مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۶۹-۵۵

بهینه سازی فرمولاسیون گز رژیمی غنی شده با قند استویا و قارچ *گانودرما لوسیدوم* به روش سطح پاسخ (RSM)

زهرا محمدی برکانی[۱]، محمد گلی[*۲و۳]

۱- کارشناسی ارشد، رشته علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. پست الکترونیکی:mgolifood@yahoo.com
۳- دانشیار مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوری‌های زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۴

چکیده

سابقه و هدف: امروزه تولید و مصرف مواد غذایی رژیمی و فراسودمند رو به افزایش است. با توجه به اینکه کربوهیدرات‌ها یکی از مهم‌ترین منابع افزایش دهنده کالری می‌باشند، بسیاری از توجهات در صنعت غذا به کاهش استفاده از این منبع مهم و جایگزینی آن با شیرین کننده‌های بدون کالری معطوف گردیده است. هدف از پژوهش حاضر، کاهش قند مصرفی در تهیه گز و ارتقاء ارزش غذایی آن با استفاده از استویا و *گانودرما لوسیدوم* بوده است.

مواد و روش‌ها: اثر درصد جایگزینی استویا با ساکارز (۱۰۰-۰٪)، درصد *گانودرما* (۱-۰٪) و دمای پخت (۹۰-۷۰درجه سانتی‌گراد) بر ویژگی‌های کیفی و بافتی مورد بررسی قرار گرفت. بهینه‌سازی فرمولاسیون گز رژیمی غنی‌شده، با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert صورت گرفت. پس از تعیین نقطه بهینه، نتایج حاصل از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی با استفاده از نرم افزار SPSS ازریابی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشانگر افزایش دانسیته و کاهش پیوستگی، ارتجاعیت و قابلیت جویدن تیمارها با افزایش درصد جایگزینی استویا بود. سفتی و صمغیت با افزایش درصد *گانودرما* افزایش، و ارتجاعیت و قابلیت جویدن کاهش یافت. نتایج رنگ‌سنجی نشان داد که با افزایش درصد استویا و *گانودرما* شاخص (L*) و (b*) کاهش، و تغییرات رنگ افزایش یافت. شرایط بهینه تولید گز رژیمی غنی شده، شامل ۴۱٪ استویا، ۰/۱۴٪ *گانودرما* و دمای ۹۰°C، و ۳۷٪ استویا، ۰/۱۲٪ *گانودرما* و دمای ۸۵°C معرفی گردید. مقایسه بین نمونه‌های بهینه و شاهد نشان داد که میزان پروتئین، چربی، پتاسیم، فسفر و ویتامین D گز بهینه‌سازی شده بالاتر از نمونه شاهد بود ($p<0/05$). در ارزیابی حسی اکثر ویژگی‌های حسی تفاوت معنی‌داری را بین نمونه‌های بهینه و شاهد نشان نداد ($p>0/05$).

نتیجه‌گیری: با استفاده از استویا به راحتی می‌توان میزان قند موجود در ترکیب گز را کاهش داد، و با غنی‌سازی آن با استفاده از *گانودرما لوسیدوم* ویژگی-های تغذیه‌ای آن را به نحو مطلوبی ارتقاء داد.

واژگان کلیدی: گز، دانسیته، سفتی، تخلخل، بهینه‌سازی

• مقدمه

تغییر شیوه زندگی انسان‌ها و در نتیجه بروز بیماری‌هایی نظیر قلبی و عروقی، چاقی، دیابت و فشار خون تولید فرمولاسیون‌های غذایی کم کالری را ضروری می‌سازد. در این راستا، کاهش مصرف ساکارز و مشتقات آن توسط افراد چاق، کودکان، زنان باردار و بیماران دیابتی بدلیل کالری بالا و تأثیرات نامطلوب بر بدن بیشتر توصیه می‌شود. با توجه به مصرف بالای فرآورده‌های قنادی در ایران و همچنین وجود مقدار بالای ساکارز در چنین محصولاتی، به‌دست آوردن فرمولاسیون‌های رژیمی برای این دست از مواد غذایی امری ضروری به‌شمار می‌رود. امروزه، استفاده از شیرین کننده‌های رژیمی برای جایگزین کردن ساکارز مورد توجه تولید کنندگان و محققان قرار گرفته است (۱). در این میان برگ گیاه استویا و قند حاصل از آن با نام استویوزید (*Stevioside*)، با شیرینی ۳۰۰ برابر بیشتر از ساکارز، کالری کمتر و اندیس گلایسمی پایین، شیرین کننده طبیعی می‌باشد که به‌دلیل داشتن خواص عملکردی منحصر به‌فرد می‌تواند به عنوان جایگزین طبیعی مناسب برای ساکارز تلقی شود. استویا گیاهی کوتاه قد و بوته‌ای می‌باشد که بومی کشورهای پاراگوئه و برزیل است و در برخی نقاط آسیا، اروپا و کانادا نیز کشت می‌شود. قندهای استویا پس از مصرف، قابلیت جذب نداشته و منجر به افزایش قند خون نمی‌شود، بنابراین برای بیماران دیابتی مناسب است و عوارض نامطلوب استفاده از شکر را در پی ندارد (۲). در

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

سال‌های اخیر تلاش بسیاری برای تولید محصولات کم کالری انجام شده است. یوسفی اصلی و همکاران (۱۳۹۱)، به بهینه-سازی مربای به کم کالری با استفاده از شیرین کننده استویا پرداختند. نتایج حاصل بیانگر آن بود که با استفاده از پودر استویا تولید مربای به کم کالری امکان پذیر است به‌طوری که می‌توان میزان شکر را به ۵۰ درصد میزان معمول تقلیل داد بدون آنکه ویژگی‌های حسی محصول نهایی تغییر یابد (۳). یافته‌های چهارطاق و همکاران (۱۳۹۶)، در بررسی اثر جایگزینی شکر با استویا در فرمول کیک رژیمی نشان داد که ویژگی‌های کیک شامل افت وزنی، بافت، میزان شیرینی، رنگ و پذیرش کلی بهبود یافت (۴). Walter و Soliah (۲۰۱۰)، جایگزینی شکر با استویوزید را در تولید محصولات آردی نظیر کیک و کلوچه مورد بررسی قرار دادند. صفات مورد ارزیابی شامل نرمی، حجم و کاهش رطوبت حین پخت بودند. نتایج نشان داد کلوچه‌های حاوی شکر و استویوزید با نسبت ۵۰:۵۰ نرم‌تر از سایر نسبت‌های مورد استفاده بود، و استویوزید توانست تا حد رضایت بخشی در چنین محصولاتی استفاده شود (۵). در تحقیقی دیگر پیرامون جایگزینی ساکارز با استویا در کولفی (Kulfi) که یک نوشیدنی غلیظ شیری و تا حدودی مشابه با بستنی می‌باشد، میزان ۵۰ درصد ساکارز با استویا جایگزین گردید و هیچ گونه اثر منفی در ویژگی‌های حسی این فرآورده مشاهده نشد (۶).

امروزه رویکرد مبتنی بر غنی‌سازی مواد غذایی مورد علاقه اقشار مختلف جامعه، می‌تواند یکی از مناسب‌ترین و کاربردی-ترین راهکارها جهت پیشگیری از بروز سوء تغذیه محسوب گردد. علاوه براین، مصرف تنقلات در میان گروه‌های سنی مختلف امری شایع بوده و در نتیجه مشکلات ناشی از فقر غذایی را در بین گروه‌های سنی مختلف به‌ویژه نوجوانان و بزرگسالان شاهد می‌باشیم. استفاده از مکمل‌های غذایی به-دست آمده از منابع طبیعی، روش مناسبی جهت تأمین نیازهای تغذیه‌ای عموم جامعه، به نظر می‌رسد. وجود ترکیبات زیست فعال منحصر به‌فرد، قارچ‌ها را در زمره غذاهای عملگرا (Functional foods) و فراسودمند قرار داده است (۷). *گانودرما لوسیدوم* (*Ganoderma lucidum*) یکی از قارچ‌هایی است که به لحاظ دارا بودن خواص تغذیه‌ای و دارویی متعدد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. *گانودرما* قارچی یکساله از تیره *Ganodermataceae* می‌باشد، و میسلیوم و اسپور آن دارای ترکیبات بیولوژیک فعال متعددی است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به پروتئین‌ها، اسیدهای چرب، پلی ساکاریدها، استرول‌ها، استروئیدها، تری ترپنوئیدها، نوکلئوتیدها و مواد معدنی کمیاب اشاره کرد. پلی ساکاریدها و تری ترپنوئیدهای موجود در این قارچ از خواص آنتی اکسیدانی، ضد باکتریایی، ضد ویروسی و ضد سرطانی قابل توجهی برخوردار هستند (۸).

تحقیقات Obodai و همکاران (۲۰۱۷)، دال بر ارزش تغذیه‌ای بالای *گانودرما لوسیدوم* که حاوی ۲۴/۵-۱۵/۷٪ پروتئین، ۸۱/۹۰-۷۳/۳۱٪ کربوهیدرات، ۱/۴-۰/۴۸٪ چربی و ۲/۱۲-۰/۶۸٪ خاکستر می‌باشد، و منبع غنی از بتاگلوکان، ویتامین‌ها (ویتامین D) و مواد معدنی به‌ویژه فسفر، پتاسیم و کلسیم است، دارد. وجود اثرات مثبت آنتی اکسیدانی ترکیبات عملگر موجود در *گانودرما لوسیدوم* از جمله ترکیبات فنولیک، توکوفرول‌ها و بتاکاروتن نیز مورد تأکید قرار گرفته است. به نحوی که این ترکیبات قابلیت بازدارندگی رادیکالی قابل توجهی از خود نشان داده‌اند (۹).

تاکنون تحقیقات کمی در زمینه غنی‌سازی و کاربرد *گانودرما لوسیدوم* در محصولات غذایی انجام گرفته است. به عنوان مثال، Artunduaga و همکاران (۲۰۱۹)، اثر جایگزینی *گانودرما لوسیدوم* با چربی، به‌منظور تولید کیک کم کالری، در غلظت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی را مورد بررسی قرار داده و ویژگی‌های کیفی تغذیه‌ای و تکنولوژیکی را نسبت به نمونه شاهد ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی، حجم مخصوص کاهش و سفتی بافت افزایش یافت. محتوی رطوبت، فعالیت آبی، پروتئین و خاکستر در کیک‌های کم کالری، در مقایسه با نمونه کنترل تغییر محسوسی نکرد، و در عین حال میزان فیبر و چربی به‌ترتیب، افزایش و کاهش پیدا نمود (۱۰).

تاکنون پژوهشی بر روی تولید گز کم کالری غنی‌شده صورت نگرفته است. با توجه به مصرف بالای این شیرینی در ایران و با ذکر این نکته که این شیرینی حاوی مقدار زیادی ساکارز است و ساکارز علاوه بر ایجاد طعم شیرین، خصوصیات عملکردی فراوانی را در فرآورده‌های غذایی ایجاد می‌کند، به-دست آوردن فرمولاسیون‌های رژیمی توسط جایگزینی شکر با شیرین کننده‌های ایمن کم کالری برای این دسته از مواد غذایی امری ضروری به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر، افزایش آگاهی عمومی در مورد سلامتی و تغذیه سبب تمایل بیشتر افراد به مصرف محصولات با کیفیت تغذیه‌ای بالا شده است. از این رو، در این پژوهش امکان تولید گز رژیمی غنی شده با استفاده از استویا و *گانودرما لوسیدوم* به عنوان یک محصول فراسودمند نوین مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر آن بر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی محصول ارزیابی شد.

• مواد و روش‌ها

مواد: از گلوکز مایع، ایزومالت، سوربیتول، شکر، سفیده تخم مرغ، هل، استویا و *گانودرما لوسیدوم* (سلامت گستران آریان ایران) جهت تهیه نمونه‌های گز استفاده شد.

تولید گز: فرمولاسیون پایه گز شامل آب (۱۳/۸۸٪)، سوربیتول (۱/۷۴٪)، گلوکز مایع (۴۸/۵۹٪)، شکر (۳۴/۷۱٪)، سفیده تخم مرغ (۰/۸۷٪) و هل (۰/۲۱٪) در نظر گرفته شد، و ایزومالت به عنوان پر کننده مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور تهیه گز ابتدا گلوکز، شکر، سوربیتول و آب مخلوط گردید و در دمای ۱۲۶ درجه سلسیوس در یک مخزن دارای همزن به مدت حدود ۲ ساعت به‌طور مداوم همزنی شد. سپس سفیده تخم مرغ زده شده و به شربت به‌دست آمده در دمای ۶۰ درجه سلسیوس اضافه گردید و تا رسیدن کامل گز همزدن ادامه یافت. نمونه‌های آماده شده، قالب‌گیری و قبل از خارج کردن از قالب، نمونه‌ها برای مدت ۳ ساعت در دمای ۱۵ درجه سلسیوس سرد شدند (۱۱). برای تهیه گز رژیمی غنی‌شده، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با استویا در سطوح (۱۰۰-۰ درصد)، *گانودرما لوسیدوم* در سطوح (۱-۰ درصد) و دمای پخت در سطوح (۹۰-۷۰ درجه سلسیوس) انتخاب شدند (جدول ۱) و بقیه ترکیبات ثابت در نظر گرفته شد. برای بدست آوردن نقطه‌ی بهینه، ۲۶ آزمایش توسط نرم افزار Design Epert پیشنهاد گردید (جدول ۲)، که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه گیری آنها نیز آورده شده است.

آزمون‌های شیمیایی: نمونه‌های گز رژیمی غنی‌سازی شده و شاهد، از لحاظ میزان پروتئین با روش مصوب AACC به شماره ۱۲-۴۶ و با روش کلدال و ضریب تبدیل ۶/۲۵، میزان چربی مطابق با روش مصوب AACC به شماره ۱۰-۳۰ و با استفاده از حلال پترولیوم اتر و دستگاه سوکسله، میزان قند با روش مصوب AACC به شماره ۰۱-۵۰-۸۰ و به روش لین-اینون، میزان پتاسیم و فسفر طبق روش مصوب AACC به شماره‌های ۷۱-۴۰ و ۵۷-۴۰، توسط دستگاه جذب اتمی مدل Analyst 700 ساخت شرکت Perkin Elmer کشور آمریکا و میزان ویتامین D مطابق با استاندارد ملی ایران به شمار ۱۳۵۷۹، توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مدل Cp 3800 ساخت کمپانی Varian انجام گردید. مقدار تزریق نمونه ۲۰ میکرولیتر و آشکارساز فلورسنس JASCO مدل FP-1520 مورد استفاده قرار گرفت. فاز متحرک ترکیبی از هگزان: ایزوپروپانول (۹۹/۳:۷/۷ v/v) بود. سرعت جریان فاز متحرک ۱ میلی‌متر در دقیقه بود. ستون LICHROSORB SI60-5 با ابعاد ۳×۲۵۰ میلی‌متر و اندازه ذارت ۵ میکرولیتر، پمپ KNAUER۱۰۰۰ و دمای ستون برابر با دمای اتاق بود (۱۷-۱۲).

جدول ۱. نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه‌گیری آنها

متغیرهای مستقل	فاکتور	کد و سطوح مربوطه				
		$+\alpha$	+۱	۰	-۱	$-\alpha$
جایگزینی شکر با استویا (٪)	A	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
گانودرما لوسیدیوم (٪)	B	۱	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰
دمای پخت (°C)	C	۹۰	۸۵	۸۰	۷۵	۷۰

جدول ۲. آزمایشات ارائه شده توسط نرم افزار با استفاده از طرح RSM

Run	استویا	گانودرما	دمای پخت	Run	استویا	گانودرما	دمای پخت
۱۸	۵۰	۰/۵	۷۰	۱۵	۵۰	۰/۵	۸۰
۲	۲۵	۰/۷۵	۷۵	۱۷	۱۰۰	۰/۵	۸۰
۵	۲۵	۰/۷۵	۷۵	۲۵	۵۰	۰/۵	۸۰
۶	۲۵	۰/۲۵	۷۵	۲۶	۵۰	۰/۵	۸۰
۸	۷۵	۰/۲۵	۷۵	۳	۲۵	۰/۷۵	۸۵
۱۹	۲۵	۰/۲۵	۷۵	۴	۷۵	۰/۷۵	۸۵
۲۰	۷۵	۰/۷۵	۷۵	۹	۷۵	۰/۷۵	۸۵
۲۲	۷۵	۰/۲۵	۷۵	۱۰	۲۵	۰/۷۵	۸۵
۲۴	۷۵	۰/۷۵	۷۵	۱۲	۲۵	۰/۲۵	۸۵
۱	۵۰	۰/۵	۸۰	۱۶	۷۵	۰/۲۵	۸۵
۷	۰	۰/۵	۸۰	۲۱	۲۵	۰/۲۵	۸۵
۱۱	۵۰	۰	۸۰	۲۳	۷۵	۰/۲۵	۸۵
۱۴	۵۰	۱	۸۰	۱۳	۵۰	۰/۵	۹۰

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

دانسیته: دانسیته گز پس از تعیین حجم با استفاده از روش جابه جایی دانه کلزا محاسبه شد (۱۸).

ارزیابی بافت: جهت ارزیابی سفتی بافت از دستگاه بافت سنج TA-TX PLUS (شرکت استیبل میکروسیستم، انگلستان) استفاده شد. برای این منظور، قطعه مکعب مربع با اندازه ۲×۲ سانتی‌متر از گز تهیه گردید و از پروب با قطر ۲/۵ سانتی‌متر، سرعت نفوذ ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و عمق نفوذ ۲۰ میلی‌متر استفاده شد. نیروی لازم جهت نفوذ پروب به درون نمونه به عنوان شاخص سفتی بافت بر حسب نیوتن گزارش گردید. پیوستگی و ارتجاعیت (فنریت) نیز از روی نمودار فاصله- نیرو به‌دست آمد. صمغیت از حاصل‌ضرب سختی و پیوستگی، و قابلیت جویدن نیز از حاصل‌ضرب سختی و پیوستگی و ارتجاعیت محاسبه شد (۱۹).

رنگ سنجی: جهت اندازه‌گیری پارامترهای رنگی نمونه‌ها از روش عکس‌برداری به روش جعبه مستطیلی چوبی به مساحت کف ۲۴۰۰ سانتی‌متر مربع دارای دو لامپ کم مصرف سفید فلورسانس ۹ واتی با شدت نور داخلی ۷۵ لوکس استفاده شد و سپس اندازه‌گیری پارامترهای رنگی L*، a* و b* عکس‌ها توسط نرم افزار ایمیج جی (Image J) و در نهایت استاندارد نمودن پارامترها با کارت‌های RAL صورت گرفت (۲۰).

ارزیابی خواص حسی: ارزیابی حسی نمونه‌ها بعد از ۴۵ روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و با آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای توسط ۱۰ داور آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفت. از ارزیاب‌ها خواسته شد تا صفات مورد بررسی شامل طعم و مزه، شیرینی، پس طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی را از عدد ۱ تا ۵ رتبه‌بندی نمایند. برای بهترین کیفیت عدد ۵ و برای نازل‌ترین کیفیت عدد ۱ در نظر گرفته شد (۲۱).

میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy): ابتدا به‌منظور تثبیت بافت، نمونه‌ها در نیتروژن مایع در مدت یک دقیقه منجمد و سپس روی یک پایه مسی قرار داده شدند. برای جلوگیری از ایجاد بار ساکن (Charging effect) با نشاندن لایه نازکی از طلا یا کربن سطوح نمونه‌های غیر هادی هدایت الکترونی پیدا می‌کند و الکترون‌های سطحی دفع می‌شوند و بدین‌ترتیب وضوح تصاویر بهبود می‌یابد. در این تحقیق از میکروسکوپ الکترونی (مدل XL30 ساخت شرکت فیلیپس کشور هلند) با ولتاژ ۱۵ کیلو ولت و وضوح تصاویر ۱۰۰۰X استفاده شد (۱).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: در تحقیق حاضر، برای بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی استویا (A)، درصد جایگزینی *گانودرما لوسیدوم* (B) و دمای پخت (C) بر پاسخ‌ها (دانسیته، بافت، رنگ) از نرم افزار Design Epert ver: 9.0 و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با میزان α برابر ۲ و ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. کلیه بررسی‌های آماری و معنی‌داری و یا غیر معنی‌داری داده‌ها در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. جست و جوی شرایط عملیاتی بهینه جهت دستیابی به پاسخ‌های مطلوب مورد نظر با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی انجام شد. در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف شد که آثار اصلی و متقابل متغیرها را بر روی هر فاکتور بیان می‌کند، مدل چند متغیره به‌صورت زیر می‌باشد. در معادله (۱)، پاسخ پیش بینی شده Y، ضریب ثابت،β_0 ، اثرات خطی β_a، β_b، β_c، اثرات مربعی β_{aa}، β_{bb}، β_{cc} و اثرات متقابل β_{ab}، β_{ac} ، β_{bc} می‌باشند.

معادله ۱

$$Y=\beta_0+\beta_aA+\beta_bB+\beta_cC+\beta_{aa}A^2+\beta_{bb}B^2+\beta_{cc}C^2+\beta_{ab}AB+\beta_{ac}AC+\beta_{bc}BC$$

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد (S.D.) و مجموع مربعات باقی مانده برآورد شده (PRESS) کم و ضریب همبستگی (R^2) بالا باشد. آنالیز نتایج بدست آمده در قالب طرح کاملا تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver: 9.1 صورت گرفت. به‌منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین آنها، از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) استفاده گردید.

• یافته‌ها

برای به‌دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (دانسیته، بافت، رنگ) ابتدا رابطه‌های چند جمله‌ای شامل خطی، دو عاملی، درجه دو و درجه سه بر داده‌های بدست آمده از این پاسخ برازش داده شدند و سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات دانسیته مدل درجه سوم، و برای تغییرات سفتی بافت، پیوستگی، صمغیت و قابلیت جویدن مدل درجه دوم بود. مناسب‌ترین مدل برای پاسخ ارتجاعیت و شاخص رنگی (a*) مدل خطی بود که توسط نرم افزار پیشنهاد شد. همچنین، مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات شاخص‌های رنگی (L*)، (b*) و اندیس سفیدی در اثر متغیرهای مورد بررسی (جایگزینی استویا با شکر، *گانودرما*، دمای پخت)، مدل درجه سوم با ضریب تبیین ($R^2>0.70$) بود. نتایج مربوط به تجزیه واریانس متغیرهای پاسخ در جدول ۳ آورده شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی استویا و گانودرما بر متغیرهای پاسخ (دانسیته، بافت و رنگ)

منبع تغییرات	پاسخ																			
	دانسیته(g/cm^3)		سفتی بافت(N)		پیوستگی		ارتجاعیت		صمغیت(N)		قابلیت جویدن(N)		L*		a*		b*		تغییرات رنگ		اندیس سفیدی	
	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات
مدل	۴	۰/۱۴**	۲	۲۴۴۷/۶۶**	۴	۰/۱۹**	۳	۰/۳۷**	۲	۱۴۸/۴۹**	۴	۳۹/۸**	۴	۲۱۹/۷۶**	۲	۲/۳**	۶	۳۲/۵**	۴	۱۷۳/۳۹**	۳	۲۵۷/۳۱**
A	۱	۳/۵۲×۱۰$^{-۳**}$	–	–	۱	۰/۱۲**	۱	۰/۱۴**	–	–	۱	۲۲/۵۱**	–	–	۱	۱/۱۲**	–	–	–	–	–	–
B	–	–	۱	۴۲۲/۵۲**	–	–	۱	۰/۱۱**	۱	۷۱/۱**	–	–	۱	۸۰/۸۲**	–	–	۱	۴/۰۴*	۱	۴۰/۹۷**	–	–
C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۲/۸۹^{ns}	۱	۱۶/۰۶**	–	–
AB	–	–	–	–	۱	۰/۰۱۹*	۱	۰/۰۹۶**	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۳/۲۹*	–	–	–	–
AC	۱	۱/۷۳۲×۱۰$^{-۳ns}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BC	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۱/۵۱ns	–	–	۱	۱/۰۵**	–	–	۱	۱۰/۲۸^{ns}	–	–
ABC	–	–	–	–	–	-	–	-	–	–	–	–	–	-	–	–	۱	۲/۷۲^{ns}	–	-	–	–
A^2	۱	۴/۲۷×۱۰$^{-۳**}$	–	–	۱	۰/۰۲۸*	–	–	–	–	۱	۲۰/۸۳**	۱	۶۵/۲۲**	–	–	–	–	۱	۱۰۶/۰۸**	۱	۱۶۵/۲۶**
B^2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۱۰/۸۶**	۱	۶۳/۲۸**	–	–	–	–	–	–	–	–
C^2	–	–	۱	۲۰۲۵/۱۳**	۱	۰/۰۱۴*	–	–	۱	۷۷/۴**	–	–	–	–	–	–	۱	۲/۵۱^{ns}	–	–	–	–
A^2B	۱	۲/۶۹×۱۰$^{-۳*}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۷۲/۳۲**
A^2C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۱۸/۳۶**	–	–	–	–	–	–	۱	۱۹/۷۳**
AB^2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
AC^2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
A^3	-	-	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۱۳/۹۳**	–	–	–	–
B^3	-	-	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
C^3	-	-	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
باقی مانده	۱۴	۵/۳۲×۱۰$^{-۳}$	۲۰	۹۸۸/۷۳	۱۸	۰/۰۶۲	۱۹	۰/۱۴	۱۹	۶۳/۸۶	۱۱	۴/۸۳	۱۸	۴۷/۲۲	۲۰	۰/۹۲	۱۶	۱۰/۳۴	۱۹	۴۶/۴۷	۱۹	۶۶/۶۸
عدم برازش	۹	۲/۳۶×۱۰$^{-۳ns}$	۱۰	۵۳۱/۲۸^{ns}	۷	۰/۰۱۳^{ns}	۹	۰/۰۶۷^{ns}	۱۰	۴۷/۱۷^{ns}	۴	۱/۷۴^{ns}	۸	۴۰/۳۲^{ns}	۱۰	۰/۵۹^{ns}	۵	۳/۰۷^{ns}	۹	۲۷/۷۶^{ns}	۹	۳۴/۴۸^{ns}
R^2	۰/۷۳		۰/۷۱		۰/۷۵		۰/۷۳		۰/۶۹		۰/۸۹		۰/۷۴		۰/۷۱		۰/۷۵		۰/۷۸		۰/۷۹	
خطای کل	۵	۲/۹۷×۱۰$^{-۳}$	۱۰	۴۵۷/۴۵	۱۱	۰/۰۴۹	۱۰	۰/۰۶۸	۹	۱۶/۶۹	۷	۳/۰۹	۱۰	۳۳/۹	۱۰	۰/۳۳	۱۱	۷/۲۶	۱۰	۱۸/۷۱	۱۰	۳۲/۲۱
کل	۱۸	۰/۰۲	۲۲	۳۴۳۶/۳۹	۲۲	۰/۲۵	۲۲	۰/۵۱	۲۱	۲۱۲/۳۶	۱۵	۴۴/۶۳	۲۲	۲۹۳/۹۸	۲۲	۳/۲۲	۲۲	۴۲/۸۴	۲۳	۲۱۹/۸۶	۲۲	۳۲۳/۹۹

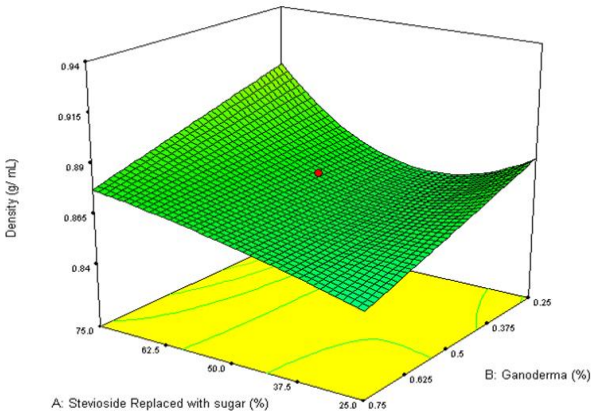
خطوط تیره در جدول نشان دهنده‌ی بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

تغییرات دانسیته: نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر خطی و درجه دوم درصد جایگزینی استویا و اثر درجه دوم درصد جایگزینی استویا با اثر خطی درصد *گانودرما لوسیدوم* بر تغییرات دانسیته معنی‌دار بود ($p<۰/۰۰۱$). طبق معادله (۲)، افزایش درصد جایگزینی استویا به‌ویژه در مقادیر بالاتر باعث افزایش دانسیته شد. مثبت بودن ضریب رگرسیونی خطی و درجه دوم درصد استویا مؤید این مطلب می‌باشد. نمودار سطح پاسخ (شکل ۱) تأثیر متقابل جایگزینی استویا و *گانودرما* بر تغییرات دانسیته را نشان می‌دهد، همان طور که مشاهده می‌شود در سطوح مختلف استویا، با کاهش درصد *گانودرما* دانسیته افزایش یافت. همچنین، در سطوح مختلف *گانودرما*، افزایش دانسیته با افزایش درصد جایگزینی استویا مشاهده شد. تأثیر متقابل استویا و *گانودرما* تا سطوح متوسط متغیرها منجر به افزایش دانسیته محصول گردید. کمترین میزان دانسیته محصول در سطح بالاتر *گانودرما* و مقادیر پایین‌تر استویا به‌دست آمد.

معادله ۲

$$\text{دانسیته}(g/cm^3) = ۰/۸۷ + ۰/۰۱۴A - ۰/۰۱۳AC + ۰/۰۱۳A^2 - ۰/۰۱۶A^2B$$



شکل ۱. نمودار سطح پاسخ تأثیر جایگزینی استویا و *گانودرما* بر تغییرات دانسیته

تغییرات بافت: براساس نتایج جدول (۳)، تنها اثر خطی درصد *گانودرما* و اثر درجه دوم دمای پخت بر تغییرات سفتی و صمغیت معنی‌دار بود. نتایج حاکی از معنی‌داری اثرات متغیرهای مستقل بر تغییرات پیوستگی، ارتجاعیت و قابلیت جویدن محصول نیز بود ($p<۰/۰۰۱$). همان طور که در معادله (۳ و ۶) نشان داده شده است، با افزایش درصد *گانودرما* سفتی و صمغیت افزایش یافت. کاهش سفتی و صمغیت در سطوح بالای دمای پخت نیز مشاهده شد. بر طبق این معادله (۴، ۵ و ۷)، افزایش درصد استویا باعث کاهش پیوستگی، ارتجاعیت و قابلیت جویدن شد، و پیوستگی بافت در مقادیر بالاتر استویا افزایش یافت. همچنین با افزایش درصد *گانودرما* ارتجاعیت کاهش یافت (معادله ۵). کاهش قابلیت جویدن در مقادیر بالاتر درصد استویا و *گانودرما* نیز مشهود بود (معادله ۷). شکل (۲)، تأثیر متقابل درصد استویا و *گانودرما* بر تغییرات بافت را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار سه بعدی (شکل ۲- الف) مشاهده می‌شود که در سطوح مختلف *گانودرما*، با کاهش درصد جایگزینی استویا پیوستگی افزایش یافت. در سطوح بالاتر استویا، افزایش درصد *گانودرما* موجب افزایش پیوستگی شد، و در سطوح پایین‌تر استویا، پیوستگی با افزایش درصد *گانودرما* کاهش یافت. همچنین در نمودار سه بعدی (شکل ۲- ب)، در هر سطح از استویا، با کاهش درصد *گانودرما* ارتجاعیت افزایش یافت، و در هر سطح از *گانودرما*، تغییرات ارتجاعیت با کاهش درصد استویا روند افزایشی داشت. اثرات متقابل درصد استویا و *گانودرما* در مقادیر بالا نیز منجر به افزایش ارتجاعیت شد.

معادله (۳) $\text{سفتی بافت (N)} = ۳۵/۳۶ + ۴/۲B - ۲۰/۳۹C^2$

معادله (۴)

$$\text{پیوستگی} = ۳۹ - ۰/۰۸۶A + ۰/۰۳۴AB + ۰/۰۵A^2 + ۰/۰۵۷\ C^2$$

معادله (۵) $\text{ارتجاعیت} = ۰/۶۵ - ۰/۰۹۹A - ۰/۰۶۹B + ۰/۰۸AB$

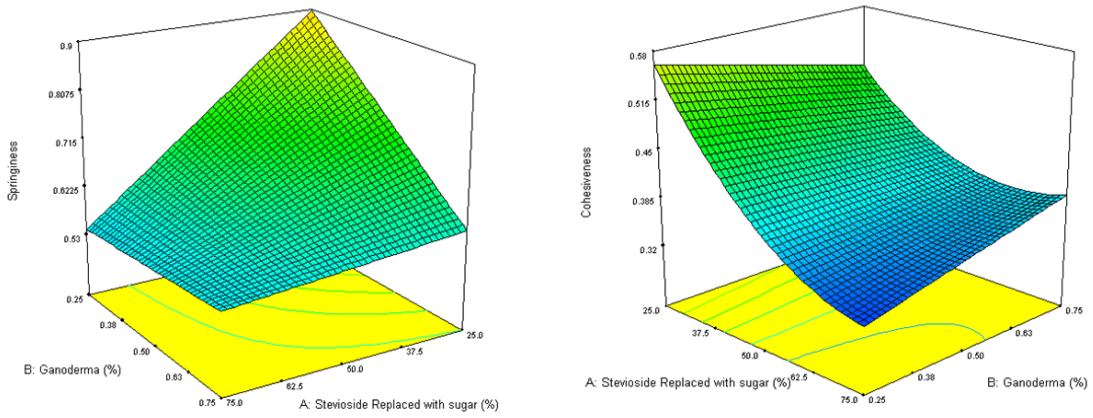
معادله (۶) $\text{صمغیت (N)} = ۱۱/۴ + ۱/۷۲B - ۴/۲۱C^2$

معادله (۷)

$$\text{قابلیت جویدن (N)} = ۸/۹۶ - ۱/۳A + ۰/۳۴\ BC - ۱/۷۳A^2 - ۲/۷۷B^2$$

تغییرات رنگ: بر طبق نتایج جدول ۳، اثر خطی درصد *گانودرما* بر تغییرات شاخص رنگی (L* و b*) و تغییرات رنگ، و اثر درجه دوم درصد *گانودرما* بر شاخص (L*) معنی‌دار بود. اثر خطی درصد جایگزینی استویا و اثر درجه دوم آن به‌ترتیب، بر شاخص‌های (L*) و (a*) و تغییرات رنگ معنی‌دار بود. همچنین نتایج بیانگر معنی‌داری اثرات برخی متغیرهای مستقل بر تغییرات شاخص‌های رنگی (L*، a*، b*) و اندیس سفیدی بود ($p<۰/۰۰۱$). نتایج معادله ۸ و ۱۲ نشان می‌دهد افزایش درصد جایگزینی استویا به‌ویژه در مقادیر بالاتر موجب کاهش شاخص روشنایی رنگ (L*) و اندیس سفیدی شد. همچنین با افزایش درصد *گانودرما* به‌ویژه در مقادیر بالاتر شاخص‌های رنگی (L*) و (b*) کاهش یافت (معادله ۸ و ۱۰). افزایش تغییرات رنگ با افزایش درصد *گانودرما* و درصد جایگزینی استویا به‌ویژه در مقادیر بالاتر نیز مشاهده گردید (معادله ۱۱).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]



(ب) (الف)

شکل ۲. نمودار سطح پاسخ تأثیر جایگزینی استویا و گانودرما بر تغییرات پیوستگی (الف) و تغییرات ارتجاعیت (ب)

شکل (۳- الف) تأثیر متقابل درصد استویا و دمای پخت بر تغییرات (L*) را نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌گردد در هر سطح از درصد استویا، با افزایش دمای پخت تغییرات شاخص (L*) افزایش یافت. در سطوح بالاتر دمای پخت، افزایش درصد جایگزینی استویا باعث کاهش تغییرات شاخص (L*) شد. در سطوح پایین‌تر دمای پخت، تغییرات شاخص (L*) با افزایش درصد جایگزینی استویا ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اثر متقابل درصد استویا و دمای پخت نیز تا سطوح متوسط هر دو متغیر منجر به افزایش شاخص (L*) گردید.

در شکل (۳- ب) مشاهده می‌شود که در سطوح بالاتر و پایین‌تر دمای پخت، افزایش درصد *گانودرما* به‌ترتیب، باعث افزایش و کاهش تغییرات شاخص (a*) شد. در سطوح بالاتر و پایین‌تر *گانودرما*، با کاهش دمای پخت تغییرات شاخص (a*) به‌ترتیب، کاهش و افزایش یافت. اثر متقابل درصد *گانودرما* و دمای پخت تا محدوده متوسط آنها باعث افزایش تغییرات شاخص (a*) شد و در مقادیر بالاتر روند کاهشی را نشان داد.

در نمودار سه بعدی (شکل ۳- ج)، در هر سطح از استویا، با کاهش درصد *گانودرما* تغییرات شاخص (b*) افزایش یافت، و در سطوح بالاتر *گانودرما*، تغییرات شاخص (b*) با کاهش درصد استویا روند افزایشی داشت. در سطوح پایین‌تر *گانودرما*، تغییرات شاخص (b*) با کاهش درصد استویا ابتدا افزایش، سپس کاهش و مجددا با شیب ملایمی افزایش یافت. همانطور که در شکل (۳- د) ملاحظه می‌شود، در هر سطح از استویا، افزایش درصد *گانودرما* موجب کاهش تغییرات اندیس سفیدی گردید. در هر سطح از *گانودرما* نیز، با افزایش درصد جایگزینی استویا تغییرات اندیس سفیدی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین، اثر متقابل درصد استویا و درصد *گانودرما* نشان می‌دهد که اثر متقابل متغیرها تا محدوده متوسط آنها سبب افزایش اندیس سفیدی شد.

معادله (۸) $(L^*) = ۷۹/۴۱ + ۲/۲۵B - ۱/۶۹A^2 - ۳/۶۱B^2 + ۱/۰۷A^2C$

معادله (۹) $(a^*) = -۳/۴۵ - ۰/۲۲A + ۰/۲۷BC$

معادله (۱۰)

$(b^*) = ۴/۳۵ - ۰/۵B - ۰/۳۵C - ۰/۴۵AB - ۰/۳۴C^2 + ۰/۴۱ABC - ۰/۴۳ A^3$

معادله (۱۱) تغییرات رنگ = $۴/۰۸ + ۱/۳۱B - ۰/۸۲C - ۰/۸BC + ۲/۶۳A^2$

معادله (۱۲) اندیس سفیدی = $۷۹/۳۵ - ۵/۸۳A^2 - ۲/۱۳A^2B + ۱/۱۱A^2C$

شکل ۳. نمودار سطح پاسخ تأثیر متقابل متغیرها بر تغییرات شاخص (L*) (الف)، تغییرات شاخص (a*) (ب)، تغییرات شاخص (b*) (ج) و تغییرات اندیس سفیدی (د)

بهینه یابی و اعتبار سنجی مدل: پس از تعیین مدل، بهینه‌سازی به‌منظور دست‌یابی به سطحی از متغیرهای مستقل که در نتیجه به‌کارگیری آنها بهترین فرمولاسیون از لحاظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی گز رژیمی غنی شده به‌دست آید، انجام شد. به‌منظور اعتبار سنجی مدل‌های حاصل، نمونه‌های بهینه با فرمولاسیون حاوی ۴۱٪ استویا، ۰/۱۴٪ *گانودرما* و دمای پخت ۹۰ درجه سلسیوس و فرمولاسیون حاوی ۳۷٪ استویا، ۰/۱۲٪ *گانودرما* و دمای پخت ۸۵ درجه سلسیوس تولید گردید. در جدول ۴ دامنه مقادیر بدست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن مشخص شده است. در جدول ۵، نقطه بهینه تعیین شده توسط نرم‌افزار جهت رسیدن به پارامترهای کیفی مورد نظر، و همچنین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده آنها مشاهده می‌شود. با مقایسه نتایج واقعی و پیش‌بینی شده مشخص می‌گردد که نتایج

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

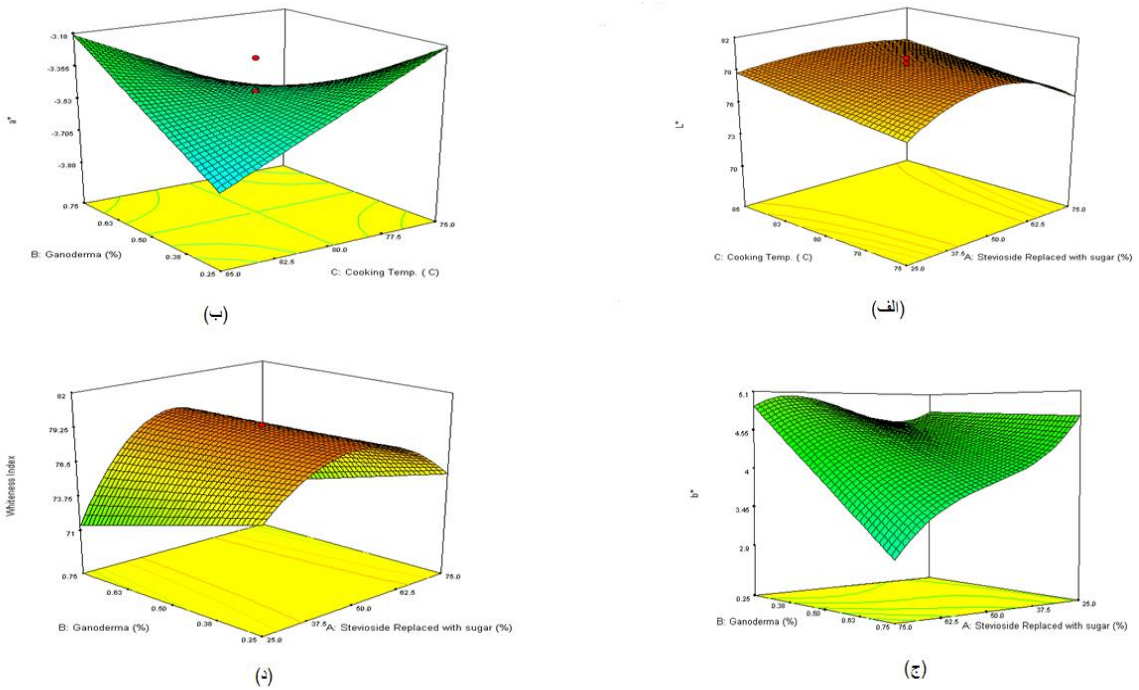
آزمایشات با نتایج پیش‌بینی شده مطابقت خوبی دارد و در نتیجه اثبات می‌کند که مدل عملکرد خوبی برای تخمین نتایج آزمایش داشته است.

مقایسه نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی: بررسی ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد نشان می‌دهد که درصد قند کل نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). با افزایش درصد استویا و *گانودرما* از میزان قند کل نمونه بهینه به‌طور قابل توجهی کاسته شد. همچنین افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$)، محتوی پروتئین و چربی نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد مشهود بود. اثر معنی‌دار ($p<۰/۰۵$)، افزایش درصد *گانودرما* بر افزایش محتوی پروتئین و چربی نمونه‌های بهینه نیز مشاهده گردید (جدول ۶). همچنین، دانسیته نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری را در طول دوره نگهداری نشان داد ($p<۰/۰۵$). دانسیته نمونه‌های بهینه با تغییر سطوح جایگزینی استویا و *گانودرما* تغییر محسوسی نکرد ($p>۰/۰۵$)، و کاهش چشمگیر دانسیته در روز چهل و پنجم نگهداری نسبت به سایر روزها مشاهده شد.

جدول ۴. مقادیر مورد استفاده برای بهینه سازی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی استویا با شکر (٪)	۰	۱۰۰	is in range
گانودرما (٪)	۰	۱	is in range
دمای پخت (°C)	۷۰	۹۰	is in range
دانسیته (g/cm^3)	۰/۸۲	۰/۹۴	Minimize
سفتی بافت(N)	۱۰	۵۵/۴۷	is in range
پیوستگی	۰/۳۰	۰/۶۸	Maximize
ارتجاعیت	۰/۴۶	۰/۹۷	Maximize
صمغیت(N)	۴/۶۰	۱۸/۱۵	Minimize
قابلیت جویدن(N)	۲/۳۳	۸/۹۶	Minimize
L*	۶۸/۵۱	۸۱/۳۳	Maximize
a*	-۴/۱۶	-۲/۶۷	Minimize
b*	۱/۵۶	۸/۳۸	Minimize
تغییرات رنگ	۰/۰۱	۱۲/۶۴	Minimize
شاخص سفیدی	۶۷/۸۷	۸۱/۹۴	Maximize



شکل ۳. نمودار سطح پاسخ تأثیر متقابل متغیرها بر تغییرات شاخص (L*) (الف)، تغییرات شاخص (a*) (ب)، تغییرات شاخص (b*) (ج) و تغییرات اندیس سفیدی (د)

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

جدول ۵. بررسی صحت پیش‌بینی مدل‌های حاصل شده با مقایسه نتایج پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده

آزمون	مقدار پیش‌بینی شده		مقدار واقعی		درصد خطا	
	بهینه ۱	بهینه ۲	بهینه ۱	بهینه ۲	بهینه ۱	بهینه ۲
دانسیته(g/cm^3)	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۹۳	۵/۸۱	۵/۶۸
سفتی بافت(N)	۱۴۱/۸۶	۱۵۷/۵۵	۱۴۲/۱	۱۵۷/۷	۰/۱۶	۱/۳۶
پیوستگی	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۰	۳/۵۷	۱۱/۱۱
ارتجاعیت	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۶	۱۰/۳۴	۵/۸۸
صمغیت(N)	۴۰/۸۹	۴۷/۲۱	۴۰/۹۷	۴۷/۳۵	۰/۱۹	۰/۲۹
قابلیت جویدن(N)	۱۲/۹۷	۱۷/۳۰	۱۳/۳۶	۱۷/۳۲	۳/۰۰	۰/۱۱
L*	۷۳/۸۷	۷۲/۹۶	۷۴/۰۰	۷۳/۰۰	۰/۱۷	۰/۰۵
a*	-۱۳/۰۰	-۱۳/۰۰	-۱۳/۰۰	-۱۳/۰۰	۰	۰
b*	۲۱/۸۷	۲۱/۹۸	۲۲/۰۰	۲۲/۰۰	۰/۵۹	۰/۰۹
تغییرات رنگ	۶/۲۸	۵/۸۸	۶/۳	۵/۹	۰/۳۱	۰/۳۴
اندیس سفیدی	۶۳/۱۵	۶۲/۰۴	۶۳/۲	۶۲/۸	۰/۰۷	۱/۲۲

جدول ۶. مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	دانسیته (g/cm^3)	قندکل (٪)	چربی (٪)	پروتیین (٪)
بهینه ۱	۰	۰/۹۵±۰/۰۰۵^{bc}	–	–	–
	۱۵	۰/۹۳±۰/۰۱۵^{cd}	–	–	–
	۳۰	۰/۹۰±۰/۰۲۶^{ef}	–	–	–
	۴۵	۰/۸۷±۰/۰۲۰^{f}	۴۷/۸۷±۰/۱۲^{c}	۰/۳۳±۰/۰۲۶^{a}	۱/۴۷±۰/۰۵۷^{a}
بهینه ۲	۰	۰/۹۷±۰/۰۲۳^{ab}	–	–	–
	۱۵	۰/۹۶±۰/۰۱۱^{ab}	–	–	–
	۳۰	۰/۹۱±۰/۰۱۵^{de}	–	–	–
	۴۵	۰/۸۹±۰/۰۰۵^{ef}	۴۸/۹۰±۰/۱۲^{b}	۰/۲۳±۰/۰۲۸^{b}	۱/۱۶±۰/۰۵۷^{b}
شاهد	۰	۰/۹۹±۰/۰۰^{a}	–	–	–
	۱۵	۰/۹۸±۰/۰۰۵^{a}	–	–	–
	۳۰	۰/۹۸±۰/۰۰۵^{a}	–	–	–
	۴۵	۰/۹۸±۰/۰۱^{a}	۷۰/۴۷±۰/۱۵^{a}	۰/۱۱±۰/۰۱۱^{c}	۰/۶۰±۰/۱۴^{c}

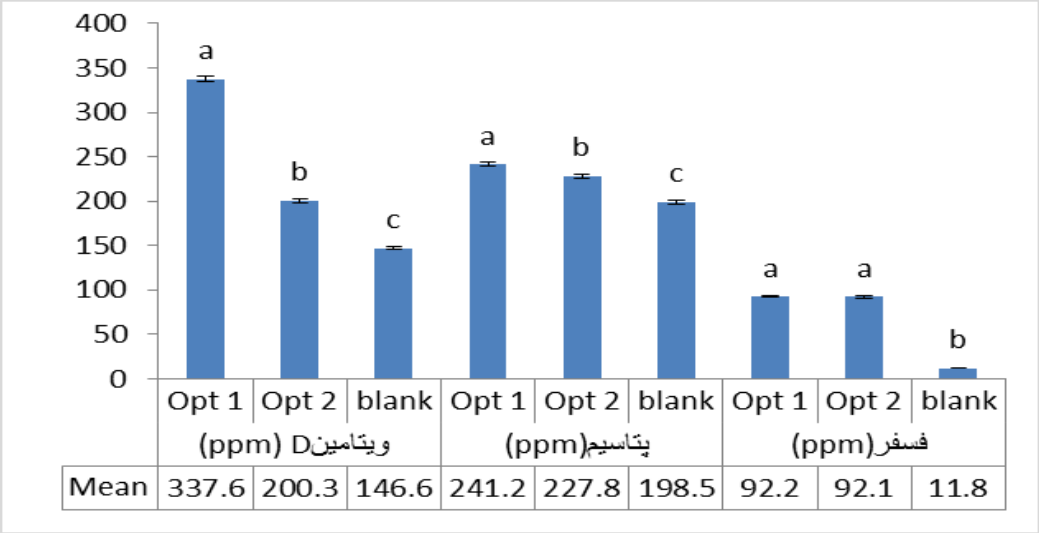
حروف کوچک متفاوت در هرستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

نتایج حاصل در شکل ۴ نشان می‌دهد محتوی پتاسیم، فسفر و ویتامین D نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). افزایش درصد جایگزینی استویا و *گانودرما* تأثیر معنی‌داری ($p>۰/۰۵$)، را بر مقدار فسفر نمونه-های بهینه نشان نداد، در حالی که پتاسیم و ویتامین D افزایش یافت.

ویژگی‌های بافتی: ارزیابی بافت نمونه‌ها نشان داد که میزان سفتی و پیوستگی نمونه‌های بهینه بیشتر از نمونه شاهد بود ($p<۰/۰۵$). سفتی نمونه‌های بهینه در روزهای پانزدهم و سی‌ام نگهداری به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$)، افزایش یافت. میزان چسبندگی در نمونه‌های بهینه تغییر چشمگیری در مقایسه با نمونه شاهد نداشت. همچنین کاهش ارتجاعیت نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد مشاهده گردید. اثر زمان نگهداری بر پارامترهای پیوستگی و ارتجاعیت بافت معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$). صمغیت و قابلیت جویدن نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد نیز افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). صمغیت و قابلیت جویدن طی دوره نگهداری تغییر معنی‌داری نکرد ($p>۰/۰۵$)، (جدول ۷).

خصوصیات حسی: بر طبق نتایج جدول ۸، نمونه‌های بهینه از نظر طعم و مزه، امتیاز کمتری نسبت به نمونه شاهد کسب نمودند، ولی در هیچ‌یک از خصوصیات حسی نظیر پس طعم، شیرینی، رنگ، بافت و پذیرش کلی، تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نگردید ($p>۰/۰۵$).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]



شکل ۴. مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه‌های بهینه و شاهد

جدول ۷. مقایسه ویژگی‌های بافتی نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	سختی (N)	چسبندگی	پیوستگی (N.s)	ارتجاعیت	صمغیت	قابلیت جویدن
بهینه ۱	۰	۷۴/۱۹± ۲۵/۶۴^{de}	۰/۰۰± ۰/۰۰^{b}	۰/۳۰± ۰/۰۰^{a}	۰/۳۴± ۰/۰۵^{bc}	۲۱/۹۸± ۷/۷۶^{bcd}	۷/۷۰± ۳/۸۱^{cde}
	۱۵	۱۸۱/۳۱± ۶۰/۴۸^{abc}	۰/۰۰± ۰/۰۰^{b}	۰/۲۸± ۰/۰۵^{a}	۰/۳۲± ۰/۰۲^{c}	۵۰/۰۳± ۱۱/۰۶^{ab}	۱۶/۰۷± ۳/۴۰^{abcd}
	۳۰	۲۰۵/۰۲± ۱۵/۲۷^{ab}	۰/۳۲± ۰/۰۳^{b}	۰/۲۹± ۰/۰۵^{a}	۰/۳۳± ۰/۰۰^{c}	۶۰/۶۹± ۱۴/۲۲^{a}	۱۹/۷۳± ۴/۱۹^{abc}
	۴۵	۱۰۷/۹۸± ۳۷/۸۴^{cde}	۰/۰۰± ۰/۰۰^{b}	۰/۲۹± ۰/۰۲^{a}	۰/۳۲± ۰/۳۳^{c}	۳۱/۱۹± ۱۲/۱۹^{abcd}	۹/۹۴± ۳/۹۱^{bcde}
بهینه ۲	۰	۶۸/۴۴± ۳۶/۸۷^{de}	۰/۰۰± ۰/۰۰^{b}	۰/۳۲± ۰/۰۰^{a}	۰/۳۶± ۰/۰۴^{bc}	۲۲/۳۳± ۱۲/۲۹^{bcd}	۸/۳۷± ۵/۱۰^{cde}
	۱۵	۲۰۴/۵۲± ۱۲۶/۸۵^{a}	۰/۰۰± ۰/۰۰^{b}	۰/۳۰± ۰/۰۹^{a}	۰/۳۹± ۰/۰۲^{bc}	۶۳/۲۲± ۵۱/۸۴^{a}	۲۴/۱۹± ۱۸/۸۹^{a}
	۳۰	۲۲۱/۹۲± ۲/۶۶^{ab}	۰/۱۳۵± ۰/۱۲^{b}	۰/۲۸± ۰/۰۳^{a}	۰/۳۳± ۰/۰۸^{c}	۶۲/۸۷± ۶/۹۵^{a}	۲۱/۲۳± ۶/۹۰^{ab}
	۴۵	۱۳۵/۹۴± ۴۶/۹۰^{abcd}	۰/۰۰± ۰/۰۰^{b}	۰/۳۰± ۰/۰۵^{a}	۰/۳۷± ۰/۰۲^{bc}	۴۰/۹۸± ۱۳/۹۴^{abc}	۱۵/۴۹± ۶/۲۲^{abcde}
شاهد	۰	۳۸/۱۱± ۱۷/۵۰^{e}	۰/۰۲۳± ۰/۰۲^{b}	۰/۳۱± ۰/۰۳^{a}	۰/۶۴± ۰/۱۲^{a}	۱۱/۲۶± ۳/۷۰^{cd}	۷/۲۴± ۲/۷۶^{cde}
	۱۵	۱۱۵/۲۲± ۴۴/۶۳^{bcde}	۰/۰۵۸± ۰/۰۳^{b}	۰/۱۳± ۰/۰۳^{b}	۰/۵۱± ۰/۰۲^{ab}	۱۳/۶۱± ۲/۰۳^{cd}	۶/۹۶± ۱/۳۶^{cde}
	۳۰	۶۳/۷۰± ۲۶/۹۵^{de}	۰/۰۳۴± ۰/۰۳^{b}	۰/۱۴± ۰/۰۰^{b}	۰/۴۹± ۰/۱۹^{abc}	۸/۹۰± ۳/۷۷^{cd}	۴/۴۶± ۲/۶۰^{de}
	۴۵	۵۱/۳۰± ۳۲/۴۵^{de}	۰/۰۱۵± ۰/۰۰^{b}	۰/۱۳± ۰/۰۲^{b}	۰/۴۷± ۰/۱۷^{abc}	۶/۳۹± ۴/۲۸^{d}	۲/۸۰± ۱/۶۰^{e}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

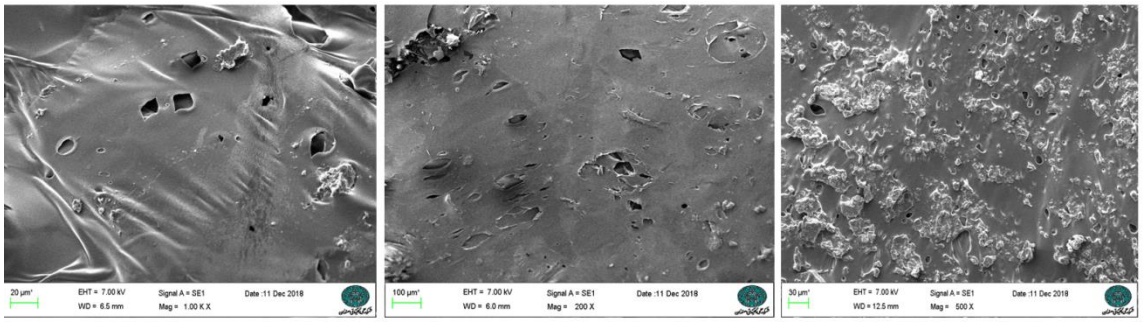
جدول ۸. مقایسه خصوصیات حسی نمونه‌های بهینه و شاهد

تیمار	طعم و مزه	شیرینی	پس طعم	رنگ	بافت	پذیرش کلی
شاهد	۳/۷۰±۰/۵۷ ^{a}	۳/۶۰±۰/۶۱ ^{ab}	۳/۶۰±۰/۵۱ ^{a}	۳/۶۰±۰/۶۰ ^{a}	۳/۶۰±۰/۶۸ ^{a}	۳/۵۰±۰/۵۱ ^{a}
بهینه ۱	۳/۳۰±۰/۶۴ ^{b}	۳/۴۰±۰/۶۷ ^{b}	۳/۴۰±۰/۴۹ ^{a}	۳/۳۰±۰/۴۷ ^{a}	۳/۳۰±۰/۶۴ ^{ab}	۳/۳۰±۰/۵۷ ^{a}
بهینه ۲	۳/۳۰±۰/۶۴ ^{b}	۳/۹۰±۰/۷۹ ^{a}	۳/۳۰±۰/۵۷ ^{a}	۳/۶۰±۰/۵۱ ^{a}	۳/۰۰±۰/۶۱ ^{b}	۳/۲۰±۰/۵۹ ^{a}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

آنالیز ریز ساختار بافت: مشاهده ریز ساختار نمونه گز شاهد (شکل ۵- الف) نشان داد که این ترکیب حاوی حباب‌های هوای کوچک و بزرگ متعددی است که توسط دیواره‌هایی از هم جدا شده‌اند و توزیع آنها یکنواخت است. در بررسی ریزساختار نمونه‌های گز بهینه (شکل ۵- ب و ج)، با افزودن *گانودرما* از یکنواختی ساختمان نمونه‌ها کاسته و شبکه ژلی با یکنواختی کمتر که از ذرات بزرگ‌تر و منافذ بیشتر تشکیل شده است، مشاهده شد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]



شکل ۵. ریزساختار نمونه گز شاهد (الف)، ریزساختار نمونه بهینه ۱ (ب)، ریزساختار نمونه بهینه ۲ (ج)

• بحث

دانسیته یکی از خواص بیوفیزیکی مواد غذایی تلقی می‌شود که می‌تواند بافت و احساس دهانی آنها را تحت تأثیر قرار دهد. ترکیبات فرمولاسیون، و شرایط فرآوری و نگهداری تأثیر بسیار زیادی بر روی دانسیته محصول نهایی می‌گذارد. تعیین دانسیته جهت ارزیابی تأثیر متغیرهای مورد نظر (درصد استویا و *گانودرما*) بر مقدار هوای به‌دام افتاده در مخلوط و میزان تخلخل محصول نهایی اهمیت دارد. کاهش میزان دانسیته نمونه‌های بهینه با افزایش زمان نگهداری به‌ویژه در روزهای پایانی (روز سی‌ام و چهل و پنجم) می‌تواند ناشی از تغییرات رطوبت (پدیده انتقال و مهاجرت رطوبت) طی دوره نگهداری باشد (۲۲).

به نظر می‌رسد که تغییر دانسیته تیمارها در اثر استفاده از *گانودرما* در تهیه گز رژیمی غنی‌شده به‌دلیل تغییرات ویسکوزیته ناشی از حضور مقادیر بالای فیبر رژیمی بتاگلوکان در *گانودرما*، و کاهش قدرت انبساط و نگهداری گازها در مخلوط باشد (۲۴-۲۳). Warner و Inglett (۱۹۹۷)، با بررسی اثر جایگزینی چربی و آرد با فیبر بتاگلوکان بر خواص نوعی کیک گزارش نمودند که این جایگزینی باعث افزایش دانسیته و چسبندگی بافت کیک گردید (۲۵). طی تحقیقی که توسط Gilbert و همکاران (۲۰۰۲)، انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از آرد کتان در فرمول نان سبب تغییر حجم مخصوص و دانسیته محصول می‌شود. این محققان اذعان داشتند که حضور ترکیبات فیبری در آرد کتان موجب کاهش حجم مخصوص و افزایش دانسیته در تیمارهای حاوی ٪۲۰ و ٪۳۰ آرد کتان شده ولی در تیمارهای حاوی ٪۱۰ آرد کتان به‌دلیل پایین‌تر بودن مقدار ترکیبات فیبری حجم مخصوص تغییر محسوسی نکرده است (۲۶). Lee و همکاران (۲۰۰۵)، از مالتودکسترین و بتاگلوکان یولاف به عنوان جایگزین چربی در کیک استفاده کردند. آنها دریافتند که با افزایش درصد جایگزینی چربی با بتاگلوکان دانسیته خمیر نیز افزایش می‌یابد (۲۷).

از سوی دیگر، یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش حاضر بیانگر کاهش حجم و افزایش دانسیته تیمارها در اثر افزایش سطوح جایگزینی استویا بود که علت آن را می‌توان به کاهش ویسکوزیته مخلوط و اندازه حباب‌های هوا، کاهش پایداری مخلوط و یا کاهش سرعت انتقال حرارت ناشی از کاهش دمای دناتوره شدن پروتئین‌ها نسبت داد، که منجر به انبساط ناکافی حباب‌های هوا در طول پخت خواهد شد (۲۸). امام جمعه و همکاران (۱۳۸۹)، نیز اذعان نمودند که افزایش سطوح جایگزینی سوربیتول با گلوکز در گز رژیمی باعث افزایش نرمی و دانسیته محصول شد (۱).

بافت مواد غذایی به عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی محصول، نقش مهمی در پذیرش کلی آن توسط مصرف کنندگان دارد. سختی بافت، بیانگر مقاومت ماده غذایی نسبت به اعمال نیروی فشاری است، و تا حدود زیادی به میزان رطوبت و تحرک آب، ماده خشک، میزان پروتئین و چربی محصول وابسته است (۲۹). نتایج نشان داد که با جایگزینی استویا با شکر تغییرات محسوسی در سفتی بافت محصول رخ نمی‌دهد. تغییرات معنی‌دار مشاهده شده در ارتجاعیت نمونه‌ها در اثر استفاده از استویا و *گانودرما* در فرمولاسیون گز، احتمالا به‌دلیل وقوع واکنش‌های شیمیایی متعدد میان این ترکیبات و سایر اجزاء موجود در فرمولاسیون می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان بیان کرد که مداخله‌ی مولکول‌های چربی و پروتئین موجود در *گانودرما* با سایر ترکیبات فرمول گز، منجر به تشکیل شبکه‌ای متراکم‌تر و ایجاد بافت سخت‌تر در گز رژیمی گردید زیرا مقادیر بالای پروتئین سبب ایجاد اتصالات متقاطع در سیستم و در نهایت ساختار سفت‌تر و متراکم‌تر می‌گردد (۲۹). همتیان سورکی و همکاران

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

(۱۳۹۲)، بیان نمودند که استفاده از آرد بلوط و افزایش غلظت آن در فرمولاسیون کیک روغنی باعث افزایش میزان سفتی بافت نمونه‌های تولید شده، گردید. این محققان علت را حضور مقادیر بالای فیبر و پروتئین در آرد بلوط دانستند (۳۰). همانطور که در بخش قبل گزارش شد افزایش زمان نگهداری موجب افزایش سفتی بافت محصول گردید که علت را می‌توان به پدیده مهاجرت رطوبت نسبت داد (۳۱).

افزایش غلظت ساکارز در فرمولاسیون محصولات، موجب افزایش مقاومت مخلوط در برابر فشار می‌شود، و علت این امر می‌تواند افزایش ماده خشک کل، کاهش آب آزاد، افزایش قدرت یونی محیط و نیز افزایش اثر هم‌افزایی پروتئین و ساکارز باشد. اما از طرف دیگر، افزایش بیش از حد ساکارز در محیط، باعث سست شدن ماتریکس، افزایش کرنش و کاهش انسجام مخلوط می‌شود (۳۲). لذا، جایگزینی استویا با شکر در فرمول گز رژیمی تا حدودی تأثیر مثبت بر انسجام و پیوستگی بافت آن داشت. *گانودرما* نیز به واسطه‌ی داشتن مقادیر قابل توجهی بتاگلوکان از قدرت جذب و نگهداری آب بالایی برخوردار می‌باشد، در نتیجه استفاده از غلظت‌های مناسب آن در تهیه گز رژیمی باعث افزایش پیوستگی محصول گردید. به علاوه، این احتمال وجود دارد که افزایش صمغیت نمونه‌ها با افزایش درصد *گانودرما* به‌کار رفته در فرمول گز، ناشی از افزایش جذب آب مخلوط توسط فیبرهای رژیمی (بتاگلوکان) موجود در *گانودرما* باشد (۱۰).

رنگ یکی از ویژگی‌های ظاهری مواد غذایی است که درک کیفی مصرف کننده از محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در پذیرش محصول توسط مصرف کننده نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. رنگ فرآورده‌های پخت توسط واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد و کاراملیزاسیون ایجاد می‌شود. نتایج حاصله از ارزیابی رنگ بیانگر آن است که جایگزینی استویا با شکر و استفاده از *گانودرما* در فرمول گز باعث تغییرات چشمگیری در شاخص‌های رنگی (L*، a*، b*) شد. به‌طوریکه افزایش درصد *گانودرما* و مقادیر بالاتر استویا باعث کاهش روشنایی رنگ (L*) نمونه‌ها گردید. در طی تحقیقی نتایج نشان داد که در میان جایگزین‌های قند (استویا، ایزومالت، سوربیتول) به‌کار رفته در فرمولاسیون کیک یزدی، استویا بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنی (L*) و ایزومالت بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های رنگی (a*) و (b*) داشت. شاخص (b*) تنها با جایگزین کردن کامل ساکارز با سوربیتول کاهش یافت. در حالی که، نمونه‌های دارای استویا شاخص (L*) کمتری داشتند (۳۳).

به نظر می‌رسد که وجود مقادیر بالای قندهای مونوساکاریدی (گلوکز و فروکتوز) و فیبرهای رژیمی در *گانودرما*، سبب افزایش شدت واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد شده است، زیرا فیبرهای رژیمی مانند بتاگلوکان به عنوان بافر عمل کرده و از کاهش pH محیط در پی انجام واکنش‌های مایلارد جلوگیری کرده، و رطوبت در حد مناسب جهت انجام این واکنش در حد بالایی باقی مانده و در نتیجه باعث تیره شدن رنگ محصول می‌گردد. شاید بتوان علت افزایش قرمزی (a*) و کاهش زردی (b*) نمونه‌ها با افزایش درصد *گانودرما* در فرمول گز را با برهم‌کنش میان استویا و *گانودرما* با سایر اجزاء موجود در فرمولاسیون و ترکیبات رنگی موجود در *گانودرما* تفسیر نمود (۱۰).

در بررسی ویژگی‌های شیمیایی محصول مشاهده شد که محتوی پروتئین و چربی نمونه‌های بهینه به‌طور قابل توجهی در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت که علت این امر حضور مقادیر بالای پروتئین و چربی در *گانودرما لوسیدوم* می‌باشد (۳۴). از سوی دیگر، همانطور که انتظار می‌رفت میزان قند کل نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. Lin و همکاران (۲۰۱۰)، نیز کاهش چشمگیری را در میزان قند کیک اسفنجی در طی جایگزینی شکر مشاهده کردند (۳۵). مطالعات متعدد نشان داده است که *گانودرما* و استویا منبع غنی از مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند، و از لحاظ کمی، *گانودرما* به‌ترتیب دارای مقادیر قابل ملاحظه پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، منگنز و آهن می‌باشد (۳۶). از این‌رو، افزایش معنی‌داری ($p<0/05$)، در میزان پتاسیم، فسفر و ویتامین D نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد مشاهده گردید.

نتایج خصوصیات حسی نشانگر این بود که از نقطه نظر طعم و مزه نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد امتیاز کمتری را کسب نمودند ولی از حیث سایر خصوصیات حسی نظیر پس طعم، شیرینی، رنگ، بافت و پذیرش کلی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، بین نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد مشاهده نگردید. از نقطه نظر میزان شیرینی نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه بهینه ۱ امتیاز بالاتری را دریافت نمود. به‌طور کلی، می‌توان اینطور استنباط نمود که ویژگی‌های مختلف استویا مانند مزه، رنگ، شیرینی و ایجاد بافت شباهت زیادی به شکر دارد و جایگزینی شکر با استویا در محصول می‌تواند نقش مؤثری در تشابه بیشتر از حیث ویژگی‌های کیفی از جمله ویژگی‌های حسی نسبت به نمونه شاهد داشته باشد (۳۷). همچنین می‌توان اظهار نمود که استفاده از

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

گانودرما به عنوان یک منبع فراسودمند اثر نامطلوبی بر خصوصیات حسی محصول نهایی نداشت. Martinez-Cerveraو همکاران (۲۰۱۴)، با مقایسه انواع پلی‌ال‌ها به عنوان جایگزین شکر در مافین‌ها تفاوت محسوسی را بین پذیرش مافین‌های دارای شکر و سایر شیرین کننده‌ها گزارش نکردند (۳۸).

بافت و ظاهر گز را می‌توان تا حدود زیادی با بررسی ریزساختار آن مورد مطالعه قرار داد که این ساختار متأثر از ترکیبات مورد استفاده در آن و فرایند تولید آن می‌باشد. وجود حباب‌های هوا در بین دیواره‌های بافت ماده غذایی می‌تواند باعث کاهش دانسیته، تغییر در خواص رئولوژیکی و بافتی محصول، تغییر ظاهری محصول و ایجاد احساس دهانی متفاوت در مصرف کننده، افزایش سطح و حجم محصول، تغییر در قابلیت هضم و افزایش ماندگاری از طریق افزایش خلل و فرج در بافت گز و در نهایت ملایم کردن شدت طعم محصول شود (۱). بر اساس نتایج آنالیز ریز ساختار، حضور *گانودرما* در فرمول گز رژیمی موجب کاهش یکنواختی و به‌وجود آمدن حفرات با منافذ بزرگ‌تر در سیستم کف شد. در واقع، کاهش میزان تخلخل بافت محصول نهایی را می‌توان به افزایش بیش از حد ویسکوزیته و کاهش توانایی مخلوط در حفظ و نگهداری حباب‌های هوای ورودی در طی هم‌زدن ناشی از وجود مقادیر بالای بتاگلوکان در *گانودرما* نسبت داد (۳۹). از طرفی، خاصیت روان کنندگی و نرم کنندگی قندهای الکلی و استویا موجب می‌شود تا بافت گز استحکام لازم جهت حفظ و نگهداری حباب‌های هوا را نداشته باشد و در طی فرایند هم‌زدن از بین بروند (۱).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که روش سطح پاسخ، روش خوب و قابل اطمینان برای انتخاب شرایط بهینه تولید گز رژیمی غنی‌شده با استفاده از استویا و *گانودرما* است. افزایش سطوح جایگزینی استویا موجب افزایش دانسیته تیمارها شد. روند تغییرات دانسیته با کاهش درصد *گانودرما* افزایشی بود. سفتی بافت تحت تأثیر سطوح جایگزینی استویا قرار نگرفت. با این وجود افزایش درصد *گانودرما* منجر به به افزایش سفتی و صمغیت و همچنین کاهش ارتجاعیت گردید. نتایج حاصل از ارزیابی رنگ نشان داد که افزایش درصد استویا و *گانودرما* به‌ویژه در مقادیر بالاتر منجر به کاهش L* (روشنی) و b* (زردی) شد. بهترین شرایط تولید گز رژیمی غنی‌شده را می‌توان فرمولاسیون حاوی ۴۱٪ استویا و ۰/۱۴٪ *گانودرما*، و یا ۳۷٪ استویا و ۰/۱۲٪ *گانودرما* پیشنهاد کرد که تحت این شرایط میزان پروتئین، چربی، پتاسیم، فسفر و ویتامین D افزایش و قند کل کاهش یافت. نمونه‌های بهینه و شاهد از نقطه نظر ویژگی‌های حسی نظیر پس طعم، شیرینی، رنگ، بافت و پذیرش کلی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند.

سپاسگزاری: از شرکت دانش بنیان سلامت گستران آرایان به دلیل همکاری‌های علمی و پژوهشی در راستای محقق شدن این تحقیق کمال تشکر را دارد.

• References

1. Imam Jomeh Z, Ghaheri R, Asadi Gh. Investigation of sucrose and glucose replacement effect with two dietary sweeteners on tissue and microstructure characteristics of Gaz. Iranian J Nutr Sci Food Tech 2010; 6: 130-135 [in Persian].
2. Goyal R, Samsher K, Goyal S K. Stevia (Stevia rebaudiana) a bio-sweetener: a review. International Journal of Food Sciences and Nutrition 2010; 61 (1): 1–10.
3. Yousefi asli M, Goli SAH, Kadivar M. Optimization of low-calorie quince jam production with Stevioside sweetener. J Food Res 2012; 22(2): 156-164.
4. Chahartagh F, Nasehi B, Barzegar. Optimizing the properties of dietary cakes fortified with Stevia leaf powder. 2017; 14: 69.
5. Walter JM, Soliah L. Objective measures of baked products made with Stevia. J Am Diet Assoc 2010; 110 (9): 54-57.
6. Apurba GHG, Ramachandra R, Ramesh V. Effect of partial replacement of sugar with stevia on the quality of kulfi. J Food Sci Technol 2014; 51(8): 1612–1616.
7. Plaza M, Herrero M, Cifuentes A, Ibañez E. Innovative natural functional ingredients from Microalgae. J Agric Food Chem 2009; 57: 7159–70.
8. Yang X, Chen Ch, Mi K and Yang Q. The potential use of limulus G test assay for evaluation of immunomodalatory activity of *Ganoderma* Polysaccarides. Int J Med Mushr 2007; 9: 20-219.
9. Mary Obodai, Deborah L. Narh Mensah, Ângela Fernandes, Nii Korley Kortei, Matilda Dzomeku, Matthew Teegarden, Steven J. Schwartz, Lillian Barros,Juanita Prempeh, Richard K. Takli and Isabel C. F. R. Ferreira Chemical Characterization and Antioxidant Potential of Wild Ganoderma Species from Ghana. Molecules 2017; 22: 1-18.
10. Jairo Lindarte A, Luis-Felipe G. Effects of replacing fat by betaglucans from Ganoderma lucidum on batter and cake properties. J Food Sci Technol 2019; 56(1): 451–461.
11. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, specifications and methods of Gaz test with Manna. ISIRI no 3024. 1st ed.; 2004 [in Persian].

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

12. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 12-46.

13. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 10-30.

14. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 50-80.

15. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 40-71.

16. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 40-57.

17. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Gaz without Manna- specifications and test method. ISIRI no 13579. 2nd Ed.; 2004 [in Persian].

18. Le-Bail A, Nicolitch C, Vuillod C. Fermented frozen dough: impact of pre-fermentation time and offreezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread, Food Bioproc Technol 2010; 3(2): 197-203.

19. Zheng C, Sun DW, Zheng L. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection- a review. Trends Food Sci Technol 2006; 17: 642-655.

20. Jridi M, Souissi N, Ben Salem M, Ayadi MA, Nasri M,Azabou S. Tunisian date (*Phoenix dactylifera L.*) byproduct:Characterization and potential effects on sensory, textural and antioxidant properties of dairy desserts. Food Chem 2015; 188: 8-15.

21. Bayod E, Willers EP, Tornberg E. Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. LWT-Food Sci Technol 2008; 41(7): 1289-300.

22. Berk Z. Food process engineering and technology. Academic press. 2008. p. 720.

23. Zaree Z, Noori L, Fahim Danesh M. Study effect of wheat flour replacement with Eleaagnus angustifolia flour on physicochemical and sensorial properties of oil cake. Iran J Innov Food Sci Technol 2016; 2: 55-63. [in Persian].

24. Baeva MR, Panchev IN, Terzieva VV. Comparative study of texture of normal and energy reduced sponge cakes. Die Nahrung 2000; 44(4): 242-246.

25. Warner K. Inglett GE. Flavor and Texture Characteristics of Foods Containing Z-Trim Corn and Oat Fibers as Fat and Flour Replacers. Cereal Foods World 1997; 42(10): 821-825.

26. Gilbert JC. Evaluation of flax and rice bran on the physical and chemical properties of bread for achieving health benefits. MSc Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN. 2002.

27. Lee S, Kim S, Inglett GE. Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. Cereal Chem 2005; 82(2):120-124.

28. Akesowan A. Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. Pak J Nutr 2009, 8 (9): 1383-1386.

29. Mortazavinezhad S, Abbasi H, Jahadi M. Optimizing the components of the sponge cake containing acara. J Res Innov Food Sci Technol 2016; 1(5): 1-14 [in Persian].

30. Hematiyan sorki A, Mazaheri Tehrani M, Mohebbi M. Effect of soy and chestnut flour on physicochemical and sensory properties of gluten free cake. 21th National Congress of Food Science and Technology 2013; Shiraz, Iran [in Persian].

31. Ahlborn GJ, Pike OA, Hendrix SB, Hess WM, Huber CS. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. Cereal Chemistry 2005; 82: 328-335.

32. Savitha YS, Indrani D, prakash J. Effet of sugar with sucoralose and maltodextrin on rheological charateistics of wheat flour dough and quality of soft dough and quality of soft dough biscuit. J Texture Stud 2008; 39: 605-616.

33. Pilehvaran M, Toolakipour H, Beiraghi Tousi Sh, Shafafizanouzian M. Optimal formulation of low-calorie Yazdi cake using stevioside, isomalt and sorbitol sweeteners. Mashhad: Iran J Nutr Sci Food Technol 2014 [in Persian].

34. Keypour S, Riahi H, Rafati H. Overview of biologically active compounds and therapeutic properties of Ganoderma leucidum. J Med Plants 2013; 2(46) :13-24 [in Persian].

35. Lin SD, Lee CC, Mau JL, Lin LY, Chiou SY. Effect of erythritrol on quality characteristics of reduced-calorie Danish cookies. J Food Qual 2010; 33: 14-26.

36. Chiu SW, Wang ZM, Leung TM, Moore D. Nutritional value of Ganoderma extract and assessment of its genotoxicity and antigenotoxicity using comet assays of mouse lymphocytes. Food Chem Toxicol 2000; 38: 8-173.

37. Carakostas M, Prakash I, Kinghorn AD, D.WU C,Soejarto D. Steviol Glycosides. Kearsley M.W, Boghani N. Maltitol. In: Nadors L.O.B, editor. Alternative Sweeteners. 4 th ed. Taylor & Francis group 2012; 159: 299-315.

38. Martínez-Cervera S, Salvador A, Sanz T. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins:thermal, rheological, texture and acceptability properties. Food Hydrocoll 2014; 35:1-8.

39. Naghipour F,Tabatabaei Yazdi F, Karimi M, Mortazavi SA, Mohebbi M. Effect of sorghum β-Glucan as Fat Replacer in Low Fat Gluten-Free Cup Cake Production. Food Sci Technol 2017; 13: 164-151.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]

Optimization of Formulation in Dietary Gaz Fortified with Stevioside and *Ganoderma locidum* using Response Surface Methodology (RSM)

Mohammadi-Barekani Z[1], Goli M[2,3]*

1- MSc, Department of Food Science & Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

*2- *Corresponding author: Associate Professor, Department of Food Science & Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: mgolifood@yahoo.com*

3-Associate professor, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received 11 Sept, 2019 **Accepted 30 Nov, 2019**

Background and Objectives: Nowadays, production and consumption of functional and dietary foods have increased. Since carbohydrates are one of the most important sources of increasing daily calories, food industries are focused on decreasing use of this important source and replacing it with non-calorie sweeteners. This objective of this study was to decrease sugar quantities in Gaz production, promoting its nutritional values by use of stevia and *Ganoderma lucidum*.

Materials & Methods: Effects of replacements of stevia (0–100%), *Ganoderma* (0–1%) and cooking temperature (70–90°C) on Gaz qualitative and textural characteristics were investigated. Optimization of the fortified diet Gaz formulation was carried out using response surface methodology and Design-Expert Software. After determination of the optimum point, results of Gaz physicochemical, texture and sensory characteristics were analyzed using SPSS Software.

Results: In general, increases in density and decreases in cohesiveness, springiness and chewiness of the treatments were observed by increasing stevia replacement levels. Increases in *Ganoderma* levels increased hardness and gumminess and decreased springiness and chewiness. Results of color assessment revealed that increases in stevia and *Ganoderma* levels decreased indices of L* and b*. The optimum conditions ($p < 0.05$) included 41% of stevia and 0.14% of *Ganoderma* at 90 °C of cooking temperature as well as 37% of stevia and 0.12% of *Ganoderma* at 85 °C of cooking temperature. Comparisons between the optimized and control samples showed that protein, fat, potassium, phosphorus and vitamin D contents of the fortified diet Gaz were higher than those of the control sample. For sensory evaluation, no significant differences were seen between the optimized and control samples ($p<0.05$).

Conclusion: In general, combination of stevia and *G. lucidum* resulted in decreased sugar contents and improved nutritional aspects of the novel formulated Gaz.

Keywords: Gaz, Density, Hardness, Porosity, Optimization

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-05]