مقاله کامل علمی-پژوهشی

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی
جلد سیزدهم، شماره اول، ۱۴۰۰
۱-۱۴
http://ejfpp.gau.ac.ir

DOI: 10.22069/EJFPP.2021.18258.1630

تولید شیرینی مسقطی رژیمی دیابتی حاوی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کمک جایگزینی شکر با استویوزید– ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته ذرت

علی صابریان[۱]، محمد گلی[۲،۳*]

[۱]کارشناس‌ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
[۲]دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
[۳]دانشیار مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: طی سال‌های اخیر تقاضا برای محصولات غذایی رژیمی و در عین حال با ارزش غذایی بالا افزایش چشمگیری داشته است. شیرینی مسقطی یکی از شیرینی‌های سنتی ایران است که به‌دلیل میزان ساکارز و کالری بالا برای افراد مبتلا به چاقی و دیابت محدودیت مصرف دارد. غنی‌سازی محصولات غذایی ابزار مهمی جهت جلوگیری از کمبودهای تغذیه‌ای خاص می‌باشد و از بیماری‌های مزمن جلوگیری می‌نماید. شیرین‌کننده طبیعی استویوزید با میزان شیرینی حدوداً ۳۰۰ برابر ساکارز از ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی برای بهبود سلامتی برخوردار است. ایزومالت تنها جایگزین قند است که بطور انحصاری از ساکارز ساخته شده است. فواید سیانوباکتریوم رشته‌ای اسپیرولینا برای سلامتی انسان عمدتاً به حضور پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی (به‌ویژه آهن)، اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها مرتبط است. نشاسته ذرت قدرت غلیظ کنندگی بالایی دارد و در بسیاری از خمیرهای حاوی مواد جامد بالا با قابلیت تشکیل ژل‌های نرم مورد نیاز می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، نشاسته گندم با نشاسته ذرت و استفاده از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، به‌عنوان یک ترکیب عملگرا بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی شیرینی مسقطی رژیمی دیابتی بود.

مواد و روش‌ها: *اسپیرولینا پلاتنسیس* در پنج سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد)، جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت در پنج سطح (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) و جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت در پنج سطح (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. برای بدست آوردن نقاط بهینه، ۱۹ آزمایش توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت، روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی با یک تکرار در نقاط محوری و فاکتوریل و پنج تکرار در نقطه مرکزی با آلفای ۲ پیشنهاد گردید.

یافته‌ها: افزایش جایگزینی استویوزید-ایزومالت با شکر سبب کاهش سختی و افزایش شاخص b* و اندیس قهوه‌ای شدن بافت گردید. در مقابل افزایش جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت سبب افزایش سختی و کاهش قابلیت ارتجاعیت بافت مسقطی رژیمی شد. افزایش میزان اسپیرولینا سبب کاهش شاخص b* و اندیس قهوه‌ای شدن بافت گردید. اثر متقابل افزایش جایگزینی استویوزید-ایزومالت با شکر و نشاسته گندم با نشاسته ذرت سبب افزایش صمغیت، شاخص a* و اندیس قهوه‌ای شدن گردید. اثر متقابل افزایش جایگزینی استویوزید-ایزومالت با شکر و افزودن اسپیرولینا سبب افزایش چسبندگی، ارتجاعیت و قابلیت

*نویسنده مسئول: mgolifood@yahoo.com

جویدن بافت مسقطی شد. اگرچه، اثر متقابل افزایش جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و افزودن اسپیرولینا سبب کاهش شاخص *a شد.

نتیجه‌گیری: نمونه‌های بهینه مسقطی رژیمی دیابتی شامل فرمول بهینه اول (۵۹ درصد جایگزینی استویوزید-ایزومالت با شکر، ۸۷ درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و ۰/۸۳ درصد افزودن *اسپیرولینا پلاتنسیس*) و فرمول بهینه دوم (۶۹ درصد جایگزینی استویوزید-ایزومالت با شکر، ۱۹ درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و ۰/۱۵ درصد افزودن *اسپیرولینا پلاتنسیس*) پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: شیرینی مسقطی، *اسپیرولینا پلاتنسیس*، بافت‌سنجی، رنگ‌سنجی، روش سطح پاسخ

مقدمه

دیابت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات سلامتی و شایع‌ترین بیماری متابولیک در جهان شناخته می‌شود. شیوع دیابت در جهان و از جمله در ایران رو به افزایش است (۹). غنی‌سازی محصولات غذایی ابزار مهمی جهت جلوگیری از کمبودهای تغذیه‌ای خاص و بیماری‌های مزمن می‌باشد. شناسایی و تولید فاکتورهای غنی‌کننده می‌تواند سبب تولید محصولات با کیفیت بالا شود (۴). حلوا مسقطی از ترکیب شکر، نشاسته، روغن، گلاب، زعفران، هل و خلال پسته و بادام تهیه می‌شود. به همین دلیل ارزش غذایی بالایی دارد و با خوردن آن کالری زیادی وارد بدن می‌شود. جلبک اسپیرولینا یکی از ترکیبات بیولوژیکی فعال است که می‌تواند در فرمولاسیون محصولات غذایی جدید به‌عنوان اجزای فراسودمند، اجزای پروتئینی با کیفیت بالا و منبع اسیدهای چرب، رنگدانه طبیعی، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد معدنی مورد استفاده قرار گیرد (۳۰). اسپیرولینا تولیدکننده اگزوپلی‌ساکاریدهایی با ساختارهای متنوع و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد توموری، ضدباکتریایی و فعالیت‌های ضدانعقادی است (۱۶). مسئله قابل توجه در مورد اسپیرولینا وجود ۶۵ تا ۷۱ درصد وزن خشک پروتئین است؛ در حالی‌که گوشت گوساله ۲۲ درصد پروتئین دارد (۳۵). استویا با نام علمی *Stevia rebaudiana Bertoni* متعلق به خانواده آستراسه، گیاهی چندساله و شیرین کننده طبیعی و بدون کالری است که قدرت شیرین کنندگی آن ۳۰۰ تا ۴۰۰ برابر بیش‌تر از شکر است. برگ‌های این گیاه حاوی مقدار زیادی ترکیبات شیرین گلیکوزیدی است که بدون کالری هستند (۲). ایزومالت تنها جایگزین قند است که بطور انحصاری از ساکارز و طی دو مرحله شامل تبدیل آنزیمی (تبدیل ساکارز به ایزومالتوز) و بدنبال آن هیدروژناسیون (تبدیل ایزومالتوز به ایزومالت) تولید می‌شود. ایزومالت به‌عنوان جایگزینی برای قندها (ساکارز، شربت ذرت با فروکتوز بالا، شربت گلوکز و غیره) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۲۸). نشاسته ذرت (۲۵ درصد آمیلوز و ۷۵ درصد آمیلوپکتین) در موادغذایی که به ویسکوزیته و بافت خاصی نیاز دارند به‌عنوان عامل قوام‌دهنده، ژل‌کننده، حجیم‌کننده و نگهدارنده آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشاسته دارای فواید فیزیولوژیکی مشابه فیبرهای رژیمی محلول است (۵)؛ از جمله تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر را افزایش داده، سلامت کولون را بهبود می‌بخشد (۸) و می‌تواند به‌عنوان بستری برای رشد میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک عمل کند. موادغذایی حاوی نشاسته دارای شاخص گلایسمی پایینی بوده و در کاهش سطح گلیسیرید و کلسترول پلاسما و افزایش جذب مواد معدنی در الئوم نیز تأثیرگذار می‌باشند (۱۷). هدف از

پژوهش حاضر تولید محصولی با درصد پروتئین بالا بدون ایجاد عطر و طعم نامطلوب برای افراد گیاه‌خوار با استفاده از جلبک اسپیرولینا و در عین حال کاهش قند محصول برای افراد دیابتی با استفاده از استویوزید بود. نشاسته ذرت نیز به‌منظور بهبود ویژگی‌های بافتی و تغذیه‌ای استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: مواد مورد استفاده در فرمولاسیون مسقطی شامل استویوزید، ایزومالت، نشاسته ذرت، نشاسته گندم، شکر و پودر *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود که از شرکت سلامت گستران آرایان (فرامنش) فراهم گردید. کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش با خلوص بالا و از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

فرمولاسیون مسقطی: فرمولاسیون پایه مسقطی شامل آب ۲۸/۲۷ درصد، نشاسته گندم ۱۱/۳۵ درصد، سوربیتول ۱۷ درصد، شکر ۲۸/۵۴ درصد، روغن ۳/۴ درصد، گلاب ۱۱/۳۵ درصد، زعفران ۰/۰۳ درصد، وانیل ۰/۰۳ درصد و هل ۰/۰۳ درصد در نظر گرفته شد (۱۱).

روش تهیه مسقطی: آماده‌سازی شیرینی مسقطی به‌کمک شرکت دانش بنیان سلامت گستران آرایان طراحی و انجام گردید. به‌منظور تهیه مسقطی ابتدا نشاسته خیسانده، مخلوط آب، روغن و شکر درون پاتیل =جوشانده و نشاسته از قبل خیسانده به درون پاتیل در حال جوش اضافه شد. مخلوط با شعله ملایم حرارت داده شد و سپس هل به همراه زعفران و گلاب به مخلوط نهایی اضافه گردید. خمیر نهایی به درون ظرف آغشته شده به روغن ریخته شد و پس از سرد شدن مسقطی به ابعاد لازم برش خورد (۱۱). برای تهیه مسقطی رژیمی غنی‌شده، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت در سطوح مختلف (صفر تا ۱۰۰درصد)، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت در سطوح متنوع (صفر تا ۱۰۰ درصد) و اضافه کردن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی در سطوح مختلف (صفر تا ۱ درصد وزن فرمول نهایی) انتخاب شدند (جدول ۱) و سایر ترکیبات ثابت در نظر گرفته شدند. برای بدست آوردن نقاط بهینه، ۱۹ آزمایش توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت، روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی با یک تکرار در نقاط محوری و فاکتوریل و پنج تکرار در نقطه مرکزی با آلفای ۲ پیشنهاد گردید (جدول ۲). پاسخ های آزمون شامل شاخص‌های بافتی، رنگ و دانسیته بود.

جدول ۱- متغیرهای مستقل و سطوح اندازه‌گیری آنها

Table 1. Independent variables and their measurement levels

متغیرهای مستقل Independent variables	فاکتور Factor	کد و سطح مربوطه Relevant code and level				
		+α	1	0	-1	-α
جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت (٪) Replacing sucrose with stevioside-isomalt (%)	A	100	75	50	25	0
جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت (٪) Replacing wheat starch with corn starch (%)	B	100	75	50	25	0
میزان اسپیرولینا در فرمولاسیون نهایی (٪) Spirulina content in final formulation (%)	C	1	0.75	0.50	0.25	0

* با توجه به شیرینی حدود سیصد برابری استویوزید نسبت به شکر، برای تفاوت وزن استویوزید مصرفی و شکر حذف شده در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان فیلر یا پرکننده استفاده شد.

*Regarding to the higher sweetness of the stevioside (about 300 times) in comparison to sucrose, isomalt was used as a filler for the difference in weight of the added stevioside and the sucrose removed in all treatments.

آزمون‌های فیزیکی: ویژگی‌های بافتی (TPA) شامل سختی، پیوستگی، فنریت، چسبندگی، نیروی چسبندگی، صمغیت و قابلیت جویدن به روش خزائی پول و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد (۱۳). بدین‌منظور، قطعه مکعب با اندازه ۲×۲×۲ سانتی‌متر مکعب از شیرینی مسقطی 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 به‌عنوان شاخص سفتی بافت برحسب نیوتن گزارش گردید. پیوستگی و ارتجاعیت (فنریت) نیز از روی نمودار فاصله- نیرو به‌دست آمد. صمغیت نیز از حاصل‌ضرب سختی، پیوستگی و ارتجاعیت محاسبه شد (۱۱، ۱۳). دانسیته نمونه‌های مسقطی با کمک روش جابجایی دانه‌های کلزا به روش نقی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) تعیین شد (۲۲). پارامترهای رنگی شامل a^*، b^* و L^* در برنامه فوتوشاپ بدست آمد و در نهایت برای استاندارد کردن پارامترهای مربوط از کارت‌های استاندارد استفاده گردید. شاخص‌های رنگی بیانگر L^* میزان روشنایی و دامنه آن از ۰ تا ۱۰۰ متغیر، a^* بیانگر قرمزی- سبزی (+:قرمزی و -: سبزی) و b^* بیانگر شاخص زرد-آبی (+: زرد و -: آبی) با دامنه ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر بود (۱).

جدول ۲- تیمارهای پیشنهادی توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت با استفاده از روش سطح پاسخ

Table 2. The recommended treatments by Design Expert software using the response surface methodology

ترتیب Run No.	جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت(٪) Replacing sucrose with Stevioside-Isomalt (%)	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت (٪) Replacing wheat with corn starch (%)	میزان اسپیرولینا در فرمولاسیون نهایی (٪) Spirulina content in final formulation (%)
1	25	25	0.25
2	75	25	0.25
3	25	75	0.25
4	75	75	0.25
5	25	25	0.75
6	75	25	0.75
7	25	75	0.75
8	75	75	0.75
9	0	50	0.50
10	100	50	0.50
11	50	0	0.50
12	50	100	0.50
13	50	50	0.00
14	50	50	1.00
15	50	50	0.50
16	50	50	0.50
17	50	50	0.50
18	50	50	0.50
19	50	50	0.50

* با توجه به شیرینی حدود سیصد برابری استویوزید نسبت به شکر، برای تفاوت وزن استویوزید مصرفی و شکر حذف شده در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان فیلر یا پرکن استفاده شد.

*Regarding to the higher sweetness of the Stevioside (about 300 times) in comparison to sucrose, Isomalt was used as a filler for the difference in weight of the added Stevioside and the sucrose removed in all treatments.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت (A)، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت (B) و اضافه کردن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی(C) بر متغیرهای وابسته از نرم افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۹ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با یک تکرار در نقاط محوری و فاکتوریل و پنج نقطه مرکزی با آلفای ۲ پیشنهاد گردید (جدول ۲). کلیه بررسی‌های آماری شامل معنی‌داری و یا غیر معنی‌داری داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. اطلاعات بدست آمده در این بخش کمک می‌کند تا تأثیر میزان ماده اولیه را بر ویژگی‌های مسقطی تولید شده مورد بررسی قرار داده تا بهترین شرایط جهت تولید مسقطی رژیمی به‌دست آید. جست و جوی شرایط عملیاتی بهینه برای دستیابی به پاسخ‌های مطلوب مورد نظر با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی 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 رابطه ۱ می‌باشد.

رابطه ۱.

$$Y=\beta 0+\beta aA+\beta bB+\beta cC+\beta aaA^2+\beta bbB^2+\beta ccC^2+\beta abAB+\beta acAC+\beta bcBC$$

پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد و مجموع مربعات باقی مانده برآورد شده کم و ضریب همبستگی بالا باشد.

نتایج و بحث

بررسی اثر فاکتورهای درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و درصد اضافه کردن ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به فرمولاسیون نهایی بر ویژگی‌های فیزیکی مسقطی رژیمی: اثر مستقل سطوح جایگزینی استویوزید، اثر مستقل سطوح جایگزینی نشاسته ذرت، اثر درجه دوم سطوح جایگزینی نشاسته ذرت، اثر درجه دوم سطوح افزودن اسپیرولینا و اثر متقابل هر سه فاکتور سطوح جایگزینی استویوزید، سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و سطوح افزودن اسپیرولینا بر سختی بافت معنی‌دار بود ($P<0/05$). اثر درجه دوم سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و اثر متقابل هر سه فاکتور سطوح جایگزینی استویوزید، سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و سطوح افزودن اسپیرولینا بر انسجام و پیوستگی بافت معنی‌دار است ($P<0/05$). اثر متقابل سطوح جایگزینی استویوزید و افزودن اسپیرولینا، اثر متقابل هر سه فاکتور سطوح جایگزینی استویوزید، سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و سطوح افزودن اسپیرولینا، اثر درجه سوم سطوح استویوزید و اثر درجه سوم سطوح نشاسته ذرت بر چسبندگی بافت معنی‌دار است ($P<0/05$). اثر متقابل هر سه فاکتور سطوح جایگزینی استویوزید، سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و سطوح افزودن اسپیرولینا، اثر درجه دوم سطوح استویوزید، اثر درجه دوم سطوح نشاسته ذرت و اثر درجه دوم سطوح افزودن اسپیرولینا بر نیروی چسبندگی بافت معنی‌دار است ($P<0/05$). اثر مستقل سطوح جایگزینی استویوزید، اثر متقابل سطوح جایگزینی استویوزید و افزودن اسپیرولینا و اثر درجه دوم سطوح جایگزینی نشاسته ذرت بر ارتجاعیت (فنریت) بافت معنی‌دار است ($P<0/05$). اثر متقابل سطوح جایگزینی استویوزید و افزودن اسپیرولینا و اثر درجه دوم سطوح جایگزینی استویوزید و اثر درجه دوم افزودن اسپیرولینا بر قابلیت جویدن بافت معنی‌دار است ($P<0/05$). اثر متقابل سطوح جایگزینی استویوزید و نشاسته ذرت، اثر درجه دوم سطوح جایگزینی نشاسته ذرت، اثر درجه دوم سطوح افزودن اسپیرولینا، اثر متقابل درجه دوم سطوح جایگزینی

استویوزید و افزودن اسپیرولینا و اثر درجه سوم سطوح جایگزینی استویوزید بر قابلیت صمغیت بافت معنی‌دار است (P<۰/۰۵). اثر مستقل سطوح جایگزینی استویوزید و اثر مستقل سطوح جایگزینی نشاسته ذرت واثر درجه دوم افزودن اسپیرولینا بر دانسیته مسقطی رژیمی معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

کیفیت خوردن شیرینی‌ها بطور مستقیم با ویژگی‌های بافتی آنها مرتبط می‌باشد. در میان پارامترهای مختلف بافت، سختی به‌عنوان یک ویژگی مهم در نظر گرفته می‌شود که به حداکثر ارتفاع منحنی نیرو در اولین فشار اتلاق می‌شود و نشان‌دهنده حداکثر نیروی اعمال شده در طی عمل گاز زدن می باشد (۶). میزان رطوبت، ماده خشک، میزان و نوع پروتئین و چربی نیز تا حدودی بر سختی بافت موثر می‌باشد. سختی بافت تیمارها با افزایش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید–ایزومالت کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش سطوح جایگزینی نشاسته گندم با ذرت و افزودن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی، سختی بافت نمونه افزایش یافت. هم‌چنین در سطوح بالای جایگزینی نشاسته گندم با ذرت با افزایش میزان جایگزینی شکر با استویوزید–ایزومالت، سختی بافت افزایش یافت. افزایش غلظت قند بدلیل تأثیر بر نواحی آمورف زنجیره‌های نشاسته ذرت، سبب گرانوله شدن نشاسته و تثبیت ژل می‌شود و در نتیجه ایجاد ژل سخت‌تر می‌گردد (۳۲). نتایج بدست آمده با نتایج لی و همکاران (۲۰۱۴) و وانگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت دارد (۱۵، ۳۶). آن‌ها گزارش کردند که ژل‌های حاصل از نشاسته ذرت بدلیل افزایش قدرت تورم دانه‌های نشاسته ذرت که سبب تغلیظ محلول آمیلوز در فاز پیوسته ذرت می‌گردد، دارای سختی بالایی می‌باشند. علاوه بر این، افزودن اسپیرولینا نیز سبب افزایش سختی گردید که احتمالاً بدلیل غلظت بالای پروتئین موجود در ترکیب اسپیرولینا بوده است. پروتئین در هنگام اکستروژن با نشاسته برای جذب آب رقابت می‌کند، که باعث کاهش ژلاتینه شدن و در نتیجه انبساط کمتر و سختی بالاتر می‌شود (۳۱). این نتایج هم‌چنین با نتایج بدست آمده توسط لازائو و کروکیدا (۲۰۱۰)، سومارگو و همکاران (۲۰۱۶) و اونوالاتا و همکاران (۲۰۰۱) در خصوص ارتباط مستقیم سختی با افزایش غلظت پروتئین مطابقت دارد (۳۱، ۲۴، ۱۴). بطور مشابه برک الله و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که افزودن ۱ درصد اسپیرولینا سبب افزایش سختی بافت می‌گردد (۳). هم‌چنین نشان دادند که فیبرها و پلی‌ساکاریدهای اسپیرولینا می‌توانند نقش مهمی در اصلاح سختی بافت محصولات فرآوری شده ایفاء نمایند (۳). هم‌چنین توانایی اسپیرولینا در افزایش سختی بافت می‌تواند به محتوای بالای فیبر رژیمی موجود در آن نیز نسبت داده شود. انسجام و پیوستگی بافت به نسبت مساحت سطح زیر نمودارهای فشرده‌سازی اول و دوم اطلاق می‌شود و بیان‌گر میزان انرژی لازم برای شکستن ساختار داخلی ژل و مقاومت درونی ساختار ماده غذایی است (۱۲). با افزایش میزان جایگزینی استویوزید و افزودن اسپیرولینا، انسجام بافت مسقطی رژیمی افزایش یافت. هم‌چنین سطوح بالای جایگزینی نشاسته ذرت سبب کاهش انسجام بافت گردید. پن و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که جایگزینی شکر با استویوزید به میزان قابل توجهی سبب افزایش انسجام بافت بستنی شد (۲۵). انسجام بالاتر نشان‌دهنده بهبود در پایداری بافت است زیرا قبل از شکسته شدن بافت، نمونه در دهان فشرده می‌شود (۲۶). مانیشا و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که افزودن اسپیرولینا سبب افزایش انسجام بافت در محصولات نانوایی شده است (۱۹). راویندرا و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که افزایش سطوح جایگزینی نشاسته نشاسته گندم با نشاسته ذرت سبب

کاهش انسجام بافت گردیده است (۲۷). دانه‌های نشاسته به‌دلیل عدم توانایی در ایجاد شبکه منسجم، بعنوان پرکننده‌های غیرفعال عمل می‌کنند و همین امر سبب کاهش انسجام می‌گردد. مون- سی (۲۰۰۹) گزارش کرد که افزایش نشاسته در پنیر بطور قابل توجهی سبب کاهش انسجام بافت می شود. کاهش انسجام بافت در مقادیر بالای نشاسته ممکن است به میزان کاهش پروتئین مربوط باشد (۲۱). همچنین انسجام پایین در مقادیر بالای نشاسته ممکن است بدلیل پیوندهای داخلی قوی باشد، که سبب رهایش ناکافی آمیلوز می‌گردد و در نتیجه در طی پخت سبب حلالیت و قدرت تورم پایین می‌گردد (۲۳). مارکو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که افزودن اسپیرولینا به خمیر نان به‌دلیل برهم‌کنش‌های بین ملکولی اسپیرولینا با سایر اجزاء فرمول منجر به افزایش انسجام شبکه ژلی و پیوستگی بافت گردیده است (۲۰). برک الله و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که افزودن اسپیرولینا سبب افزایش انسجام بافت برگر ماهی غنی شده با اسپیرولینا گردید. با افزایش سطوح جایگزینی استویوزید و افزودن اسپیرولینا چسبندگی تیمارها افزایش یافت. اسپیرولینا با داشتن گروه‌های قطبی، آب موجود در فرمولاسیون را در ساختار خود به دام انداخته و در نهایت منجر به افزایش انسجام و چسبندگی بافت محصول گردیده است (۳). هم‌چنین افزایش سطوح جایگزینی استویوزید نیز سبب افزایش چسبندگی بافت مسقطی رژیمی گردید. چسبندگی بالا حاکی از لزوم استفاده از انرژی بیش‌تر برای غلبه بر نیروهای بین ماده غذایی و دهان حین تماس با یکدیگر می‌باشد (۲۶). چو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که افزودن اسپیرولینا به فرمولاسیون سس سالاد سبب افزایش چسبندگی و سختی بافت می‌گردد (۷). لی و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که جایگزینی شکر با استویوزید به میزان قابل توجهی سبب افزایش چسبندگی و انسجام بافت بستنی می‌شود. ارتجاعیت بافت بیانگر مقاومت داخلی ساختار ماده غذایی است (۱۵). ارتجاعیت، پارامتر مهمی برای تعیین رتروگراداسیون نشاسته است و برای تعیین میزان شکسته شدن بافت با فشار اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۴). افزایش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت و افزودن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی سبب افزایش ارتجاعیت بافت مسقطی رژیمی گردیده است. کارپ و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند افزایش غلظت استویوزید در مافین سبب افزایش ارتجاعیت بافت گردیده است (۱۲). سنجاری و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که افزایش میزان اسپیرولینا سبب افزایش قابلیت ارتجاعیت در نان شده است (۲۸). مجزوبی و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که با کاهش سطح ساکارز و چربی، قابلیت ارتجاعیت کیک افزایش یافته است. استحکام پیوندها در شبکه سه‌بعدی ساختار آنها می‌تواند دلیلی برای افزایش قابلیت ارتجاعیت در کیک‌های با چربی و قند کاهش یافته باشد. میزان انرژی لازم برای جویدن و تبدیل شدن نمونه به حالت خمیری، صمغیت بافت را نشان می‌دهد و قابلیت جویدن بیانگر میزان انرژی لازم برای جویدن یک نمونه نیمه جامد و آماده شدن برای مرحله بلع می‌باشد. صمغیت از حاصل ضرب سختی در پیوستگی بدست می‌آید و قابلیت جویدن حاصل ضرب سه پارامتر سختی، پیوستگی و ارتجاعیت است (۱۸). اثر متقابل افزایش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته ذرت سبب افزایش صمغیت بافت گردید. سنجاری و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند افزودن اسپیرولینا به نان سبب افزایش صمغیت بافت نان گردید. احتمالاً قسمت پروتئینی اسپیرولینا که ۶۰ درصد ساختار آن را بخود اختصاص داده است، سبب افزایش سختی و

مقاومت ژل می‌گردد. به‌عبارت دیگر، پیوند هیدروژنی گروه‌های آمید هیدروکسیل و هیدروکسیل کربنیل با گروه‌های قطبی باعث افزایش سختی شده است. این تعامل هم‌چنین باعث افزایش استحکام ساختار نمونه شد. با افزایش غلظت اسپیرولینا، قابلیت ارتجاعی خمیر بهبود یافته است که این امر به دلیل پیوند الکترواستاتیک و هیدروژنی در هنگام تشکیل ژل است (۲۸). پان و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که افزودن استویوزید به بستنی سبب افزایش صمغیت آن شده است. قابلیت جویدن بعنوان ویژگی از بافت تعریف می‌شود که شامل حاصل ضرب سه فاکتور (سختی، انسجام و ارتجاعیت) می‌باشد (۲۵). نتایج بدست آمده نشان داد که اثر متقابل افزایش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت و افزودن اسپیرولینا سبب افزایش قابلیت جویدن شده است. مقدار دانسیته بیانگر میزان هوای به دام افتاده در مخلوط می‌باشد؛ بطوری‌که دانسیته پایین، بیانگر مخلوط حاوی حباب هوای بالا است. نتایج نشان داد که کاهش سطوح جایگزینی استویوزید موجب کاهش دانسیته تیمارها شده است. تأثیر اسپیرولینا بر روی دانسیته محصول، بدلیل محتوای پروتئین بالا در آن بوده که باعث تغییر ویسکوزیته و در نهایت کاهش دانسیته شده است (۱۳).

بررسی اثر فاکتورهای درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و درصد اضافه کردن ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به فرمولاسیون نهایی بر رنگ مسقطی رژیمی: اثر مستقل سطوح جایگزینی استویوزید، اثر مستقل سطوح افزودن اسپیرولینا، اثر متقابل سطوح جایگزینی استویوزید و نشاسته ذرت و اثر درجه دوم سطوح افزودن اسپیرولینا بر شاخص قهوه ای شدن مسقطی رژیمی معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). اثر متقابل سطوح جایگزینی استویوزید و نشاسته ذرت و اثر متقابل سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و افزودن اسپیرولینا بر پارامتر رنگی (a*) معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). اثر مستقل سطوح جایگزینی استویوزید و اثر مستقل سطوح افزودن اسپیرولینا بر پارامتر رنگی (b*) معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). شرایط بهینه برای تولید مسقطی رژیمی غنی‌شده با اسپرولینا به کمک جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت و جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت با استفاده از روش بهینه‌سازی عددی انجام شد. در جدول ۴ دامنه مقادیر بدست آمده برای فرایند بهینه‌یابی و هدف آن مشخص شده است. با توجه به مدل و سطوح در نظر گرفته شده متغیرها و معادلات و نمودارهای روش سطح پاسخ، نمونه‌های بهینه معرفی شد (جدول ۵).

افزایش سطوح جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت و افزودن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی به‌ترتیب سبب افزایش و کاهش شاخص b* بافت مسقطی رژیمی شد. درمورد شاخص a* اثر متقابل افزایش سطوح جایگزینی استویوزید و نشاسته ذرت سبب افزایش و اثر متقابل افزایش سطوح جایگزینی نشاسته ذرت و افزودن اسپیرولینا سبب کاهش این شاخص شد. هم‌چنین افزایش سطوح جایگزینی استویوزید و اثر متقابل جایگزینی استویوزید و نشاسته ذرت سبب افزایش و افزودن اسپیرولینا سبب کاهش شاخص قهوه‌ای شدن بافت مسقطی رژیمی گردید. کارپ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزایش میزان استویوزید سبب افزایش a* و b* در مافین شده است (۱۲). آنها از مخلوط سوکرالوز و پلی‌دکستروز به‌عنوان جایگزین ساکارز در مافین استفاده نمودند. از آنجایی که شیرین‌کننده‌های بدون ساکارز نقش مهمی در تغییرات روشنایی دارند با کاراملیزه شدن و واکنش مایلارد (قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی) بین قندهای احیاءکننده و آمینواسیدها نیز

مرتبط است. ساکارز (قند غیر احیاءکننده) در دماهای بالا به گلوکز و فروکتوز (قندهای احیاءکننده) تبدیل شده است. بنابراین، اگر مقدار ساکارز کاهش یابد، بدلیل تشکیل کم‌تر محصولات حاصل از واکنش مایلارد، تشدید رنگ ضعیف‌تر شده است (۱۰). رنگدانه‌های طبیعی موجود در اسپیرولینا از جمله کاروتنوئیدها (زرد تا نارنجی)، کلروفیل و بتاکاروتن (سبز) و فیکوسیانین و آلوفیکوسیانین (آبی) می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه بر شاخص‌های رنگی بافت تیمارها داشته باشند. افزودن اسپیرولینا سبب کاهش شفافیت، قرمزی و زردی گردید (سان-هی و همکاران، ۲۰۱۱). تأثیر غلظت‌های مختلف افزودن جلبک اسپیرولینا را بر برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست اسفناج پروبیوتیک مورد مطالعه قرار دادند (۳۳). نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اسپیرولینا در ماست پروبیوتیک از میزان شاخص b* کاسته شد.

جدول ۳- معادلات رگرسیون بین ویژگی‌های بافتی- رنگی و فاکتورهای کدشده

Table 3. The regression equations between textural-color properties and coded factors

معادله نهایی بر اساس فاکتورهای کد شده Final equation based on coded factors	ضریب تبیین R^2
Hardness(N)=1.68-0.053(A)+0.079(B)-0.097(B^2)-0.12(C^2)-0.25(ABC)	0.97
Cohesiveness= 0.21+0.14(B^2)+0.16(ABC)	0.75
Adhesiveness (N. min)= 0.61+0.18(AC)-0.16(ABC)+0.028(A^3)+0.038(B^3)	0.86
Adhesive force(N)= 4.13-0.27(A^2)-0.72(B^2)-0.7(C^2)-1.09(ABC)	0.89
Springiness = 0.35-0.3(A)+0.35(AC)+0.56(B^2)	0.90
Chewiness(N)= 19.2+8.26(AC)-2.74(A^2)-4.04(C^2)	0.85
Gumminess=39.55+10.69(AB)-3.85(B^2)-8.29(C^2)+9.2(A^2C)-2.18(A^3)	0.83
Density (g/cm^3)= 1.12+0.11(A)-0.085(B)-0.046(C^2)	0.72
Browning index= 35.5+9.19(A)-39.18(C)+16.68(AB)+14.82(C^2)	0.91
a*= -3.57+0.76(AB)-1.64(BC)	0.75
b*= -15.85+3.29(A)-10.12(C)	0.84

درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت (A)، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت (B) و میزان اسپیرولینا در فرمولاسیون نهایی (C)

Replacing sucrose with Stevioside-Isomalt (%, A), wheat starch with corn starch (%, B), and Spirulina content in final formulation (%, C)

بهینه‌یابی مدل: بهینه‌یابی فرمول مسقطی رژیمی، با استفاده از بررسی اثر متغیرهای مستقل شامل سطوح جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، سطوح جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و سطوح افزودن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی بر برخی از شاخص های کیفی مسقطی، با استفاده از بهینه یابی عددی روش سطح پاسخ انجام پذیرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که روش سطح پاسخ کارایی خوبی در بهینه‌یابی ویژگی‌های کیفی مسقطی رژیمی داشته باشد. ضریب تبیین (R^2) برای پارامترهای اندازه گیری شده بالاتر از ۸۰ درصد بود و فاکتور عدم برازش نیز برای پارامترها معنی‌دار نبود. در نتیجه بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها تأیید کننده صحت مدل برای برازش اطلاعات بود.

جدول ٤- بهینه‌یابی متغیرهای مستقل در تولید مسقطی غنی شده رژیمی

Table 4. Optimization of independent variables in the production of the diet-enriched Masghati sweet

حد بالا High limit	حد پایین Low limit	هدف Target	متغیرهای مستقل و وابسته Dependent and independent variables
100	0	در محدوده In range	جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت(٪) Replacing sucrose with Stevioside-Isomalt (%)
100	0	در محدوده In range	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت (٪) Replacing wheat starch with corn starch (%)
1	0	در محدوده In range	میزان اسپیرولینا در فرمولاسیون نهایی (٪) Spirulina content in final formulation (%)
492.77	3.18	در محدوده In range	سختی (نیوتن) Hardness (N)
0.91684	0.04539	کمینه Minimum	چسبندگی (نیوتن.دقیقه) Adhesiveness (N.min)
85.5263	0.57353	کمینه Minimum	نیروی چسبندگی (نیوتن) Adhesive force (N)
0.67923	0.07330	بیشینه Maximum	پیوستگی و انسجام Cohesiveness
0.97647	0.17073	بیشینه Maximum	ارتجاعیت (فنریت) Springiness
52.4967	1.13615	در محدوده In range	صمغیت Gumminess
22.6429	1.10526	در محدوده In range	قابلیت جویدن (نیوتن) Chewiness (N)
35.197	3.537	در محدوده In range	b^*
-0.949	-6.916	کمینه Minimum	a^*
179.413	7.3067	کمینه Minimum	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index
1.35	0.89	کمینه Minimum	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Density (g/ cm^3)

جدول ٥- نمونه‌های بهینه مسقطی غنی شده رژیمی

Table 5. The optimal formulas of the diet-enriched Masghati sweet

میزان اسپیرولینا در فرمولاسیون نهایی (٪) Spirulina content in final formulation (%)	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت (٪) Replacing wheat starch with corn starch (%)	جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت (٪) Replacing sucrose with Stevioside-Isomalt (%)	تیمارها Treatments
0.83	87	59	بهینه ۱ Optimal formula-1
0.15	19	69	بهینه ۲ Optimal formula-2
0	0	0	شاهد Control

نتیجه‌گیری

مسقطی رژیمی با دو فرمولاسیون بهینه شامل بهینه ۱ با مشخصات ۵۹ درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت، ۸۷ درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و ۰/۸۳ اسپیرولینا و بهینه ۲ با ویژگی های ۶۹ درصد جایگزینی شکر با استویوزید- ایزومالت، ۱۹ درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته ذرت و ۰/۱۵ اسپیرولینا معرفی گردید.

سپاسگزاری

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

منابع

1. Aslanzadeh, M., Mizani, M., Gerami, A., and Alimi, M. 2014. Evaluation of dietary fiber performance of wheat bran as a fat substitute in mayonnaise. Food Sci. Nutr. 11:1.21-31. (In Persian)
2. Agarwal, V., Kochhar, A., and Sachdeva, R. 2009. Sensory and nutritional evaluation of sweet cereal products prepared using stevia powder for diabetics. Ethno-Med. 3: 8-93.
3. Barkallah, M., Dammak, M., Louati, I., Hentati, F., Hadrich, B., Mechichi, T., Ayadi, A., Fendri, I., Attia, H., and Abdelkafi, S. 2017. Effect of *Spirulina Plantesis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. LWT-Food Sci. Technol. 84: 323-330.
4. Bialek, M., Rutkowska, J., Adamska, A., and Bajdalow, E. 2015. Partial replacement of wheat flour with pumpkin seed flour in muffins offered to children. Cyta J. of Food. 14:3.391-398.
5. Brown, I. 1996. Complex carbohydrates and resistant starch. Nut. Reviews, 54:115-119.
6. Cheng, Y.F., and Bhat, R. 2016. Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (Pithecellobium jiringa Jack.) legume flour. Food Biosci. 14:54-61.
7. Cho, H., Yun-Hyoung, Y., Kun-Jong, L., and Yong-Sik, C. 2005. Quality Characteristics of low fat salad dressing with Spirulina during storage. Korean J. Food Preserv.12:4.329-335.
8. Ferguson, L.R., Tasman-Jones, C., Englyst, H., and Harris, P.J. 2000. Comparative effects of three resistant starch preparations on transit time and short-chain fatty acid production in rats. Nutr. Cancer. 36:2.230-237.
9. Forouhi, N.G., and Wareham, N.J. 2010. Epidemiology of diabetes. Medicine. 38:602-6.
10. González-Mateo, S., González-SanJosé, M.L., and Muniz, P. 2009. Presence of Maillard products in Spanish muffins and evaluation of colour and antioxidant potential. Food Chem. Toxicol. 47: 2798-2805.
11. Heidarian, M., and Goli, M. 2021. Investigation on production of Masghati sweets formulation containing *Ganoderma locidum* with replacing sucrose and wheatstarch with sucralose-isomalt and potato starch by response surface methodology. Iranian Food Sci. Technol. Res. J. 17(5). (In Press- In Persian)
12. Karp, S., Kurek, M., and Wierzbicka, A. 2016. Physical properties of muffins sweetened with Steviol glycosides as the sucrose replacement. Food Sci. Biotechnol. 25:1131.1591-1596.
13. Khazaiy pool, E., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., and Mohebbi, M. 2015. The effect of different levels of *Spirulina Platensis* microalgae and agar and guar hydrocolloids on water activity, texture, color parameters and overall acceptability of kiwi puree-based fruit pastille. J. Food Sci. Technol. 12:48.47-59. (In Persian)
14. Lazou, A., and Krokida, M. 2010. Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. J. Food Eng. 100:3.392-408.
15. Li, S., Zhang, Y., Wei, Y., Zhang, W., and Zhang, B. 2014. Thermal, pasting and gel textural properties of commercial starches from different botanical sources. J. Bioprocess Biotech. 4:161.
16. Liu, J., Mao, X., Zhou, W., and Guarnieri, M.T. 2016. Simultaneous production of triacylglycerol and high-value carotenoids by the astaxanthin-producing oleaginous green microalga

Chlorella zofingiensis. Bioresour. Technol. 214:319-327.
17. Lopez, H.W., Levrat-Verny, M.A., Coudray, C., Besson, C., Krespine, V., Messager, A., Demigne, C., and Remesy, C. 2001. Class 2 resistant starches lower plasma and liver lipids and improve mineral retention in rats. J. Nutr. 131:1283-1289.
18. Majzoobi, M., Mohammadi, M., Mesbahi, G., and Farahnaky, A. 2018. Sucrose and fat reduction in cake formulation. J. texture stud. 49:5.468-475.
19. Manisha, G., Soumya, S., and Indrani, D. 2012. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. Food Hydrocoll. 29:2.363-373.
20. Marco, E., Steffolani, M., Martinez, S., and Leon, A. 2014. Effect of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. J food sci. technol. 58:1.102-108.
21. Mounsey, J.S. 2009. Effect of wheat starch on imitation cheese texture. J. food technol. 7:2.30-33.
22. Naghipour, F., Karimi, M., Habibi Najafi, M.B., Hadad Khodaparast, M.H., Sheikholeslami Z, Ghiafeh Davoodi, M., and Sahraiyan, B. 2013. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. J. Food Sci. Technol. 10:41.127-139. (In Persian)
23. Numtor, F.A., Walter, W.M., J.R., and Schwartz, S.J. 1995. Physicochemical changes in cassava starch and flour associated with fermentation: Effect of textural properties. Starch. 47:3.86-91.
24. Onwulata, C.I., Smith, P.W., Konstance, R.P., and Holsinger, V.H. 2001b. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. Food Res. Int. 34:8.679-687.
25. Pon, S.Y., Lee, W.J., and Chong, G.H. 2015. Textural and rheological properties of stevia ice cream. Int. Food Res. J. 22:4.1544-1549.
26. Radocaja, O.F., Dimicb, E.B., and Vujasinovicc1, V.B. 2011. Optimization of the texture of fat-based spread containing hull-less pumpkin (Cucurbita pepo L.) seed press-cake. Acta Period. Technol. 42: 31-143.
27. Ravindra, P., Genovese, D.B., Foegeding, E.A., and Rao, M.A. 2004. Rheology of heated mixed whey protein isolate/cross-linked waxy maize, starch dispersions. Food Hydrocoll. 18:775-781.
28. Sanjari, S., Sarhadi, H., and Shahdadi, F. 2018. Investigating the effect of Spirullina plantesis microalgae on textural and sensory properties of Baguette bread. J. nutr. Food. 110:2.182-189. (In Persian)
29. Schiweck, H., and Munir, M. 1992. Isomalt, a versatile alternative sweetener-production, properties and uses. Carbohydrates in industrial synthesis. Berlin. 5-55.
30. Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., and Isambert, A. 2006. Commercial applications of microalgae. J. biosci. bioeng. 101:2.87-96.
31. Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S.A., Clarke, J., and Rose, D.J. 2016. Effects of processing moisture on the physical properties and in vitro digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours. Food Chem. 211:726-733.
32. Sun, Q., Xing, Y., Qiu, C., and Xiong, L. 2014. The pasting and gel textural properties of cornstarch in glucose, fructose and maltose syrup. PLOS ONE. 9:41-6.
33. Sun-Hee, K., Hyo-Jin, K., Bo-Ram, Y., Ki-Hyun, Y., Eun-Kyoung, S., and Mee-Ree, K. 2011. Quality characteristic of pan bread with Spirulina powder. J. East Asian Soc. Diet. Life. 21:1.31-37.
34. Tian, Y., Li, Y., Manthey, F.A., Xu X., Jin, Z., and Deng, L. 2009. Influence of β-cyclodextrin on the short-term retrogradation of rice starch. Food Chem. 116:1. 54-58.
35. Todd, L. 2000. A review of spirulina as a carotenoid and vitamin source for cultured shrimp. Spirulina Pacifica Tech. Bull. 8P.
36. Wang, L., Xu, J., Fan, X., Wang, Q., Wang, P., Zhang, Y., Cui, L., Yuan, J., and Yu, Y. 2016. Effect of disaccharides of different composition and linkage on corn and waxy cornstarch retrogradation. Food Hydrocoll. 61:531-536.

EJFPP, Vol. 13 (1): 1-14
http://ejfpp.gau.ac.ir

Production of Diabetic Dietary Masghati Sweet Containing *Spirulina platensis* by Replacing Sucrose with Stevioside-Isomalt and Wheat Starch with Corn Starch

A. Saberian[1], **M. Goli[1,2*]**
[1]Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch,
Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[2]Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center,
Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: 2020/08/13; Accepted: 2020/12/14

Abstract

Background and Objectives: In recent years, the demand for diet foods with high nutritional value has significantly increased. Masghati is one of the traditional sweets of Iran, which due to its high amount of sucrose and calories, its consumption is limited for people with obesity and diabetes. Food fortification is an important tool to prevent certain nutritional deficiencies and prevent chronic diseases. Stevioside is approximately 300 times sweeter than sucrose and exhibit broad health-promoting, anti-oxidative, and antimicrobial properties. Isomalt is the only sugar substitute made exclusively from sucrose. Potential health benefits of filamentous cyanobacterium, i.e., *Spirulina platensis* is mainly due to its chemical composition, which includes proteins, carbohydrates, essential amino acids, minerals (especially iron), essential fatty acids, vitamins, and pigments. Cornstarch has a high thickening power and is required in many pastes containing high solids with the ability to form soft gels. The aim of this study was to investigate the effect of sucrose substitution with stevioside-isomalt, wheat starch with corn starch and the use of *Spirulina platensis* algae as a functional compound on the physicochemical, textural and sensory properties of diabetic dietary Masghati sweet.

Materials and Methods: The *Spirulina platensis* at five levels (0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1%), sucrose replacement with stevioside-isomalt at five levels (0, 25, 50, 75 and 100%) and replacement of wheat starch with corn starch was tested at five levels (0, 25, 50, 75 and 100%). For obtaining the optimal formulas, 19 experiments proposed by Design Expert software, the central composite design (CCD) by response surface methodology (RSM) with one repetition in axial and factorial points and five central points with alpha two.

Results: Increase in the stevioside-isomalt replacement with sucrose resulted in decreasing the hardness and increasing the b* and browning index. The hardness and springiness, with increasing wheat starch replacement with corn starch, increased and decreased, respectively. The increase in Spirulina content resulted in a decrease in the b* value and browning index. The interaction effect of increase in replacing sucrose with stevioside - isomalt and wheat starch with corn starch caused an increase in gumminess, a* value and browning index of the samples. The interaction effect of increase in replacing sucrose with stevioside-isomalt and Spirulina addition caused an increase in adhesiveness, springiness and chewiness of the samples. Although, the interaction effect of increase in replacing wheat starch with corn starch and Spirulina addition caused a decrease in a* value.

* Corresponding Author: mgolifood@yahoo.com

Conclusion: Two optimal formulas of diabetic dietary Masghati sweet, i.e., the optimal formula-1 (59% stevioside-isomalt replacement with sucrose, 87% wheat starch replacement with corn starch and 0.83% *Spirulina platensis* addition) and the optimal formula-2 (69% stevioside-isomalt replacement with sucrose, 19% wheat starch replacement with corn starch and 0.15% *Spirulina platensis* addition) were suggested.

Keywords: Masghati Sweet, *Spirulina platensis*, Textural analysis, Color assessment, Response surface methodology