مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۵۸-۴۳

بررسی تأثیر سلولاز و همی‌سلولاز و امولسیفایر لسیتین بر ویژگی‌های کیفی کیک اسفنجی فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج و کنجاله کتان

الهه آقااسماعیلی[۱]، هاجر عباسی[۲]، محمد فاضل[۳]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
پست الکترونیکی: h.abbasi@Khuisf.ac.ir
۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به اهمیت گلوتن در کیفیت محصولات بر پایه غلات و محدودیت مصرف این فرآورده‌ها توسط مبتلایان به سلیاک، فرموله کردن محصولات بدون گلوتن با کیفیت مناسب و بررسی تأثیر افزودنی‌های مختلف بر ویژگی‌های کیفی آنها اهمیت ویژه‌ای دارد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر لسیتین (۲-۰٪) و سلولاز و همی سلولاز (۲-۰٪) بر ویژگی‌های بافتی، دانسیته و رطوبت کیک بدون گلوتن بر پایه کنجاله دانه کتان و آرد برنج با استفاده از روش سطح پاسخ مدل‌سازی گردید و ویژگی‌های نمونه‌های بهینه و شاهد در طول ۱۴ روز نگهداری مقایسه شدند.

یافته‌ها: همی‌سلولاز و لسیتین به ترتیب در بهبود پیوستگی و ارتجاعیت بافت محصول مؤثر بودند. تأثیر متقابل مصرف لسیتین و سلولاز در سطوح مناسب در کاهش دانسیته محصول چشمگیر ارزیابی شد. همچنین مصرف سلولاز و همی‌سلولاز منجر به حفظ بهتر رطوبت در محصول گردید. با در نظر گرفتن مهمترین پارامترهای کیفی، غلظت بهینه متغیرها ۱/۶۷٪ لسیتین، ۱/۶۵٪ سلولاز و ۰/۳۳٪ همی‌سلولاز تعیین گردید. پیوستگی بافتی نمونه بهینه طی ۱۴ روز نگهداری کاهش اندکی در مقایسه با شاهد (دارای آرد گندم و فاقد کنجاله کتان، آرد برنج و دیگر متغیر پژوهش)، ارتجاعیت بافت آن بیش از نمونه شاهد و سرعت کاهش آن بسیار اندک و غیرمعنی‌دار در زمان ارزیابی شد ($p<0/05$).

نتیجه‌گیری: محصول بدون گلوتن تولید شده حاوی املاح، لینولنیک اسید، اولئیک اسید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و پراکسید پایین‌تری در مقایسه با نمونه شاهد بود و از نظر مهمترین پارامترهای حسی از جمله طعم، بافت، ظاهر کلی و پس طعم، تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد.

واژگان کلیدی: خواص فراسودمندی، سلولاز، همی سلولاز، کنجاله کتان، روش سطح پاسخ

• مقدمه

بیماری سلیاک یک اختلال شایع خودایمنی است که در فرد مستعد از نظر ژنتیکی با دریافت پروتئین گلوتن گندم و به خصوص گلیادین آن برانگیخته می‌شود. افراد مبتلا به سلیاک بعد از مصرف غذاهای حاوی گلوتن دچار اختلال در هضم غذا می‌شوند. تنها راه درمان بیماری سلیاک، حذف گلوتن از رژیم غذایی است، که در طولانی مدت منجر به بهبود بیماری می‌گردد (۱).

گلوتن ساختار اصلی محصولات نانوایی و قنادی را تشکیل می‌دهد و لذا فرموله کردن این محصولات با ساختارهای فاقد گلوتن دشوار است. همچنین علاوه بر کاهش مواد مغذی در محصولات بدون گلوتن، عطر و طعم و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی این دسته از محصولات نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲).

غذاهایی که تحت عنوان غذاهای عملگرا، غذاهای طراح، غذاهای زیستی و غذاهای دارویی شناخته می‌شوند ، محصولاتی هستند که به واسطه دارا بودن ترکیبات فعال می‌توانند در حفظ و یا ارتقاء سطح سلامتی و یا کاهش ریسک ابتلا به یک بیماری خطرناک مفید باشند (۳). دانه روغنی بزرک به دلیل ترکیبات مغذی بی‌نظیر آن به عنوان ماده غذایی عملگرا شناخته شده است. این محصول سودمند حاوی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

انواع گوناگونی از اسیدهای چرب ضروری از جمله آلفا - لینولنیک اسید، ایکوزا پنتانوئیک‌اسید (EPA)، دوکوزا هکزانوئیک اسید (DHA) و لینولئیک اسید می‌باشند. کتان همچنین به عنوان منبع خوبی از فیبرهای رژیمی محلول و نامحلول معرفی می‌شود. فیبرهای رژیمی کتان افزایش چربی خون بعد از صرف غذا و همینطور اشتها را سرکوب می‌کنند. از این رو ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، انباشتگی چربی و افزایش وزن بدن را کاهش می‌دهند. این ترکیبات تأثیر مثبتی برکاهش یبوست، سطح کلسترول، پوکی استخوان، علائم یائسگی و محافظت در برابر بیماری‌های مزمن مانند چاقی، سرطان کولون، پروستات و پستان، دیابت، ایجاد حساسیت در بدن نسبت به هورمون انسولین نشان می‌دهند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از التهاب رگ‌های خونی لیگنان موجود در کتان به اثبات رسیده است (۴).

نظر به اهمیت کنجاله‌های دانه‌های روغنگیری شده از حیث تغذیه‌ای، تاکنون پژوهش‌های متعددی در راستای تولید محصولات متنوع به خصوص فرآورده‌های بدون گلوتن بر پایه کنجاله‌های دانه‌های روغنگیری انجام شده است. در این راستا Pineli و همکاران (۲۰۱۵) از ضایعات بارو (بادام برزیلی) و صمغ زانتان در تولید کیک بدون گلوتن استفاده کردند . نتایج نشان داد که کیک حاوی آرد کنجاله بادام بدون چربی، دارای محتوی پروتئین، چربی، کالری و محتوی آنتی‌اکسیدان بیشتر و کربوهیدرات کمتری در مقایسه با نمونه شاهد است. همچنین این محصول غنی از فیبر، آهن، مس و روی و دارای کلسیم و پتاسیم بالاتری است. جایگزینی آرد کنجاله بادام بدون چربی با آرد گندم باعث افزایش سفتی و چسبندگی و کاهش پیوستگی، الاستیسیته، رطوبت و حجم مخصوص کیک می‌شود (۵). در مطالعه‌ای دیگر، آرد کنجاله بادام بدون چربی در پنج سطح (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) جایگزین آرد گندم در بیسکویت شد. نتایج نشان داد که سفتی و قابلیت شکنندگی بیسکویت‌های دارای ۷۵ و ۱۰۰ گرم آرد بادام بدون چربی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. جایگزینی آرد بادام بدون چربی با آرد گندم ویژگی‌های تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی بیسکویت‌ها را بهبود بخشید (۶). صوفیان و همکاران نیز در سال ۱۳۹۳ از کنجاله بادام شیرین و صمغ زانتان برای تولید کیک بدون گلوتن استفاده کردند. نمونه حاوی ۰/۳ درصد زانتان با ۱۰ درصد کنجاله بادام به دلیل تأثیر مناسب بر ویژگی‌های فیزیکی و حسی کیک بدون گلوتن به عنوان بهترین نمونه انتخاب شد (۷). در این راستا، Jiang و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که افزودن زایلاناز در محدوده ppm ۵- ۲/۵ موجب افزایش ۲۰-۲۴/۵ درصد حجم مخصوص نان و کاهش سفتی بافت در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود (۸). بررسی تأثیر آنزیم زایلاناز بر خواص فیزیکو شیمیایی و حسی نان گندم توسط Ghoshal و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که با افزودن زایلاناز ویژگی‌های کیفی نان از جمله حجم مخصوص، رطوبت، ویژگی‌های بافتی، رنگ، ویژگی‌های حسی محصول افزایش می‌یابد. نان حاوی زایلاناز در مقایسه با شاهد نرمتر و سرعت بیاتی آن در طول ذخیره‌سازی کمتر ارزیابی شد (۹).

با توجه به نتایج مطالعات گذشته، در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون کیک اسفنجی بدون گلوتن بر پایه آرد برنج و کنجاله کتان از امولسیفایر لسیتین و آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز در راستای ایجاد ساختار و بافتی مناسب در محصول بهره‌گیری شده است. پس از بررسی تأثیر هر یک از متغیرها بر ویژگی‌های کیفی محصول، حدود بهینه هر متغیر توسط روش آماری سطح پاسخ حاصل شد و نمونه بهینه و شاهد از حیث فاکتورهای کیفی و تغذیه‌ای با هم مقایسه شدند.

• مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد اولیه: مواد اولیه همچون کنجاله کتان (از فروشگاه روغنگیری سطح شهر)، آرد برنج از (فروشگاه سطح شهر)، وانیل (نسترن)، شکر (نقش‌جهان)، روغن (لادن)، بکینگ پودر (بهاره) و تخم مرغ (تلاونگ) از سطح شهر خریداری شدند. همچنین آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز از شرکت آرتین شیمی، امولسیفایر لسیتین از شرکت گارگیل (Cargill) آمریکا و سایر مواد و محلول‌های شیمیایی مورد استفاده از نمایندگی شرکت مرک (Merck) آلمان فراهم شدند.

بررسی ویژگی‌های شیمیایی کنجاله کتان و آرد برنج: ویژگی‌های شیمیایی مواد اولیه شامل رطوبت کنجاله کتان (استاندارد ملی شماره ۳۲۱) رطوبت آرد برنج (استاندارد ملی به شماره ۲۷۰۵)، پروتئین کنجاله کتان (استاندارد ملی شماره ۱-۱۰۷۰۳) پروتئین آرد برنج (استاندارد ملی به شماره ۱۹۰۵۲)، چربی کنجاله کتان (استاندارد ملی شماره ۷۵۹۳)، چربی آرد برنج (استاندارد ملی به شماره۲۸۶۲)، خاکستر کنجاله کتان (استاندارد ملی به شماره ۳۳۲)، خاکستر آرد برنج (استاندارد ملی به شماره ۲۷۰۶) ، محتوی فیبر نامحلول در شوینده خنثی و شوینده اسیدی طبق روش استاندارد AOAC، ارزیابی شدند (۱۱، ۱۰). نتایج ارزیابی خصوصیات شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده در تولید محصول در جدول ۱ گزارش شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

جدول۱. خصوصیات شیمیایی آرد برنج و کنجاله کتان مورد استفاده در تهیه کیک اسفنجی (۱۰۰ گرم ماده خشک/گرم)

نمونه	فیبرنامحلول در شوینده اسیدی	فیبر نامحلول در شوینده خنثی	پروتئین	چربی	خاکستر	رطوبت
آرد برنج	۲/۹۷ ± ۰/۲۷	۲/۱۲ ± ۰/۰۶	۷/۲۰ ± ۰/۰۴	۰/۴۳ ± ۰/۰۱	۰/۵۶ ± ۰/۰۱	۶/۳۹ ± ۰/۲۳
کنجاله کتان	۱۵/۴۲ ± ۰/۱۰	۳۱/۴۲ ± ۰/۲۴	۴/۹۲ ± ۰/۰۹	۱۹/۳ ± ۱/۸۹	۵/۲۵ ± ۰/۲۱	۴/۲ ± ۰/۲۰

تولید کیک فراسودمند فاقد گلوتن بر پایه کنجاله دانه کتان و آرد برنج: مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه کیک شامل ۲۰ گرم کنجاله کتان،۸۰ گرم آرد برنج، ۶۵ گرم آب، ۳۰ گرم روغن، ۵۰ گرم تخم مرغ، ۸۰ گرم پودر قند گرم، ۴ گرم بکینگ پودر و ۲ گرم وانیل به ازاء ۱۰۰ گرم آرد بود. خمیر کیک به روش کرم کردن مطابق پیغمبردوست و همکاران (۱۳۹۱) تهیه گردید (۱۲).

ارزیابی ویژگی‌های کیفی کیک اسفنجی فراسودمند فاقد گلوتن

رطوبت و دانسیته کیک: اندازه‌گیری رطوبت کیک مطابق استاندارد شماره ۲۵۵۳ و دانسیته کیک با استفاده از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا مطابق با استاندارد AACC ۲۰۰۰ شماره ۷۲-۱۰ انجام شد (۱۳، ۱۰).

بافت سنجی: یکی از روش‌های متداول در بررسی مکانیکی بافت مواد غذایی، آزمون آنالیز پروفایل بافت می‌باشد که همبستگی خوبی با داده‌های ارزیابی حسی دارند. آنالیز بافت نمونه‌ها توسط دستگاه بافت سنج مدل STM-20 ساخت شرکت SANTAM ایران انجام شد. فشردن بافت نمونه توسط پروبی با قطر ۴ سانتی‌متر تا ۵۰ درصد ارتفاع اولیه در دو مرحله رفت و برگشت صورت گرفت. منحنی نیرو- زمان حاصل برای تعیین خصوصیاتی مانند سفتی، پیوستگی، ارتجاعیت، قابلیت جویدن مورد استفاده قرار گرفت (۱۴).

ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های کیفی دو نمونه منتخب

ویژگی‌های شیمیایی: ویژگی‌های شیمیایی محصول شامل رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر، پراکسید و pH مطابق استاندارد شماره ۲۵۵۳ انجام گرفت. دانسیته کیک با استفاده از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا مطابق با استاندارد AACC ۲۰۰۰ شماره ۷۲-۱۰ انجام شد (۱۳، ۱۰).

تخلخل: به منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز کیک در فاصله زمانی ۱۲ ساعت پس از پخت، برشی به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی-متر از مغز کیک تهیه گردید و نمونه‌ها به وسیله اسکنر مدل HP Laser jet 1536 dnf MFP با وضوح ۱۲۰۰ پیکسل تصویر برداری شد. تصاویر حاصل با استفاده از نرم‌افزار Image J پردازش و نسبت نقاط روشن به تاریک در آن‌ها به عنوان شاخصی از میزان تخلخل محصول برآورد شد (۱۳).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: از معرف ۲، ۲ دی فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) برای ارزیابی فعالیت ضداکسایشی نمونه‌ها استفاده شد. برای این منظور ۱ میلی‌لیتر عصاره نمونه رقیق-شده با متانول با ۱ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی‌مولار معرف DPPH به مدت ۱۰ ثانیه مخلوط و در اتاق تاریک به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شد. میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ nm با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نمونه کنترل از متانول خالص به جای عصاره استفاده گردید (۱۵). سپس با استفاده از رابطه ۱ درصد کاهش رادیکال (فعالیت آنتی‌اکسیدانی) محاسبه گردید.

رابطه۱:

٪کاهش رادیکال (فعالیت آنتی‌اکسیدانی) =

۱۰۰ × [(جذب کنترل/جذب نمونه) -۱]

اندازه‌گیری املاح کیک: محتوی فسفر نمونه براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۵۱۳ اندازه‌گیری شد. در این راستا خاکستر محلول در اسید نمونه با معرف مولیبدووانادات ترکیب و جذب محلول زرد رنگ حاصل در طول موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. محتوی پتاسیم محصول بر اساس ارزیابی نشر شعله‌ای خاکستر محلول در اسید کلریدریک نمونه در طول موج ۷۶۶ نانومتر و به‌کارگیری منحنی کالیبراسیون مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۶۹۳ اندازه‌گیری شد. محتوی آهن، منگنز، روی و مس به روش جذب اتمی، با استفاده از شعله و کوره گرافیتی مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۶۶ ارزیابی گردید. کمیت کلسیم موجود در محصول بر مبنی عیارسنجی نمونه با اسید اگزالیک بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۰۷۰۱ اندازه‌گیری شد (۱۰).

ارزیابی رنگ پوسته و مغز کیک: پس از گذشت ۱۲ ساعت از فرآیند پخت نمونه‌ها، رنگ نمونه‌های کیک اسفنجی پس از تصویربرداری با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ ارزیابی شد. سه پارامتر *L که نشان‌دهنده روشنی نمونه، *a نشان‌دهنده قرمزی-سبزی و *b مقیاس زرد-آبی اندازه‌گیری شد. شاخص *L معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

(سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغییر است. شاخص a* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد، و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) است. شاخص b* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ-های آبی و زرد را نشان می‌دهد، و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغییر می‌باشد. اندیس سیری رنگ یا کروما (C*) مقیاسی از شدت رنگ است و بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

رابطه ۲ $C^*=[(a*)^2+(b*)^2]^{0.5}$

زاویه هیو که بیانگر نسبتی از a* و b* است، فاصله و زاویه دو محور یاد شده را نشان می‌دهد و از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

رابطه۳: $H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$

ضریب قهوه‌ای شدن (BI) با استفاده از رابطه ۴ به منظور بیان شدت قهوه‌ای شدن سطح پوسته کیک محاسبه گردید.

رابطه۴: $BI = \frac{[(x-0/31)\times 100]}{0/172}$

مقدار X با استفاده از رابطه ۵ برابر است با:

رابطه۵:

$$X = [(a*+(1/75\,L*)]/\left[\left(\frac{5}{645L}*\right)+a*-\left(\frac{3}{012b}*\right)\right]$$

تغییرات رنگ که شاخصی از میزان تفاوت رنگ محصول نسبت به نمونه شاهد است با استفاده از رابطه ۶ محاسبه گردید (۱۶).

رابطه ۶: $\Delta E = [(\Delta a*)^2+(\Delta L*)^2+(\Delta b*)^2]^{1/2}$

اندازه‌گیری پروفایل اسید چرب: ۰/۱ گرم از روغن استخراج شده از نمونه با ۳ میلی‌لیتر هگزان و ۰/۰۵ میلی‌لیتر محلول متانولی هیدروکسید پتاسیم ۲ نرمال مخلوط کرده، محلول را به مدت ۲۰ دقیقه توسط همزن برقی تکان داده، بعد از گذشت این مدت گلیسرول ته‌نشین شده و لایه رویی آن همان استرهای متیلی محلول در هگزان می‌باشند که جهت تعیین نوع اسید چرب و میزان آنها از دستگاه گاز کروماتوگرافی استفاده شد (۱۰).

بررسی سرعت بیات شدن محصول: به منظور مطالعه سرعت بیات شدن در نمونه شاهد (دارای آرد گندم و فاقد کنجاله کتان، آرد برنج و دیگر متغیر پژوهش) و نمونه بهینه حاصل از مدلسازی با روش سطح پاسخ، که هر دو مطابق فرمولاسیون و دستورالعمل آورده شده در روش کار، مشابه سایر تیمارها تهیه گردیدند. نمونه ها پس از پخت به مدت ۴۰ دقیقه در دمای محیط خنک شدند. سپس کیک‌ها در بسته - بندی‌های پلی‌اتیلنی با درپوش مناسب جهت حفظ رطوبت، تا زمان انجام آزمایشات بعدی در دمای اتاق نگهداری شدند. ویژگی‌های بافتی (سفتی، پیوستگی، ارتجاعیت، قابلیت جویدن) با استفاده از آزمون آنالیز پروفایل بافت در روزهای ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۴ روز پس از تولید مورد بررسی قرار گرفت.

کالری محصول: میزان کالری نمونه‌ها (Kcal/100g) بر مبنی ترکیبات متشکله محصول و مطابق رابطه ۷ محاسبه گردید:

رابطه۷:

میزان کالری کل = (۴ × (٪پروتئین) + (٪فیبر− ٪کربوهیدرات)) + (۲ × (٪فیبر) + ۹ × (٪چربی))

ارزیابی حسی: پس از گذشت ۱۲ ساعت از فرآیند پخت نمونه شاهد و بهینه، خواص ارگانولپتیک از جمله طعم، بافت، رنگ، بو، ظاهر، احساس دهانی، پس‌طعم و پذیرش کلی محصول مطابق آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای توسط ۳۰ ارزیاب مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری: سطوح مصرف سلولاز، همی‌سلولاز و امولسیفایر لسیتین در دامنه (۲-۰ درصد) به عنوان متغیرهای مستقل این پژوهش در نظر گرفته شدند. تعیین فرمولاسیون تیمارها و تجزیه و تحلیل نتایج آنها با استفاده از روش آماری سطح پاسخ به کمک نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ۷، با در نظر گرفتن ۶ نقطه مرکزی انجام شد. مطابق روش سطح پاسخ، برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف و اثرات اصلی و متقابل متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفتند. از این رو به - منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، روابط خطی و چندجمله‌ای درجه دوم بر داده‌های به دست آمده از آزمون‌ها برازش و سپس مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند و مدل مناسب گزینش گردید. مقادیر بهینه متغیرهای مستقل بر مبنای پارامترهای کیفی مورد نظر از مدل‌های حاصل استخراج و پارامترهای کیفی نمونه بهینه اندازه‌گیری و با مقادیر حاصل از معادلات پیشنهادی مقایسه شدند. درصد خطای هر مدل مطابق رابطه ۸ ارزیابی گردید.

رابطه ۸:

$$\text{درصدخطا} = \frac{\left(\text{عدد اپتیمم شده}\right)-\left(\text{عدد واقعی بدست آمده}\right)}{\left(\text{عدد واقعی بدست آمده}\right)}\times 100$$

مقایسه پارامترهای کیفی و سرعت بیاتی نمونه بهینه و شاهد گندم در قالب طرح کاملا تصادفی بررسی و میانگین آن‌ها بر مبنی حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) توسط نرم افزار SAS مورد ارزیابی قرار گرفت.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

جدول۲. سطوح متغیرهای مستقل و وابسته در تیمارهای مختلف

تیمار	لسیتین (٪)	سلولاز (٪)	همی‌سلولاز (٪)	رطوبت (٪)	سفتی (نیوتن)	پیوستگی (-)	ارتجاعیت (-)	قابلیت جویدن (نیوتن)	دانسیته (گرم بر متر مکعب)
۱	۱/۶۷	۱/۶۷	۰/۳۳	۲۴/۱۳	۲/۷	۰/۵۳	۰/۶۶	۰/۹۶	۰/۴۱
۲	۱	۱	۱	۲۴/۶۵	۳/۶	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۲
۳	۱	۲	۱	۲۶/۴۸	۳/۵	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۷۹	۰/۶۳
۴	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷	۲۶/۶	۴/۱	۰/۳۱	۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۴۹
۵	۱	۱	۰	۲۶/۷۶	۴/۲	۰/۳۶	۰/۶۴	۰/۹۸	۰/۴۴
۶	۱	۱	۱	۲۷/۳۳	۴/۶	۰/۴۲	۰/۶۷	۱/۳۰	۰/۵۳
۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۶۷	۲۵/۹۴	۴/۷	۰/۴۲	۰/۶۹	۱/۳۸	۰/۴۴
۸	۰/۳۳	۱/۶۷	۱/۶۷	۲۳/۷۶	۳/۷	۰/۳۹	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۵۳
۹	۱	۱	۱	۲۵/۹۶	۳/۲	۰/۴۷	۰/۶۲	۰/۹۴	۰/۴۸
۱۰	۱	۱	۱	۲۵/۶۳	۲/۶	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۵۰
۱۱	۱	۱	۲	۲۳/۸	۳/۲	۰/۴۵	۰/۶۱	۰/۸۹	۰/۵۲
۱۲	۱/۶۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۲۴/۶۵	۴/۴	۰/۳۵	۰/۶۴	۱/۰۰	۰/۵۶
۱۳	۱	۰	۱	۲۴/۴۴	۴/۸	۰/۴۱	۰/۶۶	۱/۳۲	۰/۵۴
۱۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۲۳/۵۸	۴/۷	۰/۳۴	۰/۶۲	۱/۰۱	۰/۵۳
۱۵	۰	۱	۱	۲۲/۹۲	۴/۵	۰/۴۰	۰/۵۸	۱/۰۸	۰/۴۴
۱۶	۱/۶۷	۰/۳۳	۱/۶۷	۲۴/۳۶	۴/۱	۰/۳۴	۰/۶۲	۰/۸۷	۰/۴۸
۱۷	۲	۱	۱	۲۱/۹۵	۴/۴	۰/۳۹	۰/۶۵	۱/۱۳	۰/۴۵
۱۸	۱	۱	۱	۲۱/۶۲	۴/۰	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۸۷	۰/۴۵
۱۹	۰/۳۳	۱/۶۷	۰/۳۳	۲۳/۰۲	۳/۵	۰/۳۴	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۴۴
۲۰	۱	۱	۱	۲۱/۴۱	۵/۱	۰/۳۷	۰/۶۵	۱/۲۶	۰/۴۶

• یافته‌ها

آنالیز پروفایل بافت

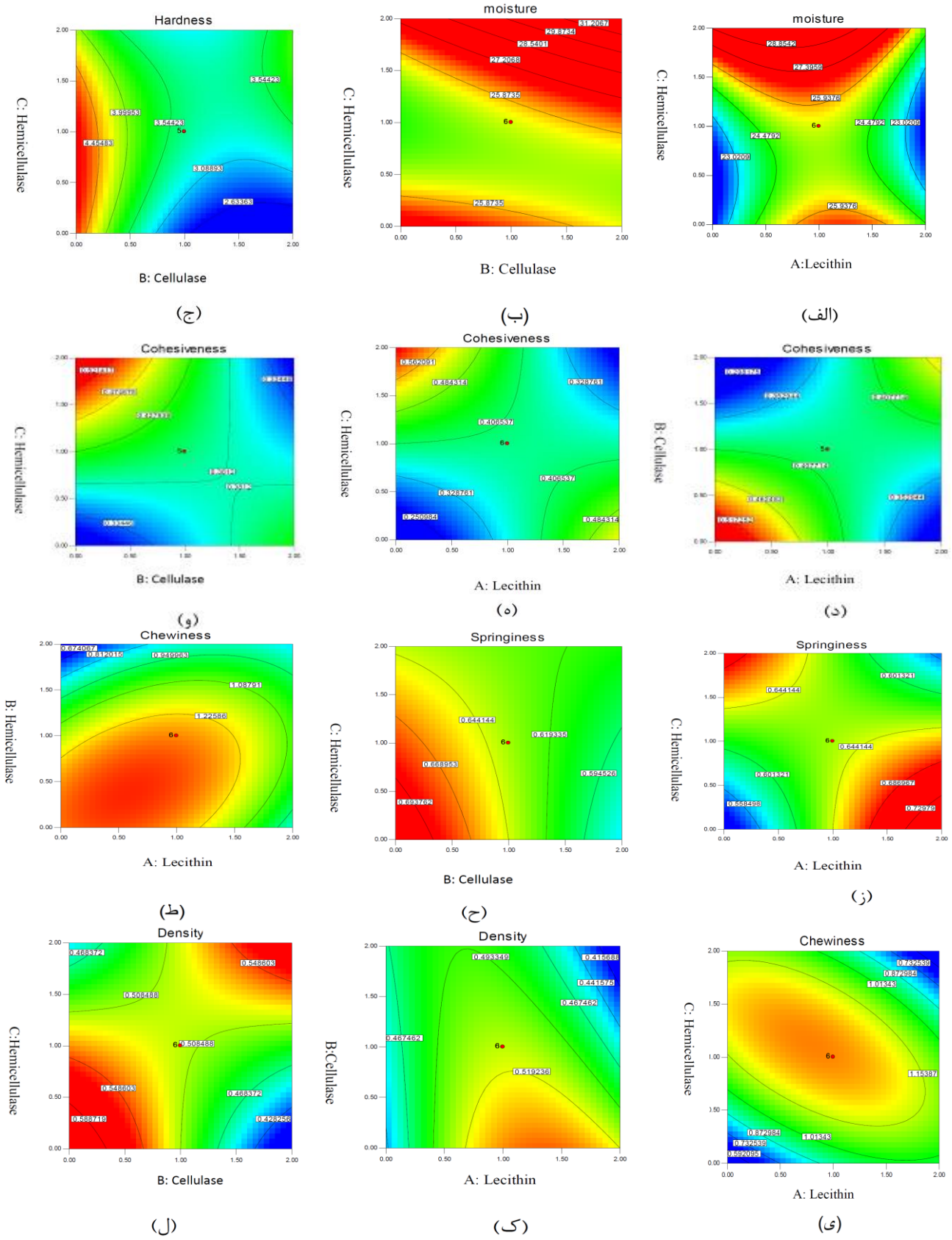
رطوبت: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد امولسیفایر لسیتین به صورت مستقل تأثیر کاهشی بر محتوی رطوبت نمونه‌ها دارد، درحالی‌که تأثیر آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز بر تغییرات رطوبت افزایشی است (جدول۳). تأثیر متقابل سطوح مصرف امولسیفایر لسیتین و آنزیم همی‌سلولاز (شکل ۱ الف) بر محتوی رطوبت نشان می‌دهد که بالاترین مقدار رطوبت محصول در محدوده ۲-۱/۷۵٪ آنزیم همی‌سلولاز و ۱/۵-۰/۵٪ امولسیفایر لسیتین به دست می‌آید. همچنین تأثیر متقابل سطوح آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز بر این فاکتور نیز حاکی از آن است که افزایش سطح این دو آنزیم موجب افزایش رطوبت محصول می‌شود (شکل ۱ ب).

سفتی: افزایش امولسیفایر لسیتین و آنزیم سلولاز تا حدود ۱٪ سبب کاهش سفتی محصول و بیش از آن تأثیر معکوس بر این پارامتر نشان داد (جدول۳)، در حالی‌که به کارگیری آنزیم همی‌سلولاز در مقادیر بالای ۱٪ در کاهش سفتی محصول مؤثر است. تأثیر متقابل سطوح مصرف آنزیم سلولاز و همی-سلولاز بر سفتی محصول (شکل ۱ ج) نیز نشان می‌دهد که افزایش همزمان این دو آنزیم در مقادیر کم و متوسط منجر به کاهش و افزایش بیش از آن موجب افزایش سفتی محصول می‌شود.

پیوستگی: نتایج نشان می‌دهد افزایش همزمان امولسیفایر لسیتین و آنزیم سلولاز کاهش پیوستگی بافت محصول را به دنبال داشت (جدول۳). هرچند در سطوح بالاتر مصرف تا حدودی این نقصان کاهش یافت (شکل ۱ د). افزایش همزمان امولسیفایر لسیتین و آنزیم همی‌سلولاز نیز تا حدود ۱٪ موجب افزایش پیوستگی بافت محصول شد. در مقادیر بالای آنزیم همی‌سلولاز و مقادیر پایین امولسیفایر لسیتین، بیشترین پیوستگی بافت مشاهده گردید (شکل ۱ ه). تأثیر متقابل سطوح مصرف آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز نیز نشان می‌دهد که افزایش همزمان این دو آنزیم تا حدود متوسط موجب افزایش پیوستگی بافت محصول می‌شود (شکل ۱و).

ارتجاعیت نمونه: افزایش امولسیفایر لسیتین و آنزیم سلولاز به ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار ارتجاعیت نمونه‌ها می‌شود (جدول۳). تأثیر متقابل سطوح امولسیفایر لسیتین و آنزیم همی‌سلولاز نشان می‌دهد که افزایش سطح مصرف این دو افزودنی تا محدوده متوسط موجب بهبود بافت و افزایش ارتجاعیت محصول می‌شود. بالاترین ارتجاعیت در محدوده ۲-۱/۵٪ امولسیفایر لسیتین و مقادیر اندک آنزیم همی‌سلولاز حاصل شد (شکل ۱ ز). اثر متقابل آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز نیز بر ارتجاعیت محصول بسیار اندک و کاهشی برآورد شد (شکل ۱ ح).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]



شکل ۱. تأثیر متقابل متغیرهای مستقل بر تغییرات خصوصیات کیفی محصول

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

قابلیت جویدن: سطوح بالای مصرف هر یک از متغیرهای مستقل پژوهش و همچنین مصرف هم‌زمان لسیتین و همی‌سلولاز موجب کاهش کمیت قابلیت جویدن محصول گردید (جدول ۳).

دانسیته: در میان متغیرهای مستقل این پژوهش، تنها تغییرات آنزیم سلولاز بر دانسیته محصول کاهنده و معنی‌دار ارزیابی شد. تأثیر متقابل سطوح مصرف امولسیفایر لسیتین و آنزیم سلولاز بر تغییرات دانسیته نشان می‌دهد که در مقادیر بالای امولسیفایر لسیتین و آنزیم همی‌سلولاز کمترین مقدار دانسیته مشاهده می‌شود (شکل۱ ک). تأثیر سطوح آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز بر دانسیته نیز حاکی از آن است که کمترین دانسیته در مقادیر متوسط مصرف آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز حاصل می‌گردد (شکل۱ ل).

بهینه‌سازی فرمول و اعتبارسنجی مدل: بهینه سازی بر اساس مهمترین پارامترهای کیفی کیک شاهد (سفتی، پیوستگی، ارتجاعیت و دانسیته) صورت گرفت. سطوح متغیرها در مقادیر بهینه، ۱/۶۷ درصد امولسیفایر لسیتین، ۱/۶۵ درصد آنزیم سلولاز و ۰/۳۳ درصد آنزیم همی‌سلولاز برآورد شد. به منظور اعتبارسنجی مدل‌های حاصل، نمونه‌ای با سطوح بهینه مورد نظر تولید گردید. درصد خطای هر یک از پارامترهای کیفی برمبنای میزان تفاوت اعداد حاصل از مدل با نتایج آزمایشگاهی محاسبه گردید که نتایج آن در جدول۴ آورده شده است. مطابق این نتایج، صحت عملکرد مدل‌های حاصل مناسب ارزیابی می‌شود.

جدول۳. ضرایب مدل‌های برازش شده برای هر یک از متغیرهای وابسته

ضریب	رطوبت (٪)	سفتی (نیوتن)	پیوستگی (-)	ارتجاعیت (-)	قابلیت جویدن (نیوتن)	دانسیته (گرم بر متر مکعب)
$\beta 0$	+۲۵/۳۸***	+۳/۳۴***	+۰/۳۹***	+۰/۶۴***	+۱/۲۹***	+۰/۵۱***
$\beta 1$	-۰/۲۴*	-۰/۱۳ns	-۸/۴×۱۰$^{-۳}$*	+۰/۰۱۸***	-۰/۰۲۶ns	+۸×۱۰$^{-۴}$ns
$\beta 2$	+۰/۵۶***	-۰/۴۶***	-۰/۰۲۲***	-۰/۰۳۰***	-۰/۱۴***	-۰/۰۱۷***
$\beta 3$	+۱/۲۱***	+۰/۱۷*	+۰/۰۲۸***	-۶×۱۰$^{-۳}$ns	+۰/۰۲۰ ns	+۲/۸×۱۰$^{-۳}$ns
$\beta 12$			+۰/۰۵۹***		+۰/۰۸۰**	-۰/۰۱۷***
$\beta 13$	-۰/۷۴***		-۰/۰۸۶***	-۰/۰۴۶***	-۰/۱۳***	
$\beta 23$	+۰/۷۷***	+۰/۲۵**	-۰/۰۴۴***	+۰/۰۱۴**		+۰/۰۴۳***
$\beta 11$	-۱/۳۹***	+۰/۴۸***			-۰/۰۸۲**	-۰/۰۲۷***
$\beta 22$		+۰/۳۳***			-۰/۰۹۹***	
$\beta 33$	+۱/۲۵**	-۰/۲۱**			-۰/۱۶***	
R^2	۰/۹۷۷۲	۰/۹۳۲۵	۰/۹۸۰۵	۰/۹۴۲۲	۰/۹۵۵۰	۰/۹۵۷۶
CV	۱/۴۳	۵/۶۵	۳/۴۲	۱/۹۳	۵/۷۳	۱/۹۷
Lack of fit	۰/۸۳۴۲	۰/۰۶۵۶	۰/۶۶۴۷	۰/۳۷۵۸	۰/۰۰۱۲	۰/۹۱۱۹

$\beta 0$: ضریب ثابت، $\beta 1$: امولسیفایر لسیتین، $\beta 2$: آنزیم سلولاز، $\beta 3$: آنزیم همی‌سلولاز ، ns : عدم معنی‌دار بودن
*، **، *** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطوح اطمینان ۹۵٪، ۹۹٪ و۹۹/۹٪ می باشند.

جدول۴. بررسی صحت مدل‌های حاصل شده با استفاده از روش سطح پاسخ

پارامترها	واقعی	پیش بینی شده	درصد خطا
رطوبت(٪)	۲۴/۲۶	۲۴/۳۲	۰/۲۴
سفتی(نیوتن)	۴/۶	۳/۰۱	۳۴/۵۶
پیوستگی (-)	۰/۴۷	۰/۵۲	۱۰/۶۳
ارتجاعیت (-)	۰/۶۶	۰/۶۶	۰
دانسیته(گرم بر سانتی متر مکعب)	۰/۴۸	۰/۴۰	۱۶/۶۶

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

مقایسه ویژگی‌های بهینه و شاهد: از حیث محتوی چربی، pH، تخلخل و رطوبت میان دو نمونه منتخب بدون گلوتن و کیک شاهد گندم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در حالی‌که محتوی املاح، فعالیت آنتی‌اکسیدان و کالری نمونه منتخب به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است. به علاوه عدد پراکسید این محصول پایین‌تر است که نشان از پایداری بالاتر چربی در این نمونه دارد. در مقابل، نمونه تولید شده با آرد گندم، محتوی پروتئین بالاتر و دانسیته پایین‌تری دارد.

محتوی املاح روی، پتاسیم، آهن، منگنز، کلسیم و فسفر نمونه منتخب بدون گلوتن بالاتر از نمونه شاهد گندم برآورد گردید ولی اختلاف معنی‌داری میان این دو نمونه از نظر کمیت عنصر مس مشاهده نگردید. نتایج بررسی ویژگی‌های رنگی پوسته نمونه‌ها نشان می‌دهد که روشنایی نمونه شاهد گندم به صورت معنی‌داری بالاتر از نمونه کیک منتخب است. از این‌رو، شدت زردی، سیری و زاویه رنگ و همچنین ضریب قهوه‌ای شدن نمونه منتخب دارای کنجاله کتان بالاتر از نمونه شاهد برآورد شد. از نظر فاکتور قرمزی میان دو نمونه شاهد و منتخب بدون گلوتن اختلاف معناداری وجود نداشت. مقایسه رنگ مغز دو نمونه نیز حاکی از تیرگی بالاتر نمونه منتخب بدون گلوتن به واسطه بالاتر بودن شدت قرمزی و سیری رنگ در این نمونه است (جدول ۵).

جدول۵. تفاوت ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی کیک منتخب بدون گلوتن و کیک شاهد گندم

	تیمار	کیک منتخب (میانگین ± خطای استاندارد)	کیک گندم (میانگین ± خطای استاندار)
خصوصیات شیمیایی	پروتین (گرم/۱۰۰ گرم ماده خشک)	۴/۶۵ ± ۰/۰۷ b	۵/۷۰ ± ۰/۱۴ a
	چربی (گرم/۱۰۰ گرم ماده خشک)	۱۱/۲۵ ± ۰/۳۵ a	۱۰/۲۰ ± ۰/۲۸ a
	خاکستر (گرم/۱۰۰ گرم ماده خشک)	۱/۴۵ ± ۰/۰۷ a	۱/۰۵ ± ۰/۰۷ b
	پر اکسید (میلی اکی والان گرم/ کیلوگرم)	۰/۱۰ ± ۰/۰۰ b	۰/۵۵ ± ۰/۰۷ a
	pH	۷/۲۰ ± ۰/۱۴ a	۷/۶۵ ± ۰/۰۷ a
	رطوبت (گرم/۱۰۰ گرم ماده خشک)	۲۴/۱۰ ± ۰/۵۷ a	۲۴/۵۵ ±۰/۰۷ a
	دانسیته(gr/cm^3)	۰/۴۹ ±۰/۰۱ a	۰/۳۸ ±۰/۰۱ b
	تخلخل (٪)	۰/۲۰ ± ۰/۰۱ a	۰/۲۲ ± ۰/۰۲ a
	آنتی‌اکسیدان (٪)	۰/۵۸ ± ۰/۰۴ a	۰/۲۳ ± ۰/۰۲ b
	کالری (کالری بر گرم)	۵۰/۲۵ ± ۳۷/۰ a	۳۶/۰ ± ۱۰/۱۲ b
املاح	Cu (mg /100 gr)	۲/۷۹ ± ۰/۲۵ a	۲/۳۱ ± ۰/۲۶ a
	Zn (mg / 100 gr)	۱۱/۰۹ ± ۰/۲۱ a	۵/۷۸ ± ۰/۸۱ b
	K (mg / 100 gr)	۲۸/۶۰ ± ۰/۶۸ a	۱۴/۴۳ ± ۰/۴۹ b
	Fe (mg / 100 gr)	۲۰/۴۴ ± ۱/۳۷ a	۱۱/۱۵ ± ۰/۱۲ b
	Mn (mg / 100 gr)	۵/۷۹ ±۰/۵۹ a	۲/۳۷ ± ۰/۱۷ b
	Ca (mg / 100 gr)	۴۶۰/۳۵ ± ۲۴/۲۵ a	۳۶۷/۷۰ ± ۰/۷۱ b
	P (mg/ 100 gr)	۰/۰۶۱ ± ۰/۰۰۱ b	۰/۰۷۲±۰/۰۰۲ a
رنگ پوسته	L*	۴۹/۴۷ ± ۲/۲۱ b	۶۶/۶۳ ±۰/۸۹ a
	a*	۲۸/۶۲ ±۰/۴۹ a	۲۹/۶۷ ±۰/۷۶ a
	b*	۴۶/۵۸ ± ۲/۹۰ a	۳۷/۰۱ ± ۰/۹۶ b
	سیری رنگ	۵۴/۶۸ ± ۲/۲۱ a	۴۷/۵۴ ± ۰/۴۲ b
	ضریب قهوه‌ای شدن	۲۱۸/۰۲ ± ۴/۱۲ a	۱۰۴/۶۵ ± ۰/۰۰ b
	زاویه رنگ	۵۸/۳۹ ± ۰/۶۱ a	۵۱/۲۸ ± ۱/۴۴ b
	ΔE		۱۹/۶۷
رنگ مغز	L*	۵۵/۳۰ ± ۱/۵۱ b	۷۰/۷۱ ± ۰/۲۵ a
	a*	۲۸/۵۱ ± ۱/۵۳ a	۹/۹۰ ± ۰/۳۳ b
	b*	۱۱۰/۰۵ ± ۳/۷۱ a	۱۰۴/۰۵ ± ۰/۵۳ a
	سیری رنگ	۱۱۳/۶۹ ± ۱/۸۰ a	۱۰۴/۵۱ ± ۰/۵۷ b
	زاویه رنگ	۷۵/۴۵ ± ۱/۲۲ b	۸۴/۵۶ ± ۰/۱۶ a
	ΔE		۲۴/۸

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

مطابق جدول ۶ کیک منتخب بدون گلوتن حاوی ۲۷ نوع اسید چرب است که در میان آنها ۱۴ اسید چرب اشباع و ۱۳ اسید چرب غیراشباع وجود دارد. کیک شاهد گندم حاوی ۲۳ نوع اسید چرب است که ۱۱ نوع آن اشباع و ۱۲ نوع غیراشباع است. مقدار (C18:3) در کیک منتخب نسبت به شاهد بیشتر است.

جدول۶. پروفایل‌های اسیدهای چرب کیک منتخب بدون گلوتن و نمونه شاهد (بر حسب درصد وزنی اسیدهای چرب نمونه)

	کیک منتخب بدون گلوتن	کیک شاهد گندم
C4:0	۰/۰۱	
C6:0	۰/۰۱	
C8:0	۰/۰۱	۰/۰۱
C10:0	۰/۰۱	
C12:0	۰/۰۲	۰/۰۱
C14:0	۰/۱۷	۰/۱۲
C14:1	۰/۰۲	۰/۰۱
C15:0	۰/۰۲	۰/۰۲
C16:0	۹/۹۵	۹/۲۵
C16:1	۰/۷۰	۰/۶۷
C17:0	۰/۰۵	۰/۰۵
C17:1	۰/۰۴	۰/۰۳
C18:0	۳/۸۶	۳/۸۳
C18:1	۳۰/۵۸	۳۰/۰۳
C18:2	۴۹/۵۶	۵۴/۱۲
C20:0	۰/۲۴	۰/۲۳
C18:3	۳/۹۰	۰/۴۹
C20:1	۰/۱۹	۰/۱۹
C21:0	۰/۰۱	۰/۰۱
C20:2	۰/۰۳	۰/۰۲
C22:0	۰/۵۴	۰/۵۸
C20:3	۰/۰۲	۰/۰۱
C20:3	۰/۰۲	۰/۰۱
C23:0	۰/۱۲	۰/۰۸
C20:4	۰/۰۳	۰/۰۲
C20:5	۰/۱۹	۰/۱۸
C24:1	۰/۰۱	
C22:6	۰/۰۵	۰/۰۶
Total	۱۰۰	۱۰۰

مقایسه ویژگی‌های بافتی کیک بهینه فراسودمند بدون گلوتن و شاهد گندم

شکل ۲ (الف) نشان می‌دهد که سفتی بافت هر دو نمونه طی ۱۴ روز نگهداری افزایش می‌یابد و سرعت این افزایش در نمونه منتخب بدون گلوتن بیش از شاهد گندم است.

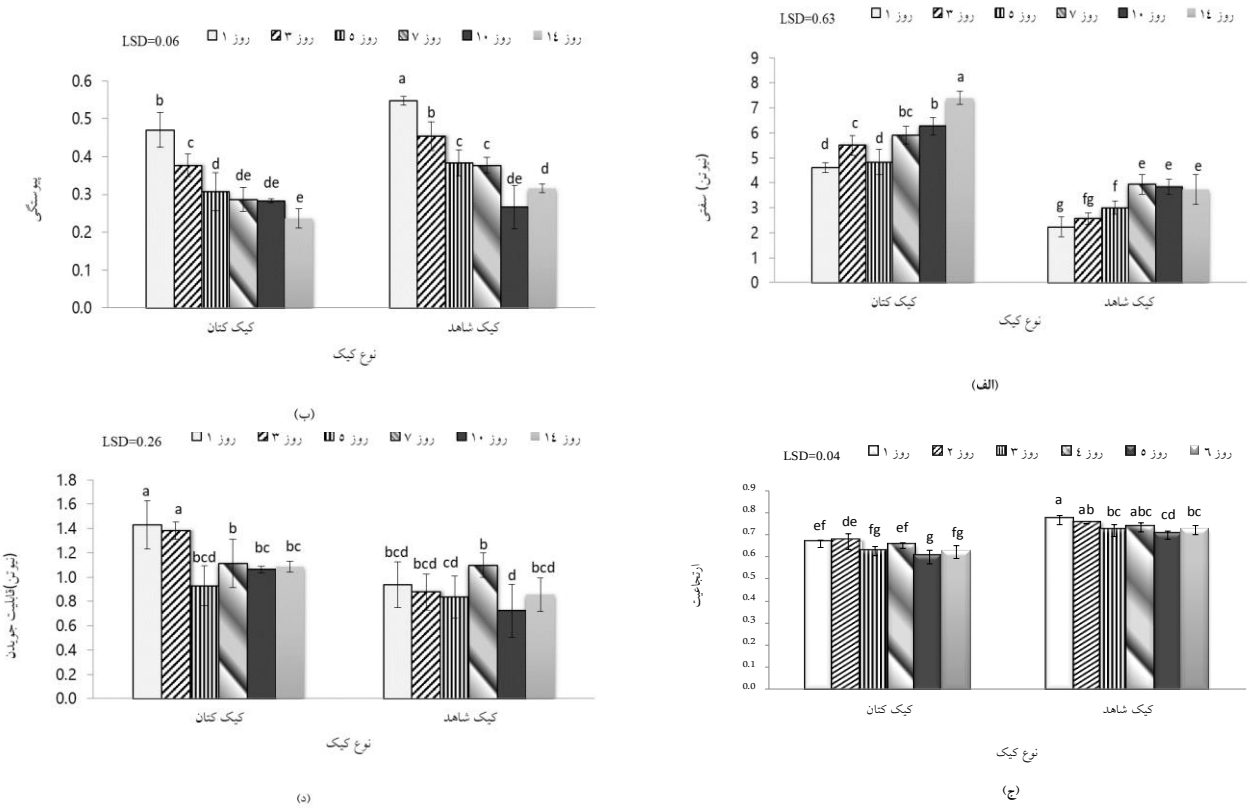
پیوستگی بافت هر دو نمونه در طول زمان نگهداری کاهش می‌یابد و سرعت این تنزل در نمونه شاهد بیشتر از نمونه منتخب است. به نحوی که اگرچه این فاکتور در نمونه شاهد در اولین روزهای پس از تولید بالاتر از نمونه بهینه برآورد شده ولی تفاوت معنی‌داری از این حیث پس از ده روز نگهداری میان آنها مشاهده نمی‌شود.

ارتجاعیت بافت هر دو نمونه نیز در طول مدت زمان نگهداری روندی نزولی را سپری می‌کند. اگرچه ارتجاعیت نمونه شاهد بیش از نمونه منتخب است ولی سرعت کاهش این فاکتور در نمونه شاهد بیشتر است. به نحوی که تفاوت معنی‌داری از این لحاظ میان نمونه منتخب نگهداری شده به مدت ۱۴ روز در مقایسه با نمونه تازه تولید شده ملاحظه نمی‌شود (شکل ۲ج).

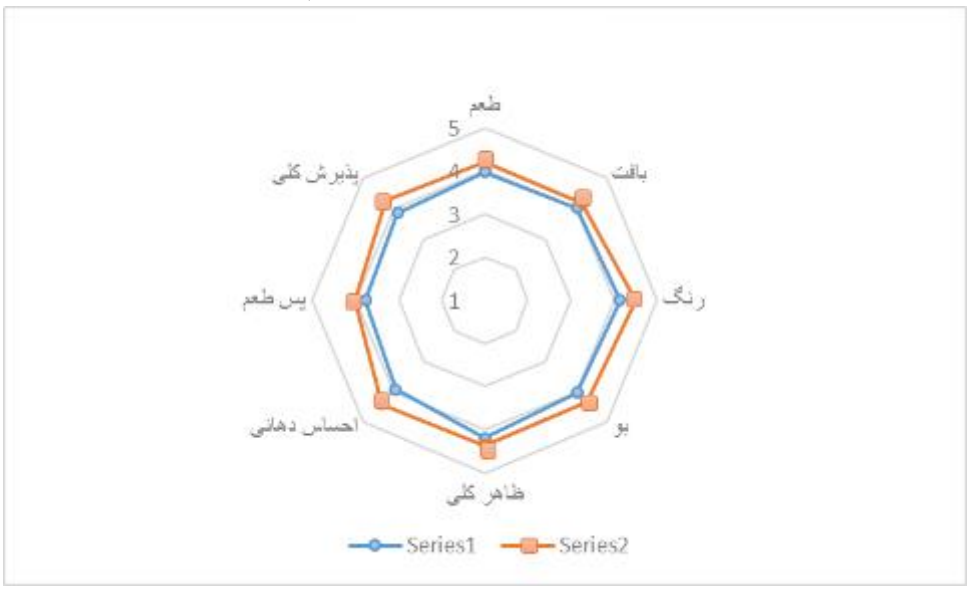
در بدو تولید، قابلیت جویدن کیک منتخب بدون گلوتن بیش از نمونه شاهد گندم است و این فاکتور در هر دو نمونه در طی زمان نگهداری روندی کاهشی را سپری می‌کند. در اولین روزهای پس از تولید، اختلاف قابلیت جویدن نمونه منتخب و نمونه شاهد معنی‌دار است ولی با افزایش زمان نگهداری ویژگی بافتی این دو نمونه از این حیث بسیار به یکدیگر نزدیک می‌شود و اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نمی‌شود (شکل ۲ د).

ارزیابی حسی: ارزیابی حسی نمونه منتخب و نمونه شاهد در شکل ۳ نشان می‌دهد که به طور کلی از نظر پارامترهای حسی قرابت زیادی میان این دو نمونه وجود دارد و نمونه فرموله شده نتایج فاقد گلوتن مطلوبیت حسی مناسبی را از نظر مصرف کننده داراست. با بررسی دقیق ملاحظه می‌شود که از نظر طعم ، بافت، ظاهر کلی و پس‌طعم میان این دو نمونه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و از لحاظ رنگ، بو، احساس دهانی و پذیرش کلی، نمونه شاهد گندم برتر است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]



شکل ۲. مقایسه خصوصیات بافتی کیک منتخب بدون گلوتن و کیک شاهد گندم در طول مدت زمان نگهداری



شکل ۳. مقایسه ویژگی‌های حسی کیک منتخب بدون گلوتن و نمونه شاهد

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

• بحث

رطوبت: افزایش امولسیفایر لسیتین، کاهش محتوی رطوبت و افزایش آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز افزایش رطوبت محصول را موجب می‌شود. اثر متقابل امولسیفایر لسیتین و آنزیم همی‌سلولاز نیز کاهش رطوبت محصول را به همراه دارد. ایجاد ساختار متخلخل‌تر در حضور امولسیفایر و در نتیجه سهولت خروج رطوبت از ساختار اسفنجی و متخلخل محصول در حین پخت دلیل اصلی این مشاهده است (۱۷). محصولات پخته شدهٔ حجیم‌تر محتوی رطوبت کمتری دارند (۱۸). افزودن امولسیفایر لسیتین در فرمولاسیون کیک بدون تخم مرغ کاهش رطوبت محصول را به همراه داشت (۱۷). آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز با هیدرولیز ترکیبات همی‌سلولزی باعث افزایش OH آزاد و بهبود جذب آب محصول می‌شوند (۱۸). تأثیر زایلاناز در افزایش رطوبت نان در مطالعات Ghoshal (۲۰۱۶) گزارش شده است (۹).

سفتی: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش امولسیفایر لسیتین تا حدود ۱٪ سبب کاهش سفتی محصول و بیش از آن افزایش سفتی بافت را منجر می‌شود. امولسیفایر لسیتین با کم کردن کشش بین سطحی فازهای مختلف خمیر موجب بهبود امکان جایگزینی حباب‌های هوا در خمیر کیک می‌شود. با شدت گرفتن این پدیده در مقادیر بالای امولسیفایر، حذف حباب‌های هوا از خمیر به واسطه کم بودن بیش از حد کشش بین سطحی، کاهش حجم کیک و متناسب با آن افزایش سفتی محصول رخ می‌دهد (۱۹). استفاده هم‌زمان از آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز در مقادیر پایین و متوسط تأثیر مثبت بر ویژگی‌های کیفی نمونه دارد. این مشاهده به دلیل تأثیر این آنزیم‌ها در کاهش اتصالات و باندهای موجود در بافت محصول است که موجب کاهش سفتی می‌شود (۲۰). استفاده از این آنزیم‌ها با افزایش ظرفیت نگهداری آب موجب بهبود نرمی و انعطاف‌پذیری خمیر و در نهایت بهبود بافت و حجم نهایی محصول می‌شوند (۲۱). هرچند استفاده هم‌زمان از مقادیر بالای زایلاناز و سلولاز در مقایسه با کاربرد مجزای آنها، به دلیل اثر سینرژیستی آنزیم‌ها بر تخریب لایه زیرین لیگنو-سلولزی، اثر آنتاگونستیک بر جذب آب محصول دارند (۲۲) استفاده از این آنزیم باعث کاهش مقاومت نمونه‌ها در برابر اعمال نیرو خارجی می‌شود (۲۳). گزارشی در خصوص بررسی تأثیر همی‌سلولاز بر خمیر نان ویفر نیز حاکی از افت شدید ویسکوزیته خمیر و در نهایت نرم‌شدن بافت محصول است (۲۴). تأثیر استفاده از آنزیم سلولاز در کاهش سفتی بافت نان نیز در دیگر مطالعات گزارش شده است (۸).

پیوستگی: شاخص پیوستگی، در واقع بیانگر چسبندگی داخل بافت و نشانه‌ای از انسجام ترکیبات تشکیل‌دهنده محصول است که وسعت برهم‌کنش‌های مولکولی اجزای فرمولاسیون در آن تأثیر دارند. در میان متغیرهای مستقل پژوهش، آنزیم همی‌سلولاز تأثیر معنی‌داری در بهبود پیوستگی بافت کیک اسفنجی نشان داد. تأثیر کاربرد همزمان امولسیفایر لسیتین و آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز نیز در محدوده‌های معینی از غلظت‌های مورد بررسی، بر بهبود پیوستگی بافت محصول مناسب ارزیابی شد. اگرچه استفاده از فیبرهای مختلف به دلیل ممانعت از تعامل بین مولکولی ترکیبات، موجب افزایش سفتی و کاهش پیوستگی بافت کیک بدون گلوتن می‌شود (۲۵). به کارگیری افزودنی‌های مناسب از جمله آنزیم همی‌سلولاز با حفظ رطوبت کیک موجب بهبود خواص ویسکوالاستیک نشاسته و افزایش مقاومت درونی ساختار ماده غذایی می‌گردد. در این راستا نیز تأثیر افزودن همی‌سلولاز بر ویژگی‌های بافتی نان گندم مثبت ارزیابی شد (۹).

ارتجاعیت: امولسیفایر لسیتین و اثر متقابل آن با آنزیم همی‌سلولاز در قسمتی از محدوده غلظت مورد بررسی تأثیر مثبت معنی‌داری بر ارتجاعیت بافت کیک نشان داد. تأثیر کاربرد همزمان آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز بر افزایش ارتجاعیت نیز اندک و افزایشی برآورد شد. لسیتین با کاهش کشش سطحی فاز مایع موجب افزایش امکان ایجاد حباب‌های هوا در خمیر می‌شود، که نهایتا بهبود لطافت، افزایش خلل و فرج و بهبود ارتجاعیت و اسفنجی بودن کیک را موجب می‌گردد. قابل ذکر است که افزایش غلظت امولسیفایر با کاهش بیش از حد کشش سطحی محیط موجب حذف حباب‌های ایجاد شده در خمیر و نهایتا کاهش حجم، افزایش تراکم بافت و کاهش ارتجاعیت محصول را به همراه دارد. آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز، با افزایش ظرفیت جذب آب، افزایش خواص ویسکوالاستیک و بهبود ارتجاعیت بافت را منجر می‌شود . تأثیر مناسب به کارگیری آنزیم همی‌سلولاز بر ویژگی‌های بافتی نان گندم نیز در پژوهش دیگری گزارش شده است (۹).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

قابلیت جویدن: قابلیت جویدن بیانگر انرژی مورد نیاز است برای جویده شدن و هضم دهانی ماده غذایی است. از نظر نتایج آنالیز پروفایل بافت، حاصلضرب کمیت‌های سفتی، پیوستگی و فنریت، قابلیت جویدن را نشان می‌دهد و براینـد تأثیر متغیرهای مستقل پژوهش در تغییرات این پارامترها، قابلیت جویدن محصول را نیز تغییر می‌دهد. نیروی لازم برای جویدن محصول تولید شده از کنجاله کتان به دلیل فشردگی بافت بیش از محصول متعارف است. کاهش کمیت قابلیت‌جویدن محصول در سطوح مناسب لسیتین، سلولاز و همی‌سلولاز، بیانگر تأثیر مثبت این افزودنی‌ها در بهبود ویژگی‌های بافتی محصول است (۲۶).

دانسیته: امولسیفایر لسیتین و اثر متقابل آن با آنزیم همی‌سلولاز در قسمتی از محدوده غلظت مورد بررسی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش دانسیته محصول نشان داد. با افزایش آنزیم سلولاز نیز، دانسیته محصول به صورت معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از مقادیر متوسط آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز موجب کاهش دانسیته و به کارگیری مقادیر بالای آنزیم‌ها منجر به افزایش دانسیته محصول شد. امولسیفایر لسیتین با تغییر کشش سطحی محیط، تأثیر مثبتی بر قدرت نگهداری هوا در خمیر کیک ایجاد می‌کند (۲۸، ۲۷). امولسیفایر لسیتین دانسیته خمیر کیک بدون تخم مرغ را افزایش می‌دهد. این تفاوت در نتایج، به دلیل اختلاف در نوع مواد اولیه مورد استفاده در فرمولاسیون این دو محصول و عملکرد متفاوت امولسفایرها در زمینه‌های مختلف است (۱۷). آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز نیز با شکستن اتصالات ترکیبات فیبری موجبات کاهش دانسیته محصول را فراهم می‌کنند. در مقادیر بالای آنزیم، خرد شدن زیاد پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای موجب افزایش قدرت جذب آب ترکیبات، افزایش محتوی رطوبت و ویسکوزیته خمیر و ممانعت از اتساع و گسترش مطلوب حباب‌های هوای موجود در آن می‌گردد (۲۹).

مقایسه ترکیبات نمونه منتخب بدون گلوتن و شاهد: در مقایسه بهترین نمونه از کیک اسفنجی فاقد گلوتن حاوی ۱/۶۷٪ امولسیفایر لسیتین، ۱/۶۷٪ آنزیم سلولاز و ۰/۳۳ آنزیم همی‌سلولاز با نمونه شاهد گندم، محتوی خاکستر، املاح روی، پتاسیم، آهن، منگنز، کلسیم و فسفر ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان کالری محصول به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر و مقدار پروتئین و عدد پراکسید آن پایین‌تر ارزیابی شد که این مشاهده به وجود کنجاله کتان موجود در کیک و ترکیبات آن نسبت داده می‌شود. با توجه به ارزشمندی این محصول از حیث تغذیه‌ای و پایداری بالای چربی آن به اکسایش، این فرآورده می‌تواند میان وعده مغذی مناسبی برای بیماران سلیاک باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد که به کارگیری دیگر کنجاله‌های روغنی در تولید محصولات برپایه غلات، تأثیر مناسبی بر بهبود خصوصیات تغذیه‌ای آنها دارد (۳۰، ۵).

در این راستا، گزارش شده است که جایگزینی آرد بادام فاقد چربی با آرد گندم در تولید کیک بدون گلوتن موجب افزایش چشمگیر محتوی کلسیم، سدیم، پتاسیم، روی، آهن و مس در محصول می‌شود (۵). بیسکویت تهیه شده از مخلوط آرد گندم، آرد سورگوم و آرد خرما حاوی ۸/۱۰-۶/۳۱ میلی-گرم در ۱۰۰ گرم کلسیم ، آهن ۱/۰۰-۰/۰۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم، پتاسیم ۱/۷۵-۱/۵۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم است. و بیان کردند که محصول نهایی دارای محتوی کلسیم و آهن بیشتری است (۲۹). در ۱۰۰ گرم دانه کتان، ۲۳۶ میلی‌گرم کلسیم، ۶۲۲ میلی‌گرم فسفر، ۴ میلی‌گرم روی، ۱ میلی‌گرم مس، ۵ میلی‌گرم آهن و ۳ میلی‌گرم منگنز گزارش شده است (۳۱). دانه کتان از نظر محتوی اغلب عناصر بر آرد گندم برتری دارد و تفاوت املاح موجود در نمونه بهینه در مقایسه با شاهد به تفاوت محتوی این ترکیبات در آرد اولیه مربوط است.

روغن دانه کتان حاوی ۵۳٪ آلفا لینولنیک اسید، ۱۷٪ لینولئیک اسید، ۱۹٪ اولئیک اسید، ۳٪ استئاریک اسید و ۵٪ پالمتیک اسید است (۳۱). مقایسه محتوی اسیدهای چرب موجود در دو نمونه شاهد و بهینه در جدول (۶) نشان می‌دهد، نسبت لینولنیک اسید (C18:3) موجود در کیک منتخب بدون گلوتن در مقایسه با شاهد به مقدار قابل ملاحظه‌ای بالاتر است. از آنجا که مزیت اصلی غنی‌سازی با دانه کتان افزایش اسید چرب امگا-۳ است (۳۲)، به کارگیری کنجاله روغن‌گیری شده این دانه روغنی نیز به واسطه وجود باقیمانده‌ای از روغن می‌تواند در افزایش محتوی این اسید چرب در محصول نهایی مؤثر باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد در نان غنی شده با ۱۵ درصد دانه کتان، محتوی اسید چرب امگا ۳، ۴/۵۶٪ افزایش می‌یابد (۳۳).

بررسی روند بیاتی کیک منتخب فراسودمند بدون گلوتن و شاهد گندم: بیاتی یا سفت شدن بافت محصولات صنایع پخت در طول زمان نگهداری فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش مقدار رطوبت و یا توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است. علت اصلی سفت شدن بافت کیک را می‌توان کریستال شدن اجزاء نشاسته به ویژه آمیلوپکتین، رهایی رطوبت، انتقال آن از مغز به پوسته و نهایتا حذف رطوبت در طول نگهداری کیک دانست (۳۵، ۳۴). بررسی خصوصیات بافتی محصول نشان می‌دهد که سفتی بافت و سرعت افزایش سفتی محصول در نمونه کیک منتخب بدون گلوتن بیشتر از شاهد گندم است. علت اصلی سفتی و سرعت بیاتی بالا در محصولات بدون گلوتن در طی نگهداری، تخلخل کمتر این محصولات و سهولت مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته در نتیجه عدم حضور گلوتن است.

بیشترین میزان پیوستگی بافت در هر دو نمونه در روز اول تولید، مشاهده شد و در طی دوره نگهداری، این فاکتور در محصول کاهش یافت. در محصولات بدون گلوتن، به دلیل عدم وجود شبکه گلوتنی و حضور فیبرهای نامحلولی که موجب تضعیف ساختار کلی محصول می‌شوند، تخلخل و پیوستگی بافت کاهش می‌یابد. با گذشت زمان، تبخیر آب و تغییر ساختار داخلی کیک موجب کاهش این شاخص در هر دو تیمار می‌شود. امولسیفایر لسیتین با بهبود قابلیت جذب آب و آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز با حفظ رطوبت کیک منتخب باعث حفظ پیوستگی بافت این محصول می‌شود به نحوی که تفاوت معنی‌داری از این حیث میان دو محصول پس از ده روز نگهداری مشاهده نمی‌شود.

به دلیل حضور ترکیبات جدید در فرمولاسیون این محصول، ساختار و پیوندهای داخلی بافت کیک دچار دگرگونی شده و همین امر باعث می‌شود که توانایی بافت برای بازگشت به حالت اول (ارتجاعیت) پس از فشرده‌سازی کاهش یابد (۳۶). علت دیگر این امر را می‌توان کاهش استحکام باندها در ساختار سه بعدی بافت محصول دانست. امولسیفایر لسیتین و آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز با افزایش ظرفیت جذب آب، باعث افزایش خاصیت ویسکوالاستیک بافت و بهبود حفظ ارتجاعیت بافت در آن می‌شوند به طوری که با افزایش زمان نگهداری، روند کاهشی ارتجاعیت بافت محصول بدون گلوتن غیرمعنی‌دار است در حالی که کاهش ارتجاعیت در نمونه شاهد مشهود و معنی‌دار است.

در طی دوره نگهداری، قابلیت جویدن کیک اسفنجی افزایش می‌یابد که به دلیل بالاتر بودن سفتی بافت نمونه بدون گلوتن، قابلیت جویدن این نمونه بیش از نمونه شاهد ارزیابی شد. نظر به نقش مثبت امولسیفایر و آنزیم سلولاز و همی‌سلولاز در بافت نمونه منتخب بدون گلوتن، قابلیت جویدن این نمونه با افزایش زمان نگهداری به نمونه شاهد مشابهت می‌یابد.

نتایج این پژوهش مؤید آن است که از حیث فاکتورهای تغذیه‌ای ترکیب آرد برنج و کنجاله کتان پایه مناسبی برای تولید محصولات بدون گلوتن است. نقش به کارگیری مقادیر مناسب امولسیفایر لسیتین و آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز در بهبود بافت و ایجاد ساختاری مشابه محصولات دارای گلوتن در این فرآورده بسیار چشمگیر است. پس از ارزیابی، مدلسازی و بهینه‌سازی تأثیر افزودنی‌ها بر خصوصیات بافتی و فیزیکی محصول با استفاده از روش سطح پاسخ، سطوح متغیرها در نمونه منتخب معادل ۱/۶۷٪ امولسیفایر لسیتین، ۱/۶۵٪ آنزیم سلولاز و ۰/۳۳٪ آنزیم همی‌سلولاز معین گردید. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که از نظر مهمترین پارامترهای حسی از جمله طعم، بافت، ظاهرکلی و پس‌طعم نمونه بهینه بدون گلوتن و شاهد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

با توجه به ارزش غذایی کنجاله کتان و امکان تولید محصولاتی با ویژگی‌های کیفی مطلوب از آن، توصیه می‌شود مطالعاتی از این دست به منظور بررسی امکان به کارگیری این محصول جانبی که در حال حاضر کاربردی در صنعت غذا در تولید فرآورده‌های غذایی مختلف و بهبود ویژگی‌های کیفی آن، صورت گیرد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

References

1. Rezvani A, Shahidi A. Use of proper additives to improve gluten-free breads. Second National Conference on Optimization of Production, Distribution and Consumption Chain in the Food Industry; 2014 Feb 29-30; Sari, Iran. [in Persian]

2. Aguado A.Development of okara powder as a gluten free alternative to all purpose flour for value added use in baked goods. Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland 2010; College Park.

3.Yahyavi F, Sufi M, Mousavi Kaljahi E. Investigating the effective compounds in pragmatic foods and their health effects. First National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources; 2013 Jan 10; Tehran, Iran. [in Persian]

4. Mehdizadeh SH, Azammad Demirchi S. The use of flaxseed powder in Various food formulations. Twenty-third National Congress of the Iranian Food Science and Technology; 2015 Nov 21-30; Quchan, Iran. [inPersian]

5.Pineli L, Aguiar L, Oliveira G, Botelho R, Ibiapina M, Lima H, Costa L. Use of Baru (Brazilian Almond) Waste from Physical Extraction of Oil to Produce Gluten Free Cakes. Plant Foods Hum Nutrition' 2015; 70: 50–55.

6. Pineli L, Carvalho M, Aguiar L, Oliveira T, Celestino S, Botelho R, Chiarello M. Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction of oil to produce flour and cookies. Food Science and Technology 2015; 60: 50-55.

7. Sufian A, Aalami M, Sadeghi Mahoonk A, Ghorbani M. Uses of Sweet Almonds and Xanthan Gum in the Production of Gluten-free Cakes. Quarterly Journal of Research and Innovation in Science and Food Technology 2014; 3(2): 185-196 [in Persian].

8. Jiang ZH, Cong Q, Yan Q, Kumar N, Du X. Characterisation of a thermostable xylanase from Chaetomium sp. and its application in Chinese steamed bread. Food Chemistry 2010; 120: 457– 462.

9. Ghoshala G, SHivhare U.S, Banerjee U.C. Thermo-mechanical and micro-structural properties of xylanase containingwhole wheat bread. Food Science and Human Wellness 2016; 5: 219–229.

10. Institute of Standards and Industrial Research of Iran,(321), (2705), (10703-1), (19052), (7593), (2862), (332), (2706), (2553), (513), (8693), (9266), (10701-1), (13126-21).3rd revision, Karaj: ISIRI; 2005 [in Persian].

11. Van soest, J.P., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal Dairy Sciences, 74: 3583-3597.

12. Nourmohammadi E, Peighambardoust H, Olad Ghaffari A . Low-calorie cake production by replacing sucrose with erythritol and oligophlox. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology 2012; 7: 85-92 [in Persian].

13. Naghipour F, Karimi M, Habibi Najafi MB, Hadad Khodaparast MH, Sheikholeslami Z, Ghiafeh Davoodi, M, Sahraiyan B. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. Journal of Food Science and Technology of Iran 2013; 10 (41) :127-139[in Persian].

14. Paraskevopoulous A, Kiosseoglou V. Texture Profile Analysis of Heat-Formed Gels and Cakes Prepared with Low Cholesterol Egg Yolk Concentrates. Journal of Food Science 1997; 62: 208-211.

15. Kim M K, Lee J- M, Do J-S, Bang W-S. Antioxidant Activities and Quality Characteristics of

Omija (Schizandra chinesis Baillon) Cookies. Food Science and Biotechnology2015; 24(3): 931-937.

16. Yam kL, Papadakis SE. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of Food Engineering 2004; 61: 137-142.

17. Khalilian Movahhed M, Mohebbi M, Koocheki A, Milani E. The effect of different emulsifiers on the eggless cake properties containing WPC. Journal of Food Science and Technology 2016; 53: 3894–3903.

18. Arozarena I, Bertholo H, Empis J, Bunger A, Sousa I. Study of the total replacement of egg by white lupine protein, emulsifiers and xanthan gum in yellow cakes. European Food Research and Technology 2001; 213: 312–316.

19. Lebesi D, Tzia C. Use of endoxylanase treated cereal brans for development of dietary fiber enriched cakes. Innovative Food Science and Emerging Technologies 2012; 13: 207–214.

20. Abbes A, Bouaziz M, Blecker C, Masmoudi M, Attia H, Besbes S. Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physico-chemical characteristics, sensory and functional properties. LWT - Food Science and Technology 2011; 44: 1827-1834.

21. Hilhorst R, Dunnewind B, Orsel R, Stegeman P, Vliet T, Gruppen H, Schols H Baking Performance, Rheology, and Chemical Composition of Wheat Dough and Gluten Affected by Xylanase and Oxidative Enzymes. Food Science and Technology 1999; 64: 808-813.

22. Liu W, Brennan M, Serventi L, Brennan CH. Effect of cellulase, xylanase and a-amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. Journal Food Chemistry 2017; 234: 93–102.

23. Uysal H, Bilgic N, Elgun A, Ibanog S, Herken E N, Demir M. Effect of dietary fibre and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. Journal of Food Engineering 2007; 78:1074–1078.

24. Popper L. Enzymes in biscuit, cracker and wafer production Asia Pacific. Food Industry 2004; 16(3): 28-32.

25. Gularte M, Hera E, Gómez M, Rosell M. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. LWT - Food Science and Technology 2012; 48 :209-214.

26. Aloui F, Maazoun B,GargouriY, Miled N. Optimization of oil retention in sesame based halva using emulsifiers and fibers: an industrial assay. Food Science and Technology 2016; 53:1540–1550.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

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

28. Sahi SS, Alava JM. Functionality of emulsifiers in sponge cake production. Journal of the Science of Food and Agriculture 2003; 83: 1419-1429.

29. Gomez M, Ronda F, Caballero PA, Blanco CA, Rosell CM. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. Food Hydrocolloids 2007, 21: 167-173.

30. Taiwo EO, Sekinat AA, Adegbola DO, Kemisola, Joke. Chemical composition and sensory qualities of wheat-sorghum date cookies. Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition 2017; 12: 71-76.

31. Bernacchia R, Preti R, Vinci G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. Austin Journal of Nutrition and Food Sciences 2014; 2: 01-09.

32. Mercier S, Villeneuve S, Moresoli C, Mondor M, Marcos B, Power KA. Flaxseed-enriched cereal-based products: A review of the impact of processing conditions. Comprehensive Reviews Food Science and Food safety 2014; 13: 400-412.

33. Mentes O, Bakkalbas E, Ercan R. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread. Food Science and Technology International 2008; 14: 299-306.

34. Lebesi D, Tzia C. Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcake. Food and Bioprocess Technology 2009; 4:710-722.

35. Lin S, Hwang CF, Yeh CH. Physical and Sensory Characteristics of Chiffon Cake Prepared with Erythritol as Replacement for Sucrose. Journal of food science A Publication of the Institue of Food Technologists 2003; 68: 2107-2110.

36. Petitot M, Boyer L, Minier Ch, Micard V. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. Food Research International 2010; 43: 634-64.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]

Effects of Cellulase, Hemicellulase and Lecithin on Qualitative Properties of Gluten-Free Sponge Cakes Based on Flaxseed Meal and Rice Flour

Aghaesmaeili E[1], Abbasi H[2], Fazel M[3]*

1- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

*2-*Corresponding author: Associate Prof, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: h.abbasi@Khuisf.ac.ir*

3- Asistant Prof, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan

Received 11 Dec, 2019 **Accepted 9 Apr, 2020**

Background and Objectives: Due to important roles of gluten in qualitative properties of cereal-based products and consumption restrictions of these products by celiac patients, formulation of gluten-free products with appropriate quality and investigation of effects of various additives on qualitative properties of the products are important.

Materials & Methods: In this study, effects of lecithin emulsifier (0–2%) and two enzymes of cellulase and hemicellulase (0–2%) on textural properties (hardness, cohesiveness and springiness), density and moisture contents of gluten-free cakes were modeled based on flaxseed meal and rice flour using response surface method. Furthermore, characteristics of optimal and control samples were compared with each other within 14 d of storage.

Results: Hemicellulose and lecithin were effective on improvement of cohesiveness and springiness of the product texture, respectively. Interactions between lecithin and cellulase at appropriate levels included significant effects on decreases in the product density. Furthermore, cellulase and hemicellulase improved water absorption ability of the product. Considering the most important qualitative parameters, the optimum concentrations of the variables included 1.67% lecithin, 1.65% cellulase and 0.33% hemicellulose. Textural cohesiveness of the optimal sample within 14 d of storage decreased more slightly, compared to control (samples included wheat flour without flaxseed meal, rice starch and other variables). Moreover, springiness of the sample was more than that of control, decreasing slowly during the storage (p<0.05).

Conclusion: The formulated gluten-free product included higher minerals, linolenic acid, oleic acid and antioxidant activity and lower peroxide value, compared to control. There was no significant difference between the product and control in the most important sensorial properties such as flavor, texture, overall appearance, taste and after taste.

Keywords: Functional properties, Cellulase, Hemicellulase, Flaxseed Meal, Response surface method methodology

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11]