بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماکارونی غنی شده با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس

سید صابر مستولی‌زاده [a*]، یزدان مرادی [b]، محمد صدیق مرتضوی [c]، عباسعلی مطلبی [d]، منصوره قائنی [e]

[a] *دانش آموخته دکترای تخصصی فرآوری محصولات شیلاتی، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، بندرعباس، ایران.*

[b] *دانشیار پژوهشی موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، ایران.*

[c] *دانشیار پژوهشی پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، بندرعباس، ایران.*

[d] *استاد تمام موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، ایران.*

[e] *استادیار گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۶/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷

چکیده

مقدمه: اسپیرولینا پلاتنسیس(*Spirulina platensis*) ریزجلبک سبز- آبی با محتوای مواد مغذی منحصر به فرد و دارای اثرات تغذیه‌ای و درمانی متعددی می‌باشد که در غنی سازی فرآورده‌های غذایی مختلف به کار گرفته شده است. اطلاعات درباره غنی‌سازی آرد گندم با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس جهت تولید ماکارونی بسیار اندک است. در این مطالعه، اثر افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا به ماکارونی و ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکی آن را ارزیابی نمودیم.

مواد و روش‌ها: اثر افزودن پودر میکروجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح صفر (شاهد)، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی بر مقدار پروتئین، چربی، کربوهیدرات، انرژی کل و آهن توسط روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. آزمون‌های فیزیکی نمونه‌ها شامل ارزیابی رنگ و بافت دستگاهی به ترتیب توسط دستگاه رنگ‌سنج و دستگاه بافت سنج انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزهای فیزیکوشیمیایی با استفاده از نسخه ۱۴ نرم‌افزار MINITAB و روش آنالیز واریانس یک طرفه(*Anova*) و آزمون چند دامنه‌ای Tukey انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که سطوح مختلف پودر میکروجلبک اسپیرولینا تاثیر معنی‌داری بر پارامترهای شیمیایی ماکارونی داشت ($p<0.05$). همچنین اثر متقابل سطوح مختلف پودر ریز جلبک بر شاخص رنگ ماکارونی معنی‌دار بود ($p<0.05$) ولی بر شاخص بافت معنی‌دار نبود ($p>0.05$).

نتیجه‌گیری: با افزودن ۰/۲۵ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس به ماکارونی، ضمن دستیابی به محصول غنی شده، ارزش غذایی و ویژگی‌های فیزیکی آن بهبود یافت. همچنین افزودن میکروجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به ماکارونی، تولید محصول جدید به‌عنوان یک غذای فراسودمند را به همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: *ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، غنی سازی، غذای فراسودمند، ماکارونی*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: s.mostolizadeh@yahoo.com

مقدمه

در حالت طبیعی گندم منبع خوبی از ویتامین‌های تیامین، ریبوفلاوین، توکوفرول و نیاسین و عناصر آهن و روی است، اما به دلیل تمرکز این مواد در سبوس، طی پروسه آسیاب، مقادیر زیادی از آنها از بین می‌رود. ارزش غذایی ماکارونی بر حسب ترکیبات نوع گندم مصرفی و یا مواد افزودنی موجود در فرمول تولید آن، تغییر می‌یابد. عموما اختلافاتی که در ترکیبات گندم‌ها و یا تکنیک‌های مختلف آسیابانی وجود دارد، تاثیر چندانی در ارزش غذایی فرآورده‌ها ندارد و اختلافات عمده بین فرآورده‌های مختلف ماکارونی ناشی از مصرف موادی نظیر تخم مرغ، اسفناج، گوجه‌فرنگی، پروتئین یا کنسانتره گیاهی، فرآورده‌های شیری و همچنین ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد. در این محصولات میزان سدیم، چربی و اسیدهای چرب اشباع به مقدار کمی وجود دارد و نیز به واسطه مقادیر کلسترول کم و کربوهیدارت بالا، مصرف این گونه فرآورده‌ها توصیه می‌گردد. به هرحال فرآورده‌های ماکارونی مانند هر منبع غذایی دیگر، به تنهایی قادر نیست که تمامی نیازهای تغذیه‌ای انسان را تامین نماید (Kadam & Prabhasankar, 2010). از انواع آرد گندم جهت تولید ماکارونی و محصولات خمیری استفاده می‌شود، اما سمولینای گندم دوروم به علت کیفیت و کمیت پروتئینی و خواص رئولوژیکی مطلوب در حالت خمیری، ایجاد رنگ و کیفیت پخت مناسب در ماکارونی، به عنوان بهترین ماده اولیه در سراسر دنیا شناخته شده است(Park *et al*., 2000).

علاوه بر عوامل تولید، تعداد محدود مواد اولیه مورد استفاده، ماکارونی را یک بستر مناسب برای بررسی پتانسیل تغذیه ای و تکنولوژیکی افزودن مواد اولیه کرده است که ارزش غذایی بالاتری دارند.استفاده از ترکیباتی مانند طعم دهنده ها، رنگ ها، ویتامین ها، مواد پروتئینی، امولسیفایرها و به طور کلی مواد با ارزش تغذیه‌ای بالاتر جهت بهبود رنگ، طعم، ارزش غذایی، بافت، ویژگی‌های حسی وغیره محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند (Tarzi *et al*., 2012).

اسپیرولینا پلاتنسیس ریزجلبک سبز- آبی است که به علت کیفیت تغذیه‌ای منحصر به فرد به عنوان ماده غذایی کامل شناخته شده است. مقدار زیاد پروتئین (۶۰ تا ۷۰ درصد وزن خشک)، مقدار کم چربی، مقادیر بالای ویتامین‌ها بویژه ویتامین B_{12}، آهن، وجود رنگدانه فایکوسیانین و اسید چرب ضروری گامالینولنیک اسید، این ریزجلبک را به عنوان ماده غذایی با ارزش تغذیه ای بالا معرفی می کند .مطالعات پزشکی متعددی در زمینه اثرات درمانی اسپیرولینا همچون کاهش میزان کلسترول خون، محافظت در برابر برخی سرطان‌ها، پیشگیری از ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی و افزایش مقاومت سیستم ایمنی بدن صورت پذیرفته است(Belay *et al*., 1993). تاکنون از پودر زیست توده اسپیرلینا پلاتنسیس به منظور تولید فراورده‌های غذایی مختلف مانند سوپ، سس، اسنک، نوشیدنی، شکلات، آبنبات، بیسکوئیت، نان، کیک و آردغنی شده استفاده گردیده است (Gouveia *et al*., 2008). همچنین در کشور آلمان، تعدادی از کارخانه‌های تولیدکننده فراورده‌های غذایی از ریزجلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها در فراورده‌هایی همچون ماست و نوشیدنی‌های مختلف استفاده کرده‌اند (Pulz & Gross, 2004). ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس منبع ارزان قیمت و غنی از پروتئین، آهن، ویتامین ب۱۲ و اسید چرب گاما لینولنیک است (Kumudha *et al*., 2010).

از سال‌ها قبل فواید اسپیرولینا به دلیل پروتئین بالا، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه ضروری و اسیدهای چرب ضروری آن شناخته شده است.۶۰ تا ۷۰ درصد ماده خشک اسپیرولینا از پروتئین تشکیل شده است و منبع غنی از ویتامین‌ها مخصوصاً B_{12} (که معمولا در بافت‌های جانوری است) و پیش‌ساز ویتامین A (بتاکاروتن) و مواد معدنی مخصوصاً آهن است. حاوی مقدار کمی اسید گاما لینولنیک (GLA) است و همچنین شامل ترکیبات شیمیایی گیاهی مفید دیگری است که برای سلامتی مفید می‌باشد. اسپیرولینا در سراسر جهان کشت داده می‌شود و به عنوان مکمل در رژیم غذایی انسان بصورت قرص، پودر و یا تکه‌های ورقه‌ای و مکمل غذایی در آبزی پروری و صنایع مرغداری بکار می‌رود (Belay, 2002).

در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۹، ۵۵۰کودک دچار سوءتغذیه با ۱۰ گرم در روز پودر اسپیرولینا تغذیه شدند، بدون اینکه هیچ عوارض جانبی مشاهده شود. ده‌ها نمونه از مطالعات پزشکی انسانی به همین ترتیب اثر مضری نسبت به مصرف مکمل اسپیرولینا را ارائه نکرده است. سازمان غذا

و داروی امریکا (FDA) واژه GRAS (به‌طورکلی به عنوان امن و سالم به رسمیت شناخته شده) را به اسپیرولینای تهیه شده در دو شرکت آمریکایی اهدا نموده است (Carlson, 2011).

Kadam و Prabhasankar (2010) اعلام کردند که ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف پاستا نشان داد که نمونه‌های حاوی پودر جلبک دریایی Wakame بیش از ۱۰ درصد امتیاز بالاتر پذیرش را توسط ارزیابان حسی دریافت کرده‌اند. با مصرف اسپیرولینا همچنین مشاهده شده است از آسیب‌های ناشی از سموم موثر بر قلب، کبد، کلیه‌ها، نورون‌ها، چشم‌ها، تخمدان، DNA و بیضه‌ها جلوگیری می‌کند (Chamorro-Cevalos *et al*., 2007).

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه‌ی بررسی تأثیر افزودن نسبت‌های متفاوت از گونه‌های مختلف ریز جلبک در محصولات نانوایی انجام شده است. در مطالعه Powell و همکاران (۱۹۶۱) با افزودن مخلوط همگنی از گونه‌های جلبک‌های کلرلا[1] و سنه دسموس[2] به ترکیب نان زنجبیلی، کیک شکلاتی و کلوچه طعم جلبک که مشابه طعم تلخ اسفناج و یا چای سبز است، در همه غذاهای فوق غلبه پیدا کرد و جلبک، رنگ غذایی را که در آن به کار رفته بود را تغییر داد.

Danesi و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که می‌توان به‌منظور غنی‌سازی پروتئین در محصولات نانوایی از ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس استفاده کرد، بدون آنکه تغییر قابل ملاحظه‌ای در بافت، ضریب انبساط، درصد ترکیب و پذیرش حسی محصول ایجاد شود.

بررسی منابع نشان دهنده آن است که اطلاعات درباره غنی‌سازی آرد گندم با پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس برای تولید ماکارونی بسیار اندک است. اسپیرولینا پلاتنسیس جلبکی تک سلولی، فتوسنتز کننده، دارای فیلامنت‌های فنر مانند و متعلق به خانواده سیانوباکترهاست که به طور طبیعی در دریاچه‌های گرمسیر و قلیایی آمریکا، مکزیک، آسیاو آفریقای مرکزی رشد می‌کند (Belay, 2004).

ماکارونی محصولی است که پس از طی فرآیندهای مختلف شامل: ورز دادن سمولینا با آب، فرایند اکستروژن، پرس از طریق قالب‌ها و در نهایت خشک کردن به دست می‌آید. عوامل مختلفی در فرآیندها، کیفیت محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد مانند: زمان اختلاط و سرعت چرخش مارپیچ ها، کنترل دمای اکستروژن و قالب ها، تنظیم مناسب فشار، شرایط خشک کردن و ... (*Tarzi et al*., 2012).

در تحقیق حاضر امکان غنی سازی ماکارونی در سطوح صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی/ وزنی با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس مورد بررسی قرار گرفت و اثر متغییر میزان پودر ریزجلبک به کار رفته بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ماکارونی تعیین شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: در این تحقیق برای تهیه نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها از آرد سمولینا شرکت آرد تک کرج با مقدار گلوتن مرطوب۲۶درصد و رطوبت۱۴درصد استفاده شد.

آماده‌سازی پودر ریزجلبک اسپیرولینا: پودر ریزجلبک اسپیرولینا از شهرک علم و فن‌آوری گیلان تهیه گردید. پودر مورد نظر در بسته‌بندی از جنس پروپیلن دارای لایه آلومینیومی و درشرایط خشک و خنک و بدور از نور خورشید به کارخانه ماکارونی مک منتقل شد.

نحوه آماده سازی نمونه‌ها و تولید ماکارونی: برای تهیه ماکارونی ترکیب استاندارد کارخانه، شامل آرد سمولینا، گلوتن و آب استفاده شد. پودر ریزجلبک در پنج مرحله مجزا و در پنج سطح صفر (شاهد)، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی به ترکیب استاندارد اضافه و محصول آزمایشی تولید گردید (Fradique *et al*., 2010). همه نمونه‌ها در خط تولید شرکت مواد غذایی خوشنام (ماکارونی مک) تهیه شدند.از خط کوتاه (فرمی) این کارخانه که ساخت شرکت فاوا (FAVA) ایتالیا بود، استفاده شد .ظرفیت ورودی این خط تولید ماکارونی ۱/۵ تن آرد در ساعت می‌باشد. ابتدا نمونه شاهد متشکل از آرد سمولینا، آب، گلوتن و بتاکاروتن تولید گردید و سپس بر اساس درصد مورد نظر، پودر ریز جلبک اسپیرولینا در درصدهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی به ترکیب مواد اولیه اضافه گردید. پس از اختلاط مواد، خمیر حاصل با فشار از دهانه قالب عبور داده شد و توسط تیغه‌ای که روی دهانه خروجی قالب نصب بود، به اندازه‌های یکسان بریده شد. سپس ماکارونی‌های برش خرده، وارد پیش خشک‌کن شدند. و در نهایت به خشک

[1] *Chlorella*
[2] *Scenedesmus*

کن اصلی انتقال یافتند. در این خشک‌کن دما ۷۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ماکارونی این مرحله را در مدت زمان ۲ ساعت و ۴۸ دقیقه سپری کرده و به رطوبت مطلوب ۱۲درصد رسیدند. ماکارونی‌ها پس از عبور از مرحله سردکن، از سیلوهای ذخیره‌سازی توسط نوارنقاله به دستگاه توزین، انتقال و در اوزان ۵۰۰گرمی در بسته‌هایی از جنس پروپیلن، بسته‌بندی شدند. پس از تولید محصول نهایی، محصول مورد نظر آماده جهت انتقال به انبار و در شرایط انبارداری کارخانه، ذخیره گردید.

- روش انجام آزمون

آزمون‌های شیمیایی: پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و نمونه‌های ماکارونی به دست آمده از لحاظ میزان پروتئین با روش میکروکجلدال بر اساس روش AACC شماره 46-12.01 و با استفاده ضریب ۶/۲ اندازه‌گیری شد (Batista *et al.*, 2011). مقدار چربی توسط روش سوکسله بر اساس روش AACC شماره 30-10.01، کربوهیدرات نمونه‌ها بر اساس روش AOAC (۲۰۰۵) و انرژی کل نمونه‌ها بر اساس روشLemes و همکاران (۲۰۱۲) اندازه‌گیری شد. میزان آهن بر اساس روش AACCشماره40-70.01 اندازه‌گیری شد.

آزمون‌های فیزیکی: تست ارزیابی رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه هانتر لب مدل DP-9000 ساخت کشور آمریکا که قبل از استفاده با سرامیک سفید و سیاه کالیبره گردیده بود، بعمل آمد. آزمون در دمای آزمایشگاه و با استفاده از راهنمای ارزیابی رنگ مواد غذایی صورت پذیرفت بدین شکل که از هر فرمولاسیون سه تکرار به صورت پخته و با محیط هم دما شده و آماده رنگ سنجی شدند. رنگ نمونه‌ها توسط بازتاب روی رنگ سنج هانترلب با شاخص‌های رنگی*L (روشنایی)، *a (قرمزی) به همراه *b (زردی) اندازه‌گیری شد(Fradique *et al.*, 2010). تست ارزیابی سختی بافت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بافت‌سنج ساخت کشور انگلستان از نوع HUONSFIELD - H5KS که از قبل به تیغه STRAIGHT – EDGE BLADE با مشخصات ابعادی ۳ میلی متر ضخامت و ۷ سانتی متر پهنا مجهز شده بود، از نظر ویژگی سختی انجام شد (Smewing, 1997). نمونه‌های ماکارونی پخته شد و سپس با دمای محیط آزمایشگاه که در حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد بود سرد گردیدند. سپس بخش مرکزی ماکارونی‌ها در قطعات ۲/۵ در ۵ سانتی‌متر بریده شد و از نمونه‌های مختلف در سه تکرار آزمون انجام شد.

- تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایشات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام و تجزیه تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزهای شیمیایی با استفاده ازنسخه ۱۴ نرم‌افزار MINITAB و روش آنالیز واریانس یک طرفه (Anova) و آزمون چند دامنه ایTukeyانجام شد.

یافته‌ها

ترکیب شیمیایی پودر ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و آرد سمولینا در جدول ۱ ارائه شده است.نتایج میانگین آزمون‌های شیمیایی ماکارونی غنی شده با ریز جلبک در سطوح صفر (شاهد) ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی/وزنی در جدول ۲ ارائه شده است.

تاثیر بر پروتئین: نتایج تحلیل آماری نمونه‌ها نشان داد که در خصوص شاخص پروتئین بین نمونه‌های حاوی اسپیرولینا و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < ۰/۰۵$). بر اساس آزمون توکی نمونه چهارم بیشترین مقدار پروتئین و نمونه شاهد کمترین مقدار پروتئین را از خود نشان دادند. این تفاوت بصورت کاملا معنی‌دار در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و آرد سمولینا

	پروتئین	چربی	کربوهیدرات	آهن
	گرم در ۱۰۰ گرم	گرم در ۱۰۰ گرم	گرم در ۱۰۰ گرم	میلی‌گرم در ۱۰۰گرم
آرد سمولینا	۹/۸	۵	۵۴	۲۰۹۶۰
اسپیرولینا پلاتنسیس	۴۵	۶	۲۵	۱۲۵۰۰۰

جدول ۲- ترکیب شیمیایی پاستای غنی شده با سطوح مختلف اسپیرولینا پلاتنسیس

	پروتئین گرم در ۱۰۰ گرم	چربی گرم در ۱۰۰ گرم	کربوهیدرات گرم در ۱۰۰ گرم	انرژی کل کیلوکالری در۱۰۰گرم	آهن میلی‌گرم در ۱۰۰گرم
نمونه (شاهد)	۱۰/۱۰ ± ۰/۱۴^{b}	۰/۲۷ ± ۰/۰۲^{b}	۷۹/۷۸±۰/۵۸ ^{a}	۴۱۳/۴۶ ± ۱/۳۶ ^{a}	۲۱/۵۳±۰/۸۱ ^{d}
نمونه۱	۱۰/۹۵ ± ۰/۰۲^{ab}	۰/۸۵ ± ۰/۰۴^{a}	۷۹/۲۷±۰/۴۷ ^{a}	۴۰۹/۳۰ ± ۰/۸۵ ^{ab}	۲۸/۸۶±۰/۲۸^{c}
نمونه۲	۱۱/۰۵ ± ۰/۰۷^{ab}	۰/۸۶ ± ۰/۰۱^{a}	۷۷/۷۳±۰/۰۹ ^{b}	۴۰۸/۷۹ ± ۰/۰۱^{ab}	۲۸/۳۰±۰/۱۵^{c}
نمونه۳	۱۰/۹۹ ± ۰/۰۱^{ab}	۰/۸۵ ± ۰/۰۲^{a}	۷۷/۶۱±۰/۰۲ ^{b}	۴۰۷/۰۳ ± ۱/۲۶ ^{ab}	۳۲/۹۹±۱/۳۳ ^{b}
نمونه۴	۱۱/۴۵ ± ۰/۶۳^{a}	۰/۷۸ ± ۰/۰۲^{a}	۷۷/۳۲±۰/۱۲ ^{b}	۴۰۰/۹۴± ۱/۱۸ ^{b}	۳۹/۲۹±۰/۰۷ ^{a}

* در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از آزمون توکی تفاوت معنی دار ندارند.

تاثیر بر چربی: در خصوص شاخص چربی بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری و آزمون توکی، بین میانگین نمونه‌های حاوی اسپیرولینا و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). بر این اساس در همه نمونه‌ها، افزودن پودر میکرو جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، باعث افزایش مقدار چربی محصول نهایی تولید شده گردید(جدول ۲).

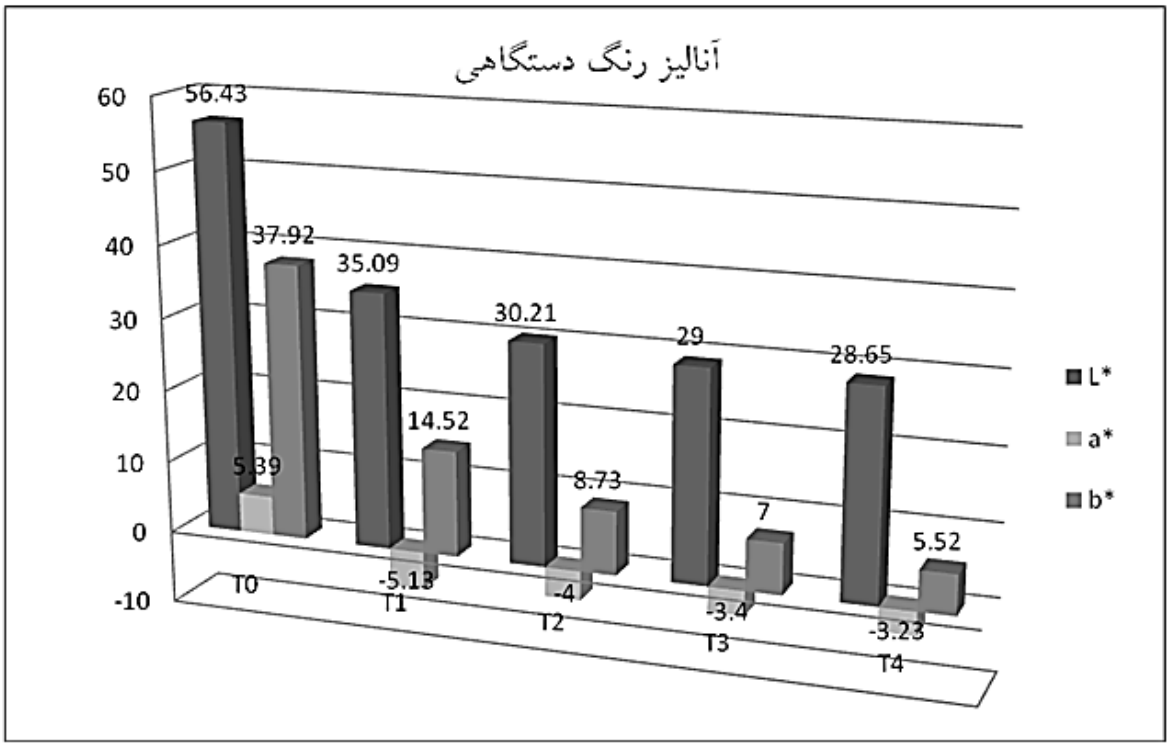
تاثیر بر کربوهیدرات: بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری در خصوص شاخص کربوهیدرات، بین نمونه‌های حاوی اسپیرولینا و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P < ۰/۰۵). بر این اساس در همه نمونه‌ها به غیر از نمونه اول، افزودن پودر میکرو جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، باعث کاهش مقدار کربوهیدرات محصول نهایی تولید شده گردید، به این صورت که بر اساس آزمون توکی نمونه‌های چهارم، سوم و دوم بیشترین اختلاف معنی‌دار و در نهایت نمونه اول کمترین اختلاف معنی‌دار را با نمونه شاهد از خود نشان دادند (جدول ۲).

تاثیر بر انرژی کل: بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری در خصوص شاخص انرژی کل، بین نمونه‌های حاوی اسپیرولینا و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P < ۰/۰۵). بر اساس آزمون توکی بیشترین اختلاف معنی‌دار بین نمونه شاهد و نمونه چهارم بود و پس از آن بین نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۲).

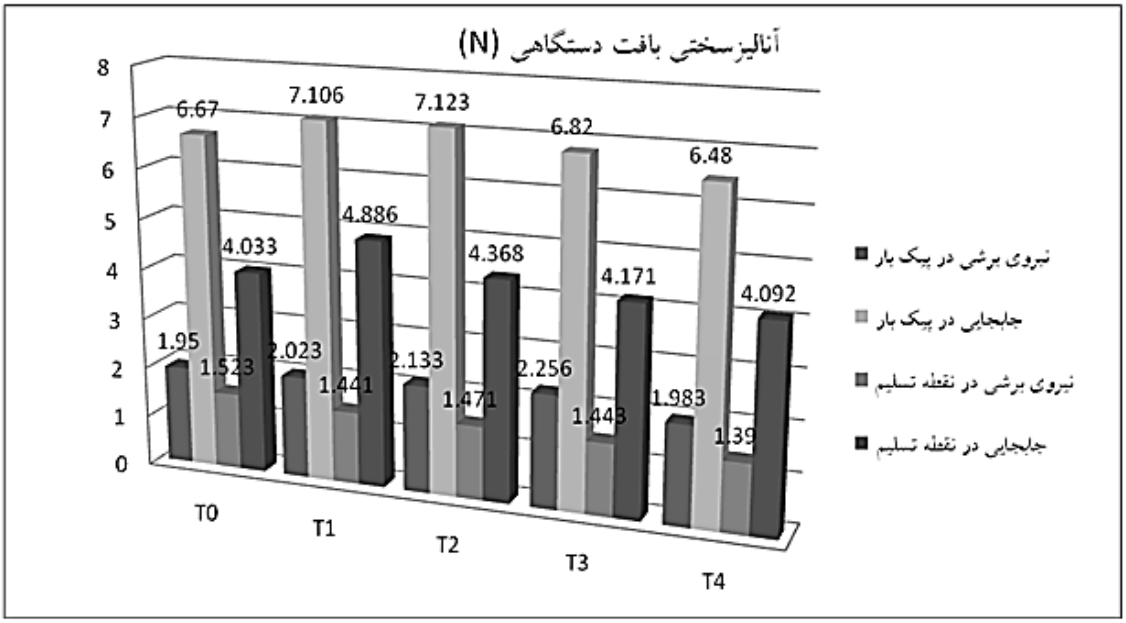
تاثیر بر آهن: بر اساس نتایج حاصل از تحلیل آماری در خصوص شاخص آهن، بین نمونه‌ها و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P < ۰/۰۵). بر این اساس در همه نمونه‌ها، افزودن پودر میکرو جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، باعث افزایش مقدار آهن محصول نهایی تولید شده گردید به این صورت که نمونه چهارم بیشترین اختلاف معنی‌دار و پس از آن نمونه سوم و در نهایت نمونه اول و دوم بیشترین اختلاف معنی‌دار را با نمونه شاهد از خود نشان دادند (جدول ۲).

نتایج ارزیابی رنگ دستگاهی نمونه‌ها: نتایج تست ارزیابی حسی نمونه‌ها روی شاخص‌های رنگ در نمودار ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج آماری میانگین نمونه شاهد با سایر نمونه‌ها از نظرشاخص *L دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (P<۰/۰۵). بر اساس نتایج آزمون توکی میانگین نمونه شاهد از نظر شاخص *a با میانگین همه تیمارها تفاوت معناداری داشت (P<۰/۰۵). همچنین بر اساس نتایج آزمون توکی میانگین نمونه شاهد از نظر شاخص *b، با میانگین همه تیمارها تفاوت معناداری دارد (P<۰/۰۵) (نمودار ۱).

نتایج ارزیابی بافت دستگاهی نمونه‌ها: نتایج تست ارزیابی بافت دستگاهی نمونه‌ها در نمودار ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج آماری از نظرشاخص بافت دستگاهی، نمونه شاهد با سایر نمونه‌ها از خود اختلاف معنی‌دار نشان نداد (P > ۰/۰۵) بنابراین نمونه‌ها از نظر ویژگی سختی با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند (نمودار ۲).



نمودار ۱- نتایج تست ارزیابی رنگ دستگاهی ماکارونی غنی شده با ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس



نمودار ۲- نتایج تست ارزیابی سختی بافت دستگاهی ماکارونی غنی شده با ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس

بحث

به‌طورکلی نتایج آماری بررسی شیمیایی پروتئین موجود در محصول مورد نظر در تحقیق حاضر، نشان داد که میانگین تیمارها از نظر میزان پروتئین موجود تفاوت معنادار داشت به این صورت که تیمارهای حاوی اسپیرولینا پروتئین بیشتری نسبت به تیمار شاهد ارائه نمودند. دلیل این تفاوت می‌تواند مربوط به پروتئین بالای ریزجلبک اسپیرولینا (جدول ۱) باشد که پس از فرآیند غنی سازی باعث افزایش پروتئین محصول نهایی شد. مشابه نتایج پژوهش حاضر و بر اساس تحقیق صالحی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) مقدار

پروتئین در کلوچه غنی‌شده با ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس افزایش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد داشت.

به‌طورکلی نتایج بررسی شیمیایی چربی موجود در محصول مورد نظر در تحقیق حاضر، نشان می‌دهد که میانگین تیمار شاهد از نظر میزان چربی موجود در محصول مورد نظر با میانگین بقیه تیمارها تفاوت معناداری دارد. این نتایج مشابه نتایج *Lemes* و همکاران (۲۰۱۲) می باشد. بر اساس پژوهش *Prabhasankar* و *Kadam* (۲۰۱۰) جایگزینی اجزای پاستا با پودر جلبک *Wakame* باعث بهبود قابل توجه محتویات پروتئین و چربی شد. در تحقیق *Fradique* وهمکاران (۲۰۱۰) مقدار چربی کل پاستاهای دارای جلبک بیشتر از پاستای بدون جلبک گزارش گردید و این اختلاف به صورت معنی دار وجود داشت.

به‌طورکلی نتایج آماری بررسی کربوهیدرات موجود در محصول مورد نظر در تحقیق حاضر، نشان می‌دهد که میانگین تیمار شاهد از نظر میزان کربوهیدرات موجود نسبت به چهار تیمار دیگر متفاوت است. *Fradique* و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود اعلام نمودند که کربوهیدرات بیشتر در تیمار شاهد به دلیل وجود نشاسته بیشتر در محصول می‌باشد ولی در تیمار دارای ریزجلبک اسپیرولینا، سمولینا با ریزجلبک جایگزین می‌شود. افزایش مقدار ریز جلبک اسپیرولینا می‌تواند دلیل کاهش مقدار کربوهیدرات در محصول آزمایشی باشد.این نتایج مشابه نتایج تحقیق *Lemes* و همکاران (۲۰۱۲) و *Fradique* و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد.

به‌طورکلی نتایج آماری بررسی انرژی کل موجود در محصول مورد نظر در تحقیق حاضر، نشان می‌دهد که میانگین تیمار شاهد نسبت به چهار تیمار دیگر متفاوت است. با افزایش مقدار ریز جلبک در محصول تولیدی، مقدار انرژی کل کاهش می‌یابد به گونه‌ای که بیشترین مقدار انرژی کل مربوط به نمونه شاهد و کمترین مقدار انرژی کل مربوط به نمونه چهارم بدست آمد. بنابراین می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که می‌توان از محصول دارای ریزجلبک اسپیرولینا در رژیم‌های غذایی استفاده نمود. نتایج بدست آمده مشابه نتایج تحقیق *Lemes* و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در پژوهش *Fradique* و همکاران (۲۰۱۰)، انرژی کل پاستای بدون ریزجلبک مشابه انرژی کل پاستای دارای ریزجلبک بود.

به‌طورکلی نتایج آماری بررسی شیمیایی آهن موجود در محصول مورد نظر در تحقیق حاضر، نشان می‌دهد که میانگین تیمار شاهد از نظر میزان آهن موجود نسبت به چهار تیمار دیگر متفاوت است و مقدار آهن کمتری دارد. همچنین تیمار چهارم بیشترین میانگین از نظر مقدار آهن موجود در محصول را نسبت به بقیه تیمارها ارائه نمود. این افزایش معنی‌دار به دلیل خاصیت فراسودمندی ریزجلبک اسپیرولینا می‌باشد. اسپیرولینا غنی از آهن می‌باشد (جدول ۱) که پس از افزودن به ماکارونی، باعث غنی سازی آهن در ماکارونی شد. شهبازی زاده و همکاران در سال ۲۰۱۳ نیز اختلاف معنی‌داری میان نمونه‌های غنی‌شده با اسپیرولینا و نمونه شاهد را از نظر میزان آهن بیان نمودند که مطابق نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. این نتایج، مشابه نتایج تحقیق *Mamatha* و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد که آنها توانستند با استفاده از جلبک دریایی انترومورفا کمپرسا در تهیه نوعی اسنک،آهن و کلسیم نمونه‌های غنی شده با جلبک را افزایش دهند.

بر اساس نتایج آماری بدست آمده از رنگ‌سنج، نمونه‌ها به‌ترتیب بر اساس افزایش درصد ریز جلبک اسپیرولینا، سبزتر شدند و تفاوت رنگ به صورت کاملا مشهود معنی‌دار بود. فاکتور رنگ یکی از مهمترین فاکتورهای پذیرش و انتخاب محصول توسط مصرف کننده می‌باشد. تیمار شاهد به دلیل وجود بتاکاروتن، به رنگ زرد بود. افزودن ریزجلبک اسپیرولینا به پاستا مانند افزودن سبزیجات مختلف باعث ایجاد رنگ سبز شد(Fradique *et al.*, 2010) که به نظر می‌رسد به دلیل وجود رنگدانه در ریزجلبک اسپیرولینا می‌باشد. از نظر فاکتور*L تیمار شاهد به سمت روشنی و تیمار چهارم به سمت تیرگی متمایل می‌باشد. از نظر فاکتور *a نیز تیمار شاهد به سمت رنگ قرمز متمایل می‌باشد و تیمار اول به سمت رنگ سبز متمایل می‌باشد. از نظر فاکتور *b نیز تیمار شاهد با به سمت رنگ زرد و تیمار چهارم به سمت رنگ آبی متمایل می‌باشد. بنابر این می‌توان از زیرجلبک اسپیرولینا به عنوان یک رنگ دهنده طبیعی که شیمیایی نیست، برای ماکارونی استفاده کرد و اینگونه نتیجه گرفت که با افزایش مقدار ریزجلبک اسپیرولینا در ماکارونی، رنگ محصول از رنگ سبز کمرنگ به سمت رنگ سبز تیره تغییر رنگ پیدا نمود و رنگ سبز ریز جلبک به پاستا منتقل شده که دلیل آن وجود کلرفیل

در ریزجلبک اسپیرولینا می‌باشد. مشابه همین نتایج در تحقیق *Fradique* و همکاران (۲۰۱۰) که غنی‌سازی محصولات پاستا توسط توده زنده جلبک کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا را بررسی نمودند، ارائه شد. *Lemes* و همکاران (۲۰۱۲) و *Ozyurt* و همکاران (۲۰۱۴) به نتایج مشابه دست یافتند.

بر اساس نتایج بدست آمده از بافت سنجی نمونه‌ها از نظر فاکتور سختی بافت بین نمونه‌های حاوی ریزجلبک اسپیرولینا و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری بدست نیامد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود ریزجلبک اسپیرولینا بر روی خصوصیت فیزیکی بافت از نظر ویژگی سختی ماکارونی تاثیری نداشته و بافت ماکارونی حاوی ریزجلبک اسپیرولینا از نظر ویژگی سختی با ماکارونی شاهد یکسان و بدون تفاوت می‌باشد و به همین دلیل می‌توان به مصرف کننده توصیه نمود. دلیل این عدم تفاوت را می‌توان اینگونه توجیه کرد که پودر ریزجلبک اسپیرولینا با آرد سمولینا در میکسر یکدست شده و خواص فیزیکی و کیفی آرد سمولینا بر خواص پودر ریز جلبک اسپیرولینا غالب گشته و پس از خروج از اکسترودر تثبیت شده است. بر خلاف نتایج بدست آمده، *Lemes* و همکاران (۲۰۱۲) اینگونه ارائه کردند که با افزایش مقدار توده زنده اسپیرولینا در پاستا، خاصیت کششی پاستا افزایش یافت. بر اساس نتایج ارائه شده توسط مرادی در سال ۱۳۹۴ در فاکتور سختی در بافت سنجی، نمونه‌های دارای اسپیرولینا کاهش معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد از خود نشان دادند. *Gouveia* و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از ریزجلبک‌های اسپیرولیناماکسیما و دیاکرونما ویژگی‌های بافتی را در دسرهای ژله‌ای گیاهی بهبود دادند. در پژوهش *Fradique* و همکاران (۲۰۱۰)، غنی‌سازی ماکارونی با دو ریز جلبک کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا ماکسیما انجام شد که افزایش غلظت ریز جلبک (۰/۵ تا۲ درصد) موجب افزایش سختی پاستا شد.

نمونه‌های دارای کمترین مقدار پودر میکروجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس از نظر رنگ به ماکارونی شاهد نزدیک‌تر و از نظر بافت نیز با نمونه شاهد تفاوتی نداشتند، همچنین ماکارونی‌های حاوی اسپیرولینا از نظر ترکیبات شیمیایی از جمله پروتئین و آهن بهبود یافتند. بنابراین با توجه به علاقه زیاد مردم نسبت به غذای ماکارونی و با توجه به افزایش سطح فرهنگ مصرف کنندگان، مردم به سمت استفاده از ماکارونی‌های غنی‌شده و دارای ارزش غذایی بالا تمایل پیدا نموده‌اند زیرا ماکارونی بهترین حامل جهت انتقال فواید مفید جلبک‌ها به‌عنوان یک ماده فراسودند به ذائقه مردم می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در پایان، از نتایج حاصل از پژوهش فوق نتیجه‌گیری می‌شود که افزودن پودر میکروجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس می‌تواند ماکارونی را از نظر ویژگی‌های مورد بررسی بهبود دهد و می‌توان محصولی با کیفیت تغذیه‌ای تولید کرد که باعث حفظ خواص فیزیکی و افزایش ارزش غذایی ماکارونی شود و نیز مورد رضایت و پسند مصرف‌کننده واقع گردد. غنی‌سازی ماکارونی به عنوان محصولی پرمصرف بعد از نان و برنج در سبد غذای خانواده با ریز جلبک اسپیرولینا، می‌تواند باعث انتقال خواص ارشمند این ماده فراسودمند به سبد غذای خانواده و جامعه شود.

سپاسگزاری

از همکاری و همیاری مدیریت محترم و پرسنل عزیز گروه مواد غذایی خوشنام (ماکارونی مک) که در این پژوهش ما را یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نماییم و امیدواریم این پژوهش سرآغازی باشد بر سایر پژوهش‌های کاربردی در صنعت مواد غذایی.

منابع

صالحی فر، م.، شهبازی‌زاده، س.، خسروی، ک. و بهمدی، ه. (۱۳۹۲). بررسی امکان استفاده از پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در تولید کلوچه‌ی صنعتی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، سال هفتم، شماره ۴، صفحات ۷۲-۶۳.

AACC. (2000). Approved methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists (AACC). The American Association of Cereal Chemists. 40-70.01, 46-12.01 and 30-10.01., MN Minnesota St: Paul. MN.The Association.

AOAC. (2005). Association of Official Analytical Chemists(AOAC). Official Methods of Analysis. 18th edn. Washington, D.C., USA.

Batista, A. P., Nunes, M., Raymundo, A., Gouveia, L., Sousa, I., Cordobés, F., Guerrero, A. & Franco, J. (2011). Microalgae biomass interaction in biopolymer gelled systems. Food hydrocolloids, 25(4), 817-825.

Belay, A. (2002). The potential application of Spirulina (Arthrospira) as a nutritional and therapeutic supplement in health management.

Belay, A. (2004). New Scientific Developments in the Health Benefits of Spirulina (A1't11rosp1'ra) 1Phycocyanin and its Potential Health Benefits. Nutritional Sciences, 7(3), 165-173.

Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K. & Shimamatsu, H. (1993). Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. Journal of applied Phycology, 5(2), 235-241.

Carlson, S. (2011). Re: GRAS exemption claim for Spirulina platensis as an ingredient in foods Dear Dr. Carlson, This is to notify you that RFI, Inc. claims that the use of the substance described below (Spirulina platensis) is exempt from the premarket approval requirements of the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act because RFI has determined such use to be.

Chamorro-Cevalos, G., Barrón, B. L. & Vázquez-Sánchez, J. (2007). Toxicologic Studies and Antitoxic Properties of Spirulina in. Spirulina in Human Nutrition and Health, 27.

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.

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(10), 1656-1664.

Gouveia, L., Coutinho, C., Mendonça, E., Batista, A. P., Sousa, I., Bandarra, N. M. & Raymundo, A . (2008). Functional biscuits with PUFA-ω3 from Isochrysis galbana. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(5), 891-896.

Kadam, S. & Prabhasankar, P. (2010). Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. Food Research International, 43(8), 1975-1980.

Kumudha, A., Kumar, S. S., Thakur, M. S., Ravishankar, G. A. & Sarada, R. (2010). Purification, identification, and characterization of methylcobalamin from Spirulina platensis. Journal of agricultural and food chemistry, 58(18), 9925-9930.

Lemes, A. C., Takeuchi, K. P., Carvalho, J. C. M. d. & Danesi, E. D. G. (2012). Fresh pasta production enriched with Spirulina platensis biomass. Brazilian Archives of Biology and Technology, 55(5), 741-750.

Mamatha, B., Namitha, K., Senthil, A., Smitha, J. & Ravishankar, G. (2007). Studies on use of Enteromorpha in snack food. Food Chemistry, 101(4), 1707-1713.

Park, H., Choi, J. & Kim, K. (2000). Docosahexaenoic acid-rich fish oil and pectin have a hypolipidemic effect, but pectin increases risk factor for colon cancer in rats. Nutrition Research, 20(12), 1783-1794.

Powell, R. C., Nevels, E. M. & McDowell, M. E. (1961). Algae feeding in humans. Journal of Nutrition, 75, 7-12.

Pulz, O. & W. Gross (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied microbiology and biotechnology, 65(6), 635-648.

Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. Cereal foods world (USA).

Tarzi, B. G., Shakeri,V. & Ghavami,M. (2012). Quality evaluation of pasta enriched with heated and unheated wheat germ during storage. Advances in Environmental Biology, 1700-1708.