



## تولید کیک اسفنجی فراسودمند حاوی گیاه استویا (*Stevia rebaudiana*) و ریز جلبک کلرلا ولگاریس و ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی و حسی آن

حوریا جنگی<sup>۱</sup>، مریم قراچورلو<sup>۲\*</sup>، هما بهمدی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استادیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

امروزه به واسطه توجه مصرف کنندگان به ویژگی‌های تغذیه‌ای و سلامتی‌بخشی مواد غذایی، صنعت غذا به طراحی مجدد مواد غذایی سنتی متمایل شده است. کیک یکی از فراورده‌های غذایی پرمصرف است که متخصصین تغذیه کاهش مصرف آن را به دلیل قند و چربی بالا، در رژیم غذایی توصیه می‌کنند. در این تحقیق کیک اسفنجی با جایگزینی آرد گندم با ۲، ۴ و ۶ درصد پودر جلبک کلرلا ولگاریس و جایگزینی کامل ساکارز با ۲۵ درصد پودر گیاه استویا (*Stevia rebaudiana*)، تولید شد. درصد چربی، پروتئین، رطوبت، فیبر و خاکستر آرد گندم، پودر گیاه استویا و پودر جلبک کلرلا ولگاریس اندازه‌گیری شد. خصوصیات کیفی و ماندگاری کیک طی ۳۰ روز نگهداری در ۲۵ درجه سلسیوس شامل درصد ترکیبات، حجم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، شمارش کلی کپک و مخمر، رنگ، ویژگی‌های بافتی (میزان سفتی، فنریت، قابلیت جویدن در آزمون بافت سنجی دو مرحله‌ای) و ارزیابی حسی بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش درصد جلبک کلرلا ولگاریس و افزودن پودر گیاه استویا در فرمولاسیون کیک، میزان خاکستر، چربی، پروتئین، رطوبت، فعالیت آبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، حجم کیک و فنریت بافت کیک افزایش، ولی میزان کربوهیدرات، سفتی بافت، قابلیت جویدن کیک و شاخص‌های  $a^*$  (آبی- زردی)،  $b^*$  (سبزی- قرمزی) و  $L^*$  (روشنایی) کاهش معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) یافت. بیشترین مقدار پروتئین ۱۳/۱۳ درصد در مقایسه با نمونه شاهد (۷/۷۸ درصد) متعلق به کیک حاوی ۴ درصد جلبک و ۲۵ درصد استویا بود. کاربرد استویا و کلرلا ولگاریس، ماندگاری کیک را در برابر عوامل میکروبی به طور معنی‌داری افزایش داد. با گذشت زمان تا ۷ روز نگهداری، تعداد کلی کپک و مخمر در نمونه شاهد و نمونه دارای استویا (فاقد جلبک کلرلا ولگاریس) به طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) افزایش یافت. در نمونه‌های حاوی استویا و جلبک، صرف‌نظر از مقدار افزودن جلبک، کپک و مخمر مشاهده نشد اما پس از ۱۵ روز، مقدار کپک و مخمر در تمامی نمونه‌ها یکسان بود. میزان فنریت بافت در روز اول افزایش معنی‌داری پیدا کرد ولی در روز ۷ و ۱۵ تغییر معنی‌داری نداشت. با گذشت زمان مقدار رطوبت و میزان فعالیت آبی به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. بیشترین میزان فعالیت آبی مربوط به کیک‌های حاوی ۲ و ۴ درصد جلبک بود. ( $P < 0.05$ ). از لحاظ پذیرش کلی امتیاز تیمار حاوی ۲۵ درصد استویا و همچنین تیمار حاوی ۲۵ درصد استویا و ۲ درصد جلبک کلرلا ولگاریس شبیه به تیمار شاهد بود ( $p < 0.05$ ). در این پژوهش، تیمار حاوی ۲۵ درصد استویا و ۲ درصد جلبک کلرلا ولگاریس به دلیل بافت بهتر و پذیرش کلی نزدیک به شاهد، توصیه می‌شود.

### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۷

### کلمات کلیدی:

کیک اسفنجی، استویا، کلرلا ولگاریس، رژیمی.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83573.0

\* مسئول مکاتبات:

maryam.gharachorloo@iaui.ac.ir

## ۱-مقدمه

در حال حاضر با توجه به اهمیت سلامت و کیفیت مواد غذایی و توجه هر چه بیشتر مصرف‌کنندگان به سلامتی بیشتر محصولات و رفع نیازهای بدن از راه مصرف مواد غذایی مناسب و سالم و از طرفی به دلیل کمبود ریزمغذی‌ها در جوامع انسانی به خصوص در برخی از دوره‌های زندگی استقبال از تولید، واردات و مصرف غذاهای غنی شده رو به افزایش است. از نظر متخصصان علوم تغذیه نیز یکی از بهترین راه‌های دریافت ریزمغذی‌ها و افزایش دریافت مواد مغذی ضروری با کمترین عوارض جانبی و به صورت گسترده در سطح جامعه غنی‌سازی مواد خوراکی و آشامیدنی است [۱]. غنی‌سازی، افزودن یک یا چند ماده مغذی به رژیم غذایی معمول افراد جامعه است و انواع مختلفی دارد مانند افزودن ویتامین، آهن، اسیدفولیک و کلسیم. یکی از راه‌های غنی‌سازی که امروزه مورد توجه قرار گرفته است غنی‌سازی با جلبک است [۲].

در اکثر این فرآورده‌ها شکر به عنوان جزئی از فرمولاسیون حضور دارد لیکن امروزه مصرف شکر به عنوان یک عامل محدودکننده در برخی افراد از جمله دیابتی‌ها، محسوب شده و تولید محصولات فاقد شکر یا کم شکر به عنوان بخشی از نیاز مصرف‌کننده مورد توجه تولیدکنندگان مواد غذایی قرار گرفته است. لذا استفاده از جایگزین‌های شکر که از یک طرف تولید محصولی با شیرینی مشابه را امکان‌پذیر سازد و از طرفی دیگر محدودیتی از نظر مصرف برای این دسته از افراد نداشته باشد، مورد نیاز است. شیرین‌کننده‌هایی که اکثراً در مواد غذایی استفاده می‌شوند، مصنوعی بوده که هر کدام محدودیت خاصی در فرمولاسیون مواد غذایی دارند. لذا استفاده از شیرین‌کننده‌های طبیعی که مضرات آنها را نداشته و بتواند جایگزین شکر گردد، مورد نیاز جامعه امروزی است [۳]. امروزه استفاده از شیرین‌کننده استویا<sup>۱</sup> که ترکیبی با منشأ طبیعی است در بسیاری از کشورها مورد توجه پژوهشگران

و متخصصان صنایع غذایی قرار گرفته است. استویا یک دی ساکارید با پیوند (۱-۲) است. نتیجه بررسی‌ها بیانگر آن است که گلیکوزیدهای دی‌ترپنی ترکیباتی هستند که به عنوان عامل اصلی ایجاد طعم بسیار شیرین در عصاره‌های گیاه استویا شناخته شده‌اند به طوری که میزان شیرینی آن‌ها تا ۲۵۰-۳۰۰ برابر شکر تخمین زده شده است [۴] و دارای کمی پس‌طعم تلخ است. از آنجا که قندهای استویا بر خلاف قندهای الکلی، در درجه بالا و همچنین درجه حرارت پخت پایدار هستند و خاصیت شیرین‌کنندگی خود را از دست نمی‌دهند، می‌توان آن‌ها را جایگزین مناسبی برای شکر به کار رفته در فرمولاسیون کیک معرفی کرد. این ترکیب کالری زا نیست و می‌تواند جایگزین مناسبی برای شیرین‌کننده‌های مصنوعی مانند آسپارتام، ساخارین و سیکلامات باشد، بدون آنکه اثرات ناشی از سوء مصرف این شیرین‌کننده‌ها را به همراه داشته باشد [۵].

برخی مطالعات به وجود خواص عملکردی مانند در ترکیبات شیرین‌کننده استویا اشاره کرده‌اند که می‌تواند بر پایداری محصولات غذایی مؤثر باشد ریز جلبک‌ها، جلبک‌های میکروسکوپی هستند که هم در آب شیرین و هم آب دریا یافت می‌شوند. ریز جلبک‌ها گونه‌های تک سلولی هستند که به صورت تکی، زنجیره‌ای یا گروهی زندگی می‌کنند. ریز جلبک‌ها قادر به تولید و اندوختن مولکول‌های بزرگی مانند، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها با استفاده از انرژی خورشیدی، CO<sub>2</sub> و مواد مغذی هستند. علاوه بر این، ریز جلبک‌ها، به عنوان غذا-دارو یا مواد غذایی فراسودمند به دلیل توانایی در تولید محصول با ارزش مانند کاروتنوئیدها، اسیدهای چرب با زنجیره بلند، قند، اسیدآمین‌های ضروری و غیرضروری، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، و مواد معدنی مفید برای انسان گزینه مناسبی محسوب می‌شوند. جلبک‌های سبز کلرلاولگاریس<sup>۲</sup> یکی از مشهورترین ریز جلبک‌های سبز رنگ است که در آب‌های شیرین کشت داده می‌شود. کلرلا

2 *Chlorella vulgaris*1 *Stevia rebaudiana*

به طور همزمان کاربر استویا و ریز جلبک کلرلا ولگاریس را در فرمولاسیون کیک اسفنجی بررسی نکرده است. هدف از مطالعه حاضر، افزودن استویا و ریز جلبک کلرلا ولگاریس در فرمولاسیون کیک اسفنجی و بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حسی کیک‌های تولیدی است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

مواد اولیه مورد نیاز برای تهیه کیک شامل آرد قنادی، شکر، بیکنینگ پودر، پودر آب پنیر، وانیل، شیرخشک، تخم‌مرغ (تلاونگ) و روغن (لادن) از یکی از فروشگاه‌های لوازم قنادی شهر تهران تهیه شدند. پودر جلبک کلرلا ولگاریس در بسته ۱۰۰ گرمی از شرکت گوهرسبز اصفهان خریداری شد. برگ خشک شده گیاه استویا از عطاری در شهر تهران خریداری شد و پس از آسیاب شدن و عبور از الک با مش ۴۰ بسته بندی و در دمای خشک و خنک نگهداری شد. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت‌های معتبر خریداری شد.

### ۲-۲- روش تولید کیک

برای تولید خمیر کیک اسفنجی، از روش چند مرحله‌ای استفاده شد. در این روش ترکیبات قبل از افزوده شدن به خمیر اصلی به صورت جداگانه با هم مخلوط شدند (جدول ۱). خمیر کیک با روش خمیر-شکر تهیه شد. برای تهیه خمیر ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه کرم کردن روغن و شکر تا تولید رنگ روشن انجام شد، سپس تخم‌مرغ در ۴ تا ۵ مرحله اضافه شد و با دور تند همزن برقی (مدل-Worlostar WH502) به مدت ۳ تا ۵ دقیقه هم زده شد. سپس همه مواد پودری مانند آرد، بیکنینگ پودر، وانیل، پودر آب پنیر، شیر خشک، پودر استویا (به مقدار ۲۵ درصد جایگزین شکر) و پودر جلبک کلرلا ولگاریس نیز (در سه مقدار ۲، ۴ و ۶ درصد جایگزین آرد) به این ترکیب اضافه شده با هم الک

ولگاریس یک جلبک تک‌سلولی و جزو آغازیان است. این جلبک کروی شکل بوده با دیواره‌ای نسبتاً نازک و کلروپلاست بزرگ فنجان‌ی شکل، فاقد پیرنوئید یا با پیرنوئید و سیئوپلاسم بی‌رنگ که درون آن هسته نسبتاً درشتی در بالای کلروپلاست قرار گرفته است. بر اساس مطالعات پیشین، کلرلا ولگاریس به‌عنوان ریزجلبکی حاوی ترکیبات زیست‌فعال، دارای پتانسیل بروز فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب و تنظیم‌کننده سیستم ایمنی گزارش شده است [۶]. این جلبک همچنین به‌عنوان یک افزودنی طبیعی با خواص ضد میکروبی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در محصولات غذایی به کار رفته و مطالعات نشان داده‌اند که می‌تواند به‌طور مؤثری ایمنی میکروبی و پایداری ماندگاری محصولاتی مانند کیک‌ها را بهبود می‌بخشد [۷]. کلرلا ولگاریس علاوه بر این که یک غذای کامل است، می‌تواند به‌عنوان مکمل غذایی در پیشگیری یا درمان کمبودهای تغذیه‌ای استفاده شود. ترکیبات موجود در کلرلا ولگاریس تأمین‌کننده بخش بزرگی از نیازهای روزانه افراد است. هر فرد با توجه به شرایط سنی در طی روز نیاز به ترکیباتی چون پروتئین، چربی، کربوهیدرات، ویتامین و مواد معدنی دارد که جلبک کلرلا ولگاریس به تنهایی قادر به تأمین بسیاری از این مواد است. حضور ترکیب متنوعی از مواد مغذی در جلبک کلرلا ولگاریس موجب جلب توجه پژوهشگران به بررسی کاربردهای تغذیه‌ای آن شده است. امروزه زیست‌توده جلبک کلرلا به‌طور تجربی در خوراک دام، طیور و آبزیان و محصولات غذایی برای ایجاد رنگ استفاده می‌شود. از این جلبک در صنایع غذایی می‌توان به‌عنوان مکمل غذایی و مواد غذایی که خاصیت فراسودمندی دارد استفاده کرد

تاکنون مطالعات مختلفی در خصوص کاربرد استویا به‌عنوان جایگزین شکر در محصولات مختلف اعم از بیسکویت [۸]، کیک [۹]، کوکی [۱۰]، مربا [۱۱]، آب نبات [۱۲] و دونات [۱۳] انجام شده است. جلبک کلرلا نیز به‌عنوان مکمل غذایی در غنی‌سازی نان [۱۴]، کیک [۱۵ و ۷]، پاستا [۱۶] و اسنک [۱۷] به کار گرفته شده است. با این حال تاکنون مطالعه‌ای

۲۰ دقیقه در دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) در کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌دار بسته بندی شدند [۱۸]. آزمون‌های مربوطه در فواصل زمانی پس از تولید، ۷ و ۱۵ و ۳۰ روز پس از تولید کیک و نگهداری در دمای محیط روی نمونه‌ها انجام شد.

شدند. این مواد در دو مرحله به همراه آب به مواد قبلی اضافه و به مدت ۱ تا ۳ دقیقه با دور کند همزن برقی مخلوط شدند تا خمیر به صورت کاملاً صاف و همگن تهیه شود. خمیر تهیه شده درون قالب‌ها ریخته شد، سپس قالب‌ها برای پخت به مدت ۲۰ دقیقه درون فر با دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. کیک‌ها پس از خروج از فر و سرد شدن به مدت

**Table 1.** Sponge cake formula (Percentage based on the weight of flour)

Ingredients	Treatment 1 (Control)	Treatment 2 (A)	Treatment 3 (B)	Treatment 4 (C)	Treatment 5 (D)
Wheat flour	100	100	98	96	94
egg	72	72	72	72	72
water	25	25	25	25	25
Sucrose	72	54	54	54	54
oil	57	57	57	57	57
Dry milk	2	2	2	2	2
Baking powder	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Vanilla	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Whey powder	4	4	4	4	4
Stevia powder (percentage of sugar)	-	0.9	0.9	0.9	0.9
<i>Chlorella vulgaris</i> (percentage of flour)	-	-	2	4	6

در این رابطه،  $w_1$  وزن اولیه پلیت به همراه نمونه بر حسب گرم،  $w_2$  وزن نهایی پلیت و نمونه خشک بر حسب گرم و  $m$  وزن نمونه بر حسب گرم است.

#### ۲-۳-۲- اندازه‌گیری خاکستر (بر اساس وزن مرطوب)

مقدار ۲ گرم نمونه در بوتله چینی‌هایی با وزن ثابت توزین شد. سپس به منظور سوزاندن اولیه، بوتله‌های حاوی نمونه روی شعله و زیر هود قرار داده و عمل سوزاندن تا زمانی که دیگر دودی از نمونه خارج نشود و همه مواد آلی بسوزند، ادامه یافت. در مرحله بعد، بوتله‌ها به کوره (Exciton، ایران) با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس منتقل شدند. عمل حرارت

#### ۲-۳-۲- آزمون‌های انجام شده در پژوهش

##### ۲-۳-۱- اندازه‌گیری رطوبت

۲ تا ۲/۵ گرم از نمونه با دقت ۰/۰۰۱ گرم در پلیت‌هایی که از قبل به وزن ثابت رسیده‌اند، توزین شد و پلیت‌ها در آون (Memmert، آلمان) ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شد. پس از رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت در دسیکاتور، پلیت‌ها توزین شده و رطوبت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۱۹].

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{w_1 - w_2}{m} \times 100 = \text{درصد رطوبت}$$

توزین شده و کاغذ صافی در قسمت استخراج کننده دستگاه سوکسله قرار گرفت. پس از اتصال بالن به دستگاه، دو سوم حجم آن با پترولیوم اتر پر شد و دمای دستگاه روی ۶۰ درجه سلسیوس تنظیم گردید. عمل استخراج چربی به مدت ۶ ساعت انجام شد. سپس بالن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه و با دمای ۸۰ درجه سلسیوس و به مدت یک ساعت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. تفاوت وزن اولیه و وزن نهایی بالن، میزان چربی استخراج شده از نمونه را نشان می‌دهد. درصد چربی از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\text{درصد چربی} = \frac{(w_2 - w_1)}{m} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این رابطه  $W_1$  و  $W_2$  به ترتیب وزن اولیه و ثانویه بالن و  $m$  وزن نمونه بر حسب گرم است [۲۲].

#### ۲-۳-۵- اندازه‌گیری کربوهیدرات

از کم کردن مجموع رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی از ۱۰۰، درصد کربوهیدرات محاسبه شد [۲۳].

#### ۲-۳-۶- فعالیت آبی ( $a_w$ )

اندازه‌گیری فعالیت آبی با دستگاه سنجش فعالیت آبی (نوواسینا، آلمان) انجام شد [۲۴].

#### ۲-۳-۷- رنگ‌سنجی

آنالیز رنگ پوسته کیک در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، به کمک دستگاه هانتربل و از طریق تعیین سه شاخص  $a^*$  (سبزی-قرمزی)،  $b^*$  (آبی- زردی)،  $L^*$  (روشنایی) صورت پذیرفت [۲۵].

#### ۲-۳-۸- حجم کیک

حجم کیک با استفاده از روش جابه‌جایی دانه کلزا انجام شد. در این روش ابتدا وزن حجم معینی از دانه‌های کلزا تعیین شد. با توجه به وزن و حجم دانه‌ها، دانسیته توده‌ای کلزا مشخص شد. سپس نمونه مورد نظر و دانه‌های کلزا با هم در

دهی در کوره تا سفید شدن رنگ نمونه‌ها ادامه پیدا کرد. پس از سرد شدن، بوته‌ها درون دسیکاتور، توزین و مقدار خاکستر با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد [۲۰].

$$\text{درصد خاکستر} = \frac{w_1 - w_2}{m} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه،  $w_1$  وزن نهایی بوته چینی به همراه خاکستر بر حسب گرم،  $w_2$  وزن بوته چینی خالی بر حسب گرم و  $m$  وزن نمونه بر حسب گرم است.

#### ۲-۳-۳- اندازه‌گیری پروتئین

پروتئین آرد از روش ۱۲-۴۶ AACC (۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد. برای این منظور مقدار کل ازت اندازه‌گیری شده و از طریق فاکتور مربوط به پروتئین غلات (۵/۷) پروتئین محاسبه شد [۲۱]. ۱ گرم از آرد نرم شده در ظرف مخصوص هضم توزین شده و ۲۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد برای هضم به آن افزوده شد. هضم کامل نمونه تا رسیدن به سبز شفاف ادامه یافت. پس از هضم کامل، تقطیر ازت انجام گرفت. برای این کار ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۵۰ میلی‌لیتر NaOH به همراه پرل برای جوشیدن یکنواخت به محلول هضم شده افزوده شد. یک ارلن حاوی ۵۰ میلی‌لیتر اسید بوریک و چند قطره معرف متیل رد در انتهای دستگاه تقطیر به نحوی که قسمت انتهایی دستگاه تقطیر به شکل کاملاً غوطه‌ور باشد قرار داده شد و تقطیر تا رسیدن به حداقل حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر انجام گرفت. محلول حاصل با استفاده از اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال تا رسیدن به رنگ صورتی تیر و درصد پروتئین کل از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{درصد ازت} = \frac{\text{حجم اسید مصرفی} \times \text{نرمالیه اسید} \times 14}{1000 \times \text{گرم وزن نمونه}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

فاکتور پروتئینی  $\times$  درصد ازت = درصد پروتئین

#### ۲-۳-۴- اندازه‌گیری چربی

اندازه‌گیری میزان چربی نمونه‌ها به روش سوکسله (بخشی، ایران) انجام شد. یک گرم از هر نمونه درون کاغذ صافی

**۲-۳-۱۱- قابلیت حذف رادیکال‌های آزاد توسط روش****DPPH**

بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از رادیکال‌های DPPH انجام گرفت. ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول متانولی DPPH (۶۰ میکرومول) به ۵۰۰ میکرولیتر از محلول استخراجی اضافه شد و محلول حاصله پس از ۳۰ دقیقه به وسیله اسپکتروفتومتر در ۵۱۵ نانومتر خوانده شد. جذب در زمان صفر و همچنین جذب محلول DPPH خالص بدون نمونه نیز خوانده شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس درصد بازدارندگی با توجه به رابطه ۵ محاسبه شد و در انتها با رسم منحنی و محاسبه IC<sub>50</sub> (غلظتی از عصاره نمونه که ۵۰ درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد) میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه به دست آمد [۲۹].

(رابطه ۵)

$$\text{درصد بازدارندگی} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

در این رابطه A<sub>0</sub> جذب نمونه شاهد و A<sub>1</sub> جذب نمونه استخراج شده است.

**۲-۳-۱۲- ارزیابی حسی**

از ده نفر ارزیاب آموزش دیده برای بررسی ویژگی‌های حسی استفاده شد. آزمون مورد استفاده روش هدونیک ۵ امتیازی (۱=عالی، ۲=بسیار خوب، ۳=خوب، ۴=متوسط، ۵=ضعیف) بود. کیک‌ها کدگذاری تصادفی شد و خصوصیات حسی کیک شامل بافت، طعم و مزه، عطر و بو و میزان پذیرش شیرینی، در روز اول و پس از پخت در دمای اتاق بررسی شدند. آب تازه برای هر مرحله در اختیار ارزیابان قرار داده شد [۳۰].

**۲-۴- تجزیه تحلیل آماری**

یک ظرف با ابعاد مشخص قرار گرفته شده و توزین شد و در نتیجه حجم کیک اندازه‌گیری شد [۲۶].

**۲-۳-۹- بافت سنجی**

پروب استوانه‌ای TA5 با قطر ۷/۱۲ میلی‌متر، با سرعت ۰/۱ میلی‌متر بر ثانیه و با کرنش ۵۰ درصد و فاصله زمانی ۰ ثانیه بین دو سیکل برای انجام آزمون TPA<sup>1</sup> و بررسی خصوصیات مغز کیک‌های تهیه شده، انتخاب شد. سرعت رفت و برگشت پروب ۰/۲ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. در این آزمون سفتی، فنریت و قابلیت جویدن کیک در روزهای ۱، ۷ و ۱۵ نگهداری، اندازه‌گیری و گزارش شد. [۲۷].

**۲-۳-۱۰- شمارش کلی کپک و مخمر**

برای انجام این آزمون از استاندارد ملی شماره ۲-۱۰۸۹۹ استفاده شد. با انتقال ۱۰ گرم از کیک هر بسته، به ارلن مایر حاوی ۹۰ میلی‌لیتر محلول رینگر، محلول رقت ۱۰<sup>-۱</sup> (۱ درصد وزنی- حجمی) تهیه شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از آن به لوله حاوی ۹ میلی‌لیتر اضافه شد تا محلول ۱۰<sup>-۲</sup> تهیه شود و بدین ترتیب رقت‌های بعدی به دست آمد. شمارش کپک و مخمر به روش کشت سطحی و به وسیله محیط کشت YGC<sup>۲</sup>، صورت گرفت. ۱۵ تا ۲۰ میلی‌لیتر از محیط کشت مورد نظر به هر پلیت استریل شده افزوده شد، پس از جامد شدن محیط کشت مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول‌های ۱۰<sup>-۱</sup> - ۱۰<sup>-۶</sup> توسط سمپلر به سطح محیط کشت منتقل شد و به وسیله اسپریدر پخش شد. پس از خشک شدن، پلیت‌ها در گرمخانه ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۳-۵ روز قرار گرفتند. از نمونه‌های کیک تولید شده در روز ۱، ۷ و ۱۵ (از زمان تولید تا انقضا)، آزمون اندازه‌گیری کپک و مخمر انجام شد [۲۸].

۳-۱- ترکیب شیمیایی آرد گندم، پودر گیاه استویا و جلبک کلرلا ولگاریس

ویژگی‌های شیمیایی آرد گندم، پودر گیاه استویا و جلبک کلرلا ولگاریس در جدول ۲ آورده شده است.

پژوهش با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام شد. از آنالیز واریانس یک طرفه برای بررسی معنی‌داری و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند. از نرم‌افزار آماری SPSS 26 و اکسل ۲۰۱۹ برای انجام آزمون‌های آماری و رسم نمودارها استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

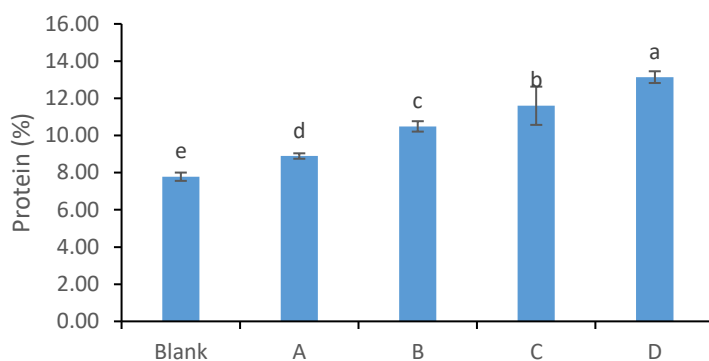
Table 2. Chemical composition of flour, dried Stevia leaves and *Chlorella vulgaris* powder

Components (%)	Flour	Stevia leaves	<i>Chlorella vulgaris</i> powder
Moisture	13.00±0.01	9.55±1.86	5.00±0.05
Protein	9.68±0.17	10.35±0.06	59.30±1.55
Ash	0.53±0.03	3.00±0.35	5.10±0.16
Fat	1.20±0.05	3.47±0.55	12.18±0.73

۱۳۹۷ که تولید خامه غنی شده کم‌چرب با استفاده از جلبک کلرلا را بررسی کردند مطابقت داشت به طوری که میزان پروتئین در نمونه شاهد از ۲/۶ به ۳/۸۶ درصد در تیمار حاوی ۱۲ درصد جلبک کلرلا رسید [۳۱]. Elsebaie و Mostafa در سال ۲۰۱۸ در پژوهش خود در تولید کیک کم‌کالری با استفاده از گیاه استویا نیز نتایج مشابهی گزارش کردند [۳۲]. Abdel-moatamed و همکاران (۲۰۲۵) با افزودن ۰/۵، ۱ و ۲ درصد کلرلا ولگاریس به کیک اسفنجی افزایش وابسته به مقدار پروتئین را گزارش کرده‌اند. در این تحقیق مقدار پروتئین از  $۱۳/۵ \pm ۰/۲۰$  درصد در نمونه شاهد به  $۱۵/۳ \pm ۰/۱۴$  درصد در نمونه حاوی ۲ درصد جلبک کلرلا ولگاریس افزایش معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) پیدا کرده است [۷].

### ۳-۲- پروتئین

با توجه به شکل ۱ نتایج مربوط به محاسبه میزان پروتئین نشان می‌دهد که مقدار پروتئین‌های نمونه کیک‌های تولید شده نسبت به نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) داشتند. با توجه به آزمون دانکن تیمار شاهد با میزان پروتئین ۷/۸۷ درصد کمترین مقدار پروتئین را دارا بود و تیمار D با میزان ۱۳/۱۳ درصد بیشترین میزان پروتئین را به خود اختصاص داد. مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳ مقدار پروتئین در کیک اسفنجی بایستی بالاتر از ۸ درصد باشد. با افزایش میزان کلرلا ولگاریس، درصد پروتئین نمونه‌های کیک نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. علت این امر بیشتر بودن درصد پروتئین در جلبک کلرلا ولگاریس ( $۱/۵۵ \pm ۵۹/۳$ ) و استویا ( $۱۰/۳۵ \pm ۰/۰۶$ ) نسبت به آرد گندم ( $۹/۶۸ \pm ۰/۱۷$ ) است. نتایج این پژوهش با مطالعات حدیثی و عطا زاده در سال



**Fig. 1.** Protein content of sponge cake with stevia and different concentration of *chlorella vulgaris* powder

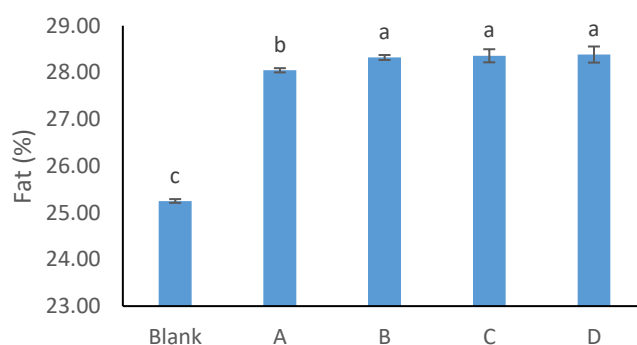
Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

بود. نتایج ارزیابی چربی با نتایج اعلائی و همکاران (۱۳۹۶) که در پژوهش خود از آرد نخود در تولید کیک اسفنجی و روغنی [۳۳] و Arab و همکاران (۲۰۱۰) که از آرد نخود در بهبود خواص تغذیه‌ای و عملکردی اسپاگتی استفاده کردند، مطابقت داشت [۳۴]. Abdel-moatamed و همکاران (۲۰۲۵) با افزودن جلبک کلرلا و لگاریس به کیک اسفنجی تغییر معنی داری در میزان چربی و رطوبت مشاهده نکرده‌اند [۷].

### ۳-۳- چربی

با توجه به شکل ۲ نتایج مربوط به محاسبه میزان چربی نشان داده است که میزان چربی نمونه کیک‌های ذکر شده نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری دارند ( $P < 0.05$ ). با افزایش میزان درصد جلبک کلرلا و لگاریس میزان چربی کیک‌های تولیدی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت که با توجه به اندازه‌گیری درصد چربی که از آرد ( $1/20 \pm 0/05$ )، استویا ( $3/47 \pm 0/55$ ) و جلبک کلرلا ( $12/0 \pm 18/73$ ) به دست آمد که مورد انتظار



**Fig 2.** Fat content of sponge cake with stevia and different concentration of *chlorella vulgaris* powder

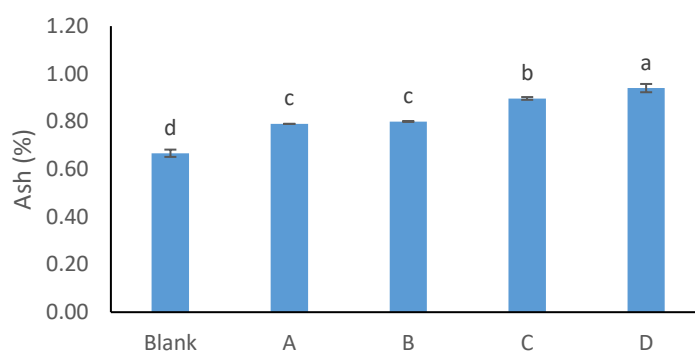
Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

## ۳-۴- خاکستر

حال حاضر دارد [۳۵]. خرمایی پور و همکاران (۱۳۹۸) غنی‌سازی کیک اسفنجی با پودر پوست لیمو و استویا به عنوان جایگزین شکر را بررسی کردند، آن‌ها نیز مشاهده کردند که با افزایش میزان پودر لیمو و استویا، میزان خاکستر افزایش می‌یابد [۳۶]. Abdel-moatamed و همکاران (۲۰۲۵) افزایش خاکستر از  $0.13 \pm 1/13$  درصد در نمونه شاهد به  $0.14 \pm 1/95$  درصد در نمونه حاوی ۲ درصد جلبک کلرلا و لگاریس را گزارش کرده‌اند و علت افزایش را به بالا بودن میزان خاکستر جلبک در مقایسه با آرد مرتبط دانسته‌اند ( $p < 0.05$ ) [۷].

با توجه به شکل ۳ نتایج مربوط به محاسبه میزان خاکستر نشان داده است که میزان خاکستر نمونه‌ها نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت ( $P < 0.05$ ). دلیل آن را می‌توان به وجود املاح معدنی و ترکیبات فیبری موجود در گیاه استویا و جلبک کلرلا و لگاریس (پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آهن) دانست. در این راستا عرب سرخی و همکاران در سال ۱۳۹۶ پژوهشی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که میزان خاکستر در نمونه‌های پاستیل غنی شده با جلبک کلرلا افزایش یافت که این امر حاکی از مطابقت نتایج آن پژوهش با پژوهش



**Fig 3.** Ash content of sponge cake with stevia and different concentration of *chlorella vulgaris* powder

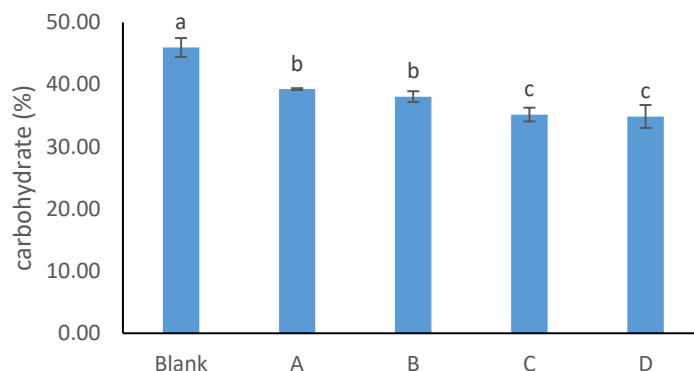
Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

## ۳-۵- کربوهیدرات

مصرفی به طور معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). نتایج مشابهی در خصوص کاهش میزان کربوهیدرات با افزایش سطح پوره اسفناج (Gala و همکاران، ۲۰۱۷) و پودر تفاله هویج (SY و همکاران، ۲۰۱۴) گزارش شده است [۳۷] و [۳۸].

نتایج مربوط به محاسبه میزان کربوهیدرات تیمارهای تولیدی در شکل ۴ مشاهده می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار کربوهیدرات نمونه‌های کیک با افزایش سطح جلبک کلرلا



**Fig 4.** Carbohydrate content of sponge cake with stevia and different concentration of *chlorella vulgaris* powder

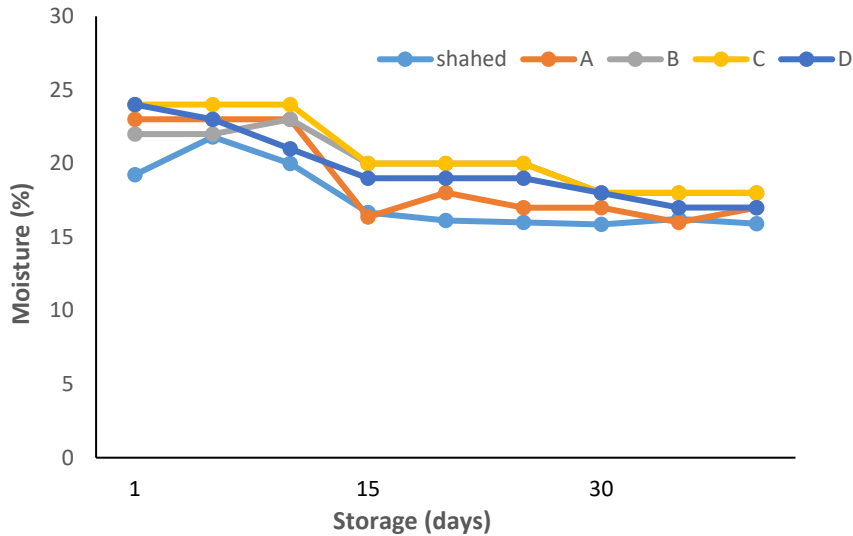
Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

را در کیک بالا می‌برد و رطوبت محصول نهایی را افزایش می‌دهد. با افزایش رطوبت حفظ و نگهداری آب در کیک بیشتر شده و سبب نرمی بافت کیک و به تعویق افتادن بیاتی می‌شود [Choi, ۲۰۱۶] و kim (۲۰۱۶) در پژوهش خود نشان دادند که افزودن ۱، ۲ و ۳ درصد کلرلا به اسنک یوکوا سبب افزایش رطوبت این محصول شد که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد [۴۰]. نتایج تحقیقات وطن‌خواه و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثرات استفاده از شیرین‌کننده استویوزید با بیسکویت رژیمی نشان داد که افزایش درصد استویوزید بر روی بیسکویت رژیمی باعث افزایش درصد رطوبت تیمارها شد که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت نشان داد [۴۱]. نتایج تحقیقات صداقت و موحد (۱۳۹۳) در خصوص تولید کیک رژیمی با استفاده از استویا و سوکرالوز نشان داد که با افزایش درصد ساکارز و کاهش درصد استویا در فرمولاسیون تیمارهای کیک رژیمی میزان رطوبت کاهش یافته و سفتی نیز افزایش یافت که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت نشان داد [۴۲]. در پژوهشی که Jeon در سال ۲۰۰۶ انجام داد، به این نتیجه رسید که افزایش درصد کلرلا تأثیر معنی‌داری در میزان رطوبت نمونه‌های پنیر با تیمار شاهد ندارد [۴۳]. Abdel-moatamed و همکاران (۲۰۲۵) با افزودن جلبک کلرلا ولگاریس به کیک اسفنجی تغییر معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در میزان رطوبت مشاهده نکرده‌اند [۷].

### ۳-۶- رطوبت

بر اساس آزمون رطوبت انجام شده در طی زمان روی نمونه‌های کیک و با توجه به شکل ۵، نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که میزان رطوبت نمونه‌ها در طی زمان نگهداری به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) کاهش پیدا کرد. نتایج نشان داد جایگزینی جلبک کلرلا ولگاریس با آرد گندم تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت داشت ( $P < 0.05$ ). بیشترین میزان رطوبت مربوط به نمونه‌های حاوی ۴ درصد جلبک کلرلا ولگاریس و کمترین آن مربوط به نمونه‌های شاهد بود. در تیمار A با جایگزینی استویا در فرمولاسیون کیک با مقداری از شکر رطوبت نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت. دلیل مشاهده تغییرات می‌تواند آن باشد که شکر دمای ژلاتیناسیون نشاسته و دناتوراسیون پروتئین‌ها را افزایش می‌دهد و این دمای بالای ژلاتیناسیون به خروج رطوبت از محصول کمک می‌کند در نتیجه با کاهش مقدار شکر در فرمولاسیون محصول، رطوبت آن نیز افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که با افزایش درصد کلرلا ولگاریس در نمونه‌های کیک، رطوبت نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرد. از آنجا که پودر جلبک کلرلا ولگاریس حاوی ۶/۹ درصد فیبر و ۵۵/۲ درصد پروتئین است، به احتمال زیاد پروتئین و فیبر موجود در این جلبک ظرفیت نگهداری آب



**Fig 5.** Moisture content of sponge cake with stevia and different concentration of *chlorella vulgaris* powder

Means with different letter are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

همچنین با افزایش درصد جلبک کلرلا میزان فعالیت آبی نمونه‌های کیک تولیدی نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) پیدا کرد. بالاترین میزان فعالیت آبی مربوط به مقادیر ۲ و ۴ درصد جلبک بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً مولکول‌های پروتئین این جلبک اثر ضد بیاتی دارد و ماندگاری محصول را تا سطح ۴ افزایش می‌دهد، از سطح ۴ درصد میزان فعالیت آبی نسبت به تیمارهای دیگر کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد هرچند که این میزان از نمونه شاهد بیشتر است. علت کمتر بودن فعالیت آبی نمونه شاهد می‌تواند به دلیل خاصیت جاذب‌الرطوبه بودن ساکارز باشد. Zoulias و همکاران در سال ۲۰۰۰ پس از بررسی جایگزینی شکر با قندهای الکلی در کوکی، بیان نمودند که این جایگزینی سبب افزایش معنی‌دار در میزان فعالیت آبی شده است [۴۴]. در مطالعه‌های دیگر که توسط Akesowan سال ۲۰۰۹ روی جایگزینی شکر با سوکرالوز - اریترول در کیک انجام شده بود، مشاهده شد که با کاهش درصد شکر در فرمولاسیون فعالیت آبی محصول روند افزایشی دارد [۴۵]. همچنین در تحقیقات وطن‌خواه و

### ۳-۷- میزان فعالیت آبی

فعالیت آبی شاخص مناسبی برای ارزیابی عمر ماندگاری و پایداری میکروبیولوژیکی مواد غذایی محسوب می‌شود. میزان فعالیت آبی یکی از شاخص‌هایی است که بر رشد میکروارگانیسم‌ها تأثیر گذاشته و از اهمیت ویژه‌ای در نگهداری مواد غذایی برخوردار است. تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده در شکل ۶ نشان داد که همانند مقدار رطوبت با گذشت زمان میزان فعالیت آبی نیز به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد ( $P < 0.05$ ). بنابراین به نظر می‌رسد که رابطه مستقیم میان فعالیت آبی و رطوبت نمونه‌های کیک وجود دارد. یافته‌های حاصل از ارزیابی فعالیت آبی در تیمار A که حاوی ۲۵ درصد گیاه استویا است، نسبت به نمونه شاهد نشان داد که جایگزینی مقداری شکر با استویا در فرمولاسیون کیک سبب افزایش معنی‌داری در میزان فعالیت آبی می‌شود. تأثیر عمده ساکارز در فرآورده‌های پخت از میل ترکیبی آن نسبت به آب و پیوندهای میان این دو حاصل می‌شود، بنابراین ساکارز میزان آب آزاد را کاهش می‌دهد.

فرمولاسیون بیسکویت به طور معنی داری فعالیت آبی را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش می دهد که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت نشان داد [۴۱].

همکاران (۱۳۹۳) در بررسی امکان تولید بیسکویت رژیمی با استفاده از شیرین کننده استویوزید نیز نتایج مشابهی گزارش شد. آن ها دریافتند که استفاده از استویا در

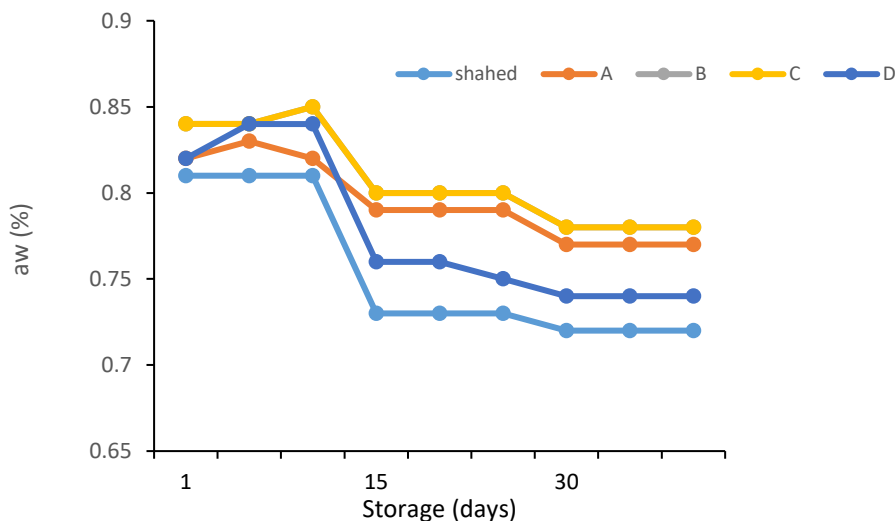


Fig 6. aw of sponge

cake with stevia and different concentration of *chlorella vulgaris* powder

Means with different letter are significantly different ( $P < 0.05$ ).

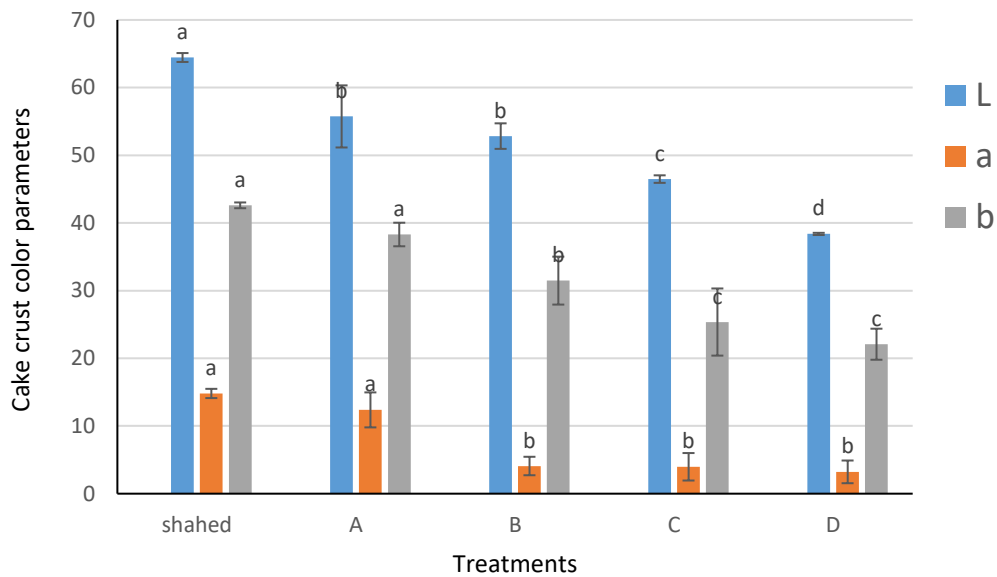
(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

(میلارد) بیشتری شود و رنگدانه های قهوه ای بیشتری را تولید کنند و به این طریق تیره تر شدن رنگ نمونه ها قابل توجه است [۴۸].

Choi و Chang در تحقیقی که در سال ۲۰۰۵ ارائه کردند به نتایجی مشابه با نتیجه پژوهش حاضر رسیدند که در آن با افزایش درصد جلبک کلرلا در نمونه های پنکیک، میزان  $L^*$ ،  $b^*$  و  $a^*$  کاهش یافت [۴۹]. نتیجه تحقیق Kim و Chang (۲۰۱۰) نیز نشان داد که با افزایش غلظت کلرلا، میزان  $L^*$ ،  $b^*$  و  $a^*$  در کیک لایه ای زرد کاهش پیدا می کند [۵۰].

### ۳-۸- رنگ

رنگ محصول نهایی، می تواند به عوامل زیادی شامل برهم کنش ها و یا تغییرات اجزاء، و تغییرات رنگ ایجاد شده طی فرآوری وابسته باشد [۴۶]. رنگ پوسته کیک توسط واکنش میلارد و کاراملیزاسیون، در طی پخت ایجاد می شود در حالی که مغز کیک تحت تأثیر ترکیبات به کار برده شده در فرمولاسیون است [۴۷]. مطابق آنچه در شکل ۷ ملاحظه می شود، افزودن پودر استویا و همچنین افزایش درصد جلبک کلرلا و لگاریس منجر به کاهش معنی داری در شاخص های  $L^*$ ،  $b^*$  و  $a^*$  شد ( $P < 0.05$ ). علاوه بر حضور رنگدانه سبز در جلبک، جلبک کلرلا و لگاریس  $1/55 \pm 59/3$  و گیاه استویا  $0/06 \pm 10/35$  درصد پروتئین دارند، به دلیل مقدار بالای پروتئین می توانند سبب واکنش های قهوه ای شدن



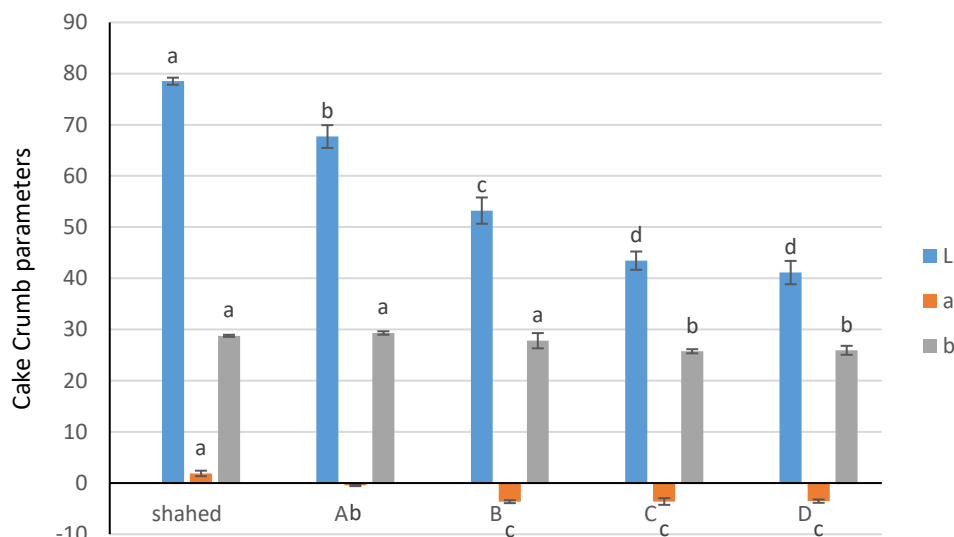
**Fig 7.** Effect of stevia and *chlorella vulgaris* powder on the crust color indexes (L\* a\* b\*) of sponge cake.

Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

L\* و a\*, b\* خمیر کیک شد که با نتایج به دست آمده پژوهش حال حاضر مطابقت دارد [۵۲].

طبق نتایج به دست آمده در شکل ۸، با افزایش درصد جلبک کلرلا و لگاریس و نیز افزودن پودر استویا به کیک‌های تولیدی شاخص‌های L\*، a\* و b\* به طور معنی‌داری کاهش یافتند ( $P < 0.05$ ). روشن‌ترین مغز کیک در نمونه شاهد و تیره‌ترین در تیمار D مشاهده شد، احتمالاً دلیل این موضوع، رنگ تیره پودر جلبک کلرلا است، که مغز کیک تیره‌تری را تولید می‌کند. به علاوه، نسبت‌های بالاتر پودر جلبک کلرلا و لگاریس، مقادیر پائین‌تر a\* را در مغز کیک ایجاد کرد، مقدار b\* نیز با افزایش درصد پودر جلبک کلرلا و لگاریس در مغز کیک کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). کاهش مقدار b\* خمیر، پوسته و مغز نمونه‌های کیک با افزودن پودر جلبک کلرلا و لگاریس نشان داد که زردی نمونه‌ها کاهش یافت، بنابراین این موضوع می‌تواند به رنگدانه‌های جلبک کلرلا و لگاریس مرتبط باشد [۵۱]. حصارى نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۵ مشاهده کردند که جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با پودر جلبک کلرلا و لگاریس منجر به کاهش معنی‌داری در شاخص‌های



**Fig 8.** Effect of stevia and *chlorella vulgaris* powder on the crumb color indexes (L\* a\* b\*) of sponge cake.

Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

میکروبی روی باکتری‌های مولد فساد مواد غذایی است. افزایش درصد جلبک کلرلا منجر به کاهش شمارش کپک و مخمر شد که می‌تواند به خواص دارویی از جمله ضد باکتریایی، ضد قارچی و ضد سرطانی جلبک کلرلا مربوط باشد [53]. Preethi و همکاران در سال ۲۰۱۱ مواد موجود در عصاره‌های مختلف گیاه استویا را شناسایی کرد و مشخص شد که در این گیاه انواع فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، استریوئیدها، تانن‌ها و ترپن‌ها وجود دارد [54]. در این مطالعه اثر ضد میکروبی عصاره گیاه استویا را مربوط به وجود این ترکیبات دانسته‌اند. خواص ضد باکتریایی این جلبک می‌تواند به دلیل کاروتنوئیدها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، رنگدانه‌ها و ترکیبات فنلی موجود در این جلبک باشد [55]. این در حالی است که Greengard و همکاران (۱۹۹۴)، خاصیت ضد میکروبی کلرلا را به مخلوطی از اسیدهای چرب ۱۸ کربنه نسبت دادند که علاوه بر خاصیت ضد باکتری، اثرات دگرآسیبی (Allelopathy) نیز دارد [56]. تحقیقات هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در بررسی اثرات جایگزینی قند استویا بر روی ماندگاری شربت زعفران نیز دریافتند که استویوزید موجود در استویا

### ۳-۹- شمارش کپک و مخمر

جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس اثر روز و اثر متقابل درصد پودرهای جلبک کلرلا و لگاریس و گیاه استویا را بر شمارش کلی کپک و مخمر نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان تا روز ۱۵ نگهداری تعداد کلی کپک و مخمر در نمونه شاهد و نمونه حاوی ۲۵ درصد استویا به تنهایی، به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی در تیمارهای حاوی استویل و جلبک، تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد ( $P < 0.05$ ). بررسی تأثیر جایگزینی جلبک کلرلا و لگاریس به جای آرد گندم در شمارش کلی کپک و مخمر در روز اول و پانزدهم تأثیر معنی‌داری را نشان نداد اما در روز هفتم نگهداری این تأثیر معنی‌دار بود و با افزودن گیاه استویا و نیز افزایش درصد کلرلا و لگاریس میزان رشد کپک و مخمر کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). همچنین در زمان تولید هیچ‌گونه کپک و مخمری مشاهده نشد. با افزایش درصد جایگزینی جلبک کلرلا و لگاریس شمارش کلی کپک و مخمرها کاهش یافت که می‌توان نشانی از مؤثر بودن این جلبک بر کنترل تعداد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها باشد. استویا دارای اثرات ضد

بر روی جمعیت باکتریایی موجود در شربت اثرات ضد میکروبی دارد که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت داشت [۵۷].

**Table 3.** Mold and yeast growth rate in different treatments prepared from stevia leaf powder and *Chlorella vulgaris* (log CFU.g)

Treatments	Storage (days)		
	1	7	15
Control	0	0.92±0.80 <sup>ABa</sup>	1.28±0.48 <sup>Aa</sup>
A	0	0.33±0.57 <sup>Aab</sup>	0.92±0.80 <sup>Aa</sup>
B	0	0	0.66±0.57 <sup>Aa</sup>
C	0	0	0.43±0.75 <sup>Aa</sup>
D	0	0	0.33±0.57 <sup>Aa</sup>

\*Different capital letters in each row indicate statistically significant difference (p<0.05)

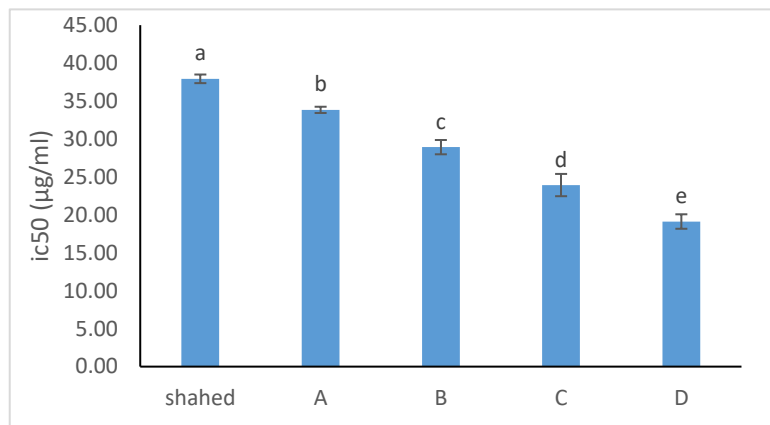
\*Different small letters in each column indicate statistically significant differences (p<0.05)

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

افزودن جلبک کلرلا و لگاریس به کیک علاوه بر افزایش معنی‌دار فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بار میکروبی را نیز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد [۷].

### ۳-۱۰- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج مربوط به اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی جلبک کلرلا و لگاریس و گیاه استویا در نمونه‌های کیک اسفنجی در شکل ۹ نشان داده شده است. با افزایش درصد جلبک کلرلا میزان IC<sub>50</sub>، کاهش یافت و از آنجایی که IC<sub>50</sub> با میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت عکس دارد، با افزایش درصد جلبک کلرلا و لگاریس، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره نیز افزایش یافت و اختلاف معنی‌دار آماری ایجاد کرد (P<0.05). دلیل این افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی را می‌توان حضور ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در جلبک کلرلا و گیاه استویا دانست، که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب و ضد سرطان هستند. در پژوهشی که توسط عرب سرخی و همکاران در سال ۱۳۹۶ انجام شد نتایج به دست آمده از این گزارش با پژوهش حاضر مطابقت دارد، با افزایش درصد پودر جلبک کلرلا میزان ترکیبات فنلی و در نتیجه میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت [35]. این نتایج همچنین با مطالعات Abdel-moatamed و همکاران در سال ۲۰۲۵ مطابقت دارد. این محققان نشان دادند که



**Fig 9.** The effect of *chlorella vulgaris* powder and stevia on IC50 compared to the control

Means with different letter within columns are significantly different ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

تا ۴ درصد و همچنین جایگزین کردن مقداری از شکر با استویا در ترکیب کیک، سفتی بافت کیک کمتر و بافت نرمتر شد. میزان رطوبت رابطه عکس با میزان سفتی بافت کیک دارد [۵۸]. استویوزید موجود در استویا دارای حلالیت بالا در آب و خاصیت حفظ کنندگی رطوبت بیشتری در دماهای بالا نسبت به ساکارز است، در نتیجه تمایل بیشتری به پیوند با آب دارد. این خاصیت موجب کاهش تعداد پیوندها بین شبکه گلوتهی و مولکولهای آب شده و ایجاد بافتی نرمتر با افزایش جایگزینی ساکارز با استویا نسبت به نمونه شاهد می شود. در نمونه شاهد به علت حضور بیشتر ساکارز خاصیت ویسکوز کنندگی بیشتری بوده و در نتیجه سفتی بافت بیشتری ایجاد می کند. با کاهش قند ساکارز این قدرت ویسکوز کنندگی به طور ناگهانی کاهش یافته است و در نتیجه سفتی بافت نیز کاهش نشان داده است. کاهش سفتی بافت در این حالت می تواند به دو دلیل رخ دهد، اول می تواند به دلیل توسعه محدود شبکه گلوتهن باشد، شبکه گلوتهی به منظور توسعه بیشتر باید با مولکولهای آب پیوند برقرار کند اما شکر میل ترکیبی بیشتری با مولکولهای آب دارد و با سرعت بیشتری با مولکولهای آب پیوند هیدروژنی برقرار می کند لذا مانع از توسعه مناسب شبکه گلوتهی و سفت شدن خمیر می شود [۵۹]. با توجه به

### ۳-۱۱- سفتی بافت

محصولات صنایع پخت پس از طی فرآیند پخت، دستخوش تغییرات فیزیکوشیمیایی می شوند که در مفهوم کلی، آن را بیاتی می نامند، واژه بیاتی دلالت بر کاهش میزان پذیرش محصولات نانویی به وسیله مصرف کننده دارد و علت آن تغییرات رخ داده در مغز محصول است. بیاتی توسط بسیاری از پدیده های فیزیکی و شیمیایی از قبیل تغییرات در بافت، انتقال آب، تبلور نشاسته (رتروگراداسیون) و برهم کنش های میان اجزای متشکله قابل تشخیص است. به عبارتی این فرآیند با ایجاد تغییر در ویژگی های ظاهری و باطنی مانند طعم، مزه، عطر و قابلیت جویدن، منجر به کهنه شدن این محصولات می شود. وقوع پدیده بیاتی در فرآورده های نانویی مانند کیک، ارتباط تنگاتنگی با مقدار رطوبت محصول دارد. بالا بودن رطوبت کیک در نرمتر شدن مغز کیک تأثیرگذار است [۵۲]. در جدول ۴ مشاهده می شود که در تمامی نمونه ها با افزایش زمان ماندگاری، سفتی بافت کیک افزایش معنی داری پیدا کرده است ( $P < 0.05$ ). همچنین مشاهده شد که با افزایش جایگزینی جلبک کلرلا ولگاریس میزان سفتی بافت کیک به طور معنی داری کاهش یافت. این نتایج نشان داد با افزایش میزان پودر جلبک کلرلا ولگاریس

فرمولاسیون کوکی، کوکی‌ها کاهش پیدا می‌کند که در تطبیق با نتایج حاصل از این پژوهش بود آنها نیز عدم توسعه مناسب شبکه گلوتن خمیر را بر اثر دخالت در جذب آب و نیز کریستالیزاسیون شکر پس از سرد شدن را عامل سفتی بافت نمونه شاهد می‌دانستند [۶۱]. Walter و Soliah در سال (۲۰۱۰)، پس از بررسی نتایج حاصل از بافت کلوچه در طی جایگزینی شکر با استویا، نمونه حاوی ۵۰ درصد استویا و ۵۰ درصد شکر را به عنوان نرم‌ترین نمونه معرفی کردند [۶۲]. Taghdiri و همکاران در سال ۲۰۲۴ اثر افزودن هیدرولیزات پروتئین کلرلا و لگاریس را بر ویژگی‌های کیفی کیک در دوره نگهداری ارزیابی کردند. این محققان نیز کاهش معنی‌دار میزان سفتی را در نمونه‌های حاوی هیدرولیزات پروتئین در مقایسه با نمونه کیک شاهد گزارش کرده‌اند [۶۳].

خاصیت حفظ رطوبت بالاتر استویا و ممانعت از بازگشت، تیمار حاوی استویا جایگزین شده با شکر باعث افزایش رطوبت کیک و نهایتاً کاهش بیاتی محصول می‌شود. می‌توان دلیل افزایش مجدد سفتی بافت از تیمار ۶ درصد را به میزان بیشتر پروتئین این تیمار نسبت داد که تا ۲ و ۴ درصد وضعیت گروه‌های ساختاری خود را حفظ کردند، از آنجا که جزء پروتئینی موجود در کلرلا و لگاریس با گلوتهین و گلیادین که پروتئین‌های موجود در آرد هستند متفاوت است در درصد‌های بالاتر جلبک این تفاوت بیشتر مشاهده می‌شود که این امر می‌تواند در شکل‌گیری ساختار کیک ایجاد مشکل کند. در پژوهشی که توسط Pareyt و همکاران (۲۰۰۹) روی نقش شکر در خصوصیات ساختاری و بافتی کوکی انجام شد، نتایج مشابهی به دست آمد [۶۰]. نتایج پژوهش Mushtaq و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی زایلیتول با شکر در

Table 4 Hardness in different treatments prepared from stevia leaf and *Chlorella vulgaris* powder (N)

Treatments	Storage (days)		
	1	7	15
Cotrol	4.49±0.07 <sup>Ca</sup>	7.74±0.36 <sup>Ba</sup>	11.27±0.95 <sup>Aa</sup>
A	3.34±0.23 <sup>Cb</sup>	7.05±1.19 <sup>Ba</sup>	8.90±0.63 <sup>Ab</sup>
B	4.19±0.12 <sup>Ba</sup>	6.67±0.17 <sup>Aa</sup>	7.05±1.19 <sup>Ac</sup>
C	3.26±0.34 <sup>Bb</sup>	7.02±0.95 <sup>Aa</sup>	8.02±0.23 <sup>Abc</sup>
D	3.16±0.07 <sup>Cb</sup>	7.17±1.06 <sup>Ba</sup>	8.62±0.34 <sup>Ab</sup>

\*Different capital letters in each row indicate statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

\*Different small letters in each column indicate statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

میزان فنریت بافت در روز اول به طور معنی‌داری افزایش یافته است که به دلیل ایجاد بافت مناسب و نرم توسط استویا و جلبک کلرلا و لگاریس در کیک‌ها است، اما در روزهای ۷ و ۱۵ پس از تولید کیک میزان فنریت بافت کیک تغییر معنی‌داری نکرده است ( $P < 0.05$ ). همچنین ارتباط مستقیمی بین حجم نمونه‌های کیک و رابطه عکس میان سفتی بافت با حالت فنریت وجود دارد. نتایج به دست آمده از این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده توسط Jeon در سال ۲۰۰۶، Park

### ۳-۱۲- فنریت بافت

ارتجاع پذیری (فنریت یا الاستیسیته)، نشان‌دهنده توانایی بازگشت نمونه به حالت اول بعد از تغییر شکل وارد شده در تراکم اول است. با توجه به جدول ۵ میزان فنریت بافت کیک در زمان نگهداری کاهش معنی‌داری داشته است ( $P < 0.05$ ). نمونه شاهد میزان فنریت کمتری نسبت به نمونه‌ها دیگر داشته و با افزایش درصد جلبک کلرلا و لگاریس و گیاه استویا

در سال ۲۰۰۳ و Abdel-moatamed و همکاران در سال ۲۰۲۵ که به ترتیب روی تأثیر کلرلا در پنیر، خمیر نان و کیک اسفنجی مطالعه کرده‌اند مطابقت داشت [۷ و ۴۳ و ۶۴].

**Table 5 Springiness of samples during storage (mm)**

Treatments	Storage (days)		
	1	7	15
Control	8.16 ± 0.15 <sup>Ab</sup>	7.95 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	6.71 ± 0.22 <sup>Ba</sup>
A	9.05 ± 0.45 <sup>Aab</sup>	8.03 ± 0.17 <sup>ABa</sup>	7.37 ± 1.08 <sup>Ba</sup>
B	9.17 ± 0.40 <sup>Aa</sup>	8.06 ± 0.52 <sup>Ba</sup>	7.56 ± 0.59 <sup>Ba</sup>
C	9.87 ± 0.34 <sup>Aa</sup>	8.48 ± 0.35 <sup>Ba</sup>	7.59 ± 0.54 <sup>Ca</sup>
D	9.53 ± 0.82 <sup>Aa</sup>	8.58 ± 0.39 <sup>Aa</sup>	7.26 ± 0.31 <sup>Ba</sup>

\*Different capital letters in each row indicate statistically significant differences (P<0.05).

\*Different small letters in each column indicate statistically significant differences (P<0.05).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

معنی‌داری پیدا کرد. به دلیل اینکه این پارامتر به سفتی وابسته است با کاهش سفتی نمونه‌ها این فاکتور نیز کاهش یافت (P<0.05). نتایج به دست آمده با نتایج Jeong همکاران (۲۰۰۶) که روی افزودن جلبک کلرلا در نان سفید کار کرده‌اند، مطابقت داشت [43].

### ۳-۱۲- قابلیت جویدن

تغییرات قابلیت جویدن در طی زمان نگهداری با توجه به جدول ۶ تفاوت معنی‌داری را نشان داد (P<0.05). میزان مقاومت به جویدن در نمونه شاهد بیشتر از بقیه نمونه‌ها بود و با افزایش درصد کلرلا میزان قابلیت جویدن کاهش

**Table 6 Chewiness of samples during storage (mj)**

Treatments	Storage (days)		
	1	7	1
Cotrol	22.13 ± 0.41 <sup>Ba</sup>	30.66 ± 13.81 <sup>Aa</sup>	20 ± 5.18 <sup>Ba</sup>
A	12.73 ± 1.60 <sup>Abb</sup>	14.70 ± 2.20 <sup>Ab</sup>	13.20 ± 3.25 <sup>ABab</sup>
B	15.33 ± 0.45 <sup>Ab</sup>	14.40 ± 1.30 <sup>Bb</sup>	13.36 ± 4.10 <sup>Bab</sup>
C	14.86 ± 2.20 <sup>Bb</sup>	17.03 ± 3.32 <sup>ABb</sup>	19.80 ± 2.78 <sup>Aa</sup>
D	14.80 ± 1.20 <sup>Bb</sup>	20.26 ± 0.94 <sup>Aab</sup>	12.43 ± 2.22 <sup>ABb</sup>

\*Different capital letters in each row indicate statistically significant differences (P<0.05).

\*Different small letters in each column indicate statistically significant differences (P<0.05).

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

### ۳-۱۳- ارزیابی حسی

شد، اما با افزایش درصد جلبک کلرلا ولگاریس و افزودن آن به گیاه استویا از نظر ارزیابان بافت بهتر و منسجم تر شد تا جایی که تیمار D که حاوی ۲۵ درصد استویا و ۶ درصد جلبک کلرلا بود نزدیکترین امتیاز به شاهد را کسب کرد. از لحاظ پذیرش کلی امتیاز نمونه‌های شاهد، A، B، C و D یک اسفنجی به ترتیب ۴/۸، ۴/۲، ۴/۲، ۳/۷، ۳/۵ از ۵ بود. به عبارت دیگر افزودن گیاه استویا به تنهایی به عنوان جایگزین شکر و همچنین همراه با پودر جلبک کلرلا ولگاریس با میزان ۲ درصد به یک به عنوان جایگزین آرد گندم تأثیر منفی بر خواص حسی کیک اسفنجی نداشت.

ارزیابی حسی مقبولیت یک محصول را از نظر مصرف‌کنندگان بررسی می‌کند. این که آیا محصولی مورد قبول مصرف‌کنندگان است یا نه به درک مصرف‌کننده از طعم، بافت، بو و به طور کلی به کیفیت محصول بستگی دارد. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های کیک پس از پخت به صورت نمودار عنکبوتی در شکل ۱۰ آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که بین امتیاز بو، طعم و شیرینی نمونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. امتیاز بافت تیمار A که تنها حاوی ۲۵ درصد گیاه استویا بود به دلیل ایجاد بافت غیر یکنواخت از همه کمتر



**Fig 10.** Sensory properties of sponge cake with different concentrations of stevia and *chlorella vulgaris* powder

(Treatment A: The sample contains 25% stevia, Treatment B: The sample contains 25% stevia and 2% chlorella, Treatment C: The sample contains 25% stevia and 4% chlorella, Treatment D: The sample contains 25% stevia and 6% chlorella)

آنتی‌اکسیدانی جزو محصولات با ارزش غذایی بالا محسوب می‌شوند که افزودن آن‌ها به فرمولاسیون کیک علاوه بر بهبود خواص تغذیه‌ای سبب به تعویق انداختن بیاتی محصول نیز می‌شود. همچنین به دلیل وجود ترکیبات ضد قارچی و ضد باکتریایی در گیاه استویا و جلبک کلرلا ولگاریس، به طرز چشمگیری ماندگاری کیک را در برابر عوامل میکروبی افزایش می‌دهند ( $p < 0.05$ ). در این مطالعه افزودن گیاه استویا و جلبک کلرلا ولگاریس منجر به افزایش خاکستر، پروتئین، چربی، حجم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، رطوبت، فعالیت آبی و

#### ۴- نتیجه‌گیری

در حال حاضر رشد جمعیت و نگرانی در خصوص آثار منفی مصرف زیاد برخی از مواد غذایی مانند شکر، زمینه تقاضا برای جایگزینی تدریجی مواد طبیعی به جای مواد فرآوری شده و همچنین تولید محصولاتی با ارزش غذایی بالا را فراهم کرده است. امروزه از کاربرد شیرین‌کننده استویا و جلبک کلرلا ولگاریس که ترکیباتی با منشأ طبیعی هستند در بسیاری از کشورها استقبال خوبی شده است. گیاه استویا و جلبک کلرلا ولگاریس به دلیل دارا بودن مواد مغذی و ترکیبات

قرار بر انتخاب باشد، تیمار حاوی ۲۵ درصد استویا و ۲ درصد جلبک کلرلا و لگاریس به دلیل بافت بهتر و پذیرش کلی نزدیک به شاهد، انتخاب می‌شود.

### تأمین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

### منافع رقابتی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچگونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

### ۵- منابع

- [1] Barretto, J.R., Gouveia, M.A.D.C., Alves, C. (2024). Use of dietary supplements by children and adolescents. *Jornal de Pediatria*, 100(suppl 1): S31-39.
- [2] Dhandwal, A., Bashir, O., Malik, T., Salve, R. V., Dash, K. K., Amin, T., Shah, Y. A. (2024). Sustainable microalgal biomass as a potential functional food and its applications in food industry: a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-19.
- [3] Yaqbani, M. (1401). Investigating the effect of replacing sugar with stevia sweetener on the properties of sugar bread. *Iranian journal of food science and industry*. 19 (131), 31-44. [In Persian].
- [4] Kumar, S. Ramesh. "Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni): Sweet medicine for a healthier world." *Journal of Agriculture and Food Research* (2025): 101980.
- [5] Yousefi Asl, M., Goli, S., Kadivar, M. (1391). Optimizing the production of low-calorie jam using Stevia artificial sweetener. *Food Industry Research (Agricultural Knowledge)*, 22(2), 155-164. [In Persian].
- [6] Yarmohammadi, S., Hosseini-Ghatar, R., Foshati, S., Moradi, M., Hemati, N., Moradi, S., Kermani, M.A.H., Farzaei, M.H. Khan, H., (2021). Effect of *Chlorella vulgaris* on liver function biomarkers: a systematic review and meta-analysis. *Clinical nutrition research*, 10(1), p.83.
- [7] Abdel-moatamed, B., Elfakhrany, A. E., Elneairy, N., Shaban, M., & Roby, M. H. (2025). The Effects of Adding *Chlorella Vulgaris* on Sponge Cake Quality and Nutritional Value. *Labyrinth: Fayoum Journal of Science and Interdisciplinary Studies*, 3(1), 21-27.
- [8] Ali, A., Saha, K. K., Choudhury, S., Islam, N. (2022). Formulation, senso-chemical analysis and shelf-life study of biscuits using stevia leaf as the substitute for sugar. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 41(4), 424-430.
- [9] Sulaiman, A. M., Hashem, H. A., Nassar, A. G. (2022). Utilization of Stevia leaves powder or Stevia leaves aqueous extract as a substitute for sugar to produce low calorie cake. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 47(1), 8-18.
- [10] Yildiz, E., Gocmen, D. (2021). Use of almond flour and stevia in rice-based gluten-free cookie production. *Journal of food science and technology* 58:940-951.
- [11] Sutwal, R., Dhankhar, J., Kindu, P., Mehla, R. (2019). Development of low calorie jam by replacement of sugar with natural sweetener stevia. *Int J Cur Res Rev* Vol 11:10.
- [12] Samakradhamrongthai, R.S., Jannu, T. (2021). Effect of stevia, xylitol, and corn syrup in the development of velvet tamarind (*Dialium indum* L.) chewy candy. *Food Chemistry* 352:129353.
- [13] Sabbaghi, H. (2021). Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin. *Iranian Food Science & Technology Research Journal* 17.
- [14] Graça, C., Fradinho, P., Sousa, I., Raymundo, A. (2018). Impact of *Chlorella vulgaris* on the rheology of wheat flour dough and bread texture. 89:466-474.
- [15] Moncada, J., Jaramillo, J.J., Higueta, J.C., Younes, C., Cardona, C.A. (2013). Production of bioethanol using *Chlorella vulgaris* cake: a technoeconomic and environmental assessment in the colombian context. *Industrial & engineering chemistry research* 52:16786-16794.
- [16] Fradique, M, Batista, A.P., Nunes, M.C., Gouveia, L., Bandarra, N.M, Raymundo, A. (2010). Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta

- products. Part 1: Preparation and evaluation. Journal of the Science of Food and Agriculture. 90:1656-1664.
- [17] Oliveira, S., Sousa, I., Raymundo, A. (2022). Printability evaluation of *Chlorella vulgaris* snacks. Algal Research 68:102879.
- [18] Mohammad Qasmi, H., Karamat, J., Hojat al-Islami, M. (1392). Investigating the possibility of replacing sucrose with sucralose and maltodextrin in the preparation of low-calorie sponge cake. 21st National Congress of Food Science and Industry, Shiraz. [In Persian].
- [19] Iran Institute of Standards and Industrial Research, method of measuring the moisture content of cereals and its products, No. 2705, (1389). [In Persian].
- [20] Iran Institute of Standard and Industrial Research, Biscuit Features, No. 37, (1397). [In Persian].
- [21] AACC. (1999). Approved method of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul: American Association of Cereal Chemists.
- [22] Iran Institute of Standard and Industrial Research, Fat measurement of cereals and its products, No. 11691, (1396). [In Persian].
- [23] Maleki Eski, K., Mirzaei, H., Fadavi, A. (1395). Using pumpkin powder in cake production and investigating some physicochemical and microbial properties of the cake containing the powder. Iran Food Science and Industry, 13(61), 195-205. [In Persian].
- [24] Iran Standard and Industrial Research Institute. Cake, characteristics and methods, No. 2553. [In Persian].
- [25] Sun, D. (2008). Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.
- [26] Alami, M., Fathi, B. (1398). Checking the quality of gluten-free cake prepared from millet grain treated by heat-moisture method. Iran Food Science and Industry Research, 16(5), 607-619. [In Persian].
- [27] Shahraki, H., Hosseini Qaboos, S. (1398). Improving the rheological, physicochemical, textural and sensory properties of apple sponge cake using guar gum. Iranian Journal of Food Sciences and Industries, 16 (89), 23-34. [In Persian].
- [28] Iran Standard and Industrial Research Institute, Microbiology of Food and Animal Feed - Comprehensive method for counting molds and yeasts - Part II, No. 2-10899, (1387). [In Persian].
- [29] Mahdizadeh, N., Rufe Gerinejad, L. (1398). The effect of replacing wheat flour with carrot powder on the quality characteristics of oil cake. Food Industry Research (Agricultural Knowledge), 29(3), 157-169. [In Persian].
- [30] Ronda, F., Gomez, M., Blanco, C.A. and Caballero, P.A., (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. Food chemistry, 90(4), 549-555
- [31] Hadithi, F., Atzadeh, R. (1397). Production of enriched low-fat cream using *Chlorella vulgaris* microalgae and evaluation of its physicochemical and sensory properties. Second National Conference on Agricultural Development, Zemin Salem, Karaj. [In Persian].
- [32] Elsebaie, E., Mostafa, S. (2018). Utilization of Stevia Leaves Powder in Reduced Calorie Cake. Journal of Food and Dairy Sciences 9:83-86.
- [33] Alaei, M., Mohd, S., Ahmadi Chenarban, H. (1396). Evaluation of the addition of chickpea flour on the qualitative characteristics of oily and sponge cakes. Iranian Journal of Food Sciences and Industries, 14 (73), 287-279. [In Persian].
- [34] Arab, E.A., Helmy, I.M.F. and Bareh, G.F., (2010). Nutritional evaluation and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour and the improvement of spaghetti produced. Journal of American Science, 6(10), 1055-1072.
- [35] Arab Sorkhi, F., Safaiyan, Sh., Salimi, L. (1396). Comparing the antioxidant property of pastille enriched with *Chlorella vulgaris* algae with normal pastille. Marine Science and Technology Research, 12(1), 64-71. [In Persian].
- [36] Khormaipour, M., Vazirizadeh, A., Mohebi, G. (1398). Enriching sponge cake with lemon peel powder and using stevia as a sugar substitute. Iran Food Science and Industry, 16(88), 135-145. [In Persian].
- [37] Galla, N.R., Pamidighantam, P.R., Karakala, B., Gurusiddaiah, M.R. and Akula, S., (2017). Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). International Journal of Gastronomy and Food Science, 7, 20-26.
- [38] SY, B. (2014). Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. International Food Research Journal, 21(1).
- [39] Shao, Y.Y., Lin, K.H. Chen, Y.H., (2015). Batter and product quality of eggless cakes made of different types of flours and gums. Journal of Food Processing and Preservation, 39(6), 2959-2968.
- [40] Cho, H.S. and Kim, K.H., (2016). Effects of *Chlorella* powder on quality characteristics of Yukwa. Journal of the Korean Society of Food Culture, 31(2), 178-187.
- [41] Vatankeh, M., Elhami-Rad, A., Yaqbani, M., Nadian, N., Akbarian Maimand, M. (1393). Investigating the possibility of producing dietary biscuits using sweeteners. Journal of innovation research in food science and industry, 2(3), 157-170. [In Persian].
- [42] Sedaghat, F., Mowahed, S., Tashmim, T. (1393). The possibility of producing dietary cake using stevia and sucralose. Master's thesis of Islamic Azad University, Quds branch. 104 pages. [In Persian].
- [43] Jeon, J.K., (2006). Effect of *Chlorella* addition on the quality of processed cheese. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 35(3), 373-377.
- [44] Zoulias, E.I., Piknis, S. and Oreopoulou, V., (2000). Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(14), 2049-2056.

- [45] Akesowan, A., (2009). Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. *Pakistan journal of nutrition*, 8(9), 1383-1386.
- [46] Ratnayake, W.S., Geera, B. Rybak, D.A., (2012). Effects of egg and egg replacers on yellow cake product quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(1), 21-29.
- [47] Majzooobi, M., Darabzadeh, N. Farahnaky, A., (2012). Effects of percentage and particle size of wheat germ on some properties of batter and cake.
- [48] Hisarinejad, M., Rezaian Attar, F., Musfa, A., Shokralehi Yanchasmeh, B. (1396). Investigating the effect of different levels of *Chlorella vulgaris* algae powder as an egg white substitute on the physical and sensory characteristics of sponge cake. *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, 14(68), 61-72.
- [49] Chung, N.Y. and Choi, S.N., (2005). Quality characteristics of pound cake with chlorella powder. *Korean journal of food and cookery science*, 21(5), 669-676.
- [50] Kim, K.J. and Chung, H.C. (2010). Quality characteristics of yellow layer cake containing different amounts of chlorella powder. *Korean journal of food and cookery science*, 26(6), 860-865.
- [51] Abd El-Razik, M.M. Mohamed, A.G. (2013). Utilization of acid casein curd enriched with *Chlorella vulgaris* biomass as substitute of egg in mayonnaise production. *World Appl Sci J*, 26,917-925.
- [52] Hesarinajad, M. A., Rezaiyan Attar, F., Mosaffa, O., Shokorallahi Yancheshmeh, B. (2017). The effect of incorporation of *Chlorella Vulgaris* into cake as an egg white substitute on physical and sensory properties. *Journal of Food science and industry*. 61-72.
- [53] Chu, W.L., (2012). Biotechnological applications of microalgae. *IeJSME*, 6(1), 24-37.
- [54] Preethi, D. Sridhar, T.M. (2011). Studies on antibacterial activity, phytochemical analysis of *Stevia rebaudiana* (Bert.)- An important calorie free biosweetner. *Journal of Ecobiotechnology*.
- [55] Priya, S. (2012). Analysis of value-added biochemical compounds and antimicrobial activity of green algae *Chlorella vulgaris*. *J Chem Pharm Res*, 4, 2577-9.
- [56] Greengard, H., Grossman, M.I., Woolley, J.R. Ivy, A.C., (1994). A confirmation of the presence of pancreozymin in the duodenal mucosa. *Science*, 99(2574), 350-351.
- [57] Hashemi, N., Rabiei, H., Tokalipour, H., Gazrani, S. (1393). Investigating the effect of replacing *stevia rebaudiana* sugar with sucrose on the physicochemical, rheological and sensory properties of saffron diet syrup. *Saffron Agriculture and Technology*, 2(4), 303-310. [In Persian].
- [58] Ivani, F., Nashi, B., Naushad, M., Barzegar, H. (1399). Investigating the effect of replacing wheat flour with pomegranate seed powder on the quality characteristics of sponge cake. *Iran Food Science and Industry Research*, 16(4), 437-452. [In Persian].
- [59] Jali, A., Karamat, J., Hojat al-Islami, M., Jihadi, M. (1392). Investigating the effect of replacing sucrose by a mixture of sucralose and isomalt on the physicochemical characteristics of roller mold biscuits. *New Technologies in the Food Industry*, 1(1), 64-49.
- [60] Pareyt, B., Talhaoui, F., Kerckhofs, G., Brijs, K., Goesaert, H., Wevers, M. Delcour, J.A., (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 400-408.
- [61] Mushtaq, Z., Zahoor, T. and Jamil, A. (2010). Impact of xylitol replacement on physicochemical, sensory and microbial quality of cookies. *Pakistan Journal of Nutrition*.
- [62] Walter, J.M., Soliah, L. (2010). Objective measures of baked products made with Stevia. *Journal of the American Dietetic Association*, 110 (9): 54-57.
- [63] Taghdiri, S., Emtiazjoo, M., Azizi, M. H., Ariaii, P., Sedaghati, M. (2024). The effect of hydrolyzed protein obtained from *Chlorella vulgaris* on the shelf life and quality of oil cake during the storage period. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(1), 582-592
- [64] Park, S.I. (2003). Effect of chlorella growth factor on quality of bread. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 18(4), 356-364.



## Scientific Research

## Evaluation of the physicochemical and sensory properties of functional sponge cake with stevia and chlorella vulgaris microalgae.

Hooriya Jangi<sup>1</sup>, Maryam Gharachorloo<sup>2\*</sup>, Homa Behmadi<sup>3</sup>

1- MSc of the Department of Food Science and Technology, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2\*- Professor of the Department of Food Science and Technology, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Assistant professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received: 2023/08/12

Review: 2026/02/23

Accepted: 2026/04/16

## Keywords:

Sponge cake,

Stevia,

*Chlorella vulgaris*,

Dietetics

DOI: 10.48311/fsct.2026.83573.0

\*Corresponding Author E-

maryam.gharachorloo@iau.ac.ir

As consumers now pay more attention to the nutritional value of food, the food industry is focusing on re-designing traditional foods. Cake is one of the most commonly consumed foods that nutritionists recommend reducing its consumption in the diet due to its high sugar and fat content. Chlorella algae have great potential for use in human nutrition due to its high-quality protein content and its nutritional and functional properties. One of the reasons is that chlorella algae contain essential amino acids that are not found in wheat, as well as the use of the stevia plant, a compound of natural origin that has no caloric content and can be a good substitute for sucrose. In this research work, wheat flour was replaced with 2, 4 and 6% chlorella algae powder and sucrose were replaced with 25% stevia plant powder. In this study, the percentage of fat, protein, moisture, fiber, and ash of wheat flour, stevia plant powder, and chlorella algae powder were measured. Then, the properties of the cake, such as the percentage of chemical compounds, volume, antioxidant activity, total mold and yeasts counts, color indexes, Hardness, springiness, and chewiness using texture analyzer and sensory properties were evaluated. Increasing the percentage of chlorella algae and adding stevia plant powder in the cake formulation, increased the amount of ash, fat, protein, moisture, aw, antioxidant activity and volume of the cake texture, but decreased the amount of carbohydrate, the chewiness and Hardness of the cake, b\* (yellow), a\* (red), and L\* (lightness). Springiness of the cake increased at first and did not change significantly on the 7th and 15th day. In terms of overall acceptability, the sample with 2% chlorella algae and 25% stevia plant had the highest score close to the control sample from the consumers' point of.