۱۷ نانومتر اندازه‌گیری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها مطابق رابطه (۲) ارزیابی گردید (کیم و همکاران۲۰۱٥).

رابطه[۲]

$$AA(\%) = [1 - \frac{A\ sample}{Acontrol}] \times 100$$

دراین رابطه، AA بیانگر فعالیت آنتی اکسیدانی (%) و A_{sample} و $A_{control}$ به ترتیب نشانگر جذب نمونه و جذب شاهد در طول موج ٥۱۷ نانومتر است.

مقدار کل ترکیبات فنولیک نمونه‌های منتخب و شاهد با استفاده از معرف فولین اندازه‌گیری شد. به این منظور ٤٥ میلی‌لیتر اتانول ۹٤٪ به ٥ گرم از نمونه افزوده و در دمای اتاق بر لرزاننده‌ای با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. عصاره به‌دست‌آمده به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ٤ °C سانتریفیوژ گردید (۹۹٤ g). ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره، ۰/۲ میلی‌لیتر فولین سیوکالته[4] ۰/٤ میلی‌لیتر ۱۰٪Na2CO3 و ٤ میلی‌لیتر آب مقطر باهم مخلوط و پس‌از ۱ ساعت، جذب محلول در ۷۲۰ نانومتر اندازه‌گیری

1-C hesivness
2-S pinginess
3- chewiness
4- Folin-Ciocalteu

شد. محتوی فنول کل در ۱۰۰ گرم نمونه، بر مبنی میلی‌گرم گالیک اسید به عنوان استاندارد گزارش گردید (آل سید و همکاران۲۰۱۳)

محتوی سدیم و پتاسیم در نمونه‌های منتخب و شاهد مطابق استاندارد ملی شماره ۸۶۹۳، میزان کلسیم مطابق استاندارد شماره ۱۰۷۰۱-۱، سدیم و منزیم مطابق استاندارد شماره ۱۶۷۱٤ و فسفر و آهن به ترتیب با استفاده از استاندارد شماره ۵۱۳ و ۹۲٦٦ برآورد گردید.

پس از گذشت یک روز از فرایند پخت، رنگ نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از نمونه‌ها در اتاقک ذوزنقه‌ای سفید رنگ با استفاده از دوربین پاناسونیک مدل lumixDmc-TZ5 که در فاصله ۳٤/۵ سانتی‌متری نمونه و موازی آن‌ها قرار داشت تصویربرداری شد. برای تامین منبع نور از دو لامپ فلونورسنت با زاویه ٤۵ درجه استفاده شد. نمونه‌ها به فرمت JPEG ذخیره و با استفاده از کارت‌های رنگی رال در فضای رنگی RGB به کمک نرم‌افزار فتوشاپ مورد آنالیز قرار گرفتند. سه پارامتر L* (روشنی نمونه)، a* (قرمزی-سبزی) و b* (زرد-آبی) به کمک این نرم‌افزار اندازه‌گیری شدند (یام ۲۰۰٤ و پدرسچی ۲۰۰٦). اندیس سیری رنگ یا c* که مقیاسی از شدت رنگ نمونه است بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید (یام۲۰۰٤).

رابطه[۳]

$$C^*=[(a^*)^2+(b^*)^2]^{0.5}$$

ضریب قهوه‌ای شدن سطح نمونه‌ها (BI) نیز به کمک رابطه ٤ برآورد گردید.

رابطه[٤]

$$BI = \frac{[(X - 0.31) \times 100]}{0.172}$$

در این رابطه x مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد:

رابطه[۵]

$$X=[(a^*+(1/75L^*)]/[(5/645L^*)+a^*-(3/012b^*)$$

تغییرات رنگ نمونه که شاخصی برای نشان دادن تفاوت رنگ محصول نسبت به نمونه شاهد است با استفاده از رابطه ٦ ارزیابی گردید

رابطه[٦]

$$\Delta E=[(\Delta a^*)^2 +(\Delta L^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ارزیابی حسی نمونه‌های کیک منتخب و شاهد گندم

پس از گذشت ۱۲ ساعت از فرایند پخت محصول، خواص ارگانولیپتیک کیک‌ها (مطلوبیت بافت دهانی، عطر، طعم، رنگ و پذیرش کلی) با استفاده از آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای به‌وسیله ۳۰ ارزیاب باتجربه در زمینه محصولات قنادی مورد بررسی قرار گرفت. در این ارزیابی، شماره ۱ نشان‌دهنده کمترین امتیاز و شماره ۵ نمایانگر بیشترین امتیاز برای صفت مورد ارزیابی بود (طبق روش ۱۵-٤٤ AACC،۱۹۹۹).

تجزیه‌وتحلیل آماری

به‌منظور تعیین فرمولاسیون تیمارها و تجزیه و تحلیل نتایج از روش آماری سطح پاسخ-طرح مرکزی استفاده شد. متغیرهای مستقل شامل نسبت آرد بلوط به آرد برنج (۱۰ تا ۵۰)، میزان صمغ مرو و گوار (۰ تا ۰/٦) و میزان امولسیفایر داتم (۰ تا ۱) درنظر گرفته شد. بدین ترتیب با در نظرگرفتن ٤ نقطه مرکزی ۲۰ تیمار با نسبت متغیرهای مستقل متفاوت به کمک نرم افزار Design-Expert طبق جدول ۲ حاصل شدند.

به‌منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چندجمله‌ای درجه دوم بر داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرارگرفته تا مدل مناسب گزینش گردد.

مقایسه نمونه‌های بهینه و شاهد در غالب طرح کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار SAS صورت گرفت و به‌منظور مقایسه میانگین آن‌ها از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شد.

داده‌های به‌دست‌آمده از آنالیز حسی با استفاده از آنالیز کیفی غیر پارامتریک (کروسکال والیس) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۲- مقادیر متغیرهای مستقل و وابسته در تیمارهای مختلف

Table 2- Dependent and independent variables in different treatments

Treatment No.	The ratio of oak flour to rice flour	hydrocolloids (equal ratio of Sage seed and Guar)	DATEM emulsifier (%)	Hardness (N)	Cohesiveness (-)	Springiness (mm)	Porosity (%)	Density (g/m3)	Moisture (%)
1	30	0.3	0.5	6.6±0.0	0.06±0.05	10.7±0.53	0.18±0.03	0.49±0.03	18.85±1.05
2	10	0.3	0.5	4.35±0.07	0.53±0.15	8.79±1.86	0.13±0.005	0.51±0.02	19.86±0.42
3	30	0.3	0.5	6.65±0.63	0.51±0.06	10.09±0.47	0.16±0.02	0.51±0.04	19.39±0.55
4	30	0.3	0.5	7.35±0.07	0.53±0.007	9.90±0.65	0.13±0.07	0.49±0.04	20.05±0.07
5	50	0.3	0.5	8.6±0.0	0.51±0.01	10.21±0.09	0.16±0.02	0.54±0.04	21.38±1.27
6	43.43	0.1	0.83	5.2±0.42	0.49±0.04	9.41±0.56	0.18±0.03	0.42±0.007	18.66±0.93
7	16.67	0.1	0.83	4.4±0.42	0.59±0.04	9.96±0.32	0.24±0.02	0.46±0.02	19.59±0.01
8	30	0.3	1	6.7±0.14	0.54±0.01	9.69±0.18	0.18±0.04	0.55±0.063	20.49±0.12
9	16.67	0.5	0.17	5.2±0.28	0.54±0.02	9.65±0.04	0.22±0.01	0.56±0.05	19.45±0.07
10	30	0	0.5	2.55±0.07	0.54±0.04	8.50±0.03	0.18±0.09	0.43±0.04	22.86±1.26
11	43.43	0	0.17	7.65±0.49	0.52±0.007	9.86±0.09	0.16±0.02	0.61±0.01	19.07±0.26
12	30	0.3	0	7.9±0.28	0.56±0.007	9.95±0.08	0.24±0.01	0.47±0.06	20.74±0.03
13	16.67	0.1	0.17	5.4±0.28	0.5±0.09	9.76±0. 18	0.18±0.04	0.46±0.02	19.55±0.04
14	16.67	0.5	0.83	6.3±0.28	0.46±0.01	9.28±0.38	0.18±0.0	0.52±0.02	20.70±0.19
15	30	0.3	0.5	6.05±0.21	0.55±0.01	9.26±0.51	0.17±0.03	0.5±0.03	21.28±0.04
16	30	0.3	0.5	6.9±0.28	0.52±-0.03	9.43±0.02	0.2±0.01	0.5±0.02	21.16±0.38
17	30	0.3	05	7.35±0.07	0.46±0.03	9.79±0.35	0.19±0.01	0.55±0.04	19.72±0.14
18	43.43	0.5	0.17	9.3±0.0	0.51±0.01	9.7±0.41	0.23±0.01	0.6±0.02	19.87±0.07
19	43.43	0.5	0.83	8.3±0.14	0.44±0.02	9.42±0.1	0.21±0.008	0.58±0.03	20.19±0.08
20	30	0.6	0.5	9.95±0.35	0.55±0.02	9.77±0.16	0.16±0.003	0.59±0.02	20.73±0.07

نتایج و بحث

آنالیزهای شیمیایی مربوط به آرد برنج و آرد بلوط

ویژگی‌های شیمیایی آرد برنج و آرد بلوط مورد استفاده در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن مطابق با آزمون‌های استاندارد بررسی شد و نتایج آن در جدول ۳ گزارش گردیده است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که آرد بلوط و آرد برنج مصرفی در تولید محصول بدون گلوتن از ویژگی‌های مناسب و در محدوده‌ی استاندارد برخوردار بودند. کمیت ترکیبات ارزیابی شده در این پژوهش با نتایج قادری قهفرخی و همکاران ۱۳۹۰ و زاغیان و همکاران ۱۳۹٦ همخوانی دارد. مقدار پروتئین، خاکستر و رطوبت آرد برنج بیشتر از آرد بلوط ارزیابی شد درحالیکه محتوی فیبر و چربی آرد بلوط بالاتر از آرد برنج برآورد گردید.

ارزیابی و مدل‌سازی تاثیر متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های کیفی محصول

دانسیته

نسبت آرد بلوط به برنج و میزان صمغ مرو و گوار مورد استفاده در فرمولاسیون محصول تاثیر معنی‌داری بر تغییرات دانسیته آن در قالب یک مدل درجه ۲ که ضرایب آن در جدول ٤ آورده شده است، دارد.

تصاویر ۱ (الف و ب)، به ترتیب اثر متقابل سطوح ترکیب آرد مصرفی و صمغ و مقادیر صمغ و امولسیفایر مورد استفاده بر دانسیته محصول فاقد گلوتن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت آرد بلوط به آرد برنج دانسیته با شیب ملایمی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش صمغ مرو و گوار، دانسیته با شیب زیادی افزایش می‌یابد. اما مصرف امولسیفایر کاهش دانسیته محصول را منجر می‌شود. ترکیبات موجود در آرد بلوط خصوصا فیبرها و هیدروکلوئیدهای استفاده شده با سهولت در جذب آب و برقراری اتصال با نشاسته باعث تعویق ژلاتینه‌شدن نشاسته می‌گردند (مجذوبی و همکاران ۲۰۱۵ و صالحی ۲۰۱۹). لذا پیش از سفت شدن و تشکیل بافت، که ژلاتینه شدن نشاسته نقش مهمی را در این خصوص بر عهده دارد، مقدار زیادی از گازهای موجود در خمیر خارج می‌شوند و حجم محصول کاهش می‌یابد (مجذوبی و همکاران ۱۳۸۹، پورفرزاد و همکاران ۱۳۹۰). از طرفی هیدروکلوئیدها در غلظت‌های بالا با افزایش گرانروی خمیر، مانع از اتساع و گسترش مطلوب حباب‌های هوای موجود در خمیر می‌شوند که بدین شکل موجب افزایش دانسیته محصول می‌گردند (زاغیان و همکاران۱۳۹٦). البته افزودن سطح مطلوب هیدروکلوئیدها با ایجاد ویسکوزیته مطلوب در خمیر و ایجاد ساختار شبه گلوتنی، سبب گسترش یکنواخت حباب‌های هوا، تثبیت آن‌ها و جلوگیری از انبساط بیشترشان در مرحله پخت می‌گردد (خاتمی و همکاران ۲۰۱۵ و ایوبی و همکاران ۱۳۸۷). امولسیفایر داتم نیز با تغییر کشش سطحی محیط و تاثیر بر قدرت نگه‌داری هوا، موجب کاهش دانسیته کیک می‌گردد. این امولسیفایر حجم هوای محبوس شده درون بافت را افزایش می‌دهد و منجر به بهبود حجم و بافت نان و به دنبال آن کاهش دانسیته می‌گردد (زمردی و فرامرزی ۱۳۹۹). این نتایج با نتایج پژوهش تورابی و همکاران در سال ۲۰۰۸ و ساهی و الاوا در سال ۲۰۰۳ مطابقت دارد.

تخلخل کیک

نتایج جدول ٤ نشان می‌دهد که اثرات خطی و مجذور نسبت آرد بلوط به آرد برنج و امولسیفایر داتم بر تغییرات تخلخل کیک معنی‌داراست. شکل ۱ت تأثیر سطوح آرد و صمغ مصرفی بر تخلخل و شکل ۱ پ، تأثیر سطوح آرد و امولسیفایر مورد استفاده بر تخلخل در مقادیر متوسط فاکتور سوم رانشان می‌دهد.

با افزایش نسبت آرد بلوط به آرد برنج، میزان تخلخل ابتدا افزایش و در مقادیر بالای نسبت آرد، تخلخل کاهش می‌یابد. با افزایش میزان امولسیفایر داتم نیز روند تغییر تخلخل افزایشی است. صمغ مرو و گوار فقط در مقادیر بالا تاثیر معنی‌دار و کاهنده بر تغییرات تخلخل محصول نشان می‌دهد. با بررسی اثر متقابل سطوح آرد و امواسیفایر مصرفی (شکل ۱ پ)، می‌توان نتیجه گرفت که میزان تخلخل در محدوده مرکزی منحنی و سطوح متوسط مصرف متغیرها تقریبا ثابت و مناسب است. هرچند سطوح

بالای مصرف امولسیفایر موجب کاهش بیشتر تخلخل می‌گردد. همچنین شکل ۱ ت، نشان می‌دهد سطوح بالای مصرف آرد بلوط و هیدروکلوئیدها موجب کاهش تخلخل محصول می‌شود و بالاترین سطح تخلخل در مقادیر متوسط این دو متغیر مشاهده می‌شود.

میزان تخلخل بافت کیک به پایداری سلول‌های گازی در خمیر و جلوگیری از به هم‌پیوستگی آن‌ها و همچنین به‌اندازه یکنواخت حباب‌های گازی در محصول بستگی دارد (راتنایاک و همکاران ۲۰۱۸). اگر ویسکوزیته خمیر پایین باشد، خمیر قادر به نگهداری حباب‌های به دام افتاده نخواهد بود و این حباب‌ها به‌راحتی به سطح آمده و در اثر حرارت پخت از بین می‌روند و به این صورت تخلخل کیک کاهش پیدا می‌کند (مختاری و همکاران ۱۳۹۷). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در سطوح بالای صمغ مصرفی به دلیل ایجاد ویسکوزیته زیاد خمیر امکان توزیع یکنواخت و افزایش حجم سلول‌های گازی و به تبع آن تخلخل محصول کاهش می‌یابد (آوازسوفیان و همکاران۲۰۱٤). صحرائیان و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثر صمغ بالنگوشیرازی بر تخلخل نان بدون گلوتن سورگم به این نتیجه رسیدند که مصرف بالای این هیدروکلوئید (۱ درصد)، تخلخل نان را کاهش می‌دهد که علت این امر، اختلال در فرایند تخمیر و کاهش تعداد سلول‌های گازی درنتیجه افزایش بیش‌ازحد جذب آب ذکر شده است. با به‌کارگیری امولسیفایر و کاهش کشش بین‌سطحی فاز مایع خمیر، حباب‌های هوا در اندازه کوچک و به‌صورت یکنواخت در تمام قسمت‌های خمیر منتشر خواهند شد و در طول زمان پخت خروج هوا از این حباب‌ها به شکل مناسبی رخ می‌دهد که درنتیجه کیک حاصل از تخلخل مناسبی برخوردار خواهد بود (ساکیان و همکاران۲۰۰٤)

جدول ۳- ترکیب شیمیایی آرد بلوط و آرد برنج (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک)

Table 3- chemical composition of oak flour and rice flour (gr/100gr of dry matter)

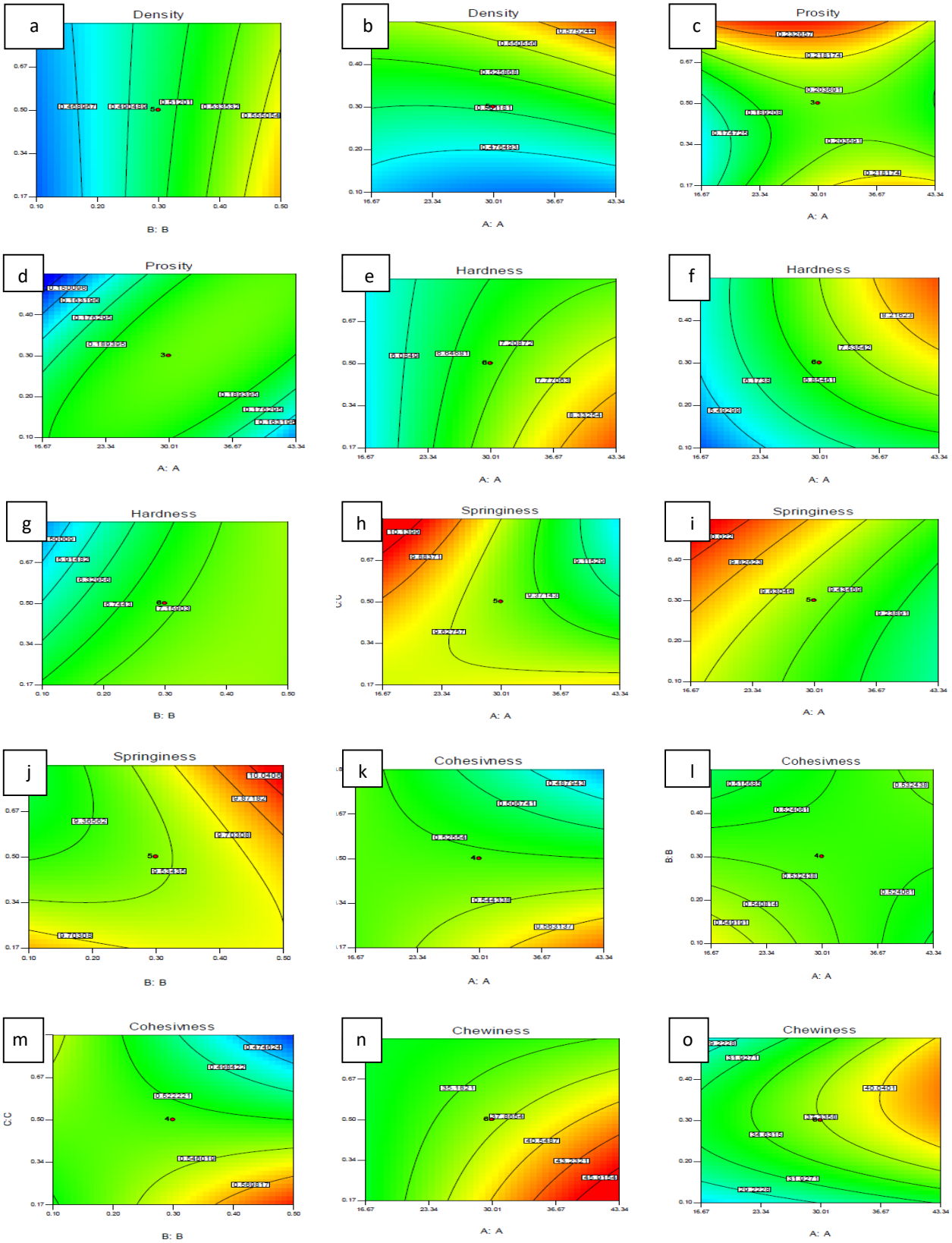
Sample	Insoluble fiber in Acid detergent	Insoluble fiber in neutral detergent	Protein	Fat	Ash	Moisture
Oat flour	5.87±0.08	11.9±0.42	4.11±0.1	8.9±0.35	0.6±0.0	7.01±0.02
Rice flour	3.17±0.05	2.17±0.03	11.74±0.0	1.6±0.72	0.75±0.07	8.7±0.11

جدول۴- ضرایب مدل‌های برازش یافته بر خصوصیات بافتی و فیزیکی کیک فنجانی بدون گلوتن

Table 4- the coefficients of developed models to the textural and physical properties of gluten free cup cake.

Coefficient	Density(g/m^3)	Porosity (%)	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness (mm)
β_0	$+0.50^{***}$	$+0.20^{***}$	$+7.06^{***}$	$+0.53^{***}$	$+9.50^{***}$
β_1	$+0.011^{***}$	$+9.2\times10^{-3*}$	$+1.24^{***}$	-3.44×10^{-3ns}	-0.36^{***}
β_2	$+0.056^{***}$	-3.2×10^{-3ns}	$+0.81^{***}$	-6.7×10^{-3ns}	$+0.22^{***}$
β_3	-3.7×10^{-3ns}	$+0.016^{**}$	-0.41^{**}	-0.028^{***}	-0.030^{**}
β_{12}	$+0.016^{***}$	$+0.029^{***}$	$+0.38^{*}$	$+0.018^{*}$	-0.051^{**}
β_{13}		-0.019^{**}	-0.44^{**}	-0.028^{***}	-0.41^{***}
β_{23}	$-8.7\times10^{-3**}$		$+0.44^{**}$	-0.043^{***}	$+0.28^{***}$
β_{11}	$+8.94\times10^{-3**}$	-0.021^{***}	-0.27^{ns}		
β_{22}	$+4.3\times10^{-3**}$	-0.014^{**}	-0.33^{ns}		$+0.76^{***}$
β_{33}		$+0.029^{***}$			$+0.15^{***}$
R^2	0.9957	0.9629	0.9713	0.9587	0.9951
Lack of fit	0.7402	0.584	0.5842	0.7734	0.7063

B_1: constant coefficient, β_2: ratio of oak flour to rice flour, β_3 : DATEM emulsifier and ns: no significant effect
*,**,***: significance effects in 95%, 99% and 99.9% levels, res
pectively



شکل ۱- اثر متقابل متغیرهای پژوهش بر میزان دانسیته (الف، ب)، تخلخل (پ، ت)، سختی (ث، ج، چ)، ارتجاعیت (ح، خ، د)، پیوستگی (ذ، ر، ز) و قابلیت جویدن (ه، و) محصول.(A: نسبت آرد بلوط به آرد برنج، B: صمغ گوار و مرو، C: امولسیفایر داتم)

Figure 1- the interaction of variables on density (a & b), porosity (c & d), hardness (e, f & g), springiness (h, I & j), cohesiveness (k, l & m) and chewiness (n & o) of the product.A: the ratio of oak flour to rice glour, B: hydrocolloids Sage seed and Guar and C: DATEM emulsifier

ویژگی‌های بافتی کیک روغنی فاقد گلوتن

سختی

سختی کیک بیانگر حداکثر نیروی مورد نیاز جهت فشرده شدن نمونه‌ها است. مطابق جدول ٤، تأثیر مستقل و متقابل متغیرها بر سختی محصول معنی‌دار است. مطابق با نتایج آنالیز واریانس، با افزایش میزان نسبت آرد بلوط و همچنین افزایش میزان صمغ گوار و مرو، سختی افزایش پیداکرده است. درحالی‌که افزایش سطح امولسیفایر داتم باعث کاهش ملایم سختی محصول می‌گردد. تأثیر سطوح نسبت آرد و هیدروکلوئید بر سختی محصول در شکل ۱ج نیز نشان از افزایش سختی محصول با افزایش همزمان سهم آرد بلوط و غلظت هیدروکلوئید را دارد. آرد بلـوط حاوی مقادیر نسبتاً بالای فیبرهای غذایی خصوصاً فیـبرهای نـامحلول است. فیبرهای نامحلول به دلیل توانایی جذب آب پایین، موجب کاهش حجم و افزایش سفتی بافت محصول می‌گردند (همتیان سورکی و همکاران ۱۳۹۲). مطابق با یافته‌های مجذوبی و همکاران (۱۳۹۲)، سفتی بافت در نمونه‌ها با گذشت زمان در اثر پدیده بیاتی افزایش می‌یابد که شدت آن در مورد نمونه‌های حاوی درصدهای بالاتر آرد بلوط بیشتر است. صمغ‌ها نیز با افزایش ویسکوزیته مایع خمیر، موجب تقویت استحکام دیواره سلول‌های گازی موجود در محصول و افزایش مقاومت کیک در برابر فشار وارد شده توسط پروب دستگاه بافت سنج در سطوح بالای مصرف هیدروکلوئید می‌شوند (آروزارنا و همکاران ۲۰۰۱). در این راستا، ترابی و همکاران در سال ۲۰۰۸ گزارش کردند که مخلوط صمغ زانتان-گوار بدون وجود امولسیفایر موجب افزایش سفتی بافت کیک به دلیل ضخیم شدن دیواره‌های اطراف حباب‌های هوای موجود در مغز کیک می‌گردد. مور و همکاران نیز در سال ۲۰۰۷ با بررسی اثر گوار و پکتین در کیک بدون گلوتن گزارش کردند کـه بافت مغز نان حاوی گوار نسبت به محصول دارای پکتین در طی نگهداری سفت‌تر است. این مشاهده به ظرفیت بالای نگهداری آب گوار در مرحله تهیه خمیر نسبت داده می‌شود که هنگـام پخـت آزادشده و موجبات ژلاتیناسیون راحت‌تر نشاسته را فراهم می‌کند. خروج رشته‌های آمیلوز و به دنبال آن آمیلوپکتین از گرانول‌های نشاسته در هنگام پخت در حین فرایند ژلاتیناسیون، موجبات اتصال این زنجیره‌ها، رتروگراداسیون نشاسته و درنهایت سفتی بافت مغز نان را فراهم می‌کند (صالحی فر و همکاران ۱۳۸۸)

اثر متقابل نسبت آرد و امولسیفایر بر سختی محصول در شکل ۱ث نشان می‌دهد که افزایش سهم آرد بلوط تاثیر چمشگیری بر افزایش سختی بافت محصول دارد، به نحوی‌که تاثیر امولسیفایرها در کاهش کشش سطحی و بهبود پخش‌پذیری فاز چربی، تاثیر چندانی در حفظ نرمی بافت خصوصا در سطوح بالای آرد بلوط ایجاد نمی‌کند. درحالیکه، بررسی تأثیر متقابل سطوح هیدروکلوئید و امولسیفایر داتم بر سختی محصول در شکل ۱ چ نشان می‌دهد که اگرچه افزایش همزمان هیدروکلوئید و امولسیفایر موجب افزایش سختی محصول می‌شود ولی به کارگیری سطوح مناسب امولیسفایر در کاهش روند این سرعت افزایش بسیار مؤثر است.

ارتجاعیت

ارتجاعیت، بیانگر توانایی نمونه برای بازگشت به حالت اولیه پس از حذف نیروی اعمال شده بر آن است. با توجه به نتایج آنالیز واریانس ارائه شده در جدول ٤، اثرات خطی و متقابل سهم آرد، درصد هیدروکلوئید و امولسیفایر و مجذور غلظت امولسیفایر و هیدروکلوئید مصرفی رابطه معنی‌داری با تغییرات ارتجاعیت محصول دارند. در این میان، سهم هیدروکلوئید و امولسیفایر

خصوصا در سطوح بالا و اثر متقابل این دو متغیر موجب افزایش ارتجاعیت بافت کیک می‌شود.

اثر متقابل متغیرها در شکل ۱ ح و خ نشان می‌دهند که افزایش سهم آرد بلوط همزمان با افزایش سطح دو متغیر مستقل دیگر همچنان موجب کاهش ارتجاعیت بافت محصول می‌شوند. هرچند سطح امولسیفایر و هیدروکلوئید مصرفی بر حفظ ارتجاعیت بافت محصول بسیار مؤثر است. افزایش بیش ازحد ویسکوزیته خمیر در اثر وجود ترکیبات فیبری موجود در آرد بلوط و خصوصیات جذب آب آنها و همچنین عدم توانایی ایجاد شبکه و حفظ گاز توسط پروتئین‌های موجود در این آرد، از دلایل کاهش ارتجاعیت محصول تولید شده با افزایش درصد آرد بلوط موجود در فرمولاسیون نمونه است (دلاهرا و همکاران ۲۰۱۳). نتایج مشابهی نیز از تاثیر آرد بلوط بر کاهش ارتجاعیت بافت نان باگت به‌دلیل متراکم شدن بافت محصول توسط یزدان پناه و همکاران در سال ۱۳۹۲ گزارش شده است. مطابق با یافته‌های مجذوبی و همکاران (۱۳۹۲) نیز، با افزایش غلظت آرد بلوط در نان بربری، قابلیت تخمیر خمیر و میزان گاز کربنیک باقی مانده در خمیر به دلیل کاهش مقدار گلوتن و یا اختلال در تشکیل آن کاهش می‌یابد که منجر به کاهش ارتفاع محصول پس از پخت و به دنبال آن کاهش ارتجاعیت محصول می‌گردد. نتایج مختاری و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیانگر آنست که با بالا رفتن درصد آرد شاه بلوط در خمیر کیک، ویسکوزیته خمیر افزایش می‌یابد و این امر سهولت نفوذ هوا در حین هم زدن و نهایتا حجم محصول را کاهش می‌دهد. قابل ذکر است که اثر متقابل امولسیفایر و هیدروکلوئید بر تغییرات ارتجاعیت، مثبت و معنی‌دار ارزیابی شد. قابلیت جذب آب و تشکیل شبکه ژل مانند هیدروکلوئیدها به دلیل ماهیت هیدروفیلیک این پلیمرها، موجبات افزایش ارتجاعیت بافت محصول را فراهم می‌کند (ابراهیم پور و همکاران ۱۳۸۹). زاغیان و همکاران در سال ۱۳۹٦ نیز با بررسی تأثیر کر بوکسی متیل سلولز، زانتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیک فنجانی بدون گلوتن بر پایه نشاسته برنج و اکارا به این نتیجه رسیدند که افزودن امولسیفایر داتم در سطح مناسب با تغییر ویژگی‌های فاز محلول در بهبود ارتجاعیت محصول نقش مؤثری دارد. هرچند افزایش بیش از اندازه غلظت این امولسیفایر به‌واسطه کاهش بیش‌ازحد کشش سطحی، موجب ناپایداری و از بین رفتن حباب‌های ایجادشده در خمیر می‌شود که این امر منجر به کاهش حجم و ارتجاعیت محصول می‌گردد.

پیوستگی

پیوستگی بافت محصول بیانگر مقاومت درونی ساختار ماده غذایی نسبت به نیروی وارده بر آن است. نتایج جدول ٤ نشان می‌دهد که در میان پارامترهای مدل درجه دوم برازش یافته، تنها اثر متقابل نسبت آرد بلوط و هیدروکلوئید فرمولاسیون تاثیر افزاینده معنی‌دار در پیوستگی بافت محصول دارد. مطابق شکل۱ر، صمغ گوار و مرو با افزایش ویسکوزیته در خمیر، امکان احتباس حباب‌های گازی و چسبندگی داخل بافتی را به شکل مطلوب‌تری فراهم می‌کند. شکل ۱ذ، تأثیر سطوح آرد و امولسیفایر را بر پیوستگی در مقدار B ۰/۳ نشان می‌دهد. با افزایش نسبت آرد بلوط به برنج در مقادیر کم امولسیفایر داتم، پیوستگی بافت محصول افزایش می‌یابد و در مقادیر بالای امولسیفایر داتم پیوستگی کاهش می‌یابد. در واقع امولسیفایرها با کاهش کشش سطحی محیط به بهبود امکان ایجاد حباب‌های هوا در خمیر کمک می‌کنند. هرچند افزایش غلظت بیشتر سورفکتانت‌های کم وزن به واسطه کاهش بیش از حد کشش سطحی باعث ناپایداری و از بین رفتن حباب‌های هوا و کاهش پیوستگی بافت می‌شود (زاغیان و همکاران ۱۳۹٦). شکل۱ ز نیز، تأثیر سطوح صمغ و امولسیفایر را بر پیوستگی در مقدار A ۳۰ نشان می‌دهد. بدترین شرایط آزمایش با در نظر گرفتن پارامتر پیوستگی (پیوستگی کم) مربوط به محدوده بالای صمغ مرو و گوارو میزان بالای امولسیفایر داتم است. درحالی‌که در مقادیر کم

امولسیفایر داتم با افزایش صمغ پیوستگی افزایش می‌یابد.

بهینه‌سازی فرمول و اعتبار سنجی مدل

بهینه‌سازی مدل بر اساس مهم‌ترین پارامترهای کیفی کیک ازجمله دانسیته، تخلخل، سختی، پیوستگی و ارتجاعیت بافت محصول صورت گرفت. بر اساس نتایج، دو نقطه بهینه که در حالت اول سطح آرد بلوط به آرد برنج ۱۶/۶۷٪ ، مقدار هیدروکلوئید ۰/۱٪ و امولسیفایر داتم ۰/۸۳٪ و در حالت دوم سطح آرد بلوط به آرد برنج ۲۷٪/۷۶، هیدروکلوئید ۰/۱٪ و امولسیفایر ۰/۸۳٪ می‌باشد معرفی شدند. به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های حاصل، نمونه موردنظر با سطوح بهینه متغیرهای مستقل تولید و فاکتورهای کیفی آن توسط روش‌های آزمایشگاهی بررسی و درصد خطای مدل‌ها محاسبه گردید. نتایج ویژگی‌های کیفی نمونه‌های تهیه شده و پیش‌بینی شده توسط مدل و درصد خطای به‌دست‌آمده از هر ویژگی در جدول ۵ آورده شده است. خطای مدل در اغلب پارامترهای مورد بررسی، کمتر از ۱۰٪ و درحد قابل قبول بود که نشان از عملکرد مناسب مدل‌های برازش یافته در پیش‌بینی پارامترهای کیفی محصول است.

جدول ۵- بررسی صحت مدل‌های حاصل شده با استفاده از روش سطح پاسخ

Table 5- evaluation of developed models accuracy using response surface methodology

	Parameters	real	predicted	Error percentage
Optimal No. 1	Hardness (N)	4.40	4.60	4.5
	Cohesiveness	0.39	0.42	7.69
	Elasticity	8.8	9.91	12.61
	Density (g/cm^3)	0.43	0.47	0.93
	Porosity	0.23	0.25	8.69
Optimal No. 2	Hardness (N)	4.56	5.00	0.96
	Cohesiveness	0.41	0.56	3.65
	Elasticity	9.15	9.31	0.17
	Density (g/cm^3)	0.475	0.45	4.2
	Porosity	0.23	0.25	8.69

بررسی و مقایسه ویژگی‌های شیمیایی و بافتی دو نمونه فاقد گلوتن و شاهد

میزان املاح موجود در نمونه‌های بهینه و شاهد در جدول٦ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، محتوی منیزیم و فسفر و آهن در هر دو نمونه‌ی منتخب به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است. این در حالی است که میزان سدیم موجود در نمونه شاهد بیش از دو نمونه بهینه است. محتوی کلسیم نمونه بهینه ۱ که حاوی آرد برنج بیشتری است، بیش از دو نمونه دیگر است (جدول ٦). پس به‌طورکلی محتوی املاح کلسیم، منیزیم، فسفر و آهن در نمونه‌های بدون گلوتن بیشتر از نمونه شاهد است که ناشی از وجود آرد بلوط و برنج در فرمولاسیون این نمونه است. به‌طورکلی بلوط موجود در نمونه‌های بهینه، میوه‌ای غنی ازنظر املاحی چون کلسیم، پتاسیم، فسفر و منیزیم است.

همچنین این میوه دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای از عناصر آهن و مس است که مصرف آن برای درمان کم‌خونی توصیه می‌شود (پارسایی وگلی۱۳۹۲). بر اساس تحقیقی که ایران منش و جهانبازی گوجانی در سال ۱۳۹۵ بر میوه بلوط ایرانی انجام دادند گزارش دادند که میوه بلوط حاوی پتاسیم (۰/٦۱ درصد)، کلسیم (۰/٤۹ درصد)، منیزیم (۰/۱ درصد)، فسفر (۰/۱٦ درصد)، آهن (۰/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مس (۱۳/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و روی (۱۵/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد محتوی رطوبت نمونه‌های بدون گلوتن و شاهد اختلاف معنی‌داری باهم دارند. ترکیبات فرمولاسیون اولیه و افزودنی‌های مورد استفاده خصوصا نوع و مقدار هیدروکلوئیدهای مصرفی به منظور تشکیل ساختار شبه‌گلوتنی در خمیر، دلیل اصلی مشاهدات حاضر است. قاسمی زاده و همکاران (۱۳۹۵) با بهینه‌سازی فرمول نان بدون گلوتن حاصل از آرد کینوا، ذرت و برنج گزارش دادند که با اضافه کردن آرد کینوا و صمغ زانتان به فرمولاسیون نان، رطوبت محصول افزایش می‌یابد.

محتوی پروتئین نمونه شاهد نیز با توجه به محتوای پروتئینی بالای آرد گندم در مقایسه با آرد بلوط و برنج به‌طور معنی‌داری بیش از دو نمونه بهینه ارزیابی شد و مقایسه میان دو نمونه بهینه نیز نشان داد که درصد پروتئین نمونه ۱ که حاوی آرد برنج بیشتری است بالاتر از نمونه دیگر است. اختلاف معنی‌داری میان نمونه‌ها در خصوص محتوی چربی و عدد پراکسید مشاهده نشد. این در حالی است که فعالیت بازدارندگی DPPH و محتوی ترکیبات فنولیک در نمونه‌های بهینه خصوصا نمونه بهینه ۲ که حاوی آرد بلوط بیشتری است در مقایسه با نمونه شاهد بالاتر است که به بالاتر بودن این دسته از ترکیبات در آرد موردنظر مربوط می‌باشد. نتایج این بخش از پژوهش ما با یافته های حاصل شده توسط لی و کانگ (۲۰۱۸) نیز همخوانی دارد. امروزه یکی از بهترین منابع آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، ترکیبات فنلی گیاهان می‌باشند. آنتی اکسیدان‌های پلی‌فنلی یک گروه ویژه از متابولیت-های ثانویه را تشکیل می‌دهند که نقش مهمی در حفاظت بافت‌ها در مقابل اثرات اکسیدکنندگی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر گونه‌های فعال ایفا می‌کنند. مصرف غلات با درصد ترکیبات فنولی بالاتر اهمیت بسزایی در جلوگیری از بیماریهای مزمن دارند (سپهری‌فر و حسنلو ۱۳۸۸). درصد تخلخل نمونه‌های بهینه نیز به‌صورت معنی‌داری بیش از نمونه شاهد است. افزایش تخلخل محصولات صنایع پخت، به کاهش اندازه و افزایش تعداد سلول‌های گازی و توزیع یکنواخت آن‌ها در بافت محصول نهایی مرتبط است و هر عاملی که بتواند بر کاهش اندازه حبابچه‌ها و افزایش تعداد آن‌ها و از طرفی پخش یکنواخت سلول‌های گازی مؤثر واقع شود، نقش کلیدی بر افزایش تخلخل خواهد داشت (زیوبرو و همکاران۲۰۱۲). همتیان و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تأثیر آرد بلوط و سویا در کیک بدون گلوتن نتایج مشابهی مبنی بر افزایش میزان تخلخل محصول نهایی با افزایش سهم آرد بلوط را گزارش کردند.

مطابق نتایج جدول٦، میزان روشنایی (*L) و زردی (*b) و اندیس سیری رنگ (*c) در پوسته کیک نمونه شاهد به‌صورت معنی‌داری بیش از نمونه‌های بهینه‌شده است. شدت قرمزی (*a) نمونه بهینه ۲ به دلیل داشتن آرد بلوط به‌صورت معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد و نمونه بهینه ۱ است. در حالی که با افزایش آرد بلوط در نمونه بهینه ۲، مولفه *b کاهش یافته چون رنگ آرد بلوط تیره است و شباهتی به رنگ زرد ندارد (همتیان سورکی،۱۳۹۲) همچنین کاهش مولفه *b را می توان به وجود صمغ مرو در نمونه نسبت داد (اسماعیلی فرد و همکاران ۲۰۱۷)

کمیت مؤلفه *L در پوسته، تحت تأثیر خصوصیات سطحی (به لحاظ چروکیدگی و یا یکنواختی سطح) نمونه‌های تولیدی است و سطوح صاف نسبت به چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش *L دارند (دادور و همکاران۱۳۹٦). از سوی دیگر با افزایش مقدار صمغ درفرمولاسیون نمونه‌ها، همگام با کاهش سرعت خروج رطوبت، میزان روشنایی پوسته کیک کاهش می یا بد (زاغ یان و هم کاران۱۳۹٦). به علاوه امولسیفایر داتم با نرم‌تر نمودن خمیر و ایجاد صافی کمتر در سطح پوسته (چین دار کردن سطح نان) موجب کمتر شدن روشنایی سطح نمونه ها در مقایسه با نمونه شاهد می‌شوند (باقرزاده و همکاران ۱۳۹۷). نتایج بررسی اثر صمغ گزانتان و گوار بر مؤلفه *L سطح پوسته کیک روغنی بدون گلوتن سورگوم در پژوهش نقی پور و همکاران در سال ۱۳۹۲ با نتایج حاصل

مطابقت نشـــان داد. دادور و همکاران (۱۳۹٦) نیز نتایج مشابهی در این خصوص مبنی بر کاهش روشنایی (L*) و افزایش قرمزی ســـطح (a*) محصـــول در اثر افزایش میزان آرد بلوط در فرمولاســـیون کیک بدون گلوتن را گزارش نمودند. حجتی و آتش‌زبان در سال ۱۳۹٤ نیز با بررسی تاثیر افزودن آرد بلوط به نان باگت نشان دادند که افزودن آرد بلوط باعث افزایش فاکتور قرمزی یا همان a* در محصـــول می‌شـــود. با توجه به نتایج ارائه شـــده در جدول ٦، اختلاف معنی‌داری بین نمونه های منتخب و شاهد از نظر ضریب قهوه‌ای شدن پوسته کیک در نمونه‌های مورد بررســـی وجود ندارد. به طورکلی وجود صـمغ‌ها و امولسـیفایر با حفظ رطوبت و ممانعت از خروج آب محصول در حین پخت از ایجاد تغییرات در ســـطح پوســـته جلوگیری می‌کنند (نقی پور و همکاران ۱۳۹۲) .

مقایسه رنگ مغز نمونه‌ها نشان می‌دهد که پارامتر روشنایی (L*) در مغز نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو نمونه بهینه است، ولی بین دو نمونه از این نظر تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. شدت زردی رنگ (b*) و همچنین ضریب قهوه ای شدن نمونه بهینه با آرد بلوط (خصوصا نمونه بهینه ۲)، به طور معنی داری بالاتر از نمونه شاهد است. علت این امر به وجود کروستین آرد بلوط که یکی از انواع کاروتنوئیدهای محلول در آب است نسبت داده می‌شود (ضیایی‌فر و همکاران ۱۳۹۷). نظر به وجود محتوی رطوبت بالا در مغز محصول، واکنش‌های حرارتی تاثیر چندانی بر تغییرات رنگ مغز محصول ندارد و تغییرات رنگ به ترکیبات رنگی متفاوت موجود در مواد اولیه فرمولاسیون نسبت داده می‌شود (نقی پور و همکاران ۱۳۹۲

بیاتی نان مربوط به تغییراتی است که پس از پخت در نان رخ می‌دهد و عوامل متعددی در آن موثر می‌باشند. رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش مقدار رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی و ساختار ماکروسکوپی مغز در فرایند بیاتی نقش به سزایی دارند (لشکری و همکاران ۱۳۹۱). بررسی روند بیات شدن در محصول نشان می‌دهد که افزایش سختی باگذشت زمان در نمونه شاهد بیش از نمونه‌های بهینه است. خصوصا افزایش سختی در بهینه اول پس از ۱٤ روز نگهداری با سرعت بسیار کمتری در مقایسه با سایرین رخ می‌دهد و دارای ثبات بهتری است. درواقع وجود صمغ و امولسیفایر در فرمولاسیون نمونه‌های منتخب ۱ و ۲ تا حدود زیادی مانع از خروج سریع رطوبت طی زمان نگهداری گردیده است و به این صورت سفتی بافت با شیب ملایمی افزایش می‌یابد. علت اصلی بیات شدن یا سفت شدن بافت محصولات، مهاجرت آسان رطوبت از مغز آنها به سمت پوسته و کاهش محتوی آن در محصول است که وجود ترکیبات جذب کننده آب در آرد پایه تاحدودی این مشکل را مرتفع می‌سازند (لاینز و همکاران ۲۰۰۸). هیدروکلوئیدها نیز با قدرت جذب آب بالا از خروج رطوبت از بافت محصول جلوگیری و روند بیاتی را به تأخیرمی‌اندازد (میرزایی و موحد ۱۳۹۰). امولسیفایر نیز از بخش غیرقطبی مولکول خود به داخل مارپیچ زنجیره آمیلوز وارد و با جلوگیری از ایجاد پیوندهای هیدروژنی میان زنجیره‌های مختلف آمیلوز، از تجمع و متراکم شدن زنجیره‌های آمیلوز و بیاتی محصول جلوگیری می‌کند (ترابی زاده ۱۳۸۱). البته شایان ذکر است که با توجه به عدم وجود شبکه گلوتنی در محصولات بدون گلوتن، احتمال ایجاد اتصال میان زنجیره‌های نشاسته و بیاتی محصول بیشتر است (زاغیان و همکاران ۱۳۹٦). در این راستا مجذوبی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که شدت بیات شدن محصول در نان‌های حاوی درصدهای بیشتر آرد بلوط، بیشتر است. به‌نظر می‌رسد نقش چربی و هیدروکلوییدهای موجود در آرد بلوط در کاهش بیاتی و سفتی نان حاصل، جبران کننده سفتی بافت ناشی از کاهش مقدار گلوتن نیست. ارتجاعیت بافتی نشان‌دهنده میزان بازگشت ماده غذایی به حالت اولیه میان مرحله جویدن اولیه و ثانویه است (مجذوبی و همکاران۲۰۱٤).

همان‌طور که در شکل ۲ ب مشاهده می‌شود، ارتجاعیت نمونه شاهد از روزهای اول تا چهاردهم به‌صورت معنی‌داری کاهش‌یافته است، درحالی‌که در نمونه‌های بهینه ۱ و ۲ میزان ارتجاعیت تقریباً در طول دوره نگهداری ثابت است و اختلاف معنی‌داری نیز میان دو نمونه از این حیث مشاهده نمی‌شود. بنابراین، سرعت کاهش ارتجاعیت درنمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کمتر است. بهبود نگهداری رطوبت و پیوستگی بافتی محصول و کاهش سرعت بیاتی بافت به‌واسطه وجود صمغ‌ها و امولسیفایر موجود در کیک بهینه عوامل اصلی حفظ ارتجاعیت بافت نمونه در طی دوره نگهداری است (زاغیان و همکاران۱۳۹٦). مینارو و همکاران (۲۰۱۲) نان بدون گلوتن حاوی آرد سویا را دارای بیشترین و محصول دارای آرد نخود را دارای کمترین میزان ارتجاعیت معرفی نمودند. پیوستگی، میزان فروپاشیده شدن ماده غذایی تحت تاثیر اعمال یک نیروی مکانیکی را نشان می‌دهد (مجذوبی و همکاران ۲۰۱٤). هرچند بیشترین پیوستگی و قابلیت جویدن در روز اول و در نمونه شاهد مشاهده گردید، ولی با گذشت زمان این پارامتر به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۲ پ و ت). این در حالی است که پیوستگی و قابلیت جویدن نمونه‌های بهینه روند نسبتا ثابتی را تا آخر دوره نگهداری حفظ نمودند. با افزایش درصد آرد بلوط در نمونه بهینه، به دلیل جذب آب بالا، کاهش جاذبه بین‌مولکولی، پیوستگی بافت محصول کاهش می‌یابد. به‌دلیل عدم وجود شبکه گلوتنی در محصولات بدون گلوتن، تخلخل و پیوستگی بافت در حد مطلوب ایجاد نمی‌گردد. کمتر بودن قابلیت جویدن نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد نیز به کمتر بودن پیوستگی و ارتجاعیت در نمونه‌های بهینه مربوط است. (آقا اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۹) دالیویرا پلیو همکاران (۲۰۱۵) با جایگزینی کامل آرد کم‌چربی بارو (بادام برزیلی) با آرد گندم در کیک بدون گلوتن نشان دادند که این جایگزینی باعث افزایش سفتی و کاهش پیوستگی نمونه‌ها می‌شود. هرچند افزودن هیدروکلوئیدها به محصولات فاقد گلوتن ازجمله کیک تا حدی قوام و ویسکوزیته خمیر را افزایش و پیوستگی بافت محصول را بهبود می‌دهد (هراواتی ۲۰۱۸).

بررسی ویژگی‌های حسی کیک بهینه بدون گلوتن و نمونه شاهد گندم

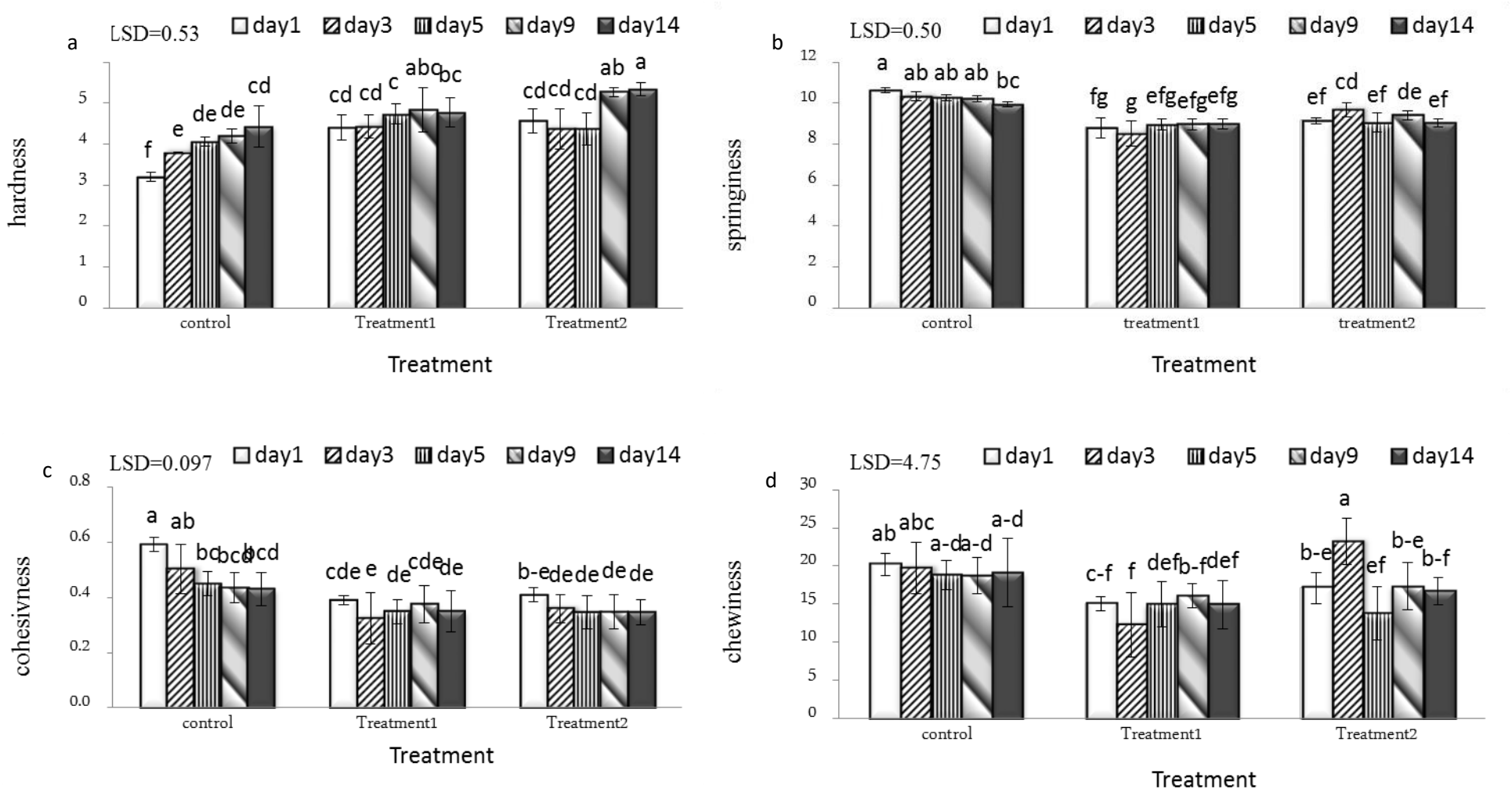
نتایج ارزیابی حسی محصولات در جدول ٦ نشان می‌دهد که برتری معنی‌داری میان نمونه‌های بهینه و شاهد از نظر عطروطعم و رنگ وجود ندارد و علیرغم وجود تفاوت در نمونه‌ها از این نظر با توجه به تفاوت موجود در فرمولاسیون اولیه آنها، هر سه نمونه امتیاز مشابهی کسب نموده اند. هرچند مطلوبیت بافت دهانی در نمونه شاهد بیشتر از نمونه‌های بهینه است که علت آن به تاثیر غیر قابل اغماض گلوتن در انسجام، حفظ گاز و بهبود ویژگی‌های بافتی محصولات مربوط است. البته وجود صمغ مرو و گوار و امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول تا حدی به رفع این مشکل و بهبود خواص ظاهری و بافتی محصول بدون گلوتن کمک کرده است. به‌نحویکه تفاوت معنی‌داری میان نمونه بهینه اول و شاهد از نظر پذیرش کلی محصول مشاهده نمی‌شود. در همین راستا دمیرکسن و همکاران (۲۰۱۰)، لازاریدوو همکاران (۲۰۰۷)، ابراهیم پور و همکاران (۲۰۱۰) و پوراسماعیل و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که استفاده از صمغ در فرمولاسیون محصولات خمیری بدون گلوتن موجب بهبود خصوصیات حسی و افزایش پذیرش کلی محصول می‌گردد. بنابراین در نهایت با مقایسه نمونه‌های بهینه و شاهد، نمونه بهینه اول (دارای نسبت آرد بلوط به آرد برنج ۱٦/٦۷٪ و صمغ مرو و گوار ۰/۱٪ و امولسیفایر داتم ۰/۸۳٪) ازنظر پذیرش کلی امتیاز بیشتری را کسب نمود.

جدول ۶- تفاوت ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و حسی نمونه‌های بهینه و کیک شاهد

Table 6- comparison of chemical, physical and sensory characteristics of optimal and control samples

		Optimal sample No.1	Optimal sample No. 2	Control sample
Ash	K (mg/kg)	1342 ^{a}±61.51	1483 ^{a}±67.88	1453 ^{a}±35.35
	Ca (mg/kg)	927 ^{a}±33.87	882 ^{a}±12.30	862.6 ^{ab}±0.70
	Mg (mg/kg)	379 ^{a}±12.23	297.4^{b}±1.55	270.65 ^{b}±25.52
	P (mg/kg)	0.07 ^{b}±0.0	0.11 ^{a}±0.07	0.05 ^{c}±0.0
	Na (mg/kg)	1328 ^{a}±13.43	896 ^{b}±4.38	1330 ^{a}±12.02
	Fe (mg/kg)	11.07 ^{a}±0.31	12.6 ^{a}±1.11	7.77 ^{b}±0.21
Chemical and physical analysis	Moisture (%)	16.96 ^{ab}±0.22	21.50 ^{a}±0.07	18.95 ^{c}±0.64
	Protein (g/100)	6.15 ^{b}±0.07	5.8 ^{c}±0.14	6.6 ^{a}±0.0
	Fat (g/100)	20 ^{a}±1.13	21 ^{a}±2.82	23 ^{a}±0.37
	DPPH (%|)	0.46 ^{b}±0.01	0.62 ^{a}±0.03	0.24^{c}±0.0
	Phenolic (mg of gallic acid per 100g sample)	7.6 ^{b}±0.18	9.56 ^{a}±0.08	6.42 ^{c}±0.0
	Porosity (%)	0.23 ^{a}±0.01	0.23 ^{a}±0.0	0.14 ^{b}±0.01
	Density (g/cm3)	0.49 ^{ab}±0.02	0.44 ^{a}±0.03	0.37^{b}±0.0
	(Peroxide (mEq)	< 0.01 ^{a}±0.01	< 0.01 ^{a}±0.01	< 0.01 ^{a}±0.01
Color (Crust)	L*	63.25 ^{b}±0.73	57.28 ^{b}±3.54	70.12 ^{a}±2.53
	a*	110.66 ^{b}±1.42	24.09 ^{a}±2.47	6.50 ^{ca}±0.69
	b*	58.49 ^{b}±1.14	53.69 ^{b}±3.65	74.03 ^{a}±1.86
	Color saturation	61.40 ^{b}±1.52	58.91 ^{b}±2.32	74.16 ^{a}±0.77
	Browning index (BI)	196.29 ^{a}±12.005	208.97 ^{a}±1.97	192.21 ^{a}±2.22
	ΔE (color changes)	22.23	31.59	0
Color (Crumb)	L*	57.57 ^{b}±1.88	53.91 ^{b}±0.86	73.74 ^{a}±0.44
	a*	4.95 ^{c}±1.49	26.91 ^{b}±0.42	31.86 ^{a}±0.99
	b*	34.90 ^{a}±1.40	34.48 ^{a}±0.28	18.19 ^{b}±2.80
	Saturation of color C*	34.48 ^{a}±0.28	36.69 ^{a}±0.06	35.26 ^{a}±2.64
	Browning index (BI)	78.28 ^{a}±0.76	80.53 ^{a}±0.18	66.29 ^{b}±5.01
	ΔE (color changes)	30.43	35.84	0
Sensory characteristics	Taste	۷۳/۷۴^{a}± ۰/۴۴	۵۳/۹۱^{b}± ۰/۸۶	۷۳/۵۷^{a}±۱۱/۸۸	۴۹/۰۷^{b}±۰/۰۶	۴۹/۰۷^{b}±۰/۰۶	4.29 ^{a}±0.86
	Color	۳۱/۸۶^{a}± ۰/۹۹	۲۶/۹۱^{b}± ۰/۴۲	۳۱/۸۶^{a}±۰/۹۹	۲۶/۹۱^{b}±۰/۴۲	۲۶/۹۱^{b}±۰/۴۲	4.10 ^{a}±1.04
	Mouth feel desirability	۱۸/۱۹^{b}±۰/۸۸	۳۴/۴۸^{a}± ۰/۲۸	۱۸/۱۹^{b}±۰/۸۸	۳۴/۴۸^{a}±۰/۲۸	۳۴/۴۸^{a}±۰/۲۸	4.32 ^{a}±0.70
	Overall acceptability	۳۵/۲۶^{a}± ۲/۶۴	۳۶/۶۹^{a}± ۰/۰۶	۳۵/۲۶^{a}±۲/۶۴	۳۶/۶۹^{a}±۰/۰۶	۳۶/۶۹^{a}±۰/۰۶	4.23 ^{a}±0.72

At each level, the means (±standard deviation) with the common letters, represent non-significant effect for chemical and physical analysis, salts, and colors at P< 0.05 0f LSD analysis and also sensory characteristics based on Mann-Whitney U analysis.



شکل۲- مقایسه سختی بافت (الف)، فنریت (ب)، پیوستگی (پ) و قابلیت جویدن (ت) نمونه‌های بهینه با شاهد گندم طی چهارده روز نگه داری

Figure 2- comparison of hardness (a), springiness (b), cohesiveness (d) and chewiness (e) of optimum samples with control during 14 storage days

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور تهیه کیک بدون گلوتن باکیفیت مطلوب و ارزش تغذیه‌ای مناسب، از مخلوط آرد بلوط و آرد برنج (۱۰ تا ۵۰) استفاده شد. صمغ‌های بومی و طبیعی نظیر صمغ دانه مرو و صمغ تجاری گوار (۰ تا ۰/٦) و امولسیفایر داتم (۰ تا ۱) جهت بهبود ویژگی‌های کیفی محصول به‌کارگرفته شدند. مدل‌های حاصل از روش سطح پاسخ نشان داد که با افزایش نسبت آرد بلوط به آرد برنج، سختی و دانسیته محصول افزایش و ارتجاعیت و تخلخل آن کاهش می‌یابد. لذا استفاده از سطوح بالای آرد بلوط در این خصوص مناسب نیست. همچنین افزایش غلظت صمغ‌ها در مقادیر پایین، مناسب ولی در مقادیر بالا باعث افزایش سختی، ارتجاعیت، دانسیته و کاهش تخلخل محصول شد. درحالیکه با افزایش امولسیفایر، سختی، پیوستگی و دانسیته کاهش و ارتجاعیت و تخلخل محصول افزایش می‌یابد. نهایتا با درنظر گرفتن سطح مطلوبیت در نمونه‌های بهینه‌یابی شده بر اساس ویژگی‌های کیفی، دو نمونه با سطوح متفاوت نسبت آرد بلوط به آرد برنج (۱٦/٦۷ و ۲۷/۷٦)، ۰/۱٪ صمغ مرو و گوار و ۰/۸۳٪ امولسیفایر داتم به‌عنوان سطوح مناسب متغیرهای مستقل در این پژوهش معرفی شدند. نتایج ارزیابی بافت محصول طی زمان نگهداری نیز نشان داد که استفاده از سطح مناسب صمغ‌ها و امولسیفایر در این محصول باعث به تعویق انداختن چشمگیر بیاتی آن می‌شوند. از حیث تغذیه‌ای، نمونه ۱ از نظر محتوی منیزیم و پروتئین و مشابهت بیشتر رنگ سطح و مغز به نمونه شاهد (کمتر بودن اختلاف رنگ) بر نمونه ۲ ارجحیت نشان داد. در حالیکه نمونه بهینه دوم به واسطه دارا بودن محتوی آرد بلوط بیشتر، محتوی ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری در مقایسه با نمونه ۱ دارد. ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های حسی این سه نمونه نیز نشان می‌دهد که از حیث مطلوبیت بافت دهانی و پذیرش کلی، نمونه بهینه ۱ امتیاز بیشتری را نسبت به نمونه بهینه ۲ کسب نمود و به نمونه شاهد نزدیک‌تر است. بنابراین انتخاب صحیح و استفاده از نوع و مقدار مناسب افزودنی‌ها در بهبود بافت محصولات فاقد شبکه گلوتنی می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

منابع مورد استفاده

ابراهیم پور س، پیغمبردوست س ه، آزاد مرد دمیرچی ص، ۱۳۸۹. تأثیر افزودن پکتین، گوار و کاراگینان بر روی ویژگیهای کیفی نان حجیم بدون گلوتن.پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۰(۲)، ۷۵-۹۸.

آقا اسماعیلی ا، عباسی ه، فاضل م، ۱۳۹۹. بررسی تاثیر سلولاز و همی سلولاز و امولسیفایر لسیتین بر ویژگی‌های کیفی کیک اسفنجی فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج و کنجاله کتان. علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۱۵(۳)، ٤۳-۵۸.

ایران منش ی، جهانبازی گوجانی ح ، ۱۳۹۵. تعیین ویژگی های تغذیه ای روغن استخراج‌شده از میوه بلوط ایرانی. علوم غذایی و تغذیه، سال پانزدهم، شماره ۱.

ایوبی ا، حبیبی نجفی م، کریمی م، ۱۳۸۷. تاثیر افزودن کنسانتره پروتئین آب پنیر (WPC) و صمغ‌های گوار و زانتان بر خصوصیات کیفی و فیزیکوشیمیایی کیک روغنی. پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ٤(۲)، ۳۳-٤٦ .

باقرزاده س, محمدزاده میلانی ج, کسائی م، ۱۳۹۷. تأثیر استفاده همزمان از امولسیفایر داتم (استر دی‌استیل تارتاریک اسید منوگلیسرید) و آلفا-آمیلاز مالتوژنیک بر ویژگی‌های کیفی نان قالبی. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۸(٤)، ۱-۱۳.

بستان آ، ۱۳۸۷. بهینه‌سازی شرایط استخراج عصاره خام هیدروکلوئیدی دانه مرو و بررسی خواص رئولوژیکی مستقل از زمان آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

بی نام، ۱۳٦٦. روش اندازه گیری چربی غلات و فراورده های آن. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۲۸٦۲.

بی نام، ۱۳۸٤. خوراک دام طیور و آبزیان -اندازه گیری سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتری-روش آزمون. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۸٦۹۳.

بی نام، ۱۳۸۵- کیک-ویژگی ها و روش های آزمون. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۲۵۵۳.

بی نام، ۱۳۸٦ خوراک دام.اندازه گیری مقدار سرب، کادمیم، مس، آهن و روی-روش طیف سنجی نوری جذب اتمی. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۹۲٦٦.

بی نام، ۱۳۸٦. خوراک دام طیور و آبزیان-اندازه گیری مقدار فسفر در خوراک دام-روش طیف سنجی. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۵۱۳.

بی نام، ۱۳۸٦. خوراک دام، اندازه گیری مقدار کلسیم در خوراک دام-روش عیارسنجی. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره۱-۱۰۷۰۱.

بی نام، ۱۳۸۷. غلات، حبوبات و فرآورده های جانبی- اندازه‌گیری خاکستر در کوره. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۲۷۰٦.

بی نام، ۱۳۸۹. غلات و فرآورده های آن - روش اندازه گیری رطوبت - روش مرجع. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۲۷۰۵.

بی نام، ۱۳۹۱. اندازه گیری عناصر کم مقدار-اندازه گیری سدیم و منیزیم با طیف سنجی جذب اتمی شعله ای پس از هضم به کمک ریز موج ها. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۱٦۷۱٤.

بی نام، ۱۳۹۳. غلات و حبوبات- اندازه‌گیری میزان نیتروژن و محاسبه مقدار پروتئین خام- روش کجلدال. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۱۹۰۵۲.

بی نام، ۱۳۹۷. بیسکوییت- ویژگی ها و روش های آزمون. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷.

پارسایی م، گلی م، ۱۳۹۲. کاربرد تکنولوژیکی تغذیه ای آرد بلوط در صنایع غذایی. کنفرانس علوم کشاورزی و محیط زیست، شیراز.

پوراسماعیل ن، عزیزی م ح، عباسی س، محمدی م، ۱۳۹۰. فرمولاسیون نان بدون گلوتن با استفاده از گوآر و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی. پژوهش‌های صنایع غذایی. ۲۱(۱)، ٦۹-۸۱.

پورفرزاد ا، حداد خداپرست م ح، کریمی م، مرتضوی س ع، ۱۳۹۰. استفاده از روش رویه پاسخ در بررسی تأثیر ژل بهبود دهنده برچسبندگی خمیر نان بربری. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۱(۲).

ترابی زاده ه، ۱۳۸۱. امولسیون های غذایی و امولسیفایرها. انتشارات آییژ، تهران، ۱، ٦۳-۷٦.

حجتی م، آتش‌زبان م، ۱۳۹٤. تأثیر افزودن آرد بلوط برکیفیت نان باگت. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز.

دادور پ، ۱۳۹۳. فرمولاسیون کیک بدون گلوتن با استفاده از آرد شاه بلوط، آرد ذرت و صمغ گزانتان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.

دادور پ، عطای صالحی ا، شیخ الاسلامی ز، ۱۳۹٦. فرمولاسیون کیک بدون گلوتن و بررسی خواص کیفی آن. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، شماره ۲.

زمردی ش, فرامرزی س، ۱۳۹۹. تاثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم (DATEM) بر ویژگی‌های کیفی و حسی دونات. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(۱)، ۹۹-۱۱۱.

زاغیان ا، عباسی ه، فاضل نجف آبادی م، ۱۳۹٦. بررسی تأثیر کربوکسی متیل سلولز، زانتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیک فنجانی بدون گلوتن بر پایه نشاسته برنج و اکارا با استفاده از روش سطح پاسخ. علوم و صنایع غذایی، ۷۲(۱٤)، ۲۵۹-۲۷۲.

سپهری‌فر ر و حسنلو ط، ۱۳۸۸. بررسی ترکیبات پلی فنلی، آنتوسیانین‌ها و فلاونوییدهای تام و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی قره‌قاط (Vaccinium arctostaphylos L.) جمع‌آوری شده از چهار منطقه مختلف ایران. فصلنامه گیاهان دارویی، ۳۳(۹)، ٦٦-۷٤.

شکوئی‌بناب ا، پیغمبردوست ه، آزاد مرد دمیرچی ص، حصاری ج، رافت ع، ۱۳۹۱. تأثیر غلظتهای مختلف زایلیتول برویژگیهای فیزیکی و حسی کیک بدون قند. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۳(۳)، ٤۳۵-٤٤٤.

صالحی فر م، سیدین اردبیلی م، عزیزی م ح، ۱۳۸۸. روند ژلاتینه شدن و بیاتی در نان‌های لواش و تافتون. علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران،٤(۲)، ۱۳-۲٤.

صحرائیان ب، کریمی م، حبیبی نجفی مب، حداد خداپرست مح، قیافه‌داودی م، شیخ‌الاسلامی ز، نقی‌پور ف، ۱۳۹۳. بررسی تأثیر صمغ بومی بالنگو شیرازی (Lallemantiaroyleana) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی نان بربری نیمه‌حجیم بدون گلوتن سورگوم. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۱(٤۲)، ۱۲۹-۱۳۹.

ضیایی فر ا م، مختاری ز، اعلمی م، کاشانی نژاد م، آقاجان زاده سورکی س، ۱۳۹۷. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی خمیر حاصل از آرد بلوط و اینولین. علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۵(۸٤)، ۲۳-۳۸.

فرد پ, محمد زاده میلانی ج, کسایی م، ۱۳۹٦. ارزیابی خواص کیفی کیک لایه ای بدون گلوتن تهیه شده از آرد برنج و نخودچی. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۷(۱)، ۹۹-۱۱۰.

فرد پ, محمد زاده میلانی ج, کسایی م، ۱۳۹۷. اثر جایگزینی آرد برنج با آرد نخودچی بر بیاتی کیک فاقد گلوتن. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۸(۲)، ۱-۱۲.

قادری قهفرخی م، اعلمی م، صادقی ماهونک ع، قربانی م، عزیزی م ح، ۱۳۹۰. ترکیبات شیمیایی و تاثیر برخی روش‌های فراوری حرارتی بر میزان ترکیبات فنولی میوه دو واریته بلوط ایرانی. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۱(٤)، ٤۲۲-٤۳۱.

قادری قهفرخی م، صادقی ماهونک ع، اعلمی م، عزیزی م ح، قربانی م، ۱۳۹۱. تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره های فنولی میوه یک واریته بلوط ایرانی (Q. castaneifolia var.) castaneifolia. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۳۵، ٤۵-٥٦.

قاسمی زاده س، ناصحی ب، نوشاد م، ۱۳۹۵. بهینه‌سازی فرمول نان بدون گلوتن حاصل از آرد کینوا، ذرت و برنج. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱، ۵۹-٦۸.

قیافه داودی م، صحرائیان ب، نقی‌پور ف، کریمی م، شیخ‌الاسلامی ز، ۱۳۹۳. بررسی اثر امولسیفایرهای(E٤۷۱، داتم و سیترم) و زمان تخمیر نهایی بر کاهش بیاتی و بهبود خواص فیزیکی نان بربری ترکیبی (گندم-سیب زمینی). علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۱(٤۲)، ۸۱-۹۳.

کرکوندی ک، میرغفاری ص، ۱۳۸۵. راهنمای آزمایشگاه تغذیه دام. ساوه: انتشارات دانشگاه آزاد ساوه. صفحه ۱۷۳.

لشکری ف، محمدزاده میلانی ج، معتمد زادگان ع، ۱۳۹۱. بررسی پدیده بیاتی در نان بدون گلوتن تهیه شده ازآرد برنج ارقام ایرانی. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۲(٤)، ٤۵۵-٤٦٤. .

مجذوبی م، مرتضوی ح، اسدی ح، فرحناکی ع، ۱۳۹۲. اثرات آرد بلوط بر ویژگی‌های خمیر و نان بربری. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲، ۲۷۲ - ۲۸۰.

مجذوبی م، مصباحی م، سریری ف، فرحناکی ع و جمالیان ج، ۱۳۸۹. اثر تفاله قند برکیفیت نان بربری. بژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ٦، ۱۷-۲٦

مختاری ز، ضیایی فر ام، اعلمی م، کاشانی نژاد م، آقاجان زاده سورکی س، ۱۳۹۷. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی خمیر حاصل از آرد بلوط و اینولین. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۵(۸٤)، ۲۳-۳۸.

میرزایی م و موحد س، ۱۳۹۰. بررسی اثر صمغ کاپاکاراگینان بر ویژگی های حسی نان های فاقد گلوتن. همایش ملی صنایع غذایی،قوچان.

نقی پور ف، کریمی م، حبیبی نجفی م، حداد خداپرست م، شیخ الاسلامی ز، قیافه داودی م، صحراییان ب، ۱۳۹۲. بررسی امکان تولید کیک بدون گلوتن با استفاده از آرد سور گوم و صمغ‌های گوار وگزانتان. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ٤۱، ۱۲۷-۱۳۹.

همتیان سورکی ع، مظاهری تهرانی م، محبی م، ۱۳۹۲. تأثیر استفاده از آرد سویا و آرد بلوط بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی کیک بدون گلوتن. مجموعه مقالات بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، شیراز.

یزدان پناه ا، حجت الاسلامی م، مولوی ه، سجادی ح، ۱۳۹۲. بررسی پارامترهای آرد و بافت نان باگت تازه با ترکیبی از آرد میوه بلوط(Quercus Persica) . بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران،شیراز.

AACC A, 1999. method 44-15: Moisture—Air oven methods.Approved methods of the American Association of Cereal Chemists p. 1-4.

Al-Sayed HM & AhmedAR, 2013. Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake. Annals of Agricultural Sciences58(1): 83-95.

Arozarena I, Bertholo M, Empise j, BungerA and SousaId, 2001. Study of the totalreplacement of egg by white lupine protein , emulsifiers and xanthan gum in yellow cake . EuropeResearch Technology 213: 312 – 316.

Avazsufiyan A, Aalami M, Mahonak A S, Ghorbani M, Ziaiifar AM, 2014. Application of sweet almond meal and xanthan gum in the production of gluten-free cake. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology 3(2): 185-196.

De La Hera E, Oliete B and Gómez M, 2013. Quality of cakes made with wheat-oats flour blends. Journal of Food Quality 36: 146-153.

Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, SahinS, 2010a. Rheological properties of gluten-free bread formulation. Journal of Food Engineering 96: 295-303.

De Oliveira Pineli LDL, De Aguiar LA, DeOliveira GT, Botelho RBA, Ibiapina MDDFP, De LimaHC, Costa AM, 2015. Use of Baru(Brazilian Almond) Waste from Physical Extraction ofOil to Produce Gluten Free Cakes. Plant Foods for Human Nutrition70(1): 50-55.

Ebrahimpour N, Peighambardoust SH, Azadmard-Damirchi S, Ghanbarzadeh B, 2010. Effects of incorporating different hydrocolloids on sensory characteristics and staling of gluten free bread. Journal ofFood Research Vol. 20(1) [in Persian].

Esmaielifard V, Ghiassi Tarzi B, Azizi Nezhad R, 2017. The Effect of Marve Seed Gum (Salvia macrosiphon Boiss) on the Qualitative and Rheological Properties and Staling of Baguette Bread.

Gadallah M, 2017. Rheological organoleptical and Quality Characteristics of Gluten-Free Rice Cakes Formulated with Sorghum and Gerated Chickpea Flours. Food and Nutrition Sciences 8(5): 535-550

Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK, 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science and Technology 15: 143–152.

Gujral HS, Guardiola I, Carbonell JV and Rosell CA, 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. Journal of Agriculture and Food Chemistry 51(13): 3814 –3818.

Hamaker Bruce R, 2008. Technology of functional cereal products. Wood head publishing limited pp: 397-448.

Havet M, Mankai M, Lebail A, 2000. Influence of the freezing condition on the baking performance of French frozen dough. Journal of Food Engineering 45: 139-145.

Herawati, H, 2018. Hydrocolloids to the effects of gluten free bakery products. Journal of physics: conference series. Volume 1295.

Juliano BO, 1985. Polysaccharides, proteins, and Lipids of rice. In: Juliano BO (eds). Rice chemistry and technology. 2nd Ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemistry, USA. Pp. 59 -174.

Kennedy, NP and Feighery, C, 2000. clinical features of coeliac disease today. Biomedical and pharmacotheraoy 5(4): 373-380

Kim MK, Lee JM, Do JS and Bang WS, 2015. Antioxidant activites and Quality Characteristics of Omija(Schizandra chinesis Baillon)Cookies. Food Science and Biotechnology 24(3): 931-937.

Khatami E, Aalami M, Maghsoudlou Y and Kadivar M, 2015. Application of rice and sorghum flour in the formulation of gluten free cake. A thesis of M.Sc. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Lainez E, Vergara F, Bárcenas M E, 2008. Quality and microbial stability of partially baked bread during refrigerated storage. Journal of Food Engineering 89 (4):414-418.

Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N, Biliaderis CG, 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations.Food Engineering79:1033-1047.

Lee NY, Kang CS, 2018. Quality improvement and antioxidant activity of sugar-snap cookies prepared using blends of cereal flour. Preventive Nutrition Food Science 23(2):160-165

Majzoobi M, Ghiasi F, Habibi M, Hedayati S and Farahnaky A, 2014. Influence of soy protein isolateon the quality of batter and sponge cake. Journal of Food Processing and Preservation 38(3): 1164-1170.

Majzoobi M, Habibi M, Hedayati S, Ghiasi F, Farahnaky A, 2015. Effects of commercial oat fiber on characteristics of batter and sponge cake. Journal of Agricultural Science and Technology 17(1) :99-107

Miñarro B, Albanell E, Aguilar N, Guamis B and Capellas M, 2012. Effect of legume flours on bakingcharacteristics of gluten-free bread. Journal of Cereal Science 56(2): 476-481.

Moore MM, Juga B, Schober TJ and Arendt EK, 2007. Effect of lactic acid bacteria on properties of gluten-free sourdoughs, batters, and quality and ultrastructure of gluten-free bread. Cereal Chemistry 84: 357-364.

Naghipour F, Habibi Najafi MB, Karimi M, Haddad Khodaparast MH, Sheikholeslami Zand Sahraiyan B, 2012. Production of sorghum gluten free cake by guar and xanthan gum for celiac disease. National Conference on Biotechnology, Biochemistry and Bioengineering, Yazd [in Persian].

Octaviani V and Weibiao Z, 2007.Frozen bread dough: Effect of freezing storage and dough improvers. Journal of Cereal Sience 45: 1-17.

Pedreschi F, Leon J, Mery D and Moyano P, 2006. development of a computer vision system to measure the color of potato chips.Food research international 39(10):1092-1098.

Rathnayake H A , Navaratne S B, and Navaratne C M, 2018. Porous crumb structure of leavened baked products. International Journal of Food Science 2: 1-15

Sahi SS and Alva JM, 2003. functioality of emulsifiers in spong cake production. Journal of the science of food and agriculture 83:1419-1429.

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 635–638.

Salehi F, 2019. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. Food Science and Nutrition 7(11):3391-3402

Smith MD, 2002. Going against the grain, pp: 121-125.

Staffer CE, 1993. Frozen dough production. In: Kamel B, Staffer.(Eds), Advance in Baking Technology. Blackie, UK. pp. 88-106.

Turabi E, Sumnu G and Sahin S, 2008. Rheological properties and quality of rice cake formulated with different gums and an emulsifier blend. Food Hydrocolloids 22: 305-312.

Yam KL and Papadakis SE, 2004.Asimple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of food Engineering 61(1):137-142.

Ziobro R, KorusJ, WitczakM and JuszczakL, 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. Food Hydrocolloids 29:68-74.

Journal of Food Researches/vol.31 No.4 2021/pp 129-153
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir
DOI: 10.22034/FR.2021.41463.1758

Effect of sage seed, guar gums and DATEM on qualitative properties of gluten-free cup cake, based on rice and oak Flour

Setareh Mirhosseini[1] and Hajar Abbasi[2*]

Received: September 2, 2020 Accepted: March 6, 2021
[1]Graduated MSc.of Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[2]Associate Professore of Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[*]Corresponding auther: Email: H.Abbasi@Khuisf.ac.ir

Introduction: Celiac disease is an immune-mediated enteropathy triggered by the ingestion of gluten in susceptible patients (Kennedy et al., 2000). The reaction of celiac patients to gluten leads to the malabsorption of several main nutrients such as folic acid, iron, soluble vitamins, etc. Gluten is the main structural forming protein in baked products which cause the elasticity, cohesiveness and viscosity characteristics of dough. Gluten eliminatiom and its replacement with other protein causes technological problems like poor quality mouthfeel, crumbly structure, and a quick staling (Miñarro et al., 2012). Therefore, a redesign of the gluten-free bakery goods is necessary for obtaining products with suitable qualitative properties and nutritional composition. Therefore, to overcome these technological problems, several additives have been employed to mimic gluten properties. Emulsifiers are used in the baking industry because of their ability to interact with different flour components and other dough ingredients, which causes the softer crumbs (*Khatami et al., 2015*). Hydrocolloids have positive effects on crumb structure, taste, global acceptability and shelf life. Rice and oak flour also has been used to prepare gluten-free bakery products, such as bread and cake. Rice is naturally gluten-free and contains proteins that are known to be nutritious and hypoallergenic (Gadallah et al., 2017). The compounds in free gluten oak flour also increase the porosity of product and the consistency of the dough during mixing. This research has developed a cup cake formulation which contains sage seed, guar gum and DATEM based on rice and oak Flour using Response Surface Methodology.

Material and Methods: The purpose of the present study is to prepare an optimal formulation of gluten-free cup cake based on different ratio of oak flour to rice flour (10:50 ratio). In this regard, the effect of equal ratio of hydrocolloids Sage seed and Guar (%0 to 6) and DATEM (%0 to 1) on quality properties of product, including moisture, porosity, density and texture characteristics (firmness, springiness and cohesiveness) were evaluated and modeled using Response Surface Methodology. To compare the control cupcake with optimum samples, chemical and physical analysis, Ash, color (crust and crum) and sensory characteristics were performed to introduce the best products with high nutritional quality, favorable textural features, and reasonable price.

Results and discussion: According to the results, by increasing the ratio of oak flour to rice flour and also enhancing the hydrocolloid concentrations, the density of samples were increased. Fiber in oak flour increased water absorption and delayed gelatinization of starch, which caused a large amount of air bubbles leave the dough before setting the cake texture. The higher concentration of hydrocolloids also prevented the expansion of air bubbles in dough due to higher viscosity and increased the density of sample. The porosity of cake texture was due to stability of gas cells in dough. The porosity was reduced in high concentration of oak flour and hydrocolloids due increasing dough viscosity and non-uniform distribution of gas bubbles. However, emulsifier at suitable concentration

reduced the interfacial tension of the liquid phase of the dough. Therefore, the air bubbles can distribute constantly in dough and suitable porosity in cake was created. The effect of Independent variables (ratio of oak flour to rice flour, amount of hydrocolloids and emulsifier) on textural characteristics of gluten-free cake showed that by increasing the ratio of oak flour to rice flour and the amount of Sage seed and Guar, the hardness and cohesion of tissue was increased. This is due to the presence of insoluble fibers of oak flour. Furthermore, by increasing the hydrocolloid concentration, the viscosity was increased and the cell wall of the gases was gotten strengthened, which resulted an increase in tissue hardness. On the other hand, water absorbability and gel-like network of hydrocolloid improved the elasticity and cohesiveness of the tissue. Suitable concentration of DATEM improved textural properties of gluten-free cake. Based on the results, 2 formulations were considered as the best. The level of oak flour to rice flour in the first and second optimal samples were respectively 16.67% and 27.76%, while the amount of hydrocolloid and DATEM were 0.1% and 0.83% in both samples.

Textural hardness of control sample was more than optimal samples during storage. The presence of emulsifier and gums in the gluten-free cakes were the main factors in maintaining moisture and elasticity of texture and reducing staling of samples. Using oak flour in the sample affects the organoleptic properties of product. For example, the presence of oak flour reduces the brightness of gluten-free cake compared to the control. Also, in the sample containing emulsifier (DATEM) and hydrocolloids, the brightness of cake crust was decreased due to the reduction of moisture removal rate. The desirability of texture in control sample was higher than optimal samples, which could be attributed to the presence of oak flour compounds such as fiber, natural pigments, and creation of new colors and odors in product. However, the presence of Sage seed, Guar and emulsifier at suitable levels improve organoleptic properties of product. In nutritional aspect, the content of Mg, P and Fe in both selected optimized samples were significantly higher than the control sample, which was due to the high nutritional value of oak flour.

Conclusion: In this study, different ratio of oak to rice flour was used to produce gluten-free cake with appropriate quality and high nutritional value. Sage seed, Guar gums and DATEM were used for improving quality of free gluten product. By considering the quality characteristics of product, two samples with different levels of oak to rice flour ratio (16.67 and 27.76), 0.1% Sage seed and Guar gum and 0.83% DATEM were introduced as appropriate levels of independent variables in this study. Investigation staling process of samples during storage was found that the use of appropriate amount of gums and emulsifier at medium level of oak flour reduce staling of product. Also, in terms of nutritional, qualitative and overall acceptance of the product, the optimized sample No. 1 (oak flour to rice flour was 16.67%, the amount of hydrocolloid was 0.1% and the DATEM emulsifier was 0.83%) was selected as the best.

Keywords: Gluten free cake, Sage seed gum, Guar gum, Oak flour, Rice flour, Response surface methodology