بررسی امکان غنی‌سازی کلوچه صنعتی با استفاده از ریز جلبک *Spirulina platensis*

مانیا صالحی‌فر[1*]، سعیده شهبازی‌زاده[2]، کیانوش خسروی دارانی[3]، هما بهمدی[4]

[1] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، شهر قدس، ایران.

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، شهر قدس، ایران.

[3] استادیار گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

[4] عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات کشاورزی کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۱۷

چکیده

اسپیرولینا پلاتنسیس یک ریز جلبک فتوسنتز کننده، با فیلامنت های فنرمانند و متعلق به خانواده سیانو باکتری ها است. در این مطالعه، ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی به فرمولاسیون تجاری کلوچه افزوده شد و تأثیر افزودن آن بر میزان پروتئین، آهن ،پروفیل اسیدهای چرب و ویژگی‌های بافتی و رنگی کلوچه به ترتیب با استفاده از دستگاه کجلدال اتوماتیک، طیف سنج جذب اتمی، کروماتوگرافی گازی، بافت‌سنج و سیستم رنگ‌سنجی هانترلب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد میزان پروتئین، آهن و اسید چرب γ-لینولنیک در کلوچه‌های غنی شده با اسپیرولیناپلاتنسیس در مقایسه با کنترل افزایش معنی‌داری پیدا کرد ($p<۰/۰۵$). بررسی روند تغییرات سفتی بافت تیمارها نشان داد نرمی بافت کلوچه‌های محتوی ۱/۵ درصد ریزجلبک در طی دوره سه ماهه نگهداری به خوبی حفظ گردید ($p<۰/۰۵$). پایداری رنگ کلوچه‌های محتوی ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی ریزجلبک در طی سه ماه نگهداری به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد بود ($p<۰/۰۵$). در حالی که بین نمونه‌های محتوی ریز جلبک از لحاظ پایداری رنگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p<۰/۰۵$). به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با افزودن ۱/۵ درصد ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس می‌توان کلوچه‌های غنی شده با ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکی مطلوب تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: اسپیرولینا پلاتنسیس، پروتئین، آهن، γ-لینولنیک اسید، بافت، رنگ، کلوچه.

* مسوول مکاتبه: m_salehi1978@yahoo.com

۱- مقدمه

میزان رفاه اجتماعی هر کشوری بر اساس معیارهایی نظیر وضعیت تغذیه کودکان زیر پنج سال برآورد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهند، سوءتغذیه در کودکان زیر ۵ سال در مناطق مختلف کشور ما از شیوع ۸/۶ تا ۳۸ درصد برخوردار است (۱). از دلایل عمده شیوع سوء تغذیه در کودکان ایرانی، مصرف تنقلاتی با ارزش تغذیه‌ای پائین است (۲). به این ترتیب جستجو برای منابع غذایی ارزان قیمت و غنی از مواد مغذی از وظایف مهم محققان در کشور ما به شمار می‌آید (۳).

اسپیرولیناپلاتنسیس ریزجلبکی فتوسنتز کننده، دارای فیلامنت-های فنر مانند و متعلق به خانواده سیانوباکتریهاست (۷) که در سال ۱۹۹۷ سازمان غذا و داروی آمریکا ایمنی[1] آن را تائید و حداکثر جذب روزانه این جلبک را برای فرد ۱/۳۵ گرم اعلام کرد (۱۰ و ۹). استفاده از این ریزجلبک فراسودمند در ترکیب محصولاتی نظیر کلوچه می‌تواند موجب ارتقای سطح سلامت و پیشگیری از سوءتغذیه در کودکان ایرانی گردد. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه بررسی اثر افزودن نسبت‌های متفاوت از گونه‌های مختلف ریزجلبک در محصولات نانوایی انجام شده است:

مطالعات دنسی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که می‌توان به منظور غنی سازی پروتئین در محصولات نانوایی از ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس استفاده نمود، بدون آن که تغییر قابل ملاحظه-ای در بافت، ضریب انبساط، درصد ترکیب و پذیرش حسی محصول ایجاد شود (۸). فردیکو و همکارانش (۲۰۱۰)، با مطالعه غنی سازی ماکارونی به وسیله کلرلاولگاریس و اسپیرولیناماکسیما دریافتند، استفاده از این دو ریزجلبک موجب بهبود فاکتورهای کیفی نمونه‌های غنی شده در مقایسه با نمونه کنترل می‌گردد. رنگ ماکارونی ریزجلبکی پس از پخت نسبتاً پایدار باقی می‌ماند و افزایش غلظت هر دو ریزجلبک در محدوده ۲/۰–۰/۵ درصد موجب افزایش سفتی ماکارونی می‌گردد. همچنین ماکارونی‌های ریزجلبکی نسبت به نمونه کنترل، نمرات پذیرش حسی بالاتری داشتند (۱۱). گویه و همکارانش (۲۰۰۸) تحقیقاتی در زمینه غنی سازی بیسکوئیت سنتی کشور کره با ریزجلبک ایزوکرایسیس-گالبانو انجام دادند. افزودن این ریزجلبک منجر به افزایش معنی‌دار اسیدهای چربω۳ و بهبود پایداری ویژگی‌های بافت و رنگ در بیسکوئیت گردید (۱۲). گویه و همکارانش (۲۰۰۸) با استفاده از ریزجلبک‌های اسپیرولیناماکسیما و دیاکرونما مقدار اسیدهای چرب چند غیر اشباع ایکوزاپنتا انوئیک اسید، دوکوزاهگزا انوئیک اسید و γ– لینولنیک اسید) و ویژگی‌های بافتی را در دسرهای ژلی گیاهی بهبود بخشیدند (۱۳). گویه و همکارانش (۲۰۰۷) در یک تحقیق دیگر، اثرات استفاده ریزجلبک کلرلاولگاریس را در کلوچه‌های سنتی کشور کره مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند رنگ سبز کلوچه‌های محتوی ۱ درصد وزنی/وزنی کلرلا ولگاریس در طی دوره نگهداری دارای حداکثر پایداری است و کاربرد ریزجلبک کلرلاولگاریس، موجب افزایش میزان سفتی کلوچه می‌گردد (۱۴). گویه و همکارانش (۲۰۰۵) اثر ریزجلبک-های کلرلاولگاریس و هماتوکوکوس‌پلوویالیس را در امولسیون-های غذایی مورد ارزیابی قرار داده و دریافتند امولسیون‌های محتوی ریزجلبک در مقایسه با نمونه شاهد، پایداری اکسیداتیو و تنوع رنگی بیشتری دارند (۱۵). گواردا و همکارانش (۲۰۰۴) با به کار بردن هیدروکلوئیدهای به دست آمده از محصولات دریایی توانستند سرعت بیاتی نان را در طی نگهداری کاهش دهند (۱۶).

بررسی منابع نشان می‌دهد تحقیق درباره استفاده از پودر ریز-جلبک اسپیرولیناپلاتنسیس در تولید کلوچه صنعتی اندک است. مطابق تعریف استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۴، این نوع کلوچه نوعی شیرینی مغزدار است که از مواد اولیه اصلی آرد گندم، شکر، روغن و تخم مرغ تشکیل شده است (۴). امکان استفاده از اسپیرولیناپلاتنسیس در سیستم‌های غذایی به نوع و شدت فرایند (حرارتی و مکانیکی) مورد استفاده، طبیعت ماتریکس (مانند امولسیون، ژل و خمیر گازدار) و برهمکنش با سایر ترکیبات غذایی (نظیر پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، قندها و نمک‌ها) بستگی دارد و ممکن است تغییراتی در ویژگی‌های ریز ساختاری رئولوژیکی آن ایجاد نماید (۱۷). در تحقیق حاضر اثر افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس بر ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکی کلوچه مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و دستگاه‌های مورد استفاده

پودر ریزجلبک *Spirulina platensis* از شرکت سینا ریز جلبک قشم خریداری شد سپس تحت شرایط خشک، خنک و دور از نور به شرکت کیک و کلوچه دلبر منتقل گردید.

[1]. Generally Recognized as Safe

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- آماده سازی مخلوط آرد و تهیه کلوچه

برای تهیه کلوچه از فرمولاسیون استاندارد شرکت شامل (٪) ۵۰ آرد قنادی، ۱۲/۵ شکر، ۱۳/۷۵ روغن، ۴/۴ تخم مرغ، ۷/۸۷ آب، ۰/۳۷۵ پودر نانوایی، ۱۱/۱ افزودنی‌های مجاز و جایگزینی ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی با آرد مصرفی، در چهار مرحله مجزا استفاده شد. کلوچه‌ها پس از پخت و خنک سازی، در لفافی از جنس سلوفان شفاف و سپس در کارتن قرار داده شدند و به مدت سه ماه در دمای ۲۰±۵°C در جای خشک، خنک دور از نور نگهداری شدند (۱۲ و ۱۴).

۲-۲-۲-آزمون‌های شیمیایی

میزان پروتئین در آرد قنادی، پودر ریزجلبک اسپیرولینا-پلاتنسیس و همچنین کلوچه‌های غنی شده با ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس با روش میکرو کجلدال(دستگاه کجلدال دیجیتال Foss مدل ۲۳۰۰ ساخت کشور دانمارک) و بر اساس روش AACC 46-12.01 اندازه گیری و با استفاده از ضریب مخصوص ۶/۲ به ارزش پروتئین تبدیل شد (۵).

میزان آهن موجود در پودر ریزجلبک، آرد قنادی و کلوچه‌ها بر اساس AACC 40-70.01 اندازه گیری شد (۵). ۵ گرم از کلوچه آسیاب شده به مدت ۲ ساعت در دمای°C ۹۰ در آون در معرض حرارت قرار گرفت تا خشک شود. ۱ گرم از کلوچه خشک شده در کوره C ° ۵۵۰ قرار داده شد تا خاکستر شود. سپس میزان جذب مربوط به محلول بلانک و محلول‌های استاندارد توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی (مدل Thermo Scientific- Solaar M-5 ساخت کشور آمریکا) قرائت گردید. با استفاده از داده‌های دستگاه، منحنی استاندارد رسم و معادله خط آن تعیین گردید. در نهایت میزان آهن موجود در پودر ریزجلبک، آرد قنادی و کلوچه‌ها اندازه گیری شد.

پروفیل اسیدهای چرب پودر ریزجلبک و کلوچه‌ها به روش AACC 58-18.01 توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل GC HP-5890(ساخت کشور آمریکا) اندازه گیری شد (۵ و ۱۲). این دستگاه مجهز به ستون BPX70 با طول ۳۰ متر (قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم۰/۲۵میکرومتر) و دمای°C ۲۵۰ بود. دمای تزریق کننده و آشکارساز به ترتیب °C ۱۵۵ و ۲۶۰ و فشار گاز حامل نیتروژن psi ۱۰ بود.

۲-۲-۳- آزمون‌های فیزیکی

ارزیابی رنگ کلوچه‌ها بر اساس سیستم رنگ‌سنجی هانترلب (Hunter lab D25-DP9000؛ ساخت کشور آمریکا)، در دمای °C ۲۰±۵، پس از تهیه و سپس به صورت هفتگی (هفته اول، دوم، سوم، چهارم، هشتم و دوازدهم) و در سه تکرار انجام گرفت (۱۵ و ۱۴، ۱۳، ۱۲). ضرایب اندازه گیری شده عبارت بودند از: L^* که روشنی را (از ۰ برای سیاه و ۱۰۰ برای سفید) محاسبه می‌کند، a^*سبز/ قرمز که در آن a^*- میزان رنگ سبز و a^*+ مقدار رنگ قرمز را نشان می‌دهد، b^* آبی/ زرد که b^*- رنگ آبی و b^*+ مقدار رنگ زرد را نشان می‌دهد و شاخص ΔE^* که مطابق رابطه (۱) تغییرات رنگ را در دوره نگهداری تعیین می‌کند. در رابطه (۱) L_1^*، a_1^* و b_1^* میانگین ضرایب اندازه گیری شده پس از پخت و L_2^* ، a_2^* و b_2^* میانگین ضرایب اندازه گیری شده در هفته دوازدهم هستند.

رابطه (۱) : $\Delta E^* = ((L_2^*-L_1^*)^2+(a_2^*-a_1^*)^2+(b_2^*-b_1^*)^2)^{1/2}$

تغییرات بافت کلوچه توسط آزمون نفوذ سنجی با استفاده از بافت سنج (Hounsfield H5ks، ساخت کشور انگلستان)، در دمای °C ۲۰±۵، پس از تهیه و سپس به صورت هفتگی (هفته اول، دوم، سوم، چهارم، هشتم و دوازدهم) و در سه تکرار بررسی شد (۱۲ و ۱۴) و بیشینه نیروی لازم برای عبور کامل یک میله به قطر ۳/۲ میلی‌متر و سرعت ۶۰ دقیقه/میلی‌متر از نقطه وسط کلوچه و بازگشت آن به نقطه اولیه اندازه‌گیری شد. پارامترهای بافت عبارت بودند از: Load cell=۵۰۰ N، Load rang= ۲۰۰ N، Extension rang=۱۶ mm، Speed test = ۶۰mm/min، N point=۱۵mm

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری میزان پروتئین، آهن، پروفیل اسیدهای چرب، رنگ و بافت کلوچه‌های محتوی ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در چهار سطح ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار تجزیه و تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح

احتمال ۵ درصد استفاده شد. داده‌ها به صورت آماری و در یک مدل کاملاً تصادفی به وسیله تجزیه واریانس (ANOVA) و نرم افزار SPSS۱۶ مورد تحلیل قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون‌های شیمیایی

افزودن ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به ترکیب کلوچه باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین در نمونه‌های غنی شده در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۱). به طوری که مقدار آن در کلوچه‌های ۰/۵ و ۱ درصد ریزجلبک در مقایسه با شاهد ۰/۳ و ۱/۰ درصد افزایش داشت و در سطح ۱/۵ درصد به بالاترین میزان (۷/۴۴ درصد) رسید ($p<۰/۰۵$). این امر به دلیل بالاتر بودن درصد پروتئین موجود در اسپیرولیناپلاتنسیس نسبت به آرد قنادی است (جدول ۲). میزان بالای پروتئین از دلایل اصلی توجه به ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* است. اگرچه میزان متیونین، سیستئین و لیزین موجود در پروتئین اسپیرولیناپلاتنسیس در مقایسه با گوشت، تخم مرغ و شیر اندک است اما از بسیاری پروتئین‌های گیاهی نظیر حبوبات با ارزش‌تر است. همچنین پروتئین این ریزجلبک، به علت فقدان دیواره سلولی قابلیت هضم بالایی دارد (۷).

چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقدار آهن در نمونه‌های غنی شده در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد. به طوری که مقدار آن در کلوچه‌های ۰/۵ و ۱ درصد ریزجلبک در مقایسه با شاهد ۲۹ و ۳۶ درصد افزایش داشت و در سطح ۱/۵ درصد به بالاترین میزان (۶۲ درصد) رسید ($p<۰/۰۵$). چنانچه در جدول ۲ مقادیر آهن در ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و آرد قنادی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند، این امر به دلیل بالاتر بودن آهن موجود در اسپیرولیناپلاتنسیس نسبت به آرد قنادی است.

در پروفیل اسیدهای چرب اسپیرولیناپلاتنسیس، اسیدهای چرب اشباع گروه غالب هستند. پس از این گروه، اسیدهای چرب چند غیر اشباع و تک غیر اشباع قرار دارند. اسیدهای چرب پالمتیک، پالمیتولئیک و γ-لینولنیک نیز در این سه گروه بیشترین مقادیر را دارند (جدول ۳).

پروفیل اسیدهای چرب در کلوچه شاهد عمدتاً مربوط به روغن بود (جدول ۴). در کلوچه‌های غنی شده اسیدهای چرب غالب از ترتیبی مشابه کلوچه شاهد برخوردار بودند. با افزایش میزان ریز-جلبک در ترکیب کلوچه، مقدار γ- لینولنیک اسید در کلوچه‌های غنی شده در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد($p<۰/۰۵$). به طوری که مقدار آن در کلوچه‌های ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد ریزجلبک در مقایسه با شاهد ۹/۴ ، ۱۰/۲ ،و ۷/۴ درصد افزایش داشت. به نظر می‌رسد در کلوچه‌های غنی شده، غشای سلول‌های ریزجلبک می‌توانند مولکول‌های اسید چرب را ریزپوشانی کرده و با وجود فرایند حرارتی پخت تا حدی از اسیدهای چرب موجود در ریز جلبک در برابر حرارت و اکسیداسیون محافظت نمایند (۱۲). بین تیمارهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد از لحاظ مقدار این اسید چرب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($p<۰/۰۵$). مناسب‌ترین ترکیب در این غنی‌سازی، سطح ۱/۵ درصد وزنی/وزنی ریزجلبک است که می‌تواند بخشی از عوارض ناشی از کمبود γ-لینولنیک اسید در بدن را بر طرف نماید.

۳-۲- اندازه گیری رنگ

۳-۲-۱-اثر افزودن ریز جلبک

نتایج به دست آمده در جدول ۵ نشان می‌دهد همزمان با افزایش میزان ریزجلبک در کلوچه، فاکتور روشنی (L^*) کاهش معنی داری (در حدود ۱۷/۷۷ تا ۲۶/۶۶ درصد) پیدا کرد ($p<۰/۰۵$). زیرا ریز جلبک که حاوی رنگیزه‌های سبز و سبز- آبی کلروفیل و فیکوسیانین است، جایگزین بخشی از آرد گردید و فاکتور روشنی را در محصول کاهش داد. اثر افزودن ریزجلبک روی پارامتر رنگی a^* نیز معنی‌دار گزارش شده است: به طوری که میزان رنگ قرمز در کلوچه‌های ریزجلبکی به صفر رسید و رنگ سبز در کلوچه‌های ریزجلبکی به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد ($p<۰/۰۵$). با افزایش میزان ریزجلبک در کلوچه، پارامتر رنگی b^* (میزان رنگ زرد) در کلوچه‌های محتوی ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد ریزجلبک در مقایسه با شاهد به طور معنی-داری (به ترتیب ۲۹/۸۲، ۳۵/۰۸ و ۳۳/۳۳ درصد) کاهش پیدا کرد (جدول ۳).

جدول ۱- میزان پروتئین و آهن در کلوچه‌های غنی شده با سطوح مختلف اسپیرولیناپلاتنسیس

اسپیرولیناپلاتنسیس وزنی/وزنی (درصد)	پروتئین (گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)	آهن (میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)
۰	۶/۲۵ ±۰/۰۲^{d}	۲۴۶۷±۰/۰۰^{d}
۰/۵	۶/۵۳ ±۰/۰۵^{c}	۳۲۰۰±۰/۰۰^{c}
۱	۷/۲۱ ±۰/۱۴^{b}	۳۳۶۷±۰/۰۰ ^{b}
۱/۵	۷/۴۴ ± ۰/۰۲^{a}	۴۰۰۰ ±۰/۰۰ ^{a}

* در هر ستون، بین مقادیر با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد ($p<۰/۰۵$).

جدول ۲- میزان پروتئین و آهن ریز جلبک اسپیرولیناپلاتنسیس و آرد قنادی

ترکیب شیمیایی	پروتئین (گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)	آهن (میکرو گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)
آرد قنادی	۹	۳۹۰۰
ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس[۱]	۶۲/۹	۱۲۵۰۰۰

جدول ۳- پروفیل اسیدهای چرب در اسپیرولینا پلاتنسیس

اسید چرب	درصد کل
میریستیک C۱۴:۰	۰/۲
پالمتیک C۱۶:۰	۴۵/۰
پالمیتولئیک C۱۶:۱	۵/۶
هپتادکانوئیک C۱۷:۰	۰/۳
استئاریک C۱۸:۰	۱/۴
اولئیک C۱۸:۱	۲/۲
لینولئیک C۱۸:۲	۱۷/۹
γ-لینولنیک C۱۸:۳	۲۴/۹
C۲۰	۲/۵

[۱]. براساس اصول روش کجلدال میزان پروتئین از ضرب ازت تام اندازه‌گیری شده در نمونه ریزجلبک، در ضریب مخصوص ۶/۲ بدست می‌آید (۱۸).

جدول ٤- پروفیل اسیدهای چرب بر حسب درصد کل در جزء چربی کلوچه‌های غنی شده با سطوح مختلف اسپیرولینا‌پلاتنسیس

اسید چرب		*اسپیرولینا پلاتنسیس*(وزنی/وزنی)٪			
		۰	۰/۵	۱	۱/۵
۱۴:۰	میریستیک	۰/۶۷۰±۰.۰۰۰^{b}	۰/۶۴۰±۰/۰۱۰^{c}	۰/۵۴۵±۰/۰۰۵^{d}	۰/۶۸۵±۰/۰۰۵^{a}
۱۶:۰	پالمتیک	۲۹/۵۰۰±۱/۵۰۰^{b}	۳۲/۲۰۰±۰/۳۰۰^{a}	۲۹/۵۰۰±۰/۵۰۰^{b}	۳۰/۹۳۰±۰/۴۷۰^{ab}
۱۶:۱	پالمیتولئیک	۰/۶۲۵±۰/۰۱۵^{a}	۰/۶۴۰±۰/۰۶۰^{a}	۰/۶۱۵±۰/۰۱۵^{a}	۰/۵۵۰±۰/۰۱۰^{b}
۱۸:۰	استئاریک	۶/۷۷۵±۰/۱۲۵^{b}	۷/۰۸۵±۰/۱۸۵^{a}	۷/۱۶۰±۰/۰۴۰^{a}	۷/۵۹۵±۰/۰۰۵^{a}
۱۸:۱ω۹	اولئیک	۳۳/۷۰۰±۰/۱۲۰^{a}	۳۱/۴۸۰±۰/۱۲۰^{c}	۳۲/۶۰۰±۰/۱۲۰^{b}	۳۲/۳۵۰±۰/۱۲۰^{b}
۱۸:۲ω۶	لینولئیک	۲۴/۸۲۰±۰/۲۷۰^{b}	۲۵/۲۰۰±۰/۸۰۰^{ab}	۲۶/۰۰۰±۰/۰۰۰^{a}	۲۴/۶۳۰±۰/۱۷۰^{b}
۱۸:۳ω۳	α-لینولنیک	۰/۱۶۰±۰/۰۱۰^{a}	۰/۱۶۶±۰/۰۰۱^{a}	۰/۱۶۵±۰/۰۰۵^{a}	۰/۱۶۵±۰/۰۱۰^{a}
۱۸:۳ω۶	γ-لینولنیک	۲/۵۴۵±۰/۰۵۵^{b}	۲/۷۸۵±۰/۰۸۵^{a}	۲/۸۰۵±۰/۰۹۵^{a}	۲/۷۳۵±۰/۰۶۵^{a}

* میانگین‌هایی که در یک ستون با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند، به‌طورمعنی‌دار با یکدیگر متفاوت هستند ($p<۰/۰۵$).

جدول ٥- میانگین و انحراف معیار پارامترهای L*، a*، b* و ΔE* در کلوچه‌های محتوی مقادیر مختلف اسپیرولینا پلاتنسیس در طی سه ماه نگهداری

اسپیرولینا‌پلاتنسیس وزنی/وزنی(درصد)	L*	a*	b*	ΔE*
۰	۷۹/۰۶±۲/۴۹^{a}	۵/۶۳±۲/۰۷^{a}	۲/۸۵±۰/۳۵^{a}	۵/۱۶۸۱±۳/۵۳^{a}
۰/۵	۶۱/۲۹±۲/۸۷^{b}	-۳/۳۵±۱/۳۴^{b}	۲/۰۰±۰/۰۰^{b}	۲/۶۳±۲/۳۸^{b}
۱	۵۴/۱۱±۲/۱۵^{c}	-۹/۲۰±۱/۸۲^{c}	۱/۸۵±۰/۳۵^{c}	۳/۷۳±۱/۸۰^{b}
۱/۵	۵۲/۴۰±۱/۶۹^{d}	-۹/۳۴±۱/۹۹^{c}	۱/۹۰±۰/۶۲^{bc}	۲/۹۷±۲/۲۶^{b}

*در هر ستون، بین مقادیر با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد ($p<۰/۰۵$).

جدول ٦ - روند تغییرات سفتی بافت در کلوچه‌های محتوی مقادیر مختلف اسپیرولینا پلاتنسیس در طی سه ماه نگهداری

اسپیرولینا‌پلاتنسیس وزنی/وزنی(درصد)	پس از پخت	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته هشتم	هفته دوازدهم
۰	۰/۸۹۰۰^{edc}	۰/۶۸۸۳^{defg}	۰/۷۰۰۰^{defg}	۰/۸۲۱۷^{cdef}	۰/۷۵۰۰^{cdefg}	۰/۸۱۰۰^{cdef}	۱/۱۸۱۷^{ab}
۰/۵	۰/۷۳۸۳^{cdefg}	۰/۶۹۵۰^{defg}	۰/۸۷۷۳^{cde}	۰/۶۰۵۰^{efg}	۰/۹۱۱۷^{cd}	۰/۸۵۰۰^{cdef}	۱/۳۱۸۳^{a}
۱	۰/۸۵۵۰^{cdef}	۰/۷۶۲۰^{cdefg}	۰/۵۰۶۷^{g}	۰/۶۰۰۰^{efg}	۰/۸۲۱۷^{cdef}	۰/۸۵۶۷^{cdef}	۱/۰۰۵۰^{bc}
۱/۵	۰/۵۶۰۰^{fg}	۰/۷۳۳۳^{cdefg}	۰/۵۶۵۰^{fg}	۰/۶۶۱۷^{defg}	۰/۶۸۸۳^{edgf}	۰/۶۳۸۳^{defg}	۰/۷۲۱۷^{cdefg}

۳-۲-۲-اثر زمان نگهداری

مطابق ستون پنجم جدول ۱ با افزایش میزان ریزجلبک در فرمولاسیون کلوچه‌ها شاخص ΔE^* (تغییرات رنگ در طی دوره نگهداری) در کلوچه ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد به ترتیب ۵۰/۹۶، ۷۲/۲۸ و ۵۷/۵۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد ($p<۰/۰۵$). کاهش معنی‌دار شاخص ΔE^* در کلوچه‌های ریزجلبکی در مقایسه با شاهد بیانگر افزایش پایداری رنگ کلوچه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد بود، در حالی که بین نمونه‌های محتوی ریزجلبک از این لحاظ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p<۰/۰۵$) (جدول ۵). اصلی‌ترین عامل پایداری رنگ در کلوچه‌های ریزجلبکی، روند کند اکسیداسیون رنگ‌دانه‌های ریزجلبک به علت حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است (۱۲). در واحدهای تحقیق و توسعه، تغییر رنگ فراورده‌های غذایی و رسیدن به رنگ‌های پایدار برای تولید محصولات نوین دارای اهمیت زیادی است و اسپیرولینا پلاتنسیس با دارا بودن رنگدانه اصلی کلروفیل a و رنگدانه ثانویه فیکوبیلی‌پروتئین می‌تواند به عنوان یک ماده رنگی طبیعی سبز رنگ با ماندگاری بالا مفید واقع گردد (۱۷).

۳-۳-آزمون بافت

۳-۳-۱-اثر افزودن ریزجلبک

مقایسه میانگین نرمی بافت کلوچه‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد، اگرچه در برخی موارد با افزایش مقدار ریزجلبک اندکی تمایل به نرمی بافت در کلوچه‌های ریزجلبکی در مقایسه با کلوچه کنترل وجود دارد، اما این کاهش میزان سفتی بافت معنی‌دار نیست ($p<۰/۰۵$). مهم‌ترین عوامل موثر بر بافت کلوچه، میزان رطوبت و فعالیت آبی است که تا حد زیادی تحت تأثیر برهمکنش گروه‌های هیدروکسیل موجود در ماتریکس قرار دارند(۸). ذرات بزرگ ریز جلبک اسپیرولیناپلاتنسیس، موجب ناپیوسته شدن شبکه خمیر و ترد شدن بافت کلوچه می‌شوند. برخلاف سایر ریزجلبک ها، سلول‌های پروکاریوت اسپیرولینا پلاتنسیس فاقد دیواره سخت سلولی هستند که به جذب سریع آب توسط محتویات سلولی آن به خصوص پروتئین‌ها منجر می‌شود. در واقع مولکول های پروتئینی اسپیرولینا پلاتنسیس به سبب دارا بودن خاصیت آب دوستی بر سر جایگاه‌های اتصال با آب با مولکول‌های نشاسته به رقابت می‌پردازند که این امر منجر به ناپایداری مکانیسم ژلاتینه شدن نشاسته و به تأخیر افتادن آن می‌شود (۶).

۳-۳-۲-اثر زمان نگهداری

بررسی روند تغییرات سفتی بافت هر یک از تیمارها در طی دوره نگهداری نشان داد بافت کلوچه‌های اسپیرولینا پلاتنسیس در سطح ۱/۵ درصد در طی دوره سه ماهه نگهداری به خوبی حفظ شده بود و در فاصله هفته اول تا هفته دوازدهم نگهداری تغییر معنی داری پیدا نکرده بود، درحالی‌که بافت کلوچه‌های کنترل، ۰/۵ و ۱/۰ درصد ریزجلبک به طور معنی‌داری سفت‌تر شده بود ($p<۰/۰۵$). به نظر می‌رسد در طی نگهداری کلوچه، کلوئیدهای آب دوست موجود در اسپیرولینا پلاتنسیس، موجب کاهش از دست رفتن محتوی رطوبت در نان کلوچه می‌شوند. به عبارت دیگر، مولکول‌های پروتئینی اسپیرولینا پلاتنسیس در طی نگهداری یک اثر ضد بیاتی از خود نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از این ریزجلبک در تولید کلوچه، زمان ماندگاری محصول افزایش می‌یابد.

به منظور اندازه گیری و مقایسه هم زمان اثر میزان ریزجلبک مورد استفاده زمان نگهداری بر بافت کلوچه، از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. در واقع کلیه تیمارها با هم مقایسه شدند. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده‌ی معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارهای مختلف در زمان یکسان است ($p<۰/۰۵$). حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده‌ی معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارهای یکسان در زمان‌های مختلف است ($p<۰/۰۵$).

٤- نتیجه‌گیری

با استفاده از سطح ۱/۵ درصد ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس در تولید کلوچه صنعتی علاوه بر ایجاد رنگ سبز پایدار و ویژگی‌های بافتی قابل قبول، می‌توان محصولی با کیفیت تغذیه‌ای مطلوب تولید کرد. با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات غذایی فراسودمند، پذیرش هرچه بیشتر مصرف غذاهای ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس در جهان، هزینه‌های پایین تولید و محتوی تغذیه‌ای بالای این ریزجلبک، تحقیق و توسعه در این زمینه به منظور افزایش کاربرد آن در صنعت غذای ایران ضروری به نظر می‌رسد.

۵- منابع

۱- مریدی گ، فتحی م.۱۳۸۸. مروری بر وضعیت سوء تغذیه کودکان زیر ۵ سال در ایران، *فصلنامه پرستاری و مامایی* (دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی). سال نوزدهم. شماره ۶۴، ص ۴۷.

۲- سیاری ع، شیخ الاسلام ر، نقوی م، کلاهدوز ف، عبداللهی ز.۱۳۷۸. بررسی مصرف تنقلات کم ارزش در کودکان زیر ۳ سال مناطق شهری و روستایی کشور. *پنجمین کنگره تغذیه*، تهران، ایران.

۳- مشایخ م، محمودی م، انتظاری م. ۱۳۸۶. بررسی اثر غنی سازی با آرد سویای بدون چربی بر ویژگی‌های حسی و بیولوژیکی نان تافتون. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*. سال دوم. شماره سوم، ص۷۳-۸۰.

۴- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵. کلوچه- ویژگی‌ها. استاندارد ملی ایران، شماره۲۵۵۴، تجدید نظر دوم.

5- Approved methods of American Association Cereal Chemists 46-12.01, 40-70.01, 58-18.01.

6- Batista, A., Nunes, M., Raymundo, A., Gouveia, L., Sousa, I., Cordobes, F. 2010. Microalgae biomasss interaction in biopolymer gelled systems. *Food Hydrocolloids*, 25: 817-825.

7- Belay A. 2004. New scientific developments in the health benefits of Spirulina (Arthrospira): phycocyanin and its potential health benefits, *J Nutritional Sciences*, 7(3):165-173.

8- Danesi, E., Navacchi, M., Takeuchi, K., Frata, M., Carlos, J., Carvalho, M. 2010. Application of *Spirulina platensis* in protein enrichment of Manico based bakery products. *Journal of Biotechnology*, 150: 311.

9- Deng R. 2010. Hypolipidemic, antioxidant, and antiinflammatory activities of microalgae *Spirulin*a, *J Cardiovascular Therapeutics*, 28:33-45.

10- Federal register, Code of Federal Regulations (21 CFR sec.170.36), 1997; 62(74), FR18937.

11- Fradique, M., Batista, A., Nunes, M., Gouveia, L., Bandarra, N, 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.

12- Gouveia, L., Coutinho, C., Mendonca, E., Batista, A., Sousa, I., Bandarra, N., Raymundo, A. 2008a. Functional biscuits with PUFA-ω3 from *Isochrysis galbana*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88:891-896.

13- Gouveia, L., Batista, A., Raymundo, A., Bandarra, N. 2008b .Spirulina maxima and Diacronema vlkianum microalgae in vegetable gelled desserts. *Journal of Nutrition & Food Science*, 38 (5): 492 –501.

14- Gouveia, L., Batista, A., Miranda, A., Empis, J., Raymundo, A. 2007. *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies . *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8:433-436.

15- Gouveia, L., Raymundo, A., Batista, A., Sousa, I., Empis, J. 2005. *Chlorella vulgaris* and *Haematococcus pluvialis* biomass as colouring and antioxidant in food emulsions. *Journal of European food research and technology*,222:3-4.362-367.

16- Guarda, A., Rosell, C., Benedito, A., Galotto, M. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agent. *Journal of Food Hydrocolloids*,18:241-247.

17- Papadopoulos, K. 2008. Microalgae in novel food products in: Food chemistry research developments. Nova Science Publishers. New York, pp.1-36.

18- Powell, R., Nevels, E., McDowell, M. 2011. Algae feeding in human. *Journal of Nutrition* ; 75:7-12.