

Optimizing of Formulation in Dietary Luz Fortified with Stevioside and Spirulina Platensis by Response Surface Methodology

Zahra Naderi¹ , Mohammad Goli² 

Original Article

Abstract

Background: This study aimed to reduce the sugar amount used in Luz production and promote its nutritional value by stevioside and Spirulina platensis.

Methods: In this study, the effects of sugar replacement with stevioside-isomalt (0%-100%), almond replacement with Spirulina (0%-100%), and cooking temperature (50-70 °C) on density and hardness of dietary Luz were investigated. Formulation optimization of enriched dietary Luz was performed by Response Surface Methodology (RSM) and central composite design (CCD) with Design Expert software. After determining the optimal point, the results of physicochemical and textural properties were analyzed by SPSS.

Findings: The density of treatments decreased with decreasing levels of Spirulina replacement. The interaction between stevioside and Spirulina showed that decreasing levels of stevioside caused a significant ($P < 0.050$) increase in hardness. The process of texture hardness change with increasing levels of Spirulina replacement was first decreasing and then increasing. The optimum formula of dietary Luz was predicted as 76% stevioside-isomalt, 57% Spirulina, and cooking temperature of 70 °C, and 39% stevioside-isomalt, 100% Spirulina, and cooking temperature of 62 °C. A comparison between the optimal sample and the control sample showed that protein, calcium, and iron contents of the optimal sample were higher than the control sample ($P < 0.0500$).

Conclusion: The sugar content of Luz can be reduced using stevioside, and application of Spirulina platensis in Luz formula improves the nutritional properties of the product.

Keywords: Dietary luz; Spirulina platensis; Stevioside; Density; Hardness; Optimization

Citation: Naderi Z, Goli M. **Optimizing of Formulation in Dietary Luz Fortified with Stevioside and Spirulina Platensis by Response Surface Methodology.** J Health Syst Res 2020; 16(4): 279-89.

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

2- Associate Professor, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center AND Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Mohammad Goli; Associate Professor, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center AND Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran; Email: mgolifood@yahoo.com

بهینه‌سازی فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده با استویوزید و ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به روش سطح پاسخ

زهرا نادری^۱، محمد گلی^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: هدف از انجام پژوهش حاضر، کاهش قند مصرفی در تهیه لوز و ارتقای ارزش غذایی آن با استفاده از استویوزید و ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بود.

روش‌ها: در این مطالعه، تأثیر سطوح جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت (۱۰۰-صفر درصد)، سطوح جایگزینی مغز بادام با ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (۱۰۰-صفر درصد) و دمای پخت (۷۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد) بر دانسیته و سفتی بافت لوز رژیمی بررسی گردید. فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) یا Response surface methodology) در قالب طرح مرکب مرکزی و نرم‌افزار Design-Expert بهینه‌سازی شد. پس از تعیین نقطه بهینه، نتایج به دست آمده از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: دانسیته تیمارها با کاهش درصد جایگزینی اسپیرولینا کاهش یافت. اثر متقابل بین استویوزید- ایزومالت و اسپیرولینا نشان داد که کاهش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، باعث افزایش سفتی تیمارها می‌شود. روند تغییر سفتی بافت با افزایش سطوح جایگزینی اسپیرولینا، ابتدا کاهش و سپس افزایشی بود. فرمول بهینه لوز رژیمی به صورت ۷۶ درصد استویوزید- ایزومالت، ۵۷ درصد اسپیرولینا و دمای پخت ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۹ درصد استویوزید- ایزومالت، ۱۰۰ درصد اسپیرولینا و دمای پخت ۶۲ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. مقایسه بین نمونه بهینه و نمونه شاهد نشان داد که محتوای پروتئین، کلسیم و آهن لوز بهینه بالاتر از نمونه شاهد بود ($P < 0/0500$).

نتیجه‌گیری: با استفاده از استویوزید، می‌توان میزان قند موجود در فرمول لوز را کاهش داد و غنی‌سازی آن با استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس، ویژگی‌های تغذیه‌ای آن به نحو مطلوبی ارتقا می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: لوز رژیمی؛ اسپیرولینا پلاتنسیس؛ استویوزید؛ دانسیته؛ سفتی؛ بهینه‌سازی

ارجاع: نادری زهرا، گلی محمد. بهینه‌سازی فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده با استویوزید و ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به روش سطح پاسخ. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۹؛ ۱۶ (۴): ۲۸۹-۲۷۹

تاریخ چاپ: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۸/۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۴/۲۵

می‌باشد. از ترکیبات اصلی مورد استفاده در تهیه این شیرینی می‌توان به پودر نارگیل، مغز بادام، شکر، گلاب، هل و دارچین اشاره نمود. شکر به عنوان یک شیرین‌کننده طبیعی، ویژگی‌های عملکردی منحصر به فردی دارد، اما به دلیل ارتباط با برخی مشکلات سلامتی همچون دیابت، چاقی، فساد دندان، بیماری‌های قلبی و پرفشاری خون و از طرف دیگر، مسایل اقتصادی و تکنولوژیکی، تحقیقات متعددی در راستای یافتن جایگزین مناسب شکر با سایر شیرین‌کننده‌ها انجام شده است. انتخاب نوع شیرین‌کننده جایگزین شکر به منظور حفظ کیفیت فرآورده طی دوره نگهداری، بسیار حایز اهمیت می‌باشد؛ چرا که شکر علاوه بر نقش شیرین‌کنندگی، به دلیل داشتن ویژگی‌های عملکردی، نقش مهمی را در کیفیت محصولات غذایی ایفا می‌کند (۲). در این میان، گیاه استویوزید (*Stevia rebaudiana*) و قند حاصل از آن با نام استویوزید (*Stevioside*)، با شیرینی ۳۰۰-۲۵۰ برابر بیشتر از ساکارز، کالری کمتر و شاخص گلیسمی پایین، نوعی شیرین‌کننده طبیعی بدون کالری است که استفاده از آن به عنوان یک شیرین‌کننده رژیمی و جایگزین مناسب برای

مقدمه

تغییر شیوه زندگی انسان‌ها و در نتیجه، بروز بیماری‌هایی همچون چاقی، دیابت، بیماری‌های قلبی و عروقی و پرفشاری خون، تولید فرمولاسیون‌های غذایی کم کالری را ضروری ساخته است. امروزه کاهش مصرف بالا و مداوم ساکارز و مشتقات آن توسط افراد چاق، کودکان، زنان باردار و بیماران مبتلا به دیابت به دلیل کالری بالا و تأثیرات نامطلوب بر سلامت بشر، بیشتر توصیه می‌شود. با توجه به مصرف قابل توجه فرآورده‌های قنادی در ایران و همچنین، وجود مقدار بالای ساکارز در چنین محصولاتی، به دست آوردن فرمولاسیون‌های رژیمی برای این دست از مواد غذایی، امری ضروری به شمار می‌رود. از این‌رو، استفاده از شیرین‌کننده‌های رژیمی برای جایگزین کردن ساکارز، مورد توجه تولیدکنندگان و محققان صنعت غذا قرار گرفته است (۱).

لوز، نوعی شیرینی سنتی ایرانی است که جزء سوغات برخی از شهرهای ایران مانند یزد و تبریز به شمار می‌آید و به دلیل بافت و طعم منحصر به فردی که دارد، از محبوبیت زیادی در میان گروه‌های سنی مختلف جامعه برخوردار

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فن‌آوری‌های زیستی و گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

نویسنده مسؤول: محمد گلی؛ دانشیار، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فن‌آوری‌های زیستی و گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
Email: mgolifood@yahoo.com

مورد استفاده در تحقیق حاضر، با خلوص بالا از شرکت Merck (آلمان) تهیه شد. **تهیه لوز:** فرمولاسیون پایه لوز (نمونه شاهد) شامل سوربیتول (۲۹/۶۳ درصد)، شکر (۲۵/۸۳ درصد)، پودر نارگیل (۲۸/۷۴ درصد)، پودر بادام (۲/۵۷ درصد)، هل (۰/۴۰ درصد)، دارچین (۰/۲۶ درصد) و کلروفیل (۲/۵۷ درصد) می‌باشد و از ایزومالت به عنوان پرکننده (Filler) استفاده گردید. برای تهیه لوز، ابتدا مخلوط سوربیتول و ایزومالت تا رسیدن به دمای جوش و انحلال کامل حرارت داده شد. پس از فرایند حرارتی (دمای ۱۲۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت)، مخلوط تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خنک و بقیه مواد به آن اضافه و مخلوط گردید. نمونه‌های آماده شده قالب‌گیری شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جهت تهیه لوز رژیمی غنی شده، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با استیویوزید- ایزومالت در سطوح (۱۰۰- صفر درصد)، جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح (۱۰۰- صفر درصد) و دمای پخت در سطوح (۵۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد) انتخاب گردید (جدول ۱) و بقیه ترکیبات ثابت در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن نقطه بهینه، ۳۳ آزمایش در نرم‌افزار Design-Expert نسخه ۹ انجام گردید (جدول ۲) که در این جدول، فاکتورها و سطوح اندازه‌گیری نیز ارائه شده است.

جدول ۱. متغیرهای مستقل فرایند و سطوح اندازه‌گیری آن‌ها

متغیرهای مستقل	فاکتور	کد و سطوح مربوط				
		$+\alpha$	$+1$	0	-1	$-\alpha$
جایگزینی شکر با استیویوزید- ایزومالت (درصد)	A	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا (درصد)	B	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)	C	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی: محتوی پروتئین، چربی، قند، کلسیم و آهن به ترتیب مطابق با روش استاندارد بین‌المللی (American Association of Cereal Chemists (AACC) (نسخه ۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد (۱۳-۹). دانسیته نمونه‌های لوز بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، پس از تعیین حجم، با استفاده از روش جابه‌جایی دانه کلزا محاسبه گردید (۱۴). شاخص پراکسید بر طبق روش American Oil Chemists' Society (AOCS) (نسخه ۲۰۰۳) اندازه‌گیری شد (۱۵). به منظور ارزیابی میزان سفتی بافت لوز، بافت‌سنج QTS (مدل CNS Farnell, Hertfordshire, انگلستان) مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب، نیروی لازم توسط یک پروب استوانه‌ای (۲/۵ سانتی‌متر قطر در ۱/۸ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت نفوذ ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و عمق نفوذ ۲۰ میلی‌متر به درون نمونه لوز با ضخامت ۲۰ میلی‌متر به عنوان شاخص سفتی بر حسب نیوتن گزارش گردید (۱۶). سایر شاخص‌های بافتی مانند پیوستگی (میزان انرژی لازم برای شکستن ساختار داخلی ژل و مقاومت درونی ساختار ماده غذایی)، چسبندگی (مقدار کار لازم برای غلبه بر نیروهای جاذبه بین سطح ماده غذایی و سطح در تماس با آن)، سمیت (میزان انرژی لازم برای جویدن و تبدیل شدن نمونه به حالت خمیری) و قابلیت جویدن (انرژی مورد نیاز برای جویدن یک نمونه نیمه جامد و آماده شدن برای مرحله بلع) نیز محاسبه و گزارش شد (۱۷).

ساکارز، می‌تواند به کاهش میزان کالری در رژیم غذایی روزانه افرادی که می‌خواهند سبک زندگی سالمی داشته باشند، کمک کند (۳). حمزه‌لوثی و همکاران در پژوهش خود از شیرین‌کننده استیویوزید به عنوان جایگزین ساکارز در فرمولاسیون بیسکویت استفاده کردند و دریافتند که شیرین‌کننده استیویوزید علاوه بر این که موجب ایجاد طعم شیرین و خوشایندی در این محصول می‌گردد، از طریق کاهش اندیس پراکسید چربی، باعث بهبود کیفیت و افزایش عمر ماندگاری محصول می‌شود (۴). در مطالعه دیگری، Gao و همکاران به بررسی جایگزینی استیویوزید با شکر در فرمولاسیون مافین (نوعی کیک اسفنجی است که در قالب‌هایی به شکل فنجان پخت می‌شود و به کیک فنجانی نیز معروف است)، پرداختند و بیان داشتند که افزایش استیویوزید در فرمول مافین، میزان سختی نمونه‌ها را افزایش، اما میزان پذیرش کلی آن‌ها را کاهش می‌دهد (۵).

از سوی دیگر، امروزه رویکرد مبنی بر غنی‌سازی مواد غذایی می‌تواند یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین راهکارها جهت پیشگیری از بروز سوء تغذیه محسوب گردد. اسپیرولینا پلاتنسیس یک ریزجلبک سبز- آبی از شاخه سیانوباکتری‌ها و منبع غنی از پروتئین‌ها، اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و ضروری، گلیکولیپیدها، پلی‌ساکاریدها، فیبرهای رژیمی، انواع ویتامین‌های B و مواد معدنی مانند کلسیم، آهن، منیزیم، پتاسیم، روی و سلنیوم می‌باشد که استفاده از آن در ترکیب محصولات مختلف می‌تواند موجب ارتقای سطح سلامت و پیشگیری از بروز سوء تغذیه در کودکان شود (۶). استفاده از ریزجلبک‌های اسپیرولینا ماکسیما و اسپیرولینا دیاکرونا در تحقیق Luisa و همکاران، مقدار اسیدهای چرب چند غیر اشباعی (ایکوزاپنتانویک اسید، دوکوزاهگزانویک اسید، گامالینولیک اسید) و ویژگی‌های بافتی دسر ژله‌ای گیاهی را بهبود داد (۷). همچنین، Deshmukh و همکاران استیویوزید را در بستنی با طعم‌های مختلف به کار بردند و مشاهده کردند که نمونه حاوی استیویوزید، کالری پایین‌تری نسبت به نمونه شاهد دارد (۸).

تاکنون پژوهشی بر روی تولید لوز کم کالری غنی شده 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 نیز علاوه بر ایجاد طعم مطلوب شیرین، خواص عملکردی مهمی را در فرآورده‌های غذایی ایجاد می‌کند، به دست آوردن فرمولاسیون‌های رژیمی با کمک جایگزینی شکر با شیرین‌کننده‌های ایمن کم کالری برای این دسته از مواد غذایی، امری ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، افزایش آگاهی عموم در مورد سلامتی و تغذیه، موجب افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای مصرف مواد غذایی با کیفیت تذبذبی بالا شده است. از این‌رو، در مطالعه حاضر، امکان تولید لوز رژیمی غنی شده به کمک جایگزینی شکر با مخلوط استیویوزید- ایزومالت و جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس و مقایسه برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی نمونه بهینه و نمونه شاهد مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌ها

مواد: مواد مورد استفاده در فرمولاسیون لوز شامل ایزومالت، سوربیتول، پودر نارگیل، پودر بادام، هل، دارچین، کلروفیل، استیویوزید و اسپیرولینا پلاتنسیس بود که از شرکت سلامت گستران آریان (فراننش) (ایران) فراهم گردید و محصول مورد نظر در خط تولید این شرکت به صورت صنعتی تولید شد. کلیه مواد آزمایشگاهی

جدول ۲. آزمایش‌های ارایه شده در نرم‌افزار با استفاده از طرح (RSM) Response surface methodology

اجرا	درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت	درصد جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس	دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)	اجرا	درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت	درصد جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس	دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)
۱۴	۵۰	۵۰	۶۰	۱۷	۵۰	۵۰	۶۰
۳۰	۵۰	۵۰	۶۰	۱۸	۵۰	۵۰	۶۰
۴	۲۵	۰	۶۰	۲۲	۵۵	۲۵	۶۰
۹	۷۵	۱۰۰	۶۰	۲۴	۵۵	۲۵	۶۰
۲۱	۷۵	۵۰	۶۰	۲۸	۵۵	۷۵	۶۰
۲۲	۷۵	۵۰	۶۰	۳۳	۵۵	۲۵	۶۰
۲۶	۲۵	۲۵	۶۵	۳	۵۵	۷۵	۶۵
۲۷	۲۵	۷۵	۶۵	۸	۵۵	۲۵	۶۵
۳۱	۲۵	۲۵	۶۵	۱۰	۵۵	۷۵	۶۵
۳۲	۷۵	۷۵	۶۵	۱۵	۵۵	۷۵	۶۵
۱	۵۰	۷۵	۶۵	۱۹	۶۰	۱۰۰	۶۵
۲	۵۰	۷۵	۶۵	۲۰	۶۰	۰	۶۵
۶	۵۰	۷۵	۶۵	۲۵	۶۰	۱۰۰	۶۵
۷	۰	۲۵	۶۵	۲۹	۶۰	۵۰	۶۵
۱۱	۱۰۰	۵۰	۷۰	۵	۶۰	۵۰	۷۰
۱۲	۵۰	۵۰	۷۰	۱۲	۶۰	۵۰	۷۰
۱۶	۰	۵۰	۷۰		۶۰	۵۰	۷۰

یافته‌ها

برای به دست آوردن مدل تجربی با هدف پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (دانسیته و سفتی بافت)، ابتدا رابطه‌های چند جمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوری (تعاملی)، درجه دو و درجه سه بر داده‌های به دست آمده از این پاسخ برآزش داده شد و سپس این مدل‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از نظر آماری، مدلی مناسب است که آزمون عدم برآزش آن معنی‌دار نباشد و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. نتایج نشان داد که مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات دانسیته و سفتی بافت در اثر متغیرهای مورد بررسی (جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، دمای پخت)، مدل خطی درجه سه با ضریب تعیین $R^2 > 0.90$ می‌باشد. نتایج مربوط به تجزیه واریانس برای متغیرهای پاسخ در جدول ۳ آمده است.

دانسیته: همان‌گونه که در رابطه ۲ نشان داده شده است، اثر متقابل جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و دمای پخت، اثر درجه دوم جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، اثر درجه دوم دمای پخت، اثر متقابل درجه دوم جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و درجه اول دمای پخت و اثر متقابل هر سه متغیر مستقل بر فاکتور دانسیته معنی‌دار بود ($P < 0.001$, $P < 0.05$). طبق رابطه ۲، دانسیته در مقادیر بالاتر جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و دماهای بالاتر پخت افزایش می‌یابد. افزایش درصد جایگزینی استویوزید- ایزومالت به ویژه در مقادیر بالاتر، باعث افزایش دانسیته شد. مثبت بودن ضریب رگرسیونی اثر درجه دوم درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و دمای پخت مؤید این مطلب می‌باشد.

$$\text{رابطه ۲} \quad 0.061A^2 + 0.026C^2 - 0.067ABC - 0.067A^2C + 0.088 - 0.084AC$$

به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت (A)، درصد جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس (B) و دمای پخت (C) بر پاسخ‌ها (دانسیته و سفتی بافت)، از نرم‌افزار Design-Expert و روش سطح پاسخ (RSM) یا Response surface methodology 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 اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. جستجوی شرایط عملیاتی بهینه جهت دستیابی به پاسخ‌های مطلوب مورد نظر با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انجام گردید. در RSM، برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف شد که آثار اصلی و متقابل متغیرها را بر روی هر فاکتور بیان می‌کند. مدل چند متغیره در ادامه آمده است. در رابطه ۱، Y پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب ثابت، $\beta_a, \beta_b, \beta_c$ اثرات خطی، $\beta_{aa}, \beta_{bb}, \beta_{cc}$ اثرات مربعی و $\beta_{ab}, \beta_{ac}, \beta_{bc}$ اثرات متقابل می‌باشد.

$$\text{رابطه ۱} \quad Y = \beta_0 + \beta_a A + \beta_b B + \beta_c C + \beta_{aa} A^2 + \beta_{bb} B^2 + \beta_{cc} C^2 + \beta_{ab} AB + \beta_{ac} AC + \beta_{bc} BC$$

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف معیار و مجموع مربعات باقی‌مانده برآورد شده کم و ضریب همبستگی (R^2) بالا باشد. نتایج به دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ (version 25, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین آن‌ها، از آزمون Duncan در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس بر متغیرهای پاسخ (دانسیته و سفتی بافت)

منبع تغییرات	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)			سفتی (نیوتون)		
	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار P	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار P
مدل	۵	۰/۳۹۰	*** < ۰/۰۰۰۱	۹	۴/۴۰۰	*** < ۰/۰۰۰۱
A	-	-	-	۱	۰/۲۰۰	*** < ۰/۰۰۰۱
B	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-
AB	-	-	-	۱	۰/۷۳۰	*** < ۰/۰۰۰۱
AC	۱	۰/۰۸۳	*** ۰/۰۰۴۲	۱	۰/۱۵۰	*** ۰/۰۰۰۴
BC	-	-	-	۱	۰/۱۳۰	** ۰/۰۰۰۷
ABC	۱	۰/۰۵۲	*** ۰/۰۱۹۱	-	-	-
A ²	۱	۰/۱۴۰	*** ۰/۰۰۰۴	-	-	-
B ²	-	-	-	۱	۰/۰۵۶	** ۰/۰۱۸۵
C ²	۱	۰/۰۲۷	*** ۰/۰۸۱۸	۱	۰/۴۸۰	*** < ۰/۰۰۰۱
A ² B	-	-	-	-	-	-
A ² C	۱	۰/۰۵۷	** ۰/۰۱۵	-	-	-
AB ²	-	-	-	۱	۰/۶۳۰	*** < ۰/۰۰۰۱
AC ²	-	-	-	-	-	-
A ³	-	-	-	-	-	-
B ³	-	-	-	۱	۰/۱۲۰	* ۰/۰۰۱۰
C ³	-	-	-	۱	۰/۱۵۰	*** ۰/۰۰۰۴
باقی مانده	۲۱	۰/۱۷۰	-	۲۳	۰/۲۰۰	-
عدم برازش	۷	۰/۰۳۴	(NS) ۰/۸۱۷۷	۵	۰/۰۵۲	(NS) ۰/۳۲۲۸
خطای کل	۱۴	۰/۱۴۰	-	۱۸	۰/۱۵۰	-
کل	۲۶	۰/۵۶۰	-	۲۲	۴/۶۰۰	-

(-) نشان دهنده بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه‌گیری شده است.

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد؛ ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد؛ *** اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد؛ NS: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

در مقابل جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت، اثر درجه دوم جایگزینی شکر با اسپیرولینا پلاتنسیس، اثر درجه دوم دمای پخت، اثر متقابل جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و درجه دوم جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، اثر درجه سوم جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس و اثر درجه سوم دمای پخت بر سفتی بافت معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵۰۰$) و یا ($P < ۰/۰۰۱۰$) در RSM (شکل ۱، قسمت ب) مشاهده می‌شود که با افزایش سطوح جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، سفتی ابتدا کاهش و سپس با شیب بسیار کم افزایش یافت. سطوح متوسط جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس تأثیر قابل ملاحظه‌تری بر کاهش سفتی بافت داشت. نتایج شکل ۱ نشان داد که با کاهش درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت سفتی بافت افزایش پیدا کرد.

$$\text{رابطه ۳} \quad BC + ۰/۰۳۶B^2 + ۰/۱C^2 - ۰/۲۸۸AB^2 - ۰/۰۲۱B^3 + ۰/۰۲۳C^3 \\ = ۲/۰۹ - ۰/۱۱A + ۰/۲۱AB - ۰/۰۹۷AC - ۰/۰۹۲$$

(سفتی بافت (نیوتن))

در نمودار RSM (شکل ۱، قسمت الف) که اثر متقابل جایگزینی استویوزید و دمای پخت را نشان می‌دهد، به خوبی مشخص شده است که با کاهش درصد جایگزینی استویوزید و دمای پخت، دانسیته ابتدا کاهش و سپس با شیب ملایمی افزایش یافت. سطوح متوسط استویوزید (۵۰ درصد) و دمای پخت (۶۰ درجه سانتی‌گراد)، تأثیر چشمگیری در کاهش دانسیته داشت. شکل ۱ (قسمت الف) نیز نشان داد که با کاهش درصد جایگزینی اسپیرولینا پلاتنسیس، دانسیته کاهش پیدا کرد، اما با کاهش دمای پخت، دانسیته ابتدا کاهش و سپس با شیب کمی افزایش یافت. مقادیر پایین‌تر اسپیرولینا پلاتنسیس تأثیر قابل توجه‌تری در کاهش دانسیته داشت.

سفتی بافت: بر طبق نتایج جدول ۳، مدل آماری ارائه شده برای پیش‌بینی اثر متغیرهای آزمایش بر سفتی بافت مناسب می‌باشد. در رابطه ۳، مشخص شده است که اثر مستقل جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، اثر متقابل جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، اثر متقابل جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت و دمای پخت، اثر

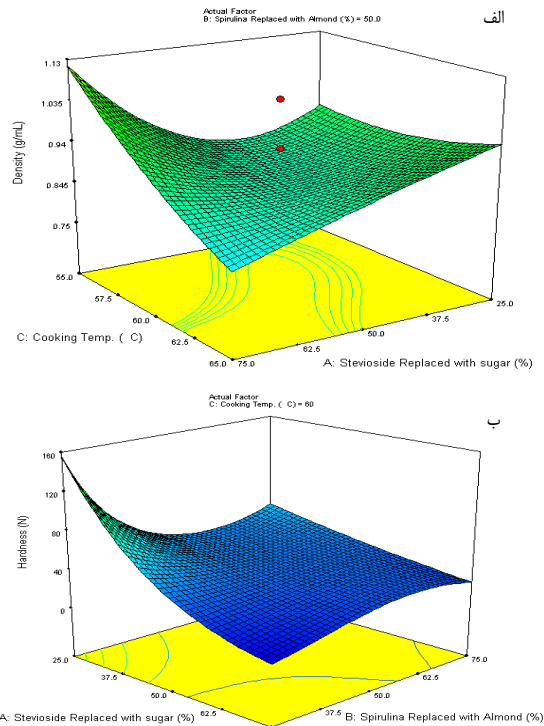
ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و بافتی لوز رژیمی غنی شده به دست آمد، انجام گردید. جهت اعتبارسنجی مدل‌های حاصل، نمونه‌های بهینه با فرمولاسیون حاوی ۷۶ درصد استویوزید- ایزومالت، ۵۷ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۷۰ درجه سانتی‌گراد و فرمولاسیون حاوی ۳۹ درصد استویوزید- ایزومالت، ۱۰۰ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۶۲ درجه سانتی‌گراد تولید شد. در جدول ۴ دامنه مقادیر به دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن ارائه شده است.

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

متغیر مستقل و پاسخ	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت (درصد)	۰	۱۰۰	بازه
جایگزینی مغزبادام با اسپیرولینا پلاتنسیس (درصد)	۰	۱۰۰	بازه
دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)	۵۰	۷۰	بازه
دانسیتیه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۷۵	۱/۳	کمینه
سفتی بافت (نیوتن)	۶۰	۷۵	بیشینه

مقایسه نمونه بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی: بررسی ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد نشان داد که درصد چربی و قند کل نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است ($P < ۰/۰۵۰۰$)؛ در حالی که افزایش معنی‌دار ($P < ۰/۰۵۰۰$) محتوی پروتئین نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد مشهود می‌باشد. اثر معنی‌دار ($P < ۰/۰۵۰۰$) افزایش درصد اسپیرولینا پلاتنسیس به ترتیب بر افزایش و کاهش محتوی پروتئین و چربی نمونه بهینه مشاهده گردید (جدول ۵).



شکل ۱. سطح پاسخ اثرات متقابل متغیرها بر دانسیته و سفتی بافت

بهینه‌یابی: پس از تعیین مدل، بهینه‌سازی به منظور دستیابی به سطحی از متغیرهای مستقل که در نتیجه به کارگیری آن‌ها، بهترین فرمولاسیون از لحاظ

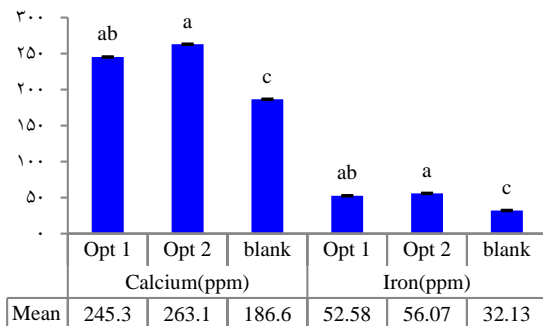
جدول ۵. مقایسه ویژگی‌های کیفی و فیزیکی نمونه بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	دانسیتیه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	پراکسید (میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم)	قند کل (درصد)	چربی (درصد)	پروتئین (درصد)
بهینه ۱	۰	۱/۵۵ ± ۰/۲۱ ^a	۲/۹۹ ± ۰/۰۱ ^d	-	-	-
	۱۵	۱/۲۳ ± ۰/۱۱ ^b	۳/۱۷ ± ۰/۱۵ ^{cd}	-	۱۵/۰۲ ± ۰/۲۵ ^b	۵/۶۷ ± ۰/۱۶ ^b
	۳۰	۰/۸۴ ± ۰/۰۴ ^{de}	۲/۳۸ ± ۰/۰۵ ^b	-	-	-
بهینه ۲	۰	۱/۱۶ ± ۰/۳۳ ^{bc}	۲/۴۳ ± ۰/۰۶ ^b	۸/۲۸ ± ۰/۵۷ ^c	-	-
	۱۵	۱/۱۳ ± ۰/۲۰ ^{bcd}	۲/۰۵ ± ۰/۲۰ ^f	-	۱۳/۶۷ ± ۰/۵۸ ^c	۸/۶۲ ± ۰/۷۳ ^a
	۳۰	۰/۹۱ ± ۰/۰۹ ^{cde}	۲/۴۷ ± ۰/۰۶ ^e	-	-	-
شاهد	۰	۱/۷۵ ± ۰/۰۷ ^a	۳/۵۵ ± ۰/۰۵ ^b	۱۷/۰۸ ± ۰/۲۳ ^b	-	-
	۱۵	۱/۲۷ ± ۰/۰۷ ^{ab}	۳/۲۶ ± ۰/۲۲ ^{bc}	-	۱۹/۶۴ ± ۰/۲۵ ^a	۴/۱۳ ± ۰/۳۷ ^c
	۳۰	۱/۱۴ ± ۰/۱۰ ^{bcd}	۳/۵۸ ± ۰/۱۳ ^b	-	-	-
	۴۵	۰/۷۳ ± ۰/۰۹ ^{ef}	۴/۶۱ ± ۰/۱۰ ^a	۲۸/۷۴ ± ۰/۸۲ ^a	-	-

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار میان نمونه است ($P < ۰/۰۵۰$).

بهینه ۱: ۷۶ درصد استویوزید- ایزومالت، ۵۷ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۷۰ درجه سانتی‌گراد؛ بهینه ۲: ۳۹ درصد استویوزید- ایزومالت، ۱۰۰ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۶۲ درجه سانتی‌گراد؛ شاهد: سوربیتول (۲۹/۶۳ درصد)، شکر (۲۵/۸۳ درصد)، پودر نارگیل (۳۸/۷۴ درصد)، پودر بادام (۲/۵۷ درصد)، هل (۰/۴۰ درصد)، دارچین (۰/۲۶ درصد) و کلروفیل (۲/۵۷ درصد) می‌باشد (نمونه بدون استویوزید و اسپیرولینا پلاتنسیس).

اثر محسوسی بر صمغیت نمونه‌های بهینه نداشت (جدول ۶).



شکل ۲. مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد

بهینه ۱: ۷۶ درصد استویوزید- ایزومالت، ۵۷ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۷۰ درجه سانتی‌گراد؛ بهینه ۲: ۳۹ درصد استویوزید- ایزومالت، ۱۰۰ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۶۲ درجه سانتی‌گراد؛ شاهد: سوربیتول (۲۹/۶۳ درصد)، شکر (۲۵/۸۳ درصد)، پودر نارگیل (۳۸/۷۴ درصد)، پودر بادام (۲/۵۷ درصد)، هل (۰/۴۰ درصد)، دارچین (۰/۲۶ درصد) و کلروفیل (۲/۵۷ درصد) می‌باشد (نمونه بدون استویوزید و اسپیرولینا پلاتنسیس).

بحث

دانسیته بیانگر میزان هوای به دام افتاده در مخلوط است؛ به طوری که دانسیته پایین، بیانگر مخلوط حاوی حباب هوای بالا می‌باشد. شاخص‌های متعددی از جمله نوع و میزان ترکیبات موجود در فرمولاسیون (حضور ترکیبات فعال سطحی و پروتئین‌ها)، ویسکوزیته، ترکیبات مولد گاز و شرایط فرایند تولید همچون فرایند هم زدن، آمیختن هوا در مخلوط و تبخیر مولکول‌های آب در طول فرایند پخت، تأثیر بسزایی بر قابلیت نگهداری گازها توسط مخلوط حین پخت دارد (۱۸).

بر این اساس، تفاوت معنی‌داری میان نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد از نظر دانسیته مشاهده نگردید ($P > 0.05$). دانسیته نمونه‌های بهینه با تغییر سطوح جایگزینی استویوزید و اسپیرولینا پلاتنسیس تغییری نکرد ($P > 0.05$). دانسیته نمونه بهینه ۲ و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری تغییر محسوسی نشان نداد و تنها در روز ۴۵ نگهداری به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش پیدا کرد. روند تغییرات دانسیته نمونه بهینه ۱ در طی مدت نگهداری بیان‌کننده کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) آن در روزهای ۳۰ و ۴۵ نگهداری می‌باشد. مطابق با داده‌های جدول ۵، عدد پراکسید نمونه‌های بهینه به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. عدد پراکسید با افزایش درصد استویوزید و کاهش درصد اسپیرولینا پلاتنسیس در نمونه بهینه به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). روند افزایشی پراکسید در نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه بهینه ۱ با گذشت زمان در طول دوره نگهداری چشمگیرتر بود. افزایش پراکسید نمونه شاهد، تنها در روز ۴۵ نگهداری مشهود می‌باشد.

افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) کلسیم و آهن در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد مشهود بود. افزایش درصد جایگزینی استویوزید و اسپیرولینا پلاتنسیس، تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلسیم و آهن نمونه‌های بهینه نداشت ($P > 0.05$) (شکل ۲).

ویژگی‌های بافتی: بررسی بافت نمونه‌ها نشان داد که نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه بهینه ۱ و نمونه شاهد از سفتی کمتری در طول دوره نگهداری برخوردار بود. چسبندگی نمونه‌های بهینه با گذشت زمان در طول مدت نگهداری تغییر محسوسی نکرد. نمونه بهینه ۱ تنها در روز ۳۰ نگهداری، میزان چسبندگی بالاتری را در مقایسه با نمونه بهینه ۲ و نمونه شاهد نشان داد. روند مشابهی برای تغییرات پیوستگی و ارتجاعیت نمونه بهینه ۱ و نمونه شاهد طی دوره نگهداری مشاهده گردید. قابلیت جویدن نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری تغییر معنی‌داری نکرد. صمغیت نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد به طور چشمگیری کمتر بود ($P < 0.05$). گذشت زمان در طی دوره نگهداری

جدول ۶. مقایسه ویژگی‌های بافتی نمونه بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	سختی (نیوتن)	چسبندگی (نیوتن در دقیقه)	پیوستگی	ارتجاعیت	صمغیت (نیوتن)	قابلیت جویدن (نیوتن)
بهینه ۱	۰	۴۸/۵۸ ± ۳/۴۷ ^d	۰/۱۳ ± ۰/۰۳ ^{bc}	۰/۲۸ ± ۰/۰۳ ^{bcd}	۰/۴۳ ± ۰/۰۲ ^{abcd}	۱۳/۴۸ ± ۱/۹۴ ^{def}	۵/۸۶ ± ۱/۲۳ ^a
	۱۵	۸۶/۶۰ ± ۱۴/۱۰ ^c	۰/۱۲ ± ۰/۰۶ ^{bc}	۰/۱۸ ± ۰/۰۱ ^{ef}	۰/۳۲ ± ۰/۰۳ ^{cde}	۱۵/۱۰ ± ۱/۶۰ ^{cdef}	۴/۹۰ ± ۱/۰۸ ^a
	۳۰	۱۰۲/۰۰ ± ۰/۵۶ ^{bc}	۰/۳۲ ± ۰/۱۴ ^a	۰/۲۰ ± ۰/۰۳ ^{ef}	۰/۴۵ ± ۰/۱۶ ^{abcd}	۲۰/۴۹ ± ۳/۴۱ ^{bcd}	۹/۵۸ ± ۴/۸۸ ^a
	۴۵	۱۱۸/۰۴ ± ۱۳/۰۵ ^b	۰/۱۳ ± ۰/۰۵ ^{bc}	۰/۱۶ ± ۰/۰۲ ^f	۰/۲۳ ± ۰/۰۱ ^e	۱۸/۶۰ ± ۴/۰۱ ^{bcde}	۴/۲۵ ± ۱/۲۱ ^a
بهینه ۲	۰	۲۹/۲۰ ± ۶/۳۱ ^d	۰/۰۶ ± ۰/۰۱ ^c	۰/۳۵ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۵۸ ± ۰/۰۰۴ ^a	۹/۹۰ ± ۰/۷۹ ^f	۵/۷۲ ± ۰/۴۱ ^a
	۱۵	۴۲/۶۶ ± ۵/۴۴ ^d	۰/۱۹ ± ۰/۰۸ ^b	۰/۳۵ ± ۰/۰۳ ^a	۰/۵۴ ± ۰/۰۰۸ ^a	۱۴/۸۰ ± ۲/۳۰ ^{cdef}	۸/۰۷ ± ۲/۴۲ ^a
	۳۰	۵۵/۵۹ ± ۷/۱۳ ^d	۰/۱۱ ± ۰/۱۱ ^{bc}	۰/۲۵ ± ۰/۰۶ ^{cde}	۰/۳۷ ± ۰/۱۴ ^{bcde}	۱۳/۹۲ ± ۴/۷۰ ^{cdef}	۵/۵۳ ± ۳/۹۷ ^a
	۴۵	۴۲/۰۱ ± ۸/۸۰ ^d	۰/۱۹ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۳۰ ± ۰/۰۴ ^{abc}	۰/۴۸ ± ۰/۰۷ ^{abc}	۱۲/۳۶ ± ۲/۷۰ ^{ef}	۵/۹۹ ± ۱/۵۵ ^a
شاهد	۰	۴۳/۸۵ ± ۲۶/۳۷ ^d	۰/۰۵ ± ۰/۰۳ ^c	۰/۳۳ ± ۰/۰۷ ^{ab}	۰/۵۱ ± ۰/۱۷ ^{ab}	۱۴/۴۰ ± ۸/۳۹ ^{cdef}	۸/۲۱ ± ۷/۱۵ ^a
	۱۵	۱۰۰/۹۴ ± ۱۱/۳۳ ^{bc}	۰/۰۲ ± ۰/۰۲ ^c	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ ^{def}	۰/۲۸ ± ۰/۰۱ ^{de}	۲۱/۸۶ ± ۳/۴۴ ^{bc}	۶/۱۹ ± ۱/۱۹ ^a
	۳۰	۱۲۰/۳۳ ± ۳۳/۴۵ ^b	۰/۰۲ ± ۰/۰۲ ^c	۰/۲۱ ± ۰/۰۱ ^{def}	۰/۳۰ ± ۰/۰۳ ^{de}	۲۴/۹۰ ± ۶/۸۲ ^{ab}	۷/۶۲ ± ۲/۷۹ ^a
	۴۵	۱۵۶/۱۰ ± ۱۸/۲۴ ^a	۰/۰۲ ± ۰/۰۲ ^c	۰/۱۹ ± ۰/۰۳ ^{ef}	۰/۲۴ ± ۰/۰۲ ^e	۲۹/۵۴ ± ۳/۷۶ ^a	۷/۱۷ ± ۰/۷۵ ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار میان نمونه است ($P < 0.05$).

نگهداری آب بالای اسپیرولینا پلاتنسیس به واسطه ترکیب و مقدار آمینواسیدهای موجود در آن دانست (۲۷). نتایج مطالعه شهبازی زاده و همکاران نشان داد که با افزایش درصد اسپیرولینا پلاتنسیس در فرمولاسیون کوکی، سفتی بافت نمونه‌های کوکی به طور معنی‌داری کاهش یافت (۲۸). بر اساس نتایج تحقیق غیبی و همکاران، جایگزینی ساکارز با استویزید در مخلوط بستنی رژیمی، باعث افزایش سختی بافت بستنی گردید. آن‌ها علت افزایش سختی بافت بستنی با افزایش سطوح جایگزینی استویزید تا حدود ۱۰۰ درصد را کاهش ماده خشک مخلوط بستنی به دلیل کاهش مقدار ساکارز دانستند (۲۹). احتمالاً دلیل تغییرات ویژگی‌های بافتی محصول در طول دوره نگهداری می‌تواند مربوط به از دست دادن رطوبت، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف و توزیع رطوبت میان ناحیه آمورف و کریستالی باشد (۲۳).

در بررسی ویژگی‌های شیمیایی محصول، مشاهده شد که محتوی پروتئین نمونه‌های بهینه به طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت که علت این امر را می‌توان به غنی بودن اسپیرولینا پلاتنسیس از پروتئین (۷۰-۶۰ درصد وزن خشک) و اسید آمینه‌ها نسبت داد (۳۰). اسپیرولینا پلاتنسیس در هر ۱۰۰ گرم وزن خشک، حدود ۶۲/۹ گرم پروتئین دارد (۳۱). مغز بادام حاوی مقادیر بالاتر چربی (۵۴/۶۴ درصد) (۳۲) در مقایسه با اسپیرولینا پلاتنسیس (۶-۸ درصد) (۳۰) می‌باشد. بنابراین، جایگزین کردن مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، منجر به کاهش محتوی چربی نمونه‌های بهینه گردید. کاهش درصد قند کل نمونه بهینه را می‌توان به کاهش میزان ساکارز در اثر جایگزینی آن با استویزید نسبت داد. سوزنکار و همکاران با غنی‌سازی ویفر روکش‌دار با استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح ۰/۵ و ۱ درصد، به این نتیجه دست یافتند که مقادیر پروتئین و آهن در نمونه‌های ویفر غنی شده با اسپیرولینا پلاتنسیس به طور قابل توجهی افزایش یافت (۳۳). در پژوهش دیگری، استفاده از ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در فرمولاسیون پاستا، باعث افزایش معنی‌دار محتوی پروتئین نمونه‌های غنی‌سازی شده گردید (۳۴). علت کاهش عدد پراکسید نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد را می‌توان به وجود آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در اسپیرولینا پلاتنسیس از جمله توکوفرول‌ها، ترکیبات پلی‌فنولی قطبی، گزانتوفیل، میکسوگزانتوفیل، کریپتوگزانتین، زئاگزانتین، آلفا و بتاکاروتن و به خصوص رنگدانه فایکوسیانین که یک رنگدانه بیلی‌پروتئین واحد گروه فایکوسیانوبیلین تتراپیرولی می‌باشد، نسبت داد. عناصر معدنی موجود در اسپیرولینا پلاتنسیس مانند سلنیوم، روی و منگنز نیز به واسطه پتانسیل اکسید و احیای مناسب و تبدیل پراکسید به محصولات غیر فعال، دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. این ترکیبات از طریق برهم‌کنش هم‌افزایی و خنثی نمودن رادیکال‌های آزاد و شلاته کردن فلزاتی مانند آهن، از پراکسیداسیون چربی‌ها ممانعت به عمل می‌آورند (۳۵).

مطالعه Gouveia و همکاران با استفاده از دو گونه ریزجلبک کلرلا ولگاریس و هماتوکوکوس پلوویالیس، توانستند پایداری اکسیداتیو امولسیون‌ها را از طریق کاهش عدد پراکسید و اندیس آنیزیدین به ویژه در امولسیون‌های حاوی هماتوکوکوس به دلیل وجود رنگدانه استاگزانتین، افزایش دهند (۳۵). صالحی فر و همکاران با بررسی امکان استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) در تولید کلوچه صنعتی، به این نتیجه رسیدند که میزان آهن و اسید چرب گاما‌لینولیک اسید در نمونه‌های حاوی اسپیرولینا پلاتنسیس در مقایسه با گروه شاهد، به طور معنی‌داری افزایش یافت و عدد پراکسید با افزایش سطوح

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جایگزینی شکر با استویزید تا حدودی توانسته است اثر مثبت بر دانسیته لوز داشته باشد. کاهش دانسیته تیمارها با کاهش درصد اسپیرولینا پلاتنسیس، می‌تواند به دلیل افزایش ویسکوزیته و قدرت حفظ و نگهداری حباب‌های هوای ورودی به مخلوط در اثر افزایش جذب آب مخلوط ناشی از حضور مقادیر بالای پروتئین و فیبر رژیمی در اسپیرولینا پلاتنسیس باشد. لیپیدهای موجود در این ریزجلبک نیز به عنوان ترکیبات فعال سطحی عمل می‌کنند و سبب پایداری سلول‌های گازی می‌شوند (۱۹). کاهش دانسیته تیمارها در محدوده متوسط (۵۰ درصد) استویزید را می‌توان به افزایش ویسکوزیته مخلوط، افزایش قابلیت نگهداری گازها در مخلوط و افزایش سرعت انتقال حرارت ناشی از افزایش دمای دانه‌ها شدن پروتئین‌ها نسبت داد که این امر موجب انبساط کافی حباب‌های هوا و افزایش پایداری مخلوط در طی فرایند پخت می‌شود (۲۰). بر اساس نتایج مطالعه Manisha و همکاران، ویسکوزیته بالای خمیر سبب می‌شود که حباب‌های هوا به آسانی ایجاد حجم نمایند و قدرت خروج نداشته باشند و در خمیر محبوس شوند و همین امر موجب کاهش حجم و دانسیته محصول می‌گردد (۲۱). نتایج تحقیق Aido و همکاران بر روی فرمولاسیون شکلات بدون قند با استفاده از جایگزین‌کننده‌های ساکارز نشان داد که نوع شیرین‌کننده، تأثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته دارد و ویسکوزیته نمونه‌های حاوی استویزید و توماتین به طور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های حاوی ساکارز می‌باشد (۲۲).

سفتی بافت در آزمون بافت‌سنجی به حداکثر ارتفاع منحنی نیرو در اولین فشار اطلاق می‌شود که حداکثر نیروی اعمال شده طی عمل گاز زدن را نشان می‌دهد و وابستگی زیادی با رطوبت، ماده خشک، میزان و نوع پروتئین و چربی دارد (۲۳). اسپیرولینا پلاتنسیس به دلیل داشتن مقادیر قابل توجه پروتئین، چربی و فیبر رژیمی، باعث تغییر ویسکوزیته مخلوط می‌شود و بدین ترتیب، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر میزان سفتی بافت تیمارها داشته باشد. علت کاهش سفتی بافت لوز در سطوح متوسط اسپیرولینا پلاتنسیس را می‌توان چنین توضیح داد که ذرات بزرگ اسپیرولینا پلاتنسیس می‌تواند موجب عدم اتصال و به هم پیوستگی شبکه ژلی و در نهایت، ایجاد ساختار نرم‌تر شود. سلول‌های پروکاریوت اسپیرولینا پلاتنسیس فاقد دیواره‌های سخت سلولی هستند که همین امر باعث جذب سریع آب توسط محتویات سلولی آن به ویژه پروتئین‌ها می‌شود. در واقع، مولکول‌های پروتئینی اسپیرولینا پلاتنسیس به دلیل دارا بودن خاصیت آب‌دوستی، بر سر جایگاه‌های اتصال با آب با سایر اجزای موجود در فرمول رقابت می‌کنند و در نهایت، منجر به ناپایداری و سست شدن شبکه ژلی می‌شوند (۲۴). همچنین، علت افزایش سفتی بافت در مقادیر بالاتر اسپیرولینا پلاتنسیس می‌تواند ناشی از این امر باشد که پروتئین‌های این ریزجلبک، از طریق ایجاد پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های آمید-هیدروکسیل و هیدروکسیل-کربونیل با گروه‌های قطبی و یا تعامل‌های الکترواستاتیک میان گروه‌های باردار پروتئین اسپیرولینا پلاتنسیس با بخش باردار موجود در ساختار سایر اجزای فرمولاسیون، باعث افزایش استحکام و مقاومت مخلوط و در نهایت، افزایش سفتی بافت شود (۲۵). یزدی و همکاران با انجام پژوهشی، گزارش نمودند که استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در سطح ۱ درصد، سبب کاهش سفتی و افزایش ارتجاعیت در نان می‌شود (۲۶). Malik اذعان داشت که با افزایش سطوح جایگزینی اسپیرولینا پلاتنسیس با پایدارکننده‌ها در مخلوط بستنی به ویژه در سطوح جایگزینی بالاتر از ۵۰ درصد، سختی بافت بستنی کاهش معنی‌داری داشته است. وی علت را ظرفیت

کلی، اسپیرولینا پلاتنسیس و استویوزید به خوبی می‌توانند با هدف بهبود ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و بافتی در فرمولاسیون لوز رژیمی مورد استفاده قرار گیرند. بهترین شرایط تولید لوز رژیمی غنی‌شده را می‌توان فرمول حاوی ۷۶ درصد استویوزید- ایزومالت، ۵۷ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس، دمای پخت ۷۰ درجه سانتی‌گراد و همچنین، فرمول حاوی ۳۹ درصد استویوزید- ایزومالت، ۱۰۰ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس و دمای پخت ۶۲ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد نمود که تحت این شرایط، میزان پروتئین، کلسیم و آهن افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده، تولید لوز رژیمی غنی‌سازی شده با جایگزین کردن بخشی از شکر با استویوزید و استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس به طور موفقیت‌آمیزی امکان‌پذیر است؛ به گونه‌ای که میزان چربی و قند کل کاهش یافت و ویژگی‌های بافتی آن تغییر چشمگیری نکرد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با شماره ۲۳۸۵۰۴۰۲۹۶۲۰۰۸، مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) می‌باشد. بدین وسیله از شرکت دانش‌بنیان سلامت گستران آریان به جهت همکاری‌های علمی و پژوهشی در راستای محقق شدن این تحقیق، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

ریزجلیک به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (۳۱).

اسپیرولینا پلاتنسیس منبع غنی از عناصر معدنی از جمله کلسیم، منیزیم، پتاسیم، روی، سلنیوم و به ویژه آهن و کلسیم است (۳۶). اسپیرولینا پلاتنسیس دارای حدود ۷۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن می‌باشد (۳۷). وجود مقادیر قابل توجه اسید فولیک، اسید آسکوربیک، کلسیم، آهن و روی در استویوزید نیز گزارش شده است (۳۸). از این‌رو، افزایش میزان کلسیم و آهن در نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد دور از انتظار نیست. یافته‌های تحقیق گل‌مکانی و همکاران در رابطه با غنی‌سازی کیک یزدی با استفاده از ریزجلیک اسپیرولینا پلاتنسیس، حاکی از افزایش مقادیر آهن، سلنیوم، فسفر، منیزیم، منگنز و کلسیم در نمونه‌های کیک غنی شده بود (۳۹).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاهش سطوح جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، موجب کاهش دانسیته تیمارها گردید. روند تغییرات دانسیته با کاهش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، ابتدا کاهشی و سپس افزایشی بود. افزایش درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، منجر به افزایش سفتی بافت گردید و با افزایش سطوح جایگزینی مغز بادام با اسپیرولینا پلاتنسیس، سفتی بافت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. به طور

References

- Gouhari Ardebili A, Habibi Najafi MB, Hadad Khodaparast MH. Effect of date syrup as a substitute for sugar on the physicochemical and sensory properties of soft ice cream. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 2005; 1(2): 23-32. [In Persian].
- Homayooni-rad A, Haji-Eghrari F, Khodaviri-Vand A. The effects of sucrose substitution with date syrup on rheological and organoleptic properties of Kooshab. *Food Sci Technol* 2016; 14(64): 164-55. [In Persian].
- Pon SY, Lee WJ, Chong GH. Textural and rheological properties of stevia ice cream. *Int Food Res J* 2015; 22(4): 1544-9.
- Hamzehlouei M, Mirzaei HA, Ghorbani M. Evaluation effects of evaluation of sugar replace by glycosidic sweeteners of stevia on the peroxide index in biscuit. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2009; 16(SPECIAL ISSUE 1-A). [In Persian].
- Gao J, Brennan MA, Mason SL, Brennan CS. Effects of sugar substitution with "stevianna" on the sensory characteristics of muffins. *J Food Qual* 2017; 2017: 8636043.
- Ismaiel MM, El-Ayouty YM, Piercey-Normore M. Role of pH on antioxidants production by *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis*. *Braz J Microbiol* 2016; 47(2): 298-304.
- Luisa G, AnaPaula B, Anabela R, Narcisa B. *Spirulina maxima* and *Diacronema vlkianum* microalgae in vegetable gelled desserts. *Nutr Food Sci* 2008; 38(5): 92-501.
- Deshmukhan YR, Sirsat A, Hande P, Zele SS, More KD. Preparation of ice-cream using natural sweetener stevia. *Food Sci Res J* 2014; 5(1): 30-3.
- AACC Approved Methods of Analysis. Iron-qualitative method [Online]. [cited 2000]; Available from: URL: <http://methods.aaccnet.org/methodnumbering.aspx>
- AACC Approved Methods of Analysis. Calcium in bread and flour [Online]. [cited 2000]; Available from: URL: <http://methods.aaccnet.org/methodnumbering.aspx>
- AACC Approved Methods of Analysis. Determination of Sucrose [Online]. [cited 2000]; Available from: URL: <http://methods.aaccnet.org/methodnumbering.aspx>
- AACC Approved Methods of Analysis. AACC Method 46-13.01: Crude Protein--Micro-Kjeldahl Method [Online]. [cited 2000]; Available from: URL: <http://methods.aaccnet.org/summaries/46-13-01.aspx>
- AACC Approved Methods of Analysis. AACC Method 30-10.01: Crude fat in flour, bread, and baked cereal products not containing fruit [Online]. [cited 2000]; Available from: URL: <http://methods.aaccnet.org/summaries/30-10-01.aspx>

14. Kocer D, Hicsasmaz Z, Bayindirli A, Katnas S. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. *J Food Eng* 2007; 78(3): 953-64.
15. American Oil Chemists' Society, AOCS. Official method. Peroxide value. In official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, 5th ed. (D. Firestone, ed.). AOCS, Champaign, Cd 8-53. 2003. 2021.
16. Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M, Vieira J. Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. *J Food Eng* 2008; 87(2): 181-90.
17. Mortazavi Nejad S, Abbasi H, Jahadi M. Optimization of sponge cake formulation containing okara. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 2016; 5(1): 1-14. [In Persian].
18. Pourfarzad A, Haddad Khodaparast MH, Karimi M, Mortazavi SA. Optimization of a novel improver gel formulation for Barbari flat bread using response surface methodology. *J Food Sci Technol* 2014; 51(10): 2344-56. [In Persian].
19. Polonio Navacchi MF, de Carvalho JC, Takeuchi KP, Godoy Danesi ED. Development of cassava cake enriched with its own bran and *Spirulina platensis*. *Technology* 2012; 34(4): 465-72.
20. Akesowan A. Quality of Reduced-Fat Chiffon Cakes Prepared with Erythritol-Sucralose as Replacement for Sugar. *Pak J Nutr* 2009; 8(9): 1383-6.
21. Manisha G, Soumya C, Indrani D. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocoll* 2012; 29(2): 363-73.
22. Aidoo RP, Afoakwa EO, Dewettinck K. Rheological properties, melting behaviours and physical quality characteristics of sugar-free chocolates processed using inulin/polydextrose bulking mixtures sweetened with stevia and thaumatin extracts. *Food Sci Technol* 2015; 62(1, Part 2): 592-7. [In Persian].
23. Karimi M, Sahraiyani B, Naghipour F, Sheikholeslami Z, Davoodi MG. Functional effects of different humectants on dough rheology and flat bread (Barbari) quality. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)* 2013; 5(11): 1209-13. [In Persian].
24. Bermejo-Bescos P, Pinero-Estrada E, Villar del Fresno AM. Neuroprotection by *Spirulina platensis* protean extract and phycocyanin against iron-induced toxicity in SH-SY5Y neuroblastoma cells. *Toxicol in Vitro* 2008; 22(6): 1496-502.
25. Chronakis IS. Gelation of edible blue-green algae protein isolates (*Spirulina platensis*): Thermal transitions, rheological properties, and molecular forces involved. *Bioresour Technol* 2001; 77: 19-24.
26. Yazdi MH, Sheikholeslami Z, Sharifi A. Improve qualitative characteristics of barbarian bread using *Spirulina platensis* algae. *Journal of Innovation in Food Science and Technology* 2019; 11(2): 69-77. [In Persian].
27. Malik P. Utilization of spirulina powder for enrichment of ice cream and yoghurt [PhD Thesis]; Bidar, India: Karnataka Veterinary, Animal and Fisheries Sciences University, Bidar; 2011.
28. Shahbazizadeh S, Khosravi K, Sohrabvandi S. Fortification of Iranian traditional cookies with spirulina platensis. *Annu Res Rev Biol* 2015; 7(3): 144-54.
29. Gheybi N, Raftaniamiri Z, Kasaai MR. Effect of stevia and inulin on the structure, physicochemical and sensory properties of dietetic ice cream. *J Food Technol Nutr* 2017; 14(63): 1-14. [In Persian].
30. Habib AB, Parvin M, Huntington TC, Hasan MR. A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals: FAO Fisheries and Aquaculture Circular. No. 1034 [Online]. [cited 2008]; Available from: URL: <http://www.fao.org/3/i0424e/i0424e00.htm>
31. Salehifar M, Shahbazizadeh S, Khosravi- Darani K, Behmadi H, Ferdowsi R. Possibility of using microalgae *Spirulina platensis* powder in industrial production of Iranian traditional cookies. *Iran J Nutr Sci Food Technol* 2013; 7(4): 63-72. [In Persian].
32. Olatidoye OP, Sobowale SS, Akinlotan JV, Olorode OO. Chemical composition and physicochemical characteristics of tropical almond nuts (*Terminalia catappa* L.) cultivated in South Western Nigeria. *Journal of Medical and Applied Biosciences* 2011; 2: 1-10.
33. Souzankar R, Chaichi- Nosrati S, Movahhed A. Enrichment of coated wafers by addition of micro algae arthrospira (*spirulina*) platensis powder. *Iran J Nutr Sci Food Technol* 2018; 13(2): 51-60.
34. Rodriguez De Marco E, Steffolani ME, Martinez CS, Leon AE. Effects of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *Food Science and Technology* 2014; 58(1): 102-8.
35. Gouveia L, Raymundo A, Batista AP, Sousa I, Empis J. Chlorella vulgaris and Haematococcus pluvialis biomass as colouring and antioxidant in food emulsions. *Eur Food Res Technol* 2006; 222(3): 362-7.
36. Pometto A, Shetty K, Paliyath G, Levin RE. Food biotechnology. Boca Raton, FL: CRC Press; 2005.
37. Puyfoulhoux G, Rouanet JM, Besancon P, Baroux B, Baccou JC, Caporiccio B. Iron availability from iron-

- fortified spirulina by an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model. *J Agric Food Chem* 2001; 49(3): 1625-9.
38. Amir Khizi B, Amir Khizi F, Hosseini J. Biochemical and nutritional properties of Stevia's natural sweetener. Proceedings of the 21st National Congress of Food Science and Technology of Iran; 2013 Oct. 29-Nov. 1; Shiraz, Iran. [In Persian].
39. Golmakani MT, Moayyedi M, Raissjalali A, Pesaran P, Aghajani A. Investigation of Physicochemical, Nutritional, Textural, and Sensory Properties of Iranian Yazdi Cupcake Enriched with Spirulina (*Arthrospira platensis*). Proceedings of the International Conference on Latest Trends in Food, Biological & Ecological Sciences; 2015 Oct. 11-12; Dubai, United Arab Emirates.