

علمی پژوهشی

## بررسی اثر پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان جایگزین سفیده تخم مرغ بر ویژگی‌های کیک اسفنجی

حسن برزگر<sup>۱\*</sup>، بهروز عزیزاده بهبهانی<sup>۲</sup>، نگین زنگنه<sup>۳</sup>، اخلاص عبدالنبی پور<sup>۳</sup>

۱- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی،

ایران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، ملاثانی، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱)

### چکیده

جلبک‌ها و ریزجلبک‌ها به صورت منبع بالقوه بزرگی از ترکیبات طبیعی هستند. ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس یکی از ریزجلبک‌های خوراکی و بدون عوارض جانبی است. فقدان سلولز در دیواره سلولی ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس باعث هضم آسان آن شده که سایر ریزجلبک‌ها فاقد این مزیت هستند و همین ویژگی ارزش ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس را دوچندان نموده است. هدف از این پژوهش، استفاده از ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان جایگزین سفیده تخم مرغ و بررسی تاثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حسی کیک اسفنجی در طی زمان بود. بدین منظور درصدهای مختلف وزنی سفیده تخم مرغ (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) در فرمولاسیون کیک اسفنجی با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس جایگزین شد. نتایج نشان داد که افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس باعث کاهش رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل و پیوستگی نمونه‌ها شد. میزان پروتئین، چربی، خاکستر، pH و سفتی نمونه‌های کیک اسفنجی با افزایش درصد پودر ریزجلبک افزایش یافت. با افزایش درصد پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد اما این کاهش پذیرش در سطح ۵ درصد معنی دار نبود. به طور کلی استفاده از پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح پایین به عنوان جایگزین جزیی سفیده تخم مرغ باعث بهبود ویژگی‌های کیک اسفنجی شد.

**کلید واژگان:** ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، سفیده تخم مرغ، تخلخل، ویژگی‌های حسی.

\* مسئول مکاتبات: hbarzegar@asnrukh.ac.ir

## ۱- مقدمه

ریز جلبک‌ها منابع مغذی طبیعی هستند که می‌توان از آن‌ها در محصولات غذایی استفاده کرد. ریز جلبک‌ها دارای ترکیبات فعال بیولوژیکی بوده که این ترکیبات در سلول‌های آن‌ها محصور شده، بنابراین می‌توانند در برابر شرایط سخت تکنولوژیکی در فرایندهای غذایی مقاومت کنند [۱]. وجود تعادل در ترکیبات شیمیایی در ریز جلبک‌ها باعث شده از این منابع زیستی به عنوان بهبود دهنده‌ی ارزش تغذیه‌ای و خوراک دام نیز استفاده شود [۲].

ریز جلبک، اصطلاحی است که برای نامیدن کلیه‌ی جلبک‌های میکروسکوپی اعم از پروکاریوت و یوکاریوتی به کار می‌رود و آن‌ها را از جلبک‌های ماکروسکوپی متمایز می‌سازد. این ریز جلبک‌ها در اکثر موارد به صورت کلنی رشد می‌کنند [۳]. ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*) یکی از ریز جلبک‌های خوراکی و بدون عوارض جانبی است. فقدان سلولز در دیواره سلولی ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس باعث هضم آسان آن شده که سایر ریز جلبک‌ها فاقد این مزیت هستند و همین ویژگی ارزش اسپیرولینا پلاتنسیس را در دوچندان نموده است [۴]. اسپیرولینا از جمله ریز جلبک‌های چندسلولی و رشته‌ای سبز-آبی است که اسم این جلبک از شکل مارپیچی و رشته‌ای آن مشتق شده است [۵]. اسپیرولینا پلاتنسیس دارای مقادیر فراوانی پروتئین‌های گیاهی، اسیدهای چرب غیراشباعی، گلیکولیپیدها، پیش‌ساز ویتامین‌ها، انواع ویتامین‌ها به ویژه ویتامین B<sub>12</sub> و مواد معدنی مثل کلسیم، آهن، منیزیم، پتاسیم، روی و سلنیم می‌باشد. فایکوسیانین، یکی از رنگدانه‌های موجود در اسپیرولینا پلاتنسیس است که در صنایع غذایی از آن به عنوان ماده رنگی، امولسیفایر، قوام دهنده و عامل ایجاد ژل استفاده می‌شود [۶]. وجود ترکیباتی مثل فایکوسیانین، سلنیوم، کاروتنوئیدها و اسید چرب گاما لینولئیک اسید، باعث ایجاد پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و قابلیت حذف رادیکال‌های آزاد در این ریز جلبک شده است [۶]. اسپیرولینا پلاتنسیس در مقایسه با سایر جلبک‌ها دارای قابلیت تولید مواد غذایی متراکم با کیفیت بالاتری بوده به همین دلیل از آن به عنوان "غذایی برای آینده" نام برده می‌شود [۷].

یکی از جمله محصولات پرطرفدار صنایع نانوائی و قنادی است. آرد، شکر، تخم مرغ، و چربی ترکیبات اصلی در تولید

یک محسوب می‌شوند و هرکدام نقش مهمی را در ساختار و کیفیت محصول ایفا می‌کنند [۸]. تخم مرغ به دلیل داشتن قابلیت منحصر به فرد کف‌کنندگی، امولسیون کنندگی، ویژگی انعقاد حرارتی پروتئین‌ها و هوادهی نقش مهمی را در ویژگی‌های رئولوژیکی و کیفی خمیر و محصول نهایی (کیک) دارد. پروتئین‌های سفیده تخم مرغ در خمیر کیک به صورت لایه‌ای نازک همراه با گلوتن آرد، دیواره سلولی محکمی را تشکیل می‌دهند که در اثر این پدیده، هوا در لا به لای آن حبس شده و در نتیجه اختلاط اجزای کیک را تسهیل می‌نماید [۹]. در طی پخت کیک، زمانی که کریستال‌های چربی ذوب می‌شوند و سلول‌های گازی از چربی به فاز آبی مهاجرت می‌کنند، پروتئین‌های سفیده تخم مرغ سلول‌های گازی را تثبیت می‌کنند. پروتئین‌های سفیده تخم مرغ می‌توانند در تشکیل کف در اطراف سلول‌های گازی نقش داشته باشند. بخش گلوبین سفیده تخم مرغ یک عامل کف‌کننده عالی، در حالی که اووموکوئید تثبیت کننده کف مناسبی است [۱۰]. تعامل بین پروتئین‌های مختلف سفیده مثل لیزوزیم-اووموسین یا اووترانسفرین - اووآلبومین می‌تواند ثبات کف را تشدید کند [۱۱]. جایگزینی پروتئین‌های سفیده تخم مرغ با پروتئین‌های لبنی یا گیاهی بر ویژگی‌های بافتی و فیزیکوشیمیایی کیک می‌تواند اثر گذار باشد [۱۲ و ۱۳].

زنگنه و همکاران (۱۳۹۹)، اثر سطوح مختلف ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر ویژگی‌های حسی، تغذیه‌ای و فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش سطوح مختلف ریز جلبک، ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی در طی زمان بهبود پیدا کرد [۱۴]. صالحی‌فر و همکاران (۱۳۹۱)، استفاده از ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس را در کلوچه صنعتی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌ها حاکی از افزایش میزان پروتئین، آهن و اسید چرب گاما لینولئیک و کاهش معنی دار عدد پراکسید بود [۱۵]. Danesi و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که می‌توان به منظور غنی‌سازی پروتئین در محصولات نانوائی از ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس استفاده کرد بدون آنکه تغییر قابل ملاحظه‌ای در بافت، ضریب انبساط، درصد ترکیب و پذیرش حسی محصول ایجاد شود [۱۶].

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه

پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس از شرکت تحقیقات آراین گستر خریداری شد. آرد گندم با درجه استخراج ۷۲ درصد از کارخانه آرد جنوب اهواز تهیه و در جای مناسب نگهداری شد. سایر مواد شامل شکر، بیکنینگ پودر، وانیل و روغن مایع از فروشگاه لوازم قنادی شهر اهواز خریداری گردید. تخم مرغ تازه یک روز قبل از تولید کیک خریداری و در یخچال نگهداری شد. جدول ۱، ترکیبات تشکیل دهنده ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس را نشان می‌دهد [۱۸].

Table 1 Nutritional profile of *Spirulina platensis* powder [18]

Composition	Na (mg)	Zn (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Ca (mg)	$\beta$ -Carotene (mg)	Vit B <sub>12</sub> (mg)	Vit K (mcg)	Vit A (Iu)	Protein (gr)	Fiber (gr)	Fat (gr)	Carbohydrate (gr)
100 gr	641	1.45	961	87.4	468	211	162	1090	35200 0	63	7.7	4.3	17.8

تخم مرغ جدا گردید و زرده تخم مرغ با وانیل و شکر زده شده تا کرم رنگ شود. سپس مواد مایع، آب و روغن اضافه گردید، در مرحله آخر آرد و بیکنینگ پودر همراه با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس الک شده و سفیده تخم مرغ اضافه شده و عمل هم زدن ادامه یافت تا مخلوط یک دست تشکیل گردد [۱۹].

Table 2. Sponge cake formulation

Sample	Flour	Sugar	Water	Microalgae powder	Egg white	Egg yolk	Oil	Baking powder
Control	400	320	29.6	0	64	146	160	8
25%	400	320	44	1.76	48	146	160	8
50%	400	320	58.4	3.52	32	146	160	8
75%	400	320	72.8	5.28	16	146	160	8
100%	400	320	87.2	7.04	0	146	160	8

اتوماتیک انجام پذیرفت [۲۱]. اندازه‌گیری چربی نمونه‌های کیک اسفنجی در طی زمان طبق استاندارد AACC ۳۰-۱۰ در دستگاه سوکسله اتوماتیک انجام پذیرفت. میزان درصد خاکستر نمونه‌های کیک در طی زمان مطابق با روش AACC ۰۸-۰۱ تعیین شد. بدین منظور ظرف خاکستر خشک و تمیز به مدت یک ساعت در آون ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده و در دسیکاتور خنک گردید. مقدار ۲ گرم نمونه در ظرف مخصوص خاکستر وزن شد. ظرف مخصوص خاکستر روی

با وجود مزایای گفته شده، پروتئین موجود در تخم مرغ (به خصوص پروتئین سفیده تخم مرغ) می‌تواند منجر به بروز حساسیت‌هایی از قبیل خارش، کهیر، سردرد و حالت تهوع در برخی افراد گردد [۱۷]. با توجه مورد ذکر شده و اینکه ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس قابلیت امولسیفایری خوبی دارد، جایگزینی سفیده تخم مرغ با این ریز جلبک در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این پژوهش، استفاده از ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان جایگزین سفیده تخم مرغ و تاثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حسی کیک اسفنجی در طی زمان بود.

### ۲-۲- روش تهیه خمیر کیک اسفنجی

فرمولاسیون کیک‌های تولیدی در جدول ۲، آورده شده است. پس از تولید نمونه شاهد، تیمارهایی با جایگزینی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد وزنی سفیده تخم مرغ مورد استفاده در فرمولاسیون این نوع کیک، با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس تولید شد. جهت تهیه خمیر، ابتدا سفیده و زرده

### ۲-۳- تعیین محتوای رطوبت، پروتئین، چربی و

#### خاکستر کیک اسفنجی

رطوبت کیک براساس استاندارد AOAC 2000 اندازه‌گیری شد. در این روش ۳ گرم از نمونه‌های کیک اسفنجی در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفت [۲۰]. اندازه‌گیری پروتئین نمونه‌های کیک اسفنجی در طی زمان طبق استاندارد AACC ۴۶-۱۲ در دستگاه کلدال

۷۴ AACC و با استفاده از دستگاه بافت سنج (-TA-XT Micro stable system PLUS، ساخت انگلستان) با اندکی تغییرات اندازه گیری شد [۱۴].

## ۲-۹- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه های کیک اسفنجی توسط ۱۰ ارزیاب آموزش دیده و با استفاده از مقیاس هدونیک ۵ نقطه ای انجام شد. در آزمون هدونیک ۵ نقطه ای به ترتیب ۱ بسیار بد، ۲ بد، ۳ متوسط، ۴ خوب و ۵ بسیار خوب است. به عدد ۱ کمترین امتیاز و عدد ۵ بیشترین امتیاز تعلق می گیرد. در این پژوهش صفات حسی شامل طعم و مزه (میزان درک طعم مطلوب در تست چشایی)، عطر و بو (میزان احساس عطر مطلوب در تست بویایی)، رنگ، بافت و پذیرش کلی تعیین شد [۲۶].

## ۲-۱۰- آنالیز آماری

تمامی آزمون ها در سه تکرار و در روزهای ۱، ۵ و ۱۰ ماندگاری انجام گرفت. ابتدا آنالیز واریانس و سپس میانگین تکرارها در قالب آزمون دانکن و در سطح معنی داری ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده ها با کمک نرم افزار (SPSS) Statistical package for the social sciences (Version 18.0, SPSS Inc., Chicago, USA) انجام پذیرفت. نمودارها به وسیله نرم افزار Excel 2013 رسم شدند.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تغییرات رطوبت کیک اسفنجی طی زمان

#### نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر رطوبت نمونه های کیک اسفنجی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۱ مشخص است، با افزایش میزان جایگزینی پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، رطوبت نمونه های کیک اسفنجی کاهش یافت. در تمام روزهای نگهداری، رطوبت نمونه شاهد از نمونه های حاوی پودر جلبک بیشتر بود که با نمونه حاوی ۲۵ درصد تفاوت معنی داری نداشت ( $p < 0.05$ ). رطوبت نمونه شاهد در روزهای پنجم و دهم نگهداری کاهش معنی داری نشان نداد ( $p < 0.05$ ). در روز پنجم نگهداری با افزایش درصد جایگزینی پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس رطوبت کاهش

شعله آزمایشگاهی زیر هود به آرامی سوزانده شد تا دود آن محو شد. ظرف حاوی نمونه به مدت ۶ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد حرارت دید تا خاکستر روشنی تشکیل گردید. در نهایت ظرف در دسیکاتور قرار داده شد تا خنک گردد و سپس دوباره توزین شد. اختلاف میزان وزن بوته حاوی خاکستر از وزن بوته بر وزن نمونه، میزان خاکستر را نشان می دهد [۱۴].

## ۴-۲- pH نمونه های کیک اسفنجی

pH نمونه های کیک اسفنجی در طی زمان طبق استاندارد ۵۲-۰۲ AACC توسط pH متر (Metrohm) مدل ۸۲۷ سوئیس) اندازه گیری شد [۱۴].

## ۲-۵- حجم مخصوص

تعیین حجم مخصوص کیک اسفنجی مطابق با روش Gomez و همکاران (۲۰۰۷)، انجام شد [۲۲]. افت وزنی نمونه های کیک اسفنجی به روش چهارطاق و همکاران (۱۳۹۶)، انجام شد. جهت تعیین افت پخت، تفاوت وزن خمیر و وزن کیک ۲۰ دقیقه بعد از پخت اندازه گیری شد [۲۳].

## ۲-۶- رنگ سنجی

آنالیز رنگ از طریق تعیین سه شاخص  $L^*$  که بیانگر روشنی نمونه در محدوده صفر (سیاه مطلق) تا ۱۰۰ (سفید مطلق)،  $a^*$  بیانگر محدوده ۱۲۰+ (قرمزی مطلق) تا ۱۲۰- (سبز مطلق) و  $b^*$  بیانگر محدوده ۱۲۰+ (زردی مطلق) تا ۱۲۰- (آبی مطلق) صورت پذیرفت. از تمام نمونه ها توسط دوربین Canon عکس تهیه شد و بعد از ذخیره تصاویر با ابعاد و فرمت معین، در اختیار نرم افزار Image J (نسخه ۱.۴/۲) قرار گرفتند. با تبدیل فضای رنگی RGB به LAB، شاخص های فوق محاسبه شدند [۲۴].

## ۲-۷- تخلخل

تخلخل نمونه ها با استفاده از تکنیک پردازش تصویر تعیین شد. بدین منظور برشی از کیک تهیه و به وسیله دوربین عکاسی Canon تصاویر گرفته شد. تصویر گرفته شده به نرم افزار Image J (نسخه ۱.۴/۲) منتقل و تخلخل نمونه های کیک اسفنجی تعیین شد [۲۵].

## ۲-۸- بافت سنجی

بررسی بافت نمونه های کیک اسفنجی تولیدی در فواصل زمانی ۱، ۵ و ۱۰ روز پس از پخت و مطابق با استاندارد ۰۹-

نمونه‌های تولیدی کاهش یافت که با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد ( $p < 0.05$ ). در روزهای پنجم و دهم ماندگاری نیز pH نمونه شاهد از نمونه‌های حاوی پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بیشتر بود که اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های دیگر مشاهده نشد ( $p < 0.05$ ).

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر خاکستر نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای ماندگاری (۱، ۵ و ۱۰ روز) در جدول ۳، آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس میزان خاکستر نمونه‌های کیک اسفنجی افزایش معنی‌داری یافت ( $p < 0.05$ ). بین نمونه‌های حاوی ۷۵ و ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در روز پنجم و دهم ماندگاری میزان خاکستر نمونه‌های حاوی پودر ریزجلبک از نمونه شاهد بیشتر بود که اختلاف معنی‌داری داشتند ( $p < 0.05$ ).

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر محتوای چربی نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای نگهداری (۱، ۵ و ۱۰ روز) در جدول ۳، آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین میزان چربی مربوط به نمونه حاوی ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و کمترین میزان چربی مربوط به نمونه شاهد بود. در طی زمان نگهداری نیز کمترین و بیشترین میزان چربی به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه ۱۰۰ درصد جایگزینی بود.

یافت که در نمونه‌های ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پودر ریزجلبک معنی‌دار نبود ( $p < 0.05$ ). در روز دهم نگهداری این کاهش رطوبت بین نمونه‌های حاوی پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ).

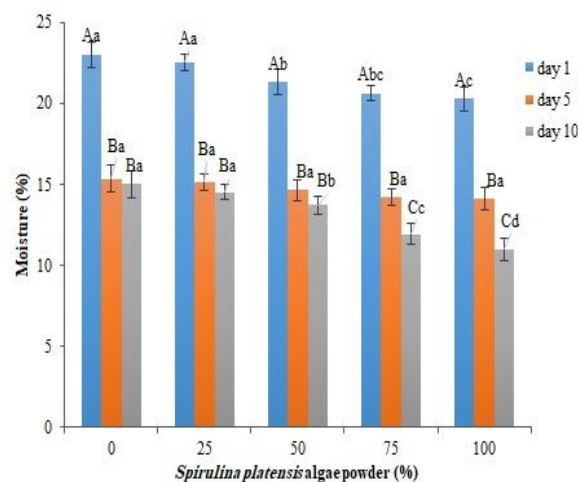


Fig 1 Substitution effect of egg white with *Spirulina platensis* algae powder (SPAP) on moisture content of sponge cake.

### ۳-۲- تغییرات pH، خاکستر، چربی و پروتئین

#### کیک اسفنجی طی زمان نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر pH نمونه‌های کیک در جدول ۳، آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس میزان pH در

Table 3 Substitution effect of egg white with SPAP on physico-chemical properties of sponge cake

Parameters	Days of storage	Sponge cake				
		%0 SPAP	%25 SPAP	%50 SPAP	%75 SPAP	%100 SPAP
pH	1	7.13±0.21 <sup>Aa</sup>	7.11±0.12 <sup>Aa</sup>	7.07±0.05 <sup>Aa</sup>	7.04±0.09 <sup>Aa</sup>	7.01±0.07 <sup>Aa</sup>
	5	7.06±0.17 <sup>Ba</sup>	6.96±0.19 <sup>Ba</sup>	6.90±0.09 <sup>Ba</sup>	6.88±0.08 <sup>Ba</sup>	6.87±0.14 <sup>Ba</sup>
	10	7.04±0.10 <sup>Ba</sup>	7.02±0.13 <sup>Ba</sup>	7.00±0.11 <sup>Ba</sup>	6.89±0.25 <sup>Ba</sup>	6.89±0.15 <sup>Ba</sup>
Ash	1	0.56±0.03 <sup>Cc</sup>	0.58±0.01 <sup>Cc</sup>	0.62±0.04 <sup>Cb</sup>	0.79±0.10 <sup>Ca</sup>	0.82±0.02 <sup>Ca</sup>
	5	1.22±0.11 <sup>Bd</sup>	1.42±0.14 <sup>Bc</sup>	1.45±0.08 <sup>Bc</sup>	1.54±0.10 <sup>Bb</sup>	1.76±0.08 <sup>Ba</sup>
	10	2.18±0.10 <sup>Ad</sup>	2.32±0.11 <sup>Ac</sup>	2.38±0.06 <sup>Ab</sup>	2.45±0.20 <sup>Aa</sup>	2.49±0.13 <sup>Aa</sup>
Protein	1	5.18±0.22 <sup>Bc</sup>	6.35±0.28 <sup>Bd</sup>	7.89±0.19 <sup>Bc</sup>	8.68±0.38 <sup>Ab</sup>	10.44±0.41 <sup>Ba</sup>
	5	4.22±0.18 <sup>Bc</sup>	6.07±0.24 <sup>Bd</sup>	7.17±0.30 <sup>Bc</sup>	7.49±0.28 <sup>Ab</sup>	10.11±0.27 <sup>Ba</sup>
	10	4.01±0.13 <sup>Ac</sup>	6.00±0.15 <sup>Ad</sup>	7.10±0.27 <sup>Ac</sup>	7.80±0.10 <sup>Ab</sup>	9.96±0.31 <sup>Aa</sup>
Fat	1	34.39±0.62 <sup>Ad</sup>	35.48±0.12 <sup>Ac</sup>	36.90±0.19 <sup>Ab</sup>	37.40±0.63 <sup>Aa</sup>	37.81±0.33 <sup>Aa</sup>
	5	32.33±0.43 <sup>Bc</sup>	32.80±0.32 <sup>Bd</sup>	33.02±0.48 <sup>Bc</sup>	34.82±0.49 <sup>Bb</sup>	35.80±0.19 <sup>Ba</sup>
	10	31.96±0.50 <sup>Cc</sup>	31.51±0.52 <sup>Cd</sup>	32.26±0.20 <sup>Cc</sup>	33.29±0.38 <sup>Cb</sup>	33.71±0.32 <sup>Ca</sup>

Values are expressed as means ± SD; n = 3; Non-Latin capital letters in each row indicate a significant difference of 5% between the shelf life days in each sample. The lowercase letters in each column indicate a significant difference at the 5% level between the different treatments in a single day.

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر محتوای پروتئین نمونه های کیک اسفنجی در روزهای نگهداری در جدول ۳، آورده شده است. با افزایش میزان جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس محتوای پروتئین نمونه ها به طور معنی داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). در طی زمان نگهداری میزان پروتئین در تمام نمونه ها کاهش یافت.

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر تخلخل نمونه های کیک اسفنجی در طی زمان در جدول ۴، آورده شده است. در تمام روزهای نگهداری، بیشترین میزان تخلخل مربوط به نمونه شاهد بود. با افزایش جایگزینی ریز جلبک با سفیده تخم مرغ میزان تخلخل نمونه ها کاهش معنی داری نشان داد ( $p < 0.05$ ). در روزهای پنجم و دهم ماندگاری تخلخل نمونه های کیک اسفنجی کاهش یافت که این اختلاف در تمام سطوح جایگزینی معنی دار بود ( $p < 0.05$ ).

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر تخلخل نمونه های کیک اسفنجی در طی زمان در جدول ۴، آورده شده است. در تمام روزهای نگهداری، بیشترین میزان تخلخل مربوط به نمونه شاهد بود. با افزایش جایگزینی ریز جلبک با سفیده تخم مرغ میزان تخلخل نمونه ها کاهش معنی داری نشان داد ( $p < 0.05$ ). در روزهای پنجم و دهم ماندگاری تخلخل نمونه های کیک اسفنجی کاهش یافت که این اختلاف در تمام سطوح جایگزینی معنی دار بود ( $p < 0.05$ ).

### ۳-۳- تغییرات حجم مخصوص و تخلخل کیک

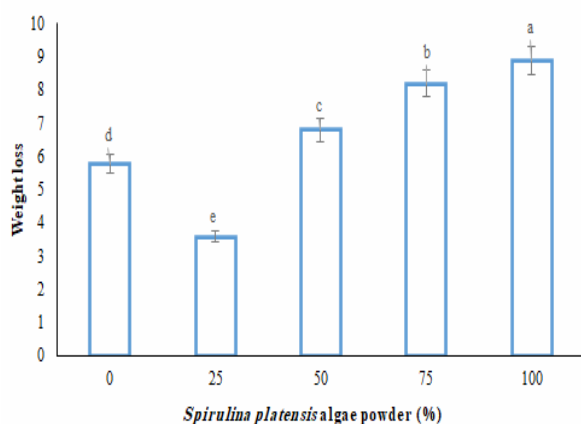
#### اسفنجی طی زمان نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر حجم مخصوص نمونه های کیک اسفنجی در طی زمان در جدول ۴، آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین میزان حجم مخصوص مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۲۵ درصد پودر ریز جلبک بود. از نظر آماری بین این دو نمونه اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

**Table 4.** Substitution effect of egg white with SPAP on porosity and specific volume of sponge cake

Parameters	Days of storage	Sponge cake				
		%0SPAP	%25SPAP	%50SPAP	%75SPAP	%100SPAP
Porosity	1	35.07±0.41 <sup>Aa</sup>	23.71±0.51 <sup>Ac</sup>	24.41±0.39 <sup>Ad</sup>	27.11±0.18 <sup>Ac</sup>	27.51±0.25 <sup>Ab</sup>
	5	32.46±0.53 <sup>Ba</sup>	22.83±0.19 <sup>Bc</sup>	24.12±0.28 <sup>Bd</sup>	26.00±0.49 <sup>Bc</sup>	26.25±0.34 <sup>Bb</sup>
	10	29.08±0.64 <sup>Ca</sup>	20.82±0.33 <sup>Cc</sup>	22.15±0.37 <sup>Cd</sup>	22.90±0.50 <sup>Cc</sup>	23.56±0.37 <sup>Cb</sup>
Specific volume	1	2.96±0.11 <sup>Aa</sup>	2.94±0.12 <sup>Ab</sup>	2.90±0.10 <sup>Ab</sup>	2.86±0.23 <sup>Ab</sup>	2.78±0.16 <sup>Ac</sup>
	5	2.89±0.09 <sup>Ba</sup>	2.88±0.08 <sup>Ba</sup>	2.63±0.20 <sup>Bb</sup>	2.56±0.19 <sup>Bc</sup>	2.08±0.11 <sup>Bd</sup>
	10	2.73±0.14 <sup>Ca</sup>	2.70±0.15 <sup>Ca</sup>	2.59±0.19 <sup>Cb</sup>	2.44±0.14 <sup>Cc</sup>	2.06±0.21 <sup>Cd</sup>

Values are expressed as means ± SD; n = 3; Non-Latin capital letters in each row indicate a significant difference of 5% between the shelf life days in each sample. The lowercase letters in each column indicate a significant difference at the 5% level between the different treatments in a single day.



**Fig 2** Substitution effect of egg white with SPAP on weight loss of sponge cake.

### ۳-۴- تغییرات افت وزنی کیک اسفنجی طی

#### زمان نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در شکل ۲، نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، افت وزنی در نمونه حاوی ۲۵ درصد جایگزینی با پودر ریز جلبک کمتر از نمونه شاهد بود که از نظر آماری این اختلاف معنی دار بود ( $p < 0.05$ ). ولی در سطوح بالاتر جایگزینی با پودر ریز جلبک افت وزنی افزایش معنی داری نشان داد که نمونه حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بیشترین افت وزنی را داشت.

### ۳-۵- تغییرات سفتی و پیوستگی کیک اسفنجی

#### طی زمان نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک / اسپیرولینا پلاتنسیس بر سفتی کیک اسفنجی طی زمان در شکل ۳، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نمونه شاهد کمترین سفتی را داشت. با افزایش میزان جایگزینی پودر ریز جلبک با سفیده تخم مرغ سفتی نمونه ها افزایش یافت. آنالیز آماری نشان داد بین نمونه های حاوی ۲۵ و ۵۰ درصد پودر ریز جلبک با سفیده تخم مرغ و نمونه شاهد اختلاف معنی داری مشاهده نشد اما میان نمونه های حاوی ۷۵ و ۱۰۰ درصد اختلاف معنی داری با نمونه شاهد مشاهده گردید ( $p < 0.05$ ). در روز پنجم ماندگاری سفتی نمونه ها با افزایش درصد پودر ریز جلبک افزایش یافت که بین تمام نمونه ها اختلاف معنی دار بود ( $p < 0.05$ ). در روز دهم ماندگاری نیز سفتی با افزایش معنی داری همراه بود. البته در روز پنجم و دهم ماندگاری بین نمونه حاوی ۷۵ درصد و نمونه شاهد اختلاف معنی دار نبود ( $p < 0.05$ ).

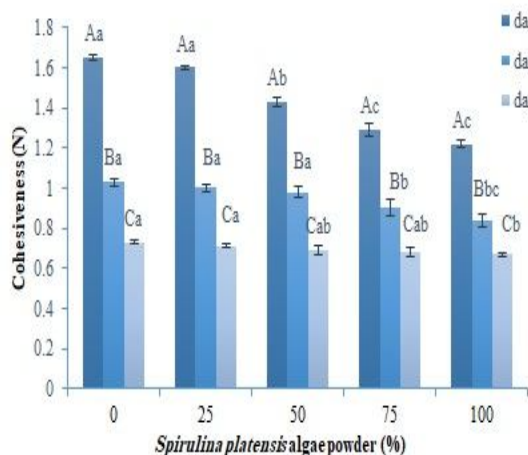


Fig 4 Substitution effect of egg white with SPAP on cohesiveness of sponge cake.

### ۳-۶- ویژگی های رنگ پوسته کیک اسفنجی

#### طی زمان نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک / اسپیرولینا پلاتنسیس بر ویژگی های رنگ سنجی پوسته کیک اسفنجی در شکل ۵، نشان داده شده است. نتایج نشان داد بیشترین میزان روشنی پوسته مربوط به نمونه شاهد بود. با افزایش درصد جایگزینی پودر ریز جلبک روشنی پوسته افزایش معنی داری در تمام سطوح نشان داد ( $p < 0.05$ ). در روز پنجم و دهم ماندگاری روشنی پوسته ها با افزایش درصد جایگزینی پودر ریز جلبک کاهش معنی داری نشان داد ( $p < 0.05$ ). میزان قرمزی پوسته کیک اسفنجی نمونه شاهد از دیگر سطوح جایگزینی بیشتر بوده و دارای اختلاف معنی دار بود ( $p < 0.05$ ). در روزهای ماندگاری پنجم و دهم نمونه های کیک اسفنجی با افزایش سطح جایگزینی پودر ریز جلبک کاهش معنی داری در میزان قرمزی پوسته مشاهده شد. میزان زردی نمونه شاهد بیشتر از نمونه های حاوی پودر ریز جلبک / اسپیرولینا پلاتنسیس بود. در تمام روزهای نگهداری میزان زردی نمونه های حاوی پودر ریز جلبک نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی داری نشان دادند ( $p < 0.05$ ).

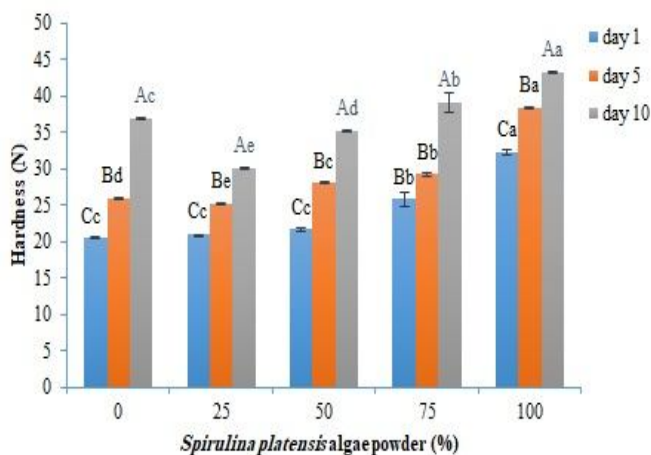


Fig 3 Substitution effect of egg white with SPAP on hardness of sponge cake.

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک / اسپیرولینا پلاتنسیس بر پیوستگی کیک اسفنجی در شکل ۴، نشان داده شده است. نتایج نشان داد، بیشترین میزان پیوستگی مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۲۵ درصد جایگزینی با پودر ریز جلبک با سفیده تخم مرغ بود. با افزایش بیشتر جایگزینی پودر ریز جلبک پیوستگی نمونه ها کاهش معنی داری داشت ( $p < 0.05$ ). در روز پنجم نگهداری پیوستگی نمونه ها

## ۳-۷- ارزیابی حسی کیک اسفنجی طی زمان

## نگهداری

نتایج تاثیر جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بر ویژگی‌های حسی کیک اسفنجی در طی زمان نگهداری در شکل ۶، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نمونه حاوی ۷۵ درصد جایگزینی پودر ریز جلبک با سفیده تخم مرغ بیشترین امتیاز بافت ظاهری را از سوی ارزیاب‌ها کسب کرد. کمترین امتیاز به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی پودر ریز جلبک با سفیده تخم مرغ تعلق گرفت در تمام روزهای ماندگاری امتیاز بافت ظاهری نمونه‌ها کاهش پیدا کرد اما از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده نشد (شکل ۶A). با توجه به نتایج شکل ۶B، در تمام روزهای ماندگاری بیشترین امتیاز طعم از سوی ارزیاب‌ها مربوط به نمونه شاهد بود. کمترین امتیاز از نظر طعم به نمونه حاوی ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی پودر ریز جلبک با سفیده تخم مرغ بود که از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد بودند ( $p < 0.05$ ). نتایج نشان داد که در طی ماندگاری نمونه‌ها، امتیاز بو با افزایش همراه بود که اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند ( $p < 0.05$ ). بیشترین امتیاز مربوط به نمونه حاوی ۲۵ درصد پودر ریز جلبک بود که با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان نداد (شکل ۶C). بیشترین امتیاز رنگ از نظر ارزیاب‌ها به نمونه حاوی ۵۰ درصد پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس تعلق گرفت. در روز پنجم ماندگاری امتیاز مربوط به نمونه‌های حاوی پودر ریز جلبک کاهش معنی‌داری را نسبت به نمونه شاهد نشان دادند ( $p < 0.05$ ). در روز دهم ماندگاری نیز امتیاز مربوط به رنگ نمونه‌ها با کاهش معنی‌داری همراه بود (شکل ۶D). نتایج حسی جهت پذیرش کلی نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس امتیاز پذیرش کلی کیک کاهش یافت. البته این کاهش فقط در سطح ۷۵ درصد جایگزینی با نمونه شاهد معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). در تمام روزهای ماندگاری پذیرش کلی نمونه شاهد بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داد که اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های حاوی پودر ریز جلبک در سطح ۵ درصد نداشت (شکل ۶E).

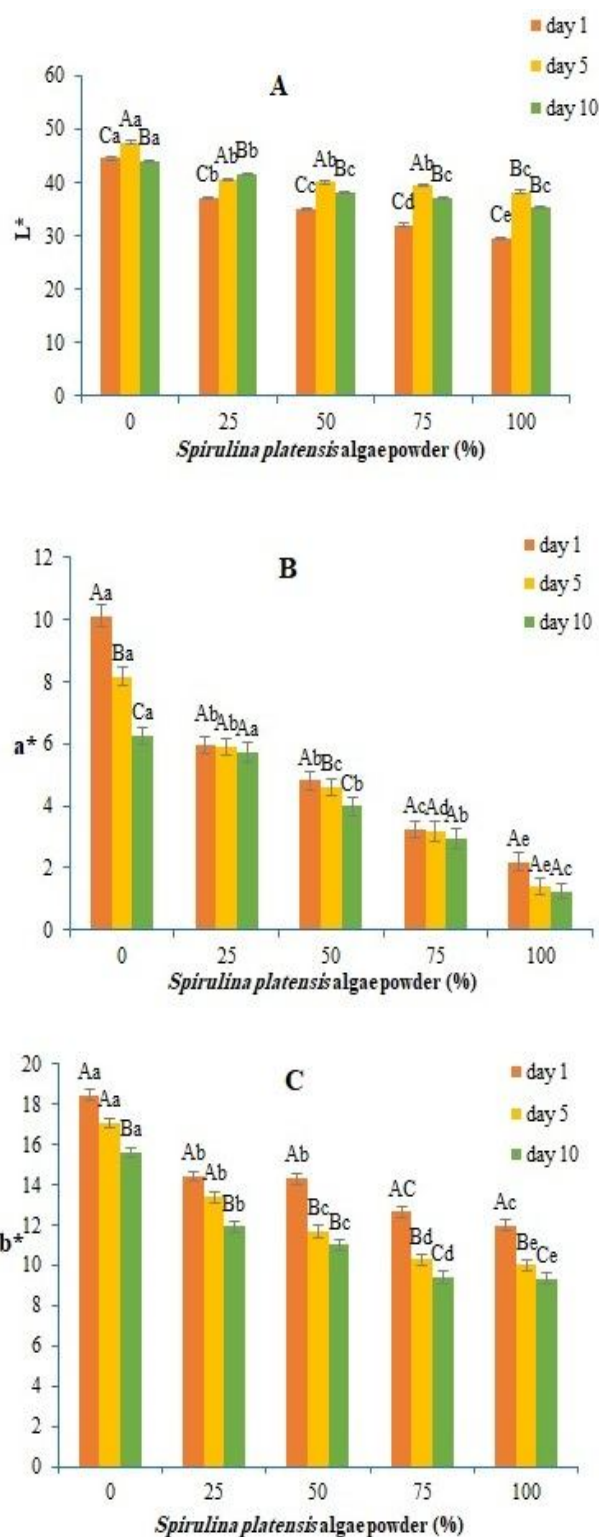


Fig 5 Substitution effect of egg white with SPAP on color properties of sponge cake.



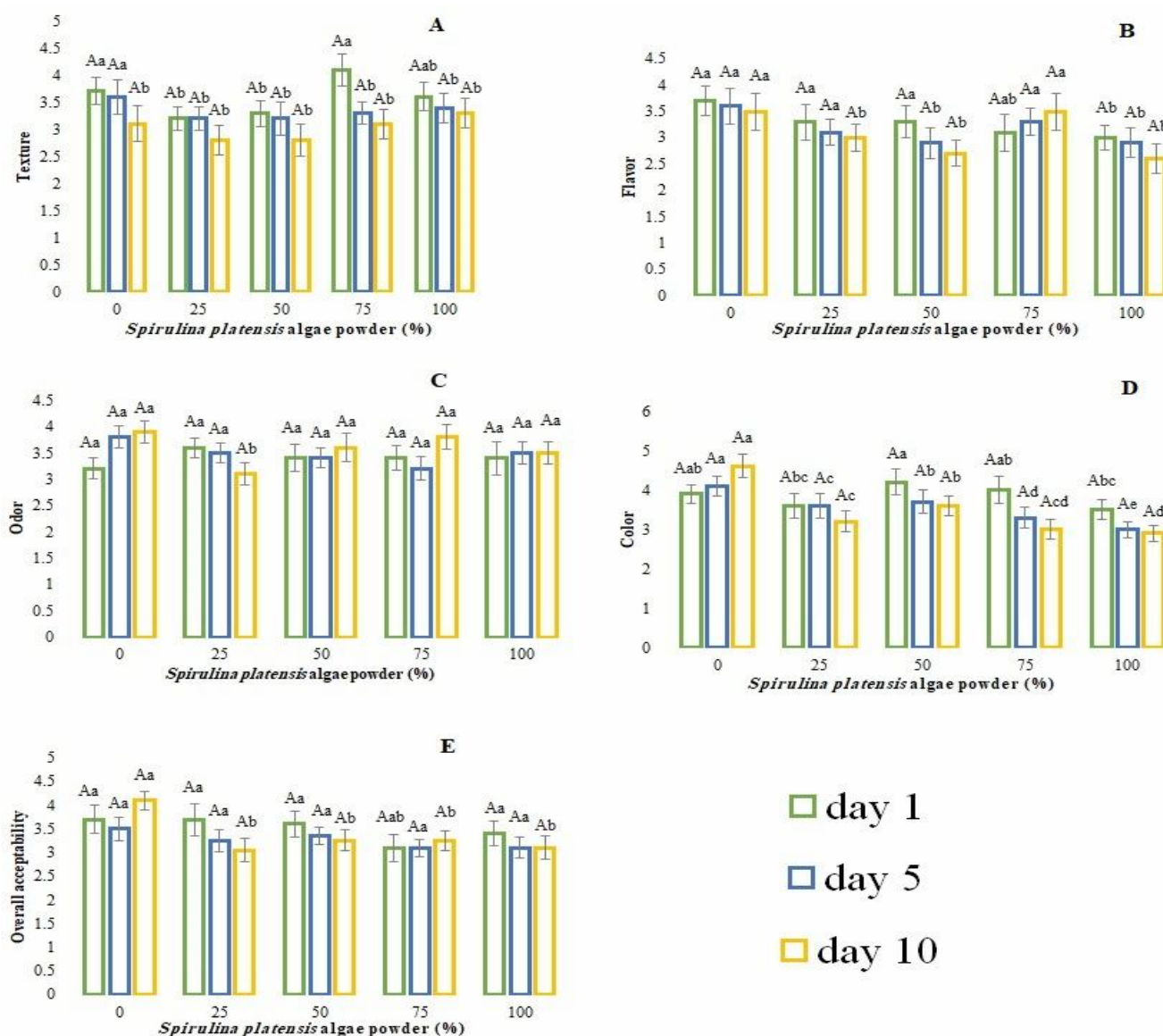


Fig 5 Substitution effect of egg white with SPAP on sensory properties of sponge cake.

معنی‌داری بر رطوبت را سبب شد [۲۹]. افزودن پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به نان منجر به افزایش رطوبت شد، در حالی که در کیک با کاهش رطوبت همراه بود [۳۰]. نقی‌پور و همکاران (۱۳۹۲)، گزارش کردند که افزودن آرد سویا به عنوان جایگزین تخم‌مرغ رطوبت کیک‌های تولیدی را افزایش داد در حالی که آرد جوانه گندم کاهش رطوبت کیک‌ها را سبب شد [۳۱].

pH سفیده تخم‌مرغ در حدود ۸/۷ و پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس یک ترکیب نسبتاً قلیایی است [۳۲]. بنابراین افزایش pH نمونه‌های کیک مورد انتظار بود. میزان بالای درصد پروتئین در پودر ریز جلبک و افزایش تحرک یون‌ها دلیلی بر

جذب آب را باید مهمترین ویژگی فیزیکی پروتئین‌ها دانست. این پدیده نه تنها بر ساختمان فیزیکی و ویژگی‌های فرآیندی ماده غذایی حاوی پروتئین اثر می‌گذارد، بلکه از نقطه نظر فساد مواد غذایی نیز به دلیل تأثیری که بر فعالیت آبی دارد بسیار حائز اهمیت است [۲۷]. ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس دارای بیش از ۶۰ درصد وزنی پروتئین می‌باشد. با این وجود، به نظر می‌رسد پروتئین‌های موجود در اسپیرولینا پلاتنسیس توانایی نگهداری آب را در محصول ندارند. کاراآزبان و همکاران (۱۳۹۴)، با افزودن عصاره چوبک به عنوان جایگزین سفیده تخم‌مرغ به کیک افزایش رطوبت را گزارش کردند [۲۸]. جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با پودر جلبک کلرا و لگاریس کاهش

آب پنیر افزایش افت وزنی نمونه‌های کیک را با افزایش جایگزینی گزارش کردند [۳۴].

علت افزایش میزان چربی در نمونه‌های کیک اسفنجی به دلیل میزان چربی بالای ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس بود (جدول ۱). Lemes و همکاران (۲۰۱۲)، سطوح مختلف پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس را در پاستا مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که افزودن پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به پاستا باعث افزایش میزان چربی شد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت [۳۷]. علت افزایش پروتئین نمونه‌های کیک حاوی پودر ریز جلبک نسبت به نمونه کنترل به علت وجود مقدار قابل توجه پروتئین (۶۰ درصد) در اسپیرولینا پلاتنسیس است. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج سوزنکار و همکاران (۱۳۹۷)، مطابقت داشت [۳۸].

سفتی یکی از پارامترهای بافتی است که بیشترین ارتباط را با درک انسان از تازگی محصول دارد. سفتی، بالاترین نیروی مورد نیاز جهت فشرده شدن محصول تحت یک تغییر شکل ثابت تعریف می‌شود [۳۹]. علت افزایش سفتی در مقادیر جایگزینی بالای پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس احتمالاً به دلیل وجود پروتئین بالا بوده که مانع از تشکیل بافتی متخلخل شده و در نتیجه بافتی با نرمی کمتر ایجاد می‌کند. افتخاری یزدی و همکاران (۱۳۹۸)، گزارش کردند که افزودن جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس تا سطح ۱ درصد سفتی نان را کاهش داده و درصد‌های بالاتر از ۱ درصد باعث افزایش سفتی نان می‌شود [۴۰]. استفاده از عصاره چوبک به عنوان جایگزین سفیده تخم مرغ در کیک اسفنجی باعث کاهش سفتی کیک شد [۲۸]. ایوبی و همکاران (۲۰۱۱)، کاهش سفتی نمونه‌های کیک در اثر جایگزینی تخم مرغ با پروتئین آب پنیر را گزارش کردند که با نتایج این پژوهش همخوانی نداشت [۳۴]. افزودن آرد سویا به عنوان جایگزین تخم مرغ در کیک کاهش سفتی را به همراه داشت در حالی که استفاده از آرد جوانه گندم باعث افزایش سفتی نمونه‌های کیک گردید [۳۱]. کمیت پیوستگی (انسجام) مقاومت اولیه ساختار غذا است. به طور خلاصه، پیوستگی توانایی یک ماده است که بتواند خود را حفظ کند. کاهش در میزان انسجام می‌تواند به این دلیل باشد که افزودن پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس یک ماتریکس متراکم در کیک ایجاد کرده و بنابراین نمونه‌ها بعد از تغییر شکل قادر به برگشت به حالت اولیه نیستند [۴۱].

افزایش pH نمونه‌های کیک بود [۳۳]. جایگزینی تخم مرغ با پروتئین آب پنیر کاهش pH نمونه‌های کیک را باعث شد که علت آن را کاهش سفیده تخم مرغ در فرمولاسیون نمونه‌های جایگزین شده نسبت دادند [۳۴]. نتایج این مطالعه با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی نداشت. میزان بالا بودن خاکستر در نمونه‌های کیک را می‌توان به میزان بالای مواد معدنی در جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس نسبت داد (جدول ۱).

حجم مخصوص و تخلخل ویژگی‌هایی هستند که تحت تاثیر نحوه فرآیند هوادهی در خمیر کیک قبل از پخت و پایداری و انبساط حباب‌های هوا در ساختار کیک حین پخت قرار می‌گیرد [۲۸]. سفیده تخم مرغ در مقایسه با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در نگهداری حباب‌های هوا در ساختار کیک و همچنین ایجاد بافتی با حفرات ریز در محصول نهایی نقش مؤثرتری دارد. به همین دلیل نمونه‌های حاوی پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس حجم مخصوص و تخلخل کمتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. کاراویان و همکاران (۱۳۹۴)، با جایگزینی سفیده تخم مرغ با عصاره چوبک نتایج مشابهی را گزارش کردند [۲۸]. حصاری نژاد و همکاران (۱۳۹۶)، گزارش کردند که در اثر افزودن پودر جلبک کلرا ولگاریس به کیک، حجم مخصوص کاهش یافت [۲۹]. Ratnayake و همکاران (۲۰۱۲)، جایگزینی بخشی از تخم مرغ با آرد سویا را در کیک مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران بیان کردند که سویا با داشتن لسیتین و آنزیم لیپوکسیژناز سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی خمیر و در نتیجه بهبود حجم محصول شد [۳۵].

در فرآیند پخت، گاز تولید می‌شود و زمانی که حرارت در خمیر کیک منتشر می‌شود، مایعات منبسط می‌شوند و فشار بخار افزایش می‌یابد. اگر گاز رها شود پدیده‌ای به نام افت پخت رخ می‌دهد. افت پخت یک نگرانی برای تغییر ساختار کیک و باعث کاهش عمر محصولات است [۳۶]. علت افزایش افت پخت در کیک‌های حاوی پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس احتمالاً به دلیل این است که ریز جلبک تشکیل یک سیستم محلول در آب می‌دهد که قادر به ایجاد اتصال به آب نمی‌باشد. البته شاید بتوان علت افت پخت را نیز به دلیل عدم توانایی پروتئین‌های جلبک در نگهداری آب ذکر کرد که سبب افزایش از دست دادن آب در هنگام پخت کیک می‌شود. ایوبی و همکاران (۲۰۱۱)، با جایگزینی بخشی از تخم مرغ با پروتئین

ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح پایین به عنوان جایگزین جزئی سفیده تخم مرغ و همچنین به عنوان یک افزودنی فراسودمند باعث بهبود ویژگی های فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی شد.

## ۵- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۹۸۱/۵۱ می باشد، لذا نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت حمایت انجام این طرح صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

## ۶- منابع

- [1] Batista, A.P, Gouveia, L., Nunes, M.C., Fradinho, P., Sabel Sousa, I., Raymundo, A., Franco, J.A. 2012. Novel foods with microalgal ingredients-Effect of gel setting conditions on the linear viscoelasticity of *Spirulina* and *Haematococcus* gels. *Food Engineering*, 110: 182-189.
- [2] Gouveia, L., Batista, A.P., Sousa, I., Raymundo, A., Bandarra, N.M. 2008. Microalgae in novel food products. In Papadoupoulos, K. *Food Chemistry Research Developments*. Nova Science Publishers, p. 75-112.
- [3] Aslan, S. and Kapdan, I.K. 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by alga. *Ecological Engineering*, 28(1): 64-70.
- [4] Gershwin, M.E. and Belay, A. 2008. *Spirulina in Human Nutrition and Health*. Boca Raton: Taylor and Francis group London New York CRC Press, 312.
- [5] Vonshak, A. 1997. *Vonshak A. Spirulina platensis arthrospira: physiology, cell-biology and biotechnology*: CRC Press.
- [6] Shetty, K., Paliyath, G., Pometto Aand Levin, R.E. 2006. *Food Biotechnology*, CRC Press, 498.
- [7] Choonawala, B. 2007. *Spirulina production in brine effluent from cooling towers*. Durban University of Technology, 421.
- [8] Mastakidou, A., Blekas, G. and Paraskevopoulou, A. 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by

رنگ مواد غذایی به عنوان مهم ترین ویژگی ظاهری در درک کیفیت آن مطرح شده است. اغلب مصرف کننده، رنگ محصول را با طعم، ایمنی، ماندگاری و ویژگی های تغذیه ای آن مرتبط می دانند [۴۲]. رنگ پوسته تحت تأثیر واکنش مایلارد قرار دارد. از آنجا که حضور فیبر در مقدار آمینواسیدها و قندها تغییری ایجاد نمی کند، ممکن است تغییرات رنگ به خاطر تغییر در pH باشد (فیبر به عنوان بافر عمل می کند) و تغییرات در آب در دسترس این واکنش ها را سبب می شود. در مقابل آنچه در مغز اتفاق می افتد، دمای پوسته کیک در طی پخت از ۱۵۰ درجه سانتیگراد تجاوز می کند و بنابراین مایلارد و کاراملیزاسیون قند اتفاق می افتد و مسئول رنگ نهایی پوسته است [۴۳]. کاهش روشنی کیک می تواند به دلیل محتوای پروتئینی بالای ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در مقایسه با سفیده تخم مرغ باشد که سبب واکنش قهوه ای شدن بیشتری می گردد و رنگدانه های قهوه ای بیشتری تولید می شود. با افزودن آرد سویا و آرد جوانه گندم در کیک به عنوان جایگزین تخم مرغ میزان روشنایی پوسته (L) افزایش یافت در حالی که میزان مولفه a با کاهش همراه بود. این در حالی بود که آرد سویا سبب کاهش و آرد جوانه گندم سبب افزایش مولفه b شد [۳۱]. حصاری نژاد و همکاران (۱۳۹۶)، نتایج مشابهی را در استفاده از جلبک کلرا و لگاریس به عنوان جایگزین سفیده تخم مرغ گزارش کردند [۲۹].

بررسی نتایج پذیرش کلی نشان داد که جایگزینی سفیده تخم مرغ با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس با نمونه شاهد اختلاف معنی داری نشان نداد. حصاری نژاد و همکاران (۱۳۹۶)، با جایگزینی سفیده تخم مرغ با جلبک کلرا و لگاریس کاهش پذیرش کلی را گزارش کردند [۲۹].

## ۴- نتیجه گیری

با توجه به ارزش تغذیه ای بالای ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، حساسیت برخی افراد به پروتئین های سفیده تخم مرغ و پایین بودن ارزش تغذیه ای محصولات پخت هدف از این پژوهش غنی سازی کیک به عنوان یک جایگزین سفیده تخم مرغ بود. از آنجایی که کیک یک محصول پرفرودار به ویژه برای کودکان می باشد، استفاده از این ریزجلبک می تواند تاثیر خوبی در بهبود تغذیه کودکان داشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش می توان گفت استفاده از

- characteristics of sponge cake. Food Science, 155-165. [Full text in Persian].
- [20] AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- [21] AACC International. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.
- [22] Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P.A., Blanco, C.A. and Rosell, C.M. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf life of yellow layer cakes. Food Hydrocolloid, 21:167-173.
- [23] Chahartagh, F., Nasehi, B. and Barzegar, H. 2017. Optimization characteristics of low calorie Cake enriched with stevia leaf powder. Food Science and Technology, 14: 31-41. [Full text in Persian].
- [24] Afshari-Jouybari, H. and Farahnaky, A. 2011. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. Food Engineering, 106: 170-175.
- [25] Nouri, M., Nasehi, B. and Abdanan, M.S. 2017. Modeling the effects of Persian gum and carrot pomace powder addition on visual features of donut using response surface methodology. Food Science and Technology, 14:285-296. [Full text in Persian].
- [26] Ayoubi, A. 2018. The Effect of Wheat Flour Replacement with Eleaagnus Angustifolia Powder on Quality Characteristics of Cupcake. Nutrient Science and Food Technology, 79-88. [Full text in Persian].
- [27] Fatemi H. 2009. Food chemistry. Tehran, 78-79. [Full text in Persian].
- [28] Karazhiyan, H. and Keyhani, V. 2015. The effect of Chubak extract on sponge cake as an egg white substitute. Food Science and Technology Research, 11: 63-76 [in Persian].
- [29] Hesarinejad, M.A., Rezaiyan Attar, F., Mosaffa, O. and Shokrollahi Yancheshmeh, B. 2017. The effect of incorporation of *Chlorella vulgaris* into cake as an egg white substitute on physical and sensory properties. Food Science and Technology, 68: 61-72[in Persian].
- [30] Moradi, Y., Mattlebi, A.A., Ghaeni, M., Hadaegh, H., Mosadegh, M. and Khosravi, K. 2016. Investigation on possibility of enrichment some grain products (bread, cup cake and cookie by using *Spirulina microalga*. ministry of jihad-e-agriculture Agricultural replacing margarine with extra virgin olive oil. Food Science and Technology, 43: 949-957.
- [9] Payan, R. 2011. Introduction to technology of cereal products. 3th edition. Tehran. Press, P: 313-316. [Full text in Persian].
- [10] Mine, Y. 1995. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. Trends in Food Science and Technology, 6: 225-232.
- [11] Weijers, M., van de Velde, F., Stijnman, A., van de Pijpekamp, A. and Visschers, R.W. 2006. Structure and rheological properties of acid-induced egg white protein gels. Food Hydrocolloid, 20: 146-159.
- [12] Arunepanlop, B., Morr, C.V., Karleskind, D. and Laye, I. 1996. Partial replacement of egg white proteins with whey proteins in angel food cakes. Food Science, 61: 1085-1093.
- [13] Zhu, H. and Damodaran, S. 1994. Protease peptones and physical factors affect foaming properties of whey protein isolate. Food Science, 59: 554-560.
- [14] Zanganeh, N., Barzegar, H., Alizadeh Behbahani, B., & Mehrnia, M.A. 2019. Investigation of the effect of different *Spirulina platensis* levels on nutritional, physicochemical and sensory properties of sponge cake. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 16(2): 207-220. [Full text in Persian].
- [15] Danesi, E., Navacchi, M., Takeuchi, K., Frata, M., Carlos, J. and Carvalho, M. 2010. Application of *Spirulina platensis* in protein enrichment of Manico based bakery products. Journal of Biotechnology, 150:311.
- [16] Salehifar, M., Shahbazizadeh, S., Khosravi-Darani, K., Behmadi, H. and Ferdowsi, R. 2013. Possibility of using microalgae *Spirulina platensis* powder in industrial production of Iranian traditional cookies. Nutrient Science and Food Technology, 7: 63-72. [Full text in Persian].
- [17] Perkin, J.E. 1990. Food allergies and adverse reactions. (1nd ed.). An Aspen Publication, Inc, Gaithersburg, Mryland, 129-170.
- [18] Belay, H. and Gershwin, M.E. 2007. Spirulina In Human Nutrition And Health. 1 ed. Taylor and Francis group London New York.
- [19] Nourmohammadi, E., Peighambardoust, S.H., Olad Ghaffari, A., Azadmard-Damirchi, S. and Hesari, J. 2011. Effect of sucrose replacement with polyols and aspartame on the

- [37] Lemes, A.C., Takeuchi, K.P., Carvalho, M.D. and Danesi, E.D.G. 2012. Fresh pasta production enriched with *Spirulina platensis* biomass. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55: 741-750.
- [38] Souzankar, R., Chaichi- Nosrati, A. and Movahhed, S. 2018. Enrichment of Coated Wafers by Addition of Micro Algae *Arthrospira* (*Spirulina*) *Platensis* Powder. *Nutrient Science and Food Technology*, 13: 51-60[in Persian].
- [39] Singh, J.P., Kaur, A., Khetan Shevkani, K. and Singh, N. 2015. Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidant and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins. *Food Science and Technology*, 50: 1190-1197.
- [40] Eftekhari Yazdi, M., sheikh Eslami, Z. and Sharifi, A. 2017. Improving the Qualitative Characteristics of Barberry Bread Using *Spirulina Platensis* Algae. *Innovation in Food Science and Technology*, 11: 69-77[in Persian].
- [41] Majzoobi, M., Hedayati, S., Habibi, M., Ghiasi, F. and Farahnaky, A. 2014. Effects of Corn Resistant Starch on the Physicochemical Properties of Cake. *Journal Agriculture Science and Technology*, 16: 569-576.
- [42] Pedreschi, F., Leo'n, J., Mery, D. and Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39:1092-1098.
- [43] Purlis, E. 2010. Browning development in bakery products e a review. *Journal of Food Engineering*, 99: 239-249.
- research, education and extension organization Iranian fisheries science research institute, 1-41. [Full text in Persian].
- [31] Naghipour, F., Mazaheri Tehrani, M., Sahraiyani, B., Sheikholeslami, Z. and Soleimani, M. 2013. Replacing eggs with soy flour and mixing with wheat flour with wheat germ for oil cake production. *Nutrient Science and Food Technology*, 8: 211-220. [Full text in Persian].
- [32] Babakhani, Z., Karami, M. and Rezazadeh bari, M. 2018. The Use of *Spirulina platensis* in formulation of functional lowcalorie sauce fortified with iron and zinc. *Food Science and Technology*, 84:125-136. [Full text in Persian].
- [33] Zarea, Z., Nouri, L. and Fahim Danesh, M. 2016. The effect of wheat flour substitution with *Eleaagnus Angustifolia* Powder on physicochemical and sensory properties of oil cake. *Food Science and Technology*, 8:55-63. [Full text in Persian].
- [34] Ayoubi, A., Habibi Najafi, M.B. and Karimi, M. 2011. Effect of different levels of whey protein concentrate on the physicochemical and sensory properties of muffin cake. *Food Science and Technology*, 29(8): 1-8. [Full text in Persian].
- [35] Ratnayake, W., Bhimalingesarappa, G. and Dana, A.R. 2012. Effects of egg and egg replacers on yellow cake product quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(1): 21-29.
- [36] Kim, J.H., Jung, L.H., Sun, L.H., Jeong, L.M., Young, I.J. and Joo, S.H. 2012. Physical and sensory characteristics of fiber-enriched sponge cakes made with *Opuntia humifusa*. *Food Science and Technology*, 47: 478-484.

## Effect of *Spirulina platensis* microalgae powder as an egg white substitute on the sponge cake properties

Barzegar, H. <sup>1\*</sup>, Alizadeh Behbahani, B. <sup>2</sup>, Zangene, N. <sup>3</sup>, Abdolnabipoor, E. <sup>3</sup>

1. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. MSc graduated student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(Received: 2020/05/24 Accepted: 2020/08/22)

Algae and microalgae are great potential sources of natural compounds that can be used to produce functional foods. *Spirulina platensis* is one of the edible microalgae with no side effects. Lack of cellulose in the cell wall of *Spirulina platensis* makes it easy to digest. However, other microalgae do not have this advantage. This property has made *Spirulina platensis* more valuable. The purpose of this study was to use *Spirulina platensis* as egg white replacer and investigate its effect on physicochemical and sensory properties of sponge cake during storage time. For this purpose, different egg white ratios (0, 25, 50, 75 and 100% w/w) were substituted in sponge cake formulation with *Spirulina platensis* powder. The results showed that the addition of *Spirulina platensis* powder reduced the moisture content, specific volume, porosity and cohesiveness of the samples. Protein, fat, ash, pH and firmness of sponge cake samples increased with increasing amounts of microalgae powder. As the amount of *Spirulina platensis* microalgae powder increased, overall acceptance of the samples decreased, but this decrease was not significant ( $p < 0.05$ ). In general, the use of *Spirulina platensis* powder in small quantities as an egg white replacer, improved the properties of sponge cake.

**Keywords:** *Spirulina platensis* microalgae, Egg white, Porosity, Sensory properties.

---

\*Corresponding Author E-Mail Address: hbarzegar@asnrukh.ac.ir