اثر ماکروجلبک‌های *کالرپا سرتولاریودس* (*Caulerpa sertulariodes*) و *گراسیلاریا کورتیکاتا* (*Gracillaria corticata*) بر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی، ماندگاری و حسی نمونه‌های کیک روغنی

مهناز السادات حسنی عطار[۱]، سپیده بهرامی[۲*]، مریم مصلحی شاد[۳]

۱. دانشجوی کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

mahnaz.ha63@gmail.com

۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

sepideh.bahrami@iau.ac.ir

۳. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. Ma.Moslehishad@iau.ac.ir

چکیده

جلبک سبز (*Caulerpa Sertulariodes*) و جلبک قرمز (*Gracillaria Corticata*)، دو گونه متفاوت از جلبک‌های دریایی با ارزش غذایی بالا هستند. در مطالعه حاضر از غلظت‌های مختلف (۰، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد) دو گونه جلبک *C. Sertulariodes* و *G. Corticata* به‌صورت مستقل در نمونه‌های کیک روغنی استفاده گردید. سپس نمونه‌ها از نظر ویژگی‌های حسی، فیزیکی-شیمیایی، خواص آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل تام (TPC)، و همچنین از نظر پایداری اکسیداتیو توسط پارامترهای عدد پراکسید (PV) و شاخص تیوباربیتوریک اسید (TBARS) طی ۳۰ روز دوره نگهداری با فواصل ۱۰ روزه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که نمونه‌های کیک حاوی ۱/۵ درصد پودر ماکروجلبک نسبت به دو غلظت دیگر در تمام پارامترهای ارزیابی از مقبولیت بالاتری برخوردار بودند ($p<۰/۰۵$). افزودن ۱/۵ درصد پودر ماکروجلبک به نمونه‌های کیک افزایش معنی‌داری در میزان اسیدیته، رطوبت، خاکستر، پروتئین و فیبر نسبت به نمونه شاهد ایجاد کردند ($p<۰/۰۵$). افزودن پودر دو جلبک و افزایش زمان نگهداری باعث کاهش معنی‌داری در شاخص‌های L^*, b^* نمونه‌های کیک شدند ($p<۰/۰۵$). نمونه‌های کیک حاوی *C. Sertulariodes* و *G. Corticata* دارای TPC و خواص آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به نمونه شاهد بودند.

میزان PV و TBARS با گذشت زمان در نمونه‌های کیک حاوی *C. Sertulariodes* و *G. Corticata* در تمام دوره نگهداری از میزان پایین‌تری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بودند. با توجه به نتایج می‌توان اظهار نمود که می‌توان از جلبک‌های دریایی در تولید غذاهای سلامتی‌بخش با ویژگی‌های حسی و ماندگاری مطلوب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: کیک، ماکروجلبک، خواص حسی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، *کالرپا سرتولاریودس*، *گراسیلاریا کورتیکاتا*.

مسئول مکاتبات: sepideh.bahrami@iau.ac.ir

۱- مقدمه

در میان محصولات غلات، انواع کیک به‌دلیل خواص حسی مطلوب مورد استقبال و پسند مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرند. کیک یک ماده غذایی انرژی‌زا است که حاوی مقادیر بسیار بالای کالری، کربوهیدارت و چربی می‌باشد و دارای میزان پروتئین کمتری است. بیشتر ویتامین کیک‌ها از شیر و تخم‌مرغ موجود در داخل آن تأمین می‌شود، این ویتامین‌ها شامل ویتامین‌های A، D، E، و B12می‌باشد، از طرفی بیشترین مواد معدنی موجود در کیک نیز ترکیبات روی و کلسیم هستند (۱۸). جایگزینی آرد گندم با مواد عملکردی مختلف منجر به تغییرات قابل‌توجهی در خواص کمی و کیفی محصولات پخت نهایی می‌شود که به‌طور مستقیم بر خواص عملکردی مانند افزایش ظرفیت نگهداری آب، تثبیت، بافت‌دهی، غلیظ شدن و ظرفیت‌های ژل‌سازی تأثیر می‌گذارد. جایگزینی جزئی تا کامل آرد گندم جهت تولید محصول مغذی‌تر مطلوب است. استفاده از ترکیبات گیاهی اثرات قابل توجهی در بهبود ارزش غذایی، جنبه‌های فیزیکی، حسی و ویژگی‌های میکروبی خمیر و کیک دارند. این اثرات مربوط به منبع گیاهی، مقدار آن و همچنین سایر پارامترها از جمله سایر ترکیبات کیک (آب، روغن، آرد و غیره)، روش تهیه خمیر و عملیات حرارتی است (۴۲).

تاکنون در حدود ۸۰۰۰ گونه جلبک ماکروسکوپی شناسایی شده است که در امتداد سواحل و تا عمق ۲۷۰ متری گسترده شده‌اند (۸). ماکروجلبک‌های دریایی بر اساس وجود و نوع رنگدانه‌ها، ساختار خارجی و داخلی و تولید مثل به‌طور کلی به سه شاخه اصلی جلبک‌های ماکروسکوپی سبز (*Chlorophyta*)، قرمز (*Rhodophyta*) و قهوه‌ای (*Phaeophyta*) طبقه‌بندی می‌شوند (۳۶). جلبک کالرپا سرتولاریودس (*Caulerpa sertulariodes*) نوعی جلبک سبز است که به شکل بومی در خلیج‌فارس رشد می‌کند. این جلبک اتوتروف بوده و از طریق فتوسنتز انرژی خود را کسب می‌کند، به همین خاطر در اعماق کم آبهای گرم مناطق

استوایی و نیمه‌استوایی، نزدیک سواحل و بر روی صخره‌های مرجانی که شدت نور خورشید در آن‌ها زیادتر است، یافت می‌شود (۱۶). جلبک‌های این گونه دارای ویتامین C، ویتامین E، کلروفیل، کاروتنوئیدها، زانتوفیل و لوتئین می‌باشند. همچنین جلبک‌های این گونه منبع خوبی از فیبر و حاوی مواد معدنی نسبتاً کامل هستند و حاوی اجزای متابولیت ثانویه منحصر به‌فردی از جمله کاتچین (فلاوانول) به‌نام‌های گالوکاتچین، اپی‌کاتچین و کاتچین‌گالات به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان می‌باشند (۵۰).

در میان جلبک‌های قرمز، جنس *گراسیلاریا* (*Gracilaria*) حاوی تنوع گسترده‌ای از محتویات ارزشمند برای تغذیه انسان است و یکی از با ارزش‌ترین جلبک‌های دریایی در جهان محسوب می‌شود. جلبک *گراسیلاریا کورتیکاتا* از نظر تجاری مهم می‌باشد و معمولاً در هند به‌عنوان جلبک‌های دریایی خوراکی مصرف می‌شود. این جلبک دارای فعالیت‌های بیولوژیکی بالایی (ترکیب نزدیک، اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضد باکتریایی و نگهدارنده زیستی در غذاهای دریایی در طول نگهداری و ماندگاری طولانی‌تر نسبت به سایر گونه‌های *گراسیلاریا* است (۴۱). با توجه به محتوای پروتئین، فراوان‌ترین اسیدهای آمینه موجود در گونه‌های این جلبک شامل آسپارتیک اسید، آلانین، اسید گلوتامیک و گلوتامین می‌باشند، همچنین منبع خوبی از فیبرهای غذایی محلول و نامحلول هستند، بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان یک جایگزین بالقوه برای فیبر مبتنی بر غلات استفاده کرد و در نتیجه به مدیریت وزن، بهبود عملکردهای قلبی عروقی و گوارشی و پیشگیری از سرطان کمک می‌کند (۵). بررسی‌های مختلفی در زمینه تأثیر ماکروجلبک‌ها بر محصولات مختلف غلات صورت پذیرفته که از جمله می‌توان به کوکی‌های تولید شده با ریزجلبک‌های متعدد در مقایسه با شاهد، محتوای فنلی کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای پروتئین بالاتری داشتند (۹)، اشاره نمود. افزودن مکمل جلبک دریایی سبز *کالرپا راسموسا* (*Caulerpa racemosa*) در بیسکویتهای نیمه‌شیرین منجر به افزایش محتوای فنلی و فعالیتهای آنتی‌اکسیدانی گردید (۲۵). همچنین بیسکویت‌های حاوی *اسپیرولینا* دارای ترکیبات فنلی بیشتر و مقادیر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به شاهد بوده و با افزایش میزان *اسپیرولینا* (۰، ۱، ۳ و ۶ درصد) محتوای آن‌ها افزایش یافت؛ علاوه بر این، افزودن *اسپیرولینا* باعث کاهش تغییرات اکسیداتیو بیسکویت در طول ذخیره‌سازی شد (۳۱). بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی امکان افزودن ماکروجلبک‌های *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا* به کیک جهت کنترل اکسیداسیون لیپید طی دوره نگهداری و ارائه فرمولاسیون جدید در صنعت فرآورده‌های قنادی و تعیین میزان مناسب آنها با توجه به ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و حسی نمونه‌های کیک می‌باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

مواد اولیه برای تولید کیک شامل آرد سفید گندم (شرکت تک)، شکر (نیک گوهر)، شیر خشک (پگاه)، روغن مایع (لادن)، بیکینگ‌پودر (هرمین) و تخم‌مرغ (تلاونگ) بود. دو نمونه جلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* از شرکت توسعه ذخایر زیستی جلبک‌های فارس خریداری شد. مواد شیمیایی مورد استفاده با گرید آنالیتیکال جهت بررسی خصوصیات کیفی از جمله متانول، استیک اسید، کلروفرم، پترولیوم اتر و الکل اتیلیک (شرکت دکتر مجللی، ایران)، سولفوریک اسید، معرف فولین-سیوکالتیو و معرف تیوباربیتوریک اسید (شرکت سیگما-آلدریچ، آمریکا)، تیوسولفات سدیم، معرف DPPH، یدید پتاسیم، قرص کاتالیزور، هیدروکسید سدیم، بوریک اسید ، پرکلریک اسید، کربنات سدیم و گالیک اسید (شرکت مرک، آلمان) بودند.

۲-۲- تولید کیک

اجزای تشکیل‌دهنده کیک با مقدار به‌کار برده شده در فرمولاسیون طی جدول (۱) گزارش شده‌است. به‌منظور تولید خمیر کیک، در ابتدا روغن مایع، شکر و تخم‌مرغ با استفاده از یک همزن‌برقی (PHILIPS, HR3745/01, Netherlands) به سرعت ۱۲۸ دور در دقیقه مخلوط شد تا یک مخلوط کرم‌رنگ ایجاد گردید در ادامه آب به مخلوط اضافه و عمل همزدن ادامه یافت. سپس به آرد سفید گندم، بیکینگ‌پودر و وانیل اضافه و الک گردید و به‌تدریج شیر خشک کم‌چرب به مخلوط اضافه شدند. در مطالعه حاضر از پودر دو ماکروجلبک *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا* در سه سطح (۱، ۱/۵ و ۲ درصد) به‌صورت جداگانه در کیک استفاده‌گردید و همراه با آرد گندم به مخلوط اضافه‌شد. لازم به ذکر است که انتخاب این سطح از ماکروجلبک‌ها بر اساس مطالعه Shahbazizadeh و همکاران (۲۰۱۵) با کمی تغییرات صورت پذیرفت (۴۸)، بدین صورت که در مطالعه حاضر از غلظت بالاتر ماکروجلبک (۲ درصد) استفاده گردید و غلظت ۰/۵ درصد که در مطالعه آنها بررسی شده‌بود در این مطالعه حذف گردید؛ علت این تغییرات در غلظت جهت بررسی استفاده از غلظت بالاتر در ویژگی‌های حسی محصول نهایی بود. نمونه شاهد بدون افزودن پودر ماکروجلبک‌ها در نظر گرفته‌شد. بعد از آماده‌سازی خمیر کیک، مخلوط به کاغذهای مخصوص کیک که درون قالب‌ها قرار گرفته، ریخته‌شد. سپس قالب‌های حاوی خمیر کیک به فر برقی (Bosch, HBF534EB0Q, Germany) با جریان هوای داغ در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه منتقل گردید تا عملیات پخت صورت پذیرد. بعد از سپری شدن زمان پخت، نمونه‌های کیک از فر خارج شده و تا سرد شدن کامل کیک‌ها در دمای محیط قرار گرفتند و بعد از سرد شدن کامل نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی با قطر ۴ میکرون بسته‌بندی شدند. به‌دلیل طعم منحصر به‌فرد جلبک‌ها، نمونه‌های کیک قبل از ارزیابی خصوصیات کیفی، مورد ارزیابی حسی قرار گرفتند سپس نمونه‌های کیک حاوی جلبک با امتیاز حسی بالاتر، جهت خصوصیات فیزیکی-شیمیایی انتخاب شده و طی دوره ۳۰ روزه (روز اول، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز) در دمای محیط نگهداری شدند.

جدول ۱: فرمولاسیون کیک تولید شده در مطالعه حاضر

اجزای تشکیل‌دهنده (گرم)	نمونه شاهد	پودر ماکروجلبک کالرپا و *گراسیلاریا* (به‌صورت مستقل)		
		٪۱	٪۱/۵	٪۲
آرد سفید گندم	٦۰	۵۹/٤	۵۹/۱	۵۸/۸
شکر	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
روغن مایع	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
شیر خشک	٤	٤	٤	٤
بیکینگ‌پودر	۲	۲	۲	۲
وانیل	٤	٤	٤	٤
نمک	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
تخم‌مرغ	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
آب	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
جلبک	–	۰/٦	۰/۹	۱/۲

۲-۳- بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی ماکروجلبک‌ها

تعیین محتوای رطوبت با استفاده از آون (فن‌آزما گستر، ایران) ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت، محتوای پروتئین با استفاده از روش کجلدال (Kjeldahl) با اعمال ضریب تبدیل ۶/۲۵ و میزان چربی از روش سوکسله با استفاده از حلال با سمیت پایین مانند ان-هگزان انجام شد؛ همچنین تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های جلبک به روش DPPH توسط اسپکتروفتومتر (Vantaa-Multiskan GO, Finland) در طول موج ۵۱۷ نانومتر صورت پذیرفت (۳۸). میزان خاکستر توسط کوره الکتریکی (فن‌آزما گستر، ایران) با دمای ۹۵۰ درجه سلسیوس و میزان فیبر تام در نمونه‌های جلبک تعیین گردید (۳۰).

۲-۴- ارزیابی حسی نمونه‌های کیک

برای ارزیابی ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک، از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده‌گردید به‌منظور انجام آزمون، نمونه‌های کیک در روز اول تولید توسط شش نفر از افراد آموزش‌دیده و متخصص از لحاظ رنگ، طعم، بافت، بو و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این آزمون میزان رضایت افراد از ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک به‌صورت امتیازهای (۱: خیلی ضعیف، ۲: ضعیف، ۳: متوسط، ۴: خوب، ۵: خیلی خوب) گردآوری و ارزیابی شد.

۲-۵- بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های کیک

خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های کیک مطابق با استاندارد AACC (۲۰۰۰) که میزان pH و اسیدیته به شماره ۵۲-۰۲، محتوای رطوبت نمونه‌ها مطابق با شماره ۴۴-۱۶ در آون ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت، میزان خاکستر مطابق با شماره ۰۱-۰۸ به مدت ۶ ساعت در کوره الکتریکی در ۶۰۰-۵۵۰ درجه سلسیوس و اندازه‌گیری فیبر خام به شماره ۳۲-۱۰ انجام گردید (۱۵). برای اندازه‌گیری پروتئین نمونه‌ها از استاندارد AOAC (۲۰۰۵) به شماره 2001.11 توسط روش کلدال در سه مرحله هضم، تقطیر و تیراسیون استفاده گردید (۳).

۲-۶- ارزیابی شاخص رنگ (L^*، a^* و b^*)

جهت تعیین شاخص‌های رنگی نمونه‌های کیک از دستگاه هانترلب (Hunter lab-Color flex ez, USA) استفاده‌گردید. آزمون برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد. میزان شاخص‌های رنگی نمونه‌ها به کمک بازتاب رنگ نمونه‌ها بر روی رنگ‌سنج هانترلب به‌صورت پارامترهای L^* (روشنایی)، b^* (زردی – آبی) و a^* (قرمزی – سبزی) اندازه‌گیری شد. همچنین C^* شاخص خلوص رنگ که از رابطه (۱) محاسبه گردید (۷).

رابطه ۱)

$$\text{Chroma: } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

۲-۷- محتوای فنل کل (TPC)

جهت تعیین محتوای فنل کل (TPC)، پنج گرم نمونه با ۲۵ میلی‌لیتر متانول (Merck, Germany) مخلوط و به مدت یک ساعت تکان داده شد. مخلوط در ۴۰۰۰ ×g به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ (LABINCO, L46, Netherlands) شد و مایع رویی جمع‌آوری و با کاغذ صافی Whatman شماره ۱ فیلتر شد. نمونه فیلترشده به مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر و ۲/۵ میلی‌لیتر محلول فولین سیوکالتیو (Sigma-Aldricht, USA) به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شدند، سپس ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات‌سدیم (Merck, Germany) ۷/۵ درصد اضافه‌شد. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده‌شد و سپس جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر UV-Vis قرائت شد. TPC یک نمونه به‌صورت میلی‌گرم معادل گالیک اسید (GAE) در هر گرم نمونه بیان شد (۱۴).

۲-۸- تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جهت تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های کیک از روش مهار رادیکال‌های آزاد DPPH استفاده‌شد. در ابتدا یک گرم از نمونه کیک به‌صورت پودر شده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول، مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و به دور از روشنایی نگهداری

گردید. سپس مایع رویی از قسمت ته‌نشین شده جدا و به مدت ۱۰ دقیقه با دور بالا سانتریفیوژ گردید. یک میلی‌لیتر از قسمت شفاف رویی (عصاره نمونه) با ۴ میلی‌لیتر متانول ۹۰ درصد و یک میلی‌لیتر محلول متانول DPPH (Merck, Germany) (۰/۰۰۴ درصد) مخلوط و به مدت نیم ساعت در جای تاریک قرار داده‌شد. برای تعیین میزان جذب محلول در ابتدا اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر با متانول کالیبره‌شده و سپس جذب نمونه‌ها در همان طول موج اندازه‌گیری شد و مطابق با رابطه (۲) درصد مهارکنندگی محاسبه گردید.

رابطه ۲)

$$\text{درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH} = ۱۰۰ \times \frac{A_C - A_S}{A_C}$$

که در آن؛ A_S میزان جذب نمونه و A_C میزان جذب شاهد می‌باشد (۴).

۲-۹- تعیین عدد پراکسید (PV)

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید (PV) نمونه‌های کیک، ابتدا مقدار دو گرم از چربی نمونه‌های کیک استخراج شده و در یک فلاسک ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته‌شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک و محلول کلروفرم (نسبت حجم ۲:۳ استیک اسید به کلروفرم) اضافه‌شد. همچنین مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اشباع یدید پتاسیم (Merck, Germany) در محلول گنجانده‌شده و به مدت ۱ دقیقه در یک مکان تاریک نگهداری شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر را به محلول اضافه می‌کنیم در این مرحله محلول به‌دست آمده رنگ زرد دارد که باید تا بی‌رنگ شدن، تیتراسیون ادامه یابد برای این منظور چند قطره معرف چسب نشاسته به محلول اضافه‌گردید. نمونه آماده شده را که رنگ تیره‌ای دارد با تیوسولفات سدیم (Merck, Germany) ۰/۰۱ تا زمان بی‌رنگ شدن تیتر گردید سپس مقدار PV با توجه به رابطه (۳) محاسبه شد:

رابطه ۳)

$$PV\ (meq\ o2/kg) = \frac{N \times V \times 100}{W}$$

که در آن، N، V و W به‌ترتیب مربوط به نرمالیته تیوسولفات سدیم، حجم تیوسولفات سدیم مصرفی برای تیتراسیون و وزن چربی نمونه بر حسب گرم می‌باشد (۳۴).

۲-۱۰- شاخص تیوباربیتوریک اسید (TBARS)

جهت بررسی شاخص تیوبابیتوریک اسید (TBARS) پنج گرم از نمونه با ۲۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۴ درصد (Merck, Germany) و ۰/۲۵ میلی‌لیتر هیدروکسی تولوئن بوتیله (Merck, Germany) در هموژنایزر همگن و سپس فیلتر شد. نمونه فیلتر

شده با معرف TBA (Sigma-Aldricht, USA) در یک حمام آب گرم (Fan Gostar, China) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار داده و سپس خنک شد. سپس میزان جذب نمونه در طول موج ۵۳۸ نانومتر قرائت شد. برای منحنی کالیبراسیون از ۱،۱،۳،۳ تراتوکسی پروپان استفاده‌شد. شاخص TBARS در دوره‌های زمانی تعیین شده اندازه‌گیری شد و بر حسب مالون دی‌آلدئید (MDA) میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان شد (۱۱).

۲-۱۱- تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و از جداول تجزیه و تحلیل آنالیز واریانس استفاده شد. سپس آزمون مقایسه میانگین تکرارها در دو گروه مستقل از آزمون t_test و در بیش از دو گروه مستقل در قالب آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. به علاوه به منظور بررسی معنادار بودن اثر زمان بر متغیرها روش مدل خطی تعمیم یافته GLM مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها به استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ صورت گرفت. جهت رسم نمودارها از Microsoft Excel نسخهٔ 2016 استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی ماکروجلبک *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا*

براساس نتایج جدول (۲)، ماکروجلبک *گراسیلاریا* از میزان فیبر (۲/۸۷ درصد) و خاکستر (۴/۱۵ درصد) بالاتری نسبت به ماکروجلبک *کالرپا* برخوردار است، در حالی‌که ماکروجلبک *کالرپا* دارای پروتئین (۱۰/۴ درصد) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۴/۶۵ درصد) بالاتری بود. اما از نظر میزان رطوبت، pH، اسیدیته و چربی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($p>۰/۰۵$).

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی-شیمیایی ماکروجلبک‌های *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا**

پارامتره	*کالرپا سرتولاریودس*	*گراسیلاریا کورتیکاتا*
خاکستر (درصد)	۳/۱۵ ± ۰/۰۱ ^{b**}	٤/۱۵ ± ۰/۳۸ ^{a}
رطوبت (درصد)	۱۰/۷٦ ± ۰/٤٥ ^{a}	۱۰/۵۵ ± ۰/۵۱ ^{a}
فیبر (درصد)	۱/۹۱ ± ۰/۲۷ ^{b}	۲/۸۷ ± ۰/۹٤ ^{a}
pH	۷/۲٤ ± ۰/۸ ^{a}	۷/۵٦ ± ۰/٤۷ ^{a}
اسیدیته	۰/۳۸۵ ± ۰/۰٤ ^{a}	۰/٤۰۲ ± ۰/۰٤٦ ^{a}
فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	۷٤/٦۵ ± ۰/۸۲ ^{a}	٦۸/۲۵ ± ۰/۲٤ ^{b}
چربی (درصد)	۱/۱۱ ± ۰/۸۳ ^{a}	۱/۲۱ ± ۰/٦۲ ^{a}
پروتئین (درصد)	۱۰/٤ ± ۰/٤۷ ^{a}	۹/٤۸ ± ۰/۷۲ ^{b}

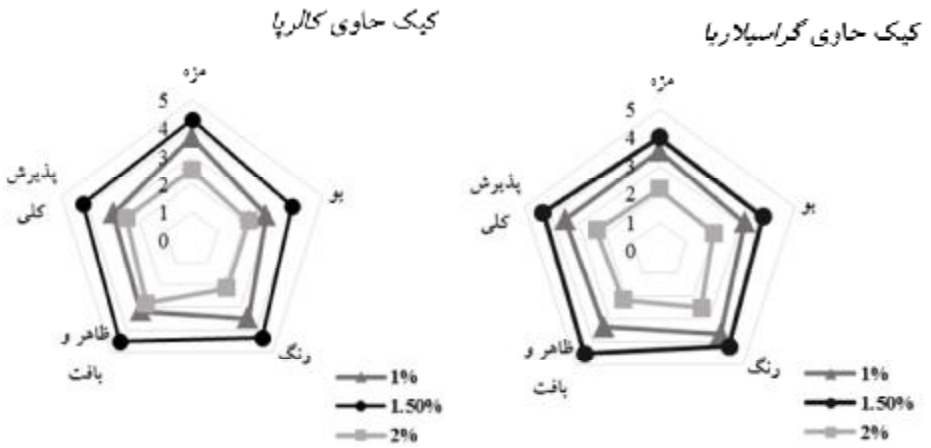
* داده‌ها بر حسب (میانگین ± انحراف معیار) در سه تکرار گزارش شده است.
**حروف کوچک (a-b) مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم اختلاف معنادار ($p<$ ۰/۰۵) بر اساس آزمون t-test بین داده‌ها است.

طیف گسترده‌ای از اجزای تغذیه‌ای مانند پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه، چربی‌ها و اسیدهای چرب، ویتامین‌ها و مواد معدنی از نظر بیولوژیکی فعال‌تر هستند و می‌توانند خواص ارزشمندی برای سلامتی داشته باشند. این مولکول‌های گرفته‌شده از منابع طبیعی از جمله ماکروجلبک‌ها برای فعالیت‌های بیولوژیکی در مناطق مختلف مورد سنجش قرار گرفته‌اند (۳۸). جلبک‌های دریایی حاوی ۴ درصد لیپید هستند که دارای محتوای نسبتاً پائینی از اسیدهای چرب اشباع شده و همچنین مقدار قابل توجهی اسیدهای چرب غیر اشباع می‌باشند. میزان و ترکیب لیپیدها در جلبک‌های دریایی با توجه به موجودیت طبقه‌بندی، فصل، مناطق جغرافیایی و شرایط رشد متغیر است (۲۲). در مطالعه‌ای دیگر تعدادی از انواع جلبک‌های قرمز، سبز و قهوه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان‌دهنده وجود اسیدهای چرب موجود در جلبک‌های دریایی از جمله پالمیتیک اسید و اولئیک اسید بود همچنین در بررسی‌ها آنها مشاهده گردید که جلبک‌های دریایی حاوی اسیدهای چرب ضروری C18:2 (لینولئیک اسید) و C18:3 (لینولنیک اسید) بودند (۳۰). بنابراین میزان چربی موجود در دو ماکروجلبک مورد بررسی در مطالعه حاضر می‌تواند به‌دلیل حضور اسیدهای چرب باشد. در مطالعه‌ای ترکیبات تقریبی (رطوبت، پروتئین و محتوای چربی) دو جلبک دریایی *گراسیلاریا کورتیکاتا* و *هالیمدا اُپونیتا* (*Halimeda opuntia*) مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آنها نشان داد پروتئین، و چربی کل در *گراسیلاریا کورتیکاتا* در مقایسه با جلبک دیگر بالاتر بود (۳۸). در مطالعه‌ای تعدادی از انواع جلبک‌های قرمز، سبز و قهوه‌ای از نظر ترکیبات شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت که یکی از این جلبک‌ها *Gracillaria* بود؛ نتایج مطالعه آنها نشان داد که این جلبک حاوی ۵/۱ g/100g رطوبت، ۳۵/۲ g/100g خاکستر، ۴۵/۹ g/100g فیبر و ۱۶/۸ g/100g پروتئین بود (۳۰) که در مقایسه با مطالعه حاضر از میزان خاکستر، فیبر و پروتئین بالاتری برخوردار بود. میزان خاکستر موجود در جلبک‌های دریایی در مقایسه با سبزیجات گیاهی بالاتر است، این شامل درشت مغذی‌ها و عناصر معدنی کمیاب است که تغییرات فصلی و محیطی را در ترکیب نشان می‌دهد (۲۱). در گزارشی بیان شده که محتوای پروتئین ماکروجلبک‌ها بر اساس گونه‌ها، شرایط محیطی، زیستگاه‌ها، بلوغ و تفاوت‌های فصلی می‌تواند متفاوت باشد، اما در اکثر جلبک‌های دریایی قهوه‌ای کم (سه تا ۱۵ درصد)، در جلبک‌های دریایی سبز متوسط (نه تا ۲۶ درصد) است و در جلبک دریایی قرمز به ۴۷ درصد هم می‌تواند برسد (۲۴-۲۶)؛ که این امر تأیید کننده نتیجه به‌دست آمده در مطالعه حاضر می‌باشد. اجزای شیمیایی جلبک‌ها بر اساس بلوغ، زیستگاه، شرایط محیطی و گونه متفاوت است. اکثر پارامترهای اکولوژیکی، از جمله فصل و تغییرات در اکولوژی، می‌توانند باعث سنتز بیولوژیکی چندین ماده غذایی شوند. جلبک‌های دریایی خوراکی به‌عنوان منبع کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی دارای خواص تغذیه‌ای بسیار زیادی هستند (۵۴). بررسی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* در مطالعه حاضر به‌ترتیب با میزان ۷۴/۶۵ و ۶۸/۲۵ درصد توانایی مهارکنندگی رادیکال DPPH نشان‌دهنده خاصیت بالای آنتی‌اکسیدانی آن‌ها بود (شکل ۵-ب). در مطالعات متعدد، جلبک‌های دریایی مختلف فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی متفاوتی را نشان داده‌اند که از جمله می‌توان به بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی انواع جلبک‌های قرمز، سبز و قهوه‌ای از دریای سرخ اشاره نمود که نتایج آنها توانایی مهارکنندگی را در محدوده ۹۷/۲-۳۰/۸ درصد نشان داد (۱۳). مطالعات نشان داده‌اند که جلبک‌های دریایی دارای ترکیبات زیست فعال با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قوی برای محافظت از جلبک‌های دریایی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن[1] (ROS) هستند (۲). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی جلبک‌های دریایی ممکن است به‌دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل اصلی فیتوشیمیایی معروف به فنول‌ها و فلاونوئیدها (مشتقات فنولیک‌ها) باشند، که به‌عنوان اهداکننده هیدروژن برای تثبیت رادیکال‌های آزاد و پایان دادن به تولید رادیکال‌های آزاد جدید عمل می‌کنند (۳۷).

۳-۲- ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی دو نمونه کیک حاوی پودر دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* در سه سطح (۱، ۱/۵ و ۲ درصد) نشان داد که نمونه‌های کیک حاوی ۱/۵ درصد پودر ماکروجلبک نسبت به دو نمونه دیگر در تمام پارامترهای ارزیابی از مقبولیت بالاتری برخوردار بودند ($p<۰/۰۵$) (شکل ۱). همچنین با توجه به نتایج افزایش غلظت پودرهای ماکروجلبک باعث کاهش معنی‌دار در پارامترهای حسی شد ($p<۰/۰۵$).



شکل ۱: ارزیابی حسی نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا*

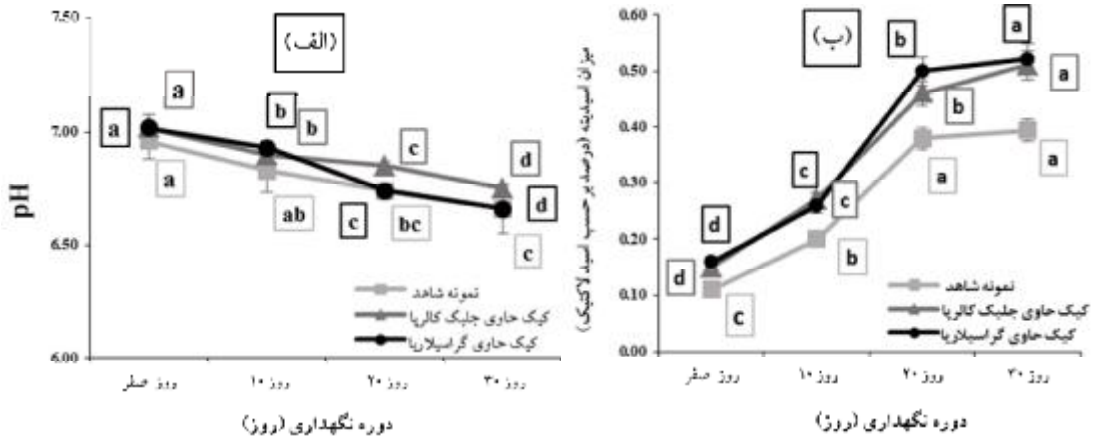
[1] Reactive oxygen species (ROS)

ازآنجا که خواص حسی کیک‌ها باید برای مصرف انسان مناسب باشد؛ بنابراین لازم است کیفیت حسی آن‌ها ارزیابی گردد. با توجه به مقبولیت نمونه‌های کیک تولید شده با دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا*، ارزیابی حسی نمونه‌های کیک مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به شکل (۱) نمونه‌های حاوی ۱/۵ درصد پودر جلبک در پارامترهای طعم، بو، رنگ، ظاهر و بافت و پذیرش کلی از امتیاز بالایی برخوردار بودند ($p<۰/۰۵$). در مطالعات متعددی، افزودن ترکیبات مختلف به نمونه‌های کیک باعث تغییر در خواص حسی محصولات شده، که بر این اساس می‌توان بیان نمود نسبت ترکیبات افزوده شده به فرمولاسیون کیک می‌تواند نقش بسزایی در مقبولیت حسی محصولات ایجاد نماید. ارزیابی حسی غنی‌سازی نان با استفاده از جلبک قرمز (*Pterocladia capillacea*) به میزان ۲، ۳ و ۴ درصد نیز نشان داد که نان کنترل و نان غنی‌شده با ۲٪ جلبک قرمز امتیاز خواص ارگانولپتیک خوبی دارند (۵۵). تأثیر غلظت‌های مختلف (۱، ۵ و ۱۰ درصد) از مکمل جلبک دریایی سبز *کالرپا راسموسا* (*Caulerpa racemosa*) بر خواص حسی بیسکویت‌های نیمه‌شیرین نشان داد که بیسکویت‌های غنی شده با ۱۰٪ کمترین امتیاز را در تمام پارامترهای ارزیابی حسی داشتند (۲۵). بر اساس نتایج مطالعه حاضر و مطالعات فوق‌الذکر مبنی بر رابطه معکوس بین کاهش امتیازات حسی با افزایش سطح غلظت ترکیبات افزوده شده به‌ویژه جلبک‌ها در فرآورده‌های غلات مانند کیک، می‌توان فرض کرد که پودر ماکروجلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* خواص حسی خود را به نمونه‌های کیک داده است.

۳-۳- بررسی خصوصیات شیمیایی نمونه‌های کیک طی دوره نگهداری

۳-۳-۱- pH و اسیدیته

نتایج تأثیر افزودن پودر دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* و همچنین اثر زمان نگهداری بر میزان تغییرات pH و اسیدیته در شکل (۲) گزارش شده است. مطابق با نتایج افزودن ماکروجلبک‌ها تأثیر معنی‌داری در میزان pH در مقایسه با نمونه شاهد نداشتند ($p>۰/۰۵$). اما با افزایش دوره نگهداری کاهش معنی‌داری در میزان pH تمام نمونه‌های کیک مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$) (شکل ۲-الف). مطابق با نتایج افزودن ماکروجلبک‌ها افزایش معنی‌داری در میزان اسیدیته نسبت به نمونه شاهد در تمام طول دوره نگهداری داشتند ($p<۰/۰۵$). همچنین با افزایش دوره نگهداری افزایش معنی‌داری در میزان اسیدیته تمام نمونه‌های کیک مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$) (شکل ۲-ب).



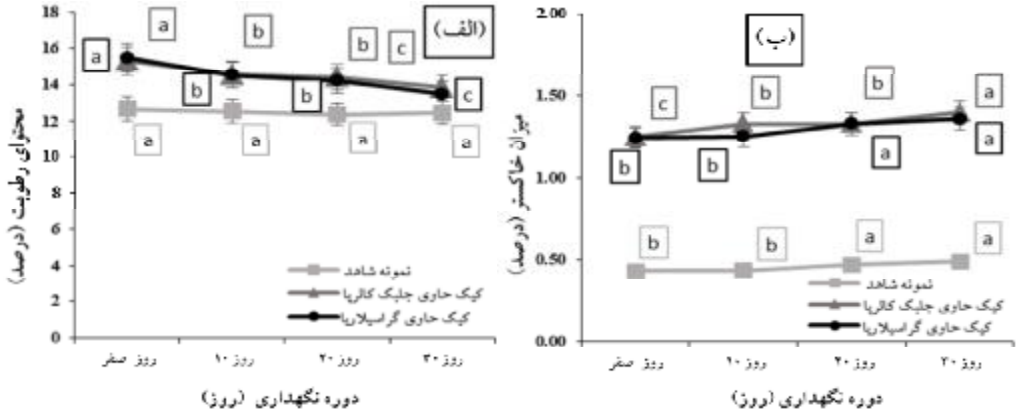
شکل ۲: تغییرات میزان pH و اسیدیته نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* طی دوره نگهداری

خواص یک ماده غذایی از ویژگی‌های مهمی است که بر پذیرش مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد؛ که در این مطالعه، این خواص بر روی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های کیک غنی شده با پودر جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* مورد بررسی قرار گرفتند. در مطالعه حاضر، نتایج تغییرات pH و اسیدیته مربوط به ویژگی‌های پودرهای جلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* افزوده‌شده به فرمولاسیون کیک است که علت این افزایش را pH قلیایی جلبک و همچنین افزایش تحرک یون‌های هیدروژنی به‌دلیل بالاتر بودن درصد پروتئین جلبک در مقایسه با آرد گندم نسبت داده‌شده است (۵۶). در همین راستا گزارشی مبنی بر کاهش pH و افزایش اسیدیته با افزودن غلظت‌های مختلف پودر هسته خرما به نمونه‌های پنکیک تهیه شده با آرد سمولینا مشاهده شد (۳۲). افزودن یا جایگزینی بخشی از آرد گندم با سایر ترکیبات در محصولات غلات از جمله کیک و بیسکویت، بنابر نوع ترکیب افزوده شده تغییرات متفاوتی در میزان pH و اسیدیته مشاهده شده است. افزودن غلظت‌های مختلف پودر تفاله هویج به نمونه‌های کیک باعث کاهش میزان pH گردید که علت آن را به‌دلیل وجود اسیدهای آلی (مانند اسید آسکوربیک و اسید کافئیک)، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه (عمدتاً گلوتامیک اسید) و سایر اجزای با ماهیت اسیدی در پودر تفاله هویج بیان کردند (۲۹). مقدار pH نقش مهمی در رشد میکروارگانیسم‌ها و فساد مواد غذایی دارد و همین امر می‌تواند منجر به کنترل رشد میکروبی و افزایش ماندگاری نمونه‌های کیک گردد (۲۶)

۳-۳-۲- رطوبت و خاکستر

نتایج تأثیر افزودن پودر دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* و همچنین اثر زمان نگهداری بر میزان تغییرات محتوای رطوبت و خاکستر در شکل (۳) ارائه شده است. مطابق با نتایج افزودن ماکروجلبک‌ها افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت نسبت به نمونه

شاهد در تمام طول دوره نگهداری مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). با افزایش دوره نگهداری، میزان رطوبت در نمونه‌های کیک کاهش یافت که این کاهش در دو نمونه کیک حاوی پودر ماکروجلبک معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$) (شکل ۳-الف). مطابق با شکل (۳-ب)، افزودن ماکروجلبک‌ها افزایش معنی‌داری در میزان خاکستر نسبت به نمونه شاهد در تمام طول دوره نگهداری مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). با افزایش دوره نگهداری، میزان خاکستر در نمونه‌های کیک افزایش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$).



شکل ۳: تغییرات میزان رطوبت و خاکستر نمونه‌ای کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* طی دوره نگهداری

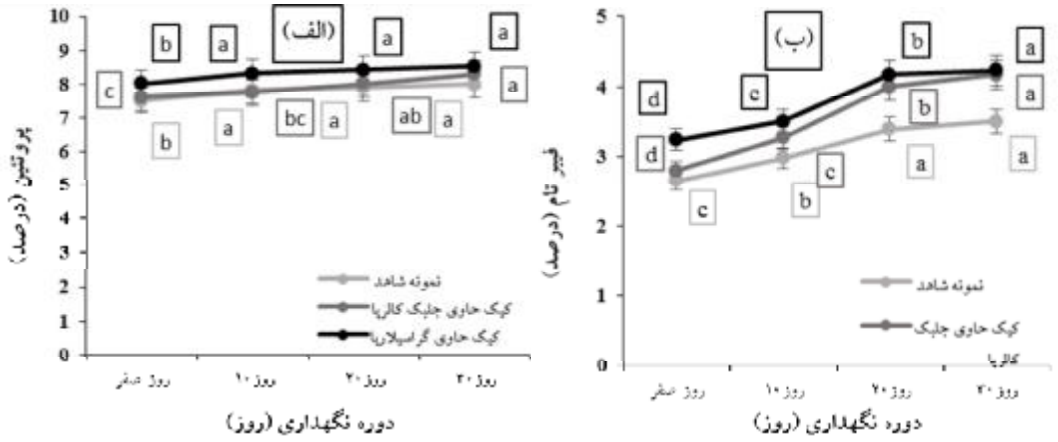
از آنجایی‌که رطوبت عامل بسیار مهمی در تصمیم‌گیری در مورد کیفیت نگهداری محصولات غلات است، رطوبت بالا می‌تواند اثر نامطلوبی بر پایداری ذخیره‌سازی محصول داشته باشد (۲۸). با افزودن سطح جایگزینی جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* نسبت به شاهد، میزان رطوبت نمونه‌ها افزایش معنی‌داری یافتند ($p<۰/۰۵$)؛ افزایش میزان رطوبت در محصول می‌تواند به میزان رطوبت بالای *کالرپا* (۱۰/۷۶ درصد) و گراسیلاریا (۱۰/۵۵ درصد) با جایگزینی جزئی آرد گندم مرتبط باشد. همسو با نتیجه مطالعه حاضر، گزارش شده‌است که افزودن پودر هسته زیتون به کیک اسفنجی می‌تواند رطوبت آن را به‌دلیل افزایش جذب آب توسط فیبر رژیمی افزایش دهد (۲۳). کاهش محتوای رطوبت نمونه‌های کیک طی دوره نگهداری، به‌دلیل مهاجرت رطوبت از مغز کیک به پوسته است که می‌تواند تا حد زیادی بر کاهش رطوبت و در نتیجه سفت شدن مغز کیک در دمای محیط تأثیر بگذارد (۲۷). برخلاف نتایج مطالعه حاضر، گزارشی مبنی بر کاهش محتوای رطوبت نمونه‌های پنکیک با افزایش غلظت‌های پودر هسته خرما مشاهده شد که محققان آن، علت را محتوای آب پائین که از مشخصه پودر هسته خرما است، بیان نمودند (۳۲). بطور کلی محتوای آب ترکیبات افزوده شده به فرمولاسیون محصولات غلات مانند انواع کیک، کلوچه، کوکی و بیسکویت‌ها با جایگزینی جزئی از آرد می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر محتوای رطوبت محصول نهایی داشته باشد، بر این اساس بهتر است به میزان رطوبت افزودنی‌ها

جهت جایگزینی در فرمولاسیون محصولات غلات با توجه به اهمیت این محصولات از نظر میزان رطوبت و کنترل رشد میکروبی، مورد توجه قرار گیرند.

جهت تأمین مواد معدنی برای بدن باید به توسعه و غنی‌سازی محصولات غذایی توسط املاح مورد نیاز بدن توجه ویژه صورت گیرد تا بتوان از این طریق به ارتقاء سلامتی در جامعه کمک نمود. افزایش معنی‌داری در محتوای خاکستر نمونه‌های کیک حاوی ماکروجلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* در مقایسه با نمونه شاهد بود ($p<۰/۰۵$)؛ که این امر نشان‌دهنده غنی بودن از مواد معدنی در نمونه‌های کیک در این مطالعه بود. علت نتیجه حاصل را می‌توان به وجود مقادیر زیاد املاح و عناصر معدنی نظیر فسفر، کلسیم، سدیم، روی، مس، منیزیم و آهن در جلبک‌های گونه *کالرپا* و *گراسیلاریا* نسبت داد که که نشان می‌دهد این جلبک‌های دریایی می‌توانند به‌عنوان منابع مهم مکمل‌های معدنی که برای تغذیه انسان ضروری هستند، عمل کنند (۴۱). همسو با مطالعه حاضر، افزایش محتوای معدنی (خاکستر) نمونه‌های بیسکویت غنی‌شده با غلظت‌های مختلف جلبک *کالرپا راسموسا* گزارش شده‌است (۲۵). همچنین مقدار کل خاکستر با افزایش سطوح جایگزینی مخلوط پودر برگ *مورینگا اولیفرا* و ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* نسبت به نمونه شاهد افزایش قابل توجهی داشت که نشان‌دهنده افزایش محتوای معدنی در کلوچه‌های تولید شده است (۶). در نهایت با توجه به اینکه ماکروجلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* منابعی سرشار از ترکیبات معدنی هستند، و بنابراین مقدار خاکستر بالایی دارند؛ می‌توان اظهار کرد که افزایش محتوای خاکستر به موازات افزودن آنها در محصول قابل انتظار می‌باشد.

۳-۳-۳- پروتئین و فیبر تام

نتایج تأثیر افزودن پودر دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* و همچنین اثر زمان نگهداری بر میزان تغییرات پروتئین در شکل (۴) ارائه شده است. مطابق با شکل (۴-الف)، افزودن ماکروجلبک *گراسیلاریا* باعث افزایش معنی‌داری در میزان پروتئین نسبت به دو نمونه دیگر در تمام طول دوره نگهداری شد ($p<۰/۰۵$). با افزایش دوره نگهداری، میزان پروتئین در نمونه‌های کیک افزایش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). مطابق با شکل (۴-ب)، افزودن پودر دو ماکروجلبک به‌ویژه ماکروجلبک *گراسیلاریا* باعث افزایش معنی‌داری در میزان فیبر تام نسبت نمونه شاهد در تمام طول دوره نگهداری شد ($p<۰/۰۵$). با افزایش دوره نگهداری، میزان فیبر تام در نمونه‌های کیک افزایش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$).



شکل ٤: تغییرات میزان پروتئین و فیبر تام نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* طی دوره نگهداری

از آنجا که پروتئین مقادیر کافی از اسیدهای آمینه را تأمین می‌کند و برای بقای حیوانات و انسان نیاز است بنابراین از اجزای ضروری یک رژیم غذایی محسوب می‌گردد (۱۵). در مطالعه حاضر محتوای پروتئین نمونه‌های کیک با افزودن پودر جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* در مقایسه به نمونه شاهد افزایش یافت؛ علت این افزایش می‌تواند به‌دلیل محتوای پروتئینی بالا در دو جلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* مطابق با نتایج جدول (۲) باشد. در همین راستا گزارشی وجود دارد که تأثیر غلظت‌های مختلف از مکمل جلبک دریایی *کالرپا راسموسا* بر محتوای پروتئین بیسکویت‌های نیمه‌شیرین را نشان داده‌است که افزایش غلظت جلبک باعث افزایش محتوای پروتئین نمونه‌های بیسکویت گردید (۲۵). در مطالعه‌ای دیگر محتوای پروتئین کلوچه‌های غنی‌شده با غلظت‌های مختلف (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) *اسپیرولینا پلاتنسیس* بیشتر از نمونه شاهد بود (۴۸). در مطالعه‌ای دیگر کیفیت تغذیه‌ای و فیزیکی محصولات بر پایه غلات غنی شده با غلظت‌های مختلف (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) آرد کدو حلوائی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان‌دهنده تأثیر آرد کدو حلوائی در افزایش قابل توجه محتوای پروتئین محصولات غلات بود (۵۲). با توجه به نتایج مطالعه حاضر و گزارشات ذکر شده فوق، ماکروجلبک‌ها، ریزجلبک‌ها و همچنین سایر ترکیبات گیاهی روزنه‌ای امیدوارکننده‌ای در توسعه محصولات غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا هستند که در ترکیب با غلات می‌توانند محصولی با محتوای پروتئین بالا تولید کنند.

محصولات غذایی با منشاء گیاهی از منابع مهم فیبر در رژیم غذایی انسان می‌باشند (۴۷). جایگزینی جزئی آرد گندم با نسبت ۱/۵ درصد پودر جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا*، میزان فیبر تام در نمونه‌های کیک به‌ویژه در نمونه حاوی *گراسیلاریا*، افزایش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). نتایج مشابهی در اثر استفاده از مخلوط پودرهای برگی مورینگا *اولیفرا* و ریزجلبک *اسپیرولینا*

پلاتنسیس بر افزایش فیبر رژیمی کل در نمونه‌های کوکی تولید شده در مقایسه با نمونه شاهد گزارش شده است (۶). همچنین در همین راستا افزایش میزان فیبر در نمونه‌های بیسکویت نیمه‌شیرین حاوی جلبک دریایی سبز *کالرپا راسموسا* به‌دلیل محتوای فیبر بالای جلبک دریایی گزارش شده است (۲۵). به‌طور مشابه، محتوای فیبر در کیک‌هایی که به‌ترتیب حاوی ۰٪ و ۳۵٪ پودر هسته زیتون بودند ۰/۶۷ و ۸/۶۰ درصد بود بر این اساس، فیبر در نمونه‌های کیک با افزایش جایگزینی پودر هسته زیتون از ۱۵٪ به ۳۵٪ افزایش یافت (۲۳). در نهایت با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های کیک تولید شده در مطالعه حاضر، محتوای فیبر خام و پروتئین در هر دو نمونه کیک با افزودن پودر جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافتند بنابراین استفاده از پودر این دو ماکروجلبک، به‌عنوان یک ماده تشکیل‌دهنده پتانسیل برای تولید نمونه‌های کیک و سایر محصولات غلات را دارند.

۳-۳-٤- بررسی تغییرات شاخص رنگ (L^*, a^*, b^*) و کروما (C^*)

تأثیر افزودن پودر دو ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* و همچنین اثر زمان نگهداری بر میزان تغییرات شاخص‌های رنگ در چهار پارامتر L^*، a^*، b^* و C^* (کروما) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج ارزیابی در جدول (۳) گزارش شده است. مطابق با نتایج، افزودن پودر دو ماکروجلبک باعث کاهش معنی‌داری در شاخص‌های روشنایی (L^*)، b^* و C^* نمونه‌های کیک نسبت به نمونه شاهد در تمام طول دوره نگهداری گردید ($p<۰/۰۵$). مطابق با نتایج، افزودن پودر دو ماکروجلبک *گراسیلاریا* و *کالرپا* به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش معنی‌داری در شاخص a^* نمونه‌های کیک نسبت به نمونه شاهد در تمام طول دوره نگهداری گردید ($p<۰/۰۵$). با توجه به نتایج جدول (۳)، هر چهار شاخص رنگ با افزایش دوره نگهداری، در نمونه‌های کیک کاهش معنی‌داری یافتند ($p<۰/۰۵$).

جدول ۳: تغییرات شاخص‌های رنگ نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* طی دوره نگهداری*

شاخص‌های رنگ	دوره نگهداری (روز)	نمونه‌های کیک		
		شاهد	*گراسیلاریا کورتیکاتا*	*کالرپا سرتولاریودس*
شاخص L^*	۰	۸۱/۷۰ ±۰/۳۶^{aA**}	۷٦/۷۹ ±۰/۸۲^{bA}	۷٦/۵۳ ±۰/۵۲^{bA}
	۱۰	۸۰/۳۲ ±۰/۰۰^{aB}	۷۰/٤۵ ±۰/۰۳^{cB}	۷۲/۹۵ ±۰/٤٦^{bB}
	۲۰	۷۷/۵۷ ±۰/٦۵^{aC}	٦۷/٦۲ ±۰/۲۸^{cC}	٦۹/٤۹ ±۰/۰۸^{bC}
	۳۰	۷٤/۵٤ ±۰/۱۵^{aD}	٦۵/٦٤ ±۰/۱۰^{cD}	٦۸/٦۵ ±۰/۳۰^{bD}
شاخص a^*	۰	۱۳/۷۰ ±۰/۳۲^{bA}	۱٤/٦٤ ±۰/٦۵^{aA}	۱۲/۳۲ ±۰/۱۹^{cA}
	۱۰	۱۰/٤٦ ±۰/۱۲^{bB}	۱۱/٤٦ ±۰/۱۵^{aB}	۸/۵۰ ±۰/۰٦^{cB}

	۲۰	۷/٤٦ ±۰/۳۹^{bC}	۹/۵۳ ±۰/۳۹^{aC}	٤/۸۱ ±۰/۱۵^{cC}
	۳۰	۵/٤۳ ±۰/۱۱^{bD}	۷/۳٤ ±۰/۱۷^{aD}	۳/۵۸ ±۰/۰٦^{cD}
شاخص b^*	۰	٤۰/۹۷ ±۰/۲۸^{aA}	۳٦/۳۹ ±۰/۷۲^{bA}	۲٦/٤۲ ±۰/٤۹^{cA}
	۱۰	۳۵/٤٦ ±۰/۱۷^{aB}	۳۰/۵۷ ±۰/۰٦^{bB}	۲۵/۵۸ ±۰/۰۸^{cA}
	۲۰	۳۰/۹۵ ±۱/٤۰^{aC}	۲۷/۳٦ ±۱/۲۷^{bC}	۲٤/۵۱ ±۰/۹۷^{cB}
	۳۰	۲۵/٤۰ ±۰/۱۱^{aD}	۲۳/۵۰ ±۰/۱٤^{bD}	۲۱/٤۵ ±۰/۰۳^{cC}
شاخص C^*	۰	٤۳/۲۰ ±۰/۲٦^{aA}	۳۹/۲۳ ±۰/۵٤^{bA}	۲۹/۱۵ ±۰/۵۳^{cA}
	۱۰	۳٦/۹۷ ±۰/۱۳^{aB}	۳۲/٦۵ ±۰/۰۲^{bB}	۲٦/۹۵ ±۰/۰۹^{cB}
	۲۰	۳۱/۸٤ ±۱/٤۱^{aC}	۲۸/۹۸ ±۱/۱٤^{bC}	۲٤/۹۷ ±۰/۹٦^{cC}
	۳۰	۲۵/۹۷ ±۰/۱۰^{aD}	۲٤/٦۲ ±۰/۱۱^{bD}	۲۱/۷۵ ±۰/۰٤^{cD}

* داده‌ها بر حسب (میانگین ± انحراف معیار) در سه تکرار گزارش شده است.

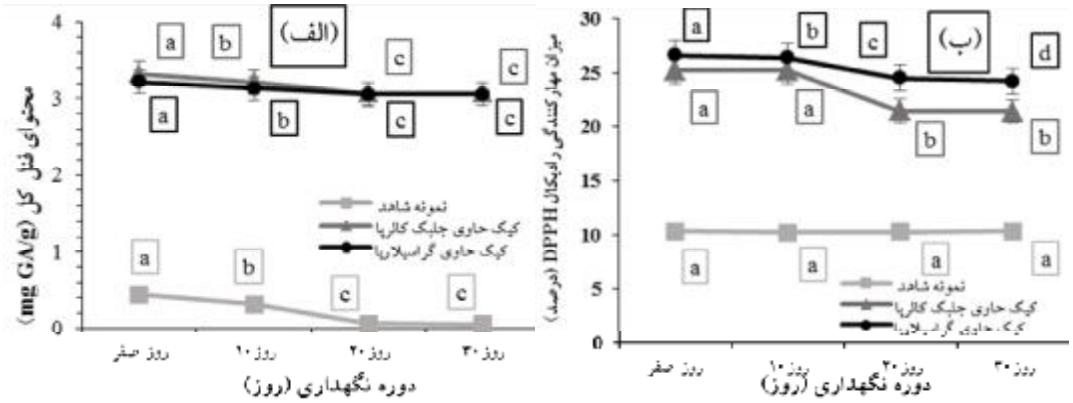
** حروف کوچک (a-c) مشابه در هر ردیف و حروف بزرگ (A-D) مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنادار ($p<$ ۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن بین داده‌ها است.

تغییرات مشاهده‌شده در مطالعه حاضر نشان داد که هر چهار پارامتر رنگ بطور معنی‌داری به‌دلیل افزودن پودر ماکروجلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* نسبت به نمونه شاهد تغییر کردند در واقع این دو جلبک رنگ مشخصه خود را به نمونه‌های کیک دادند. بطوری که شاخص‌های روشنایی (L^*)، زردی (b^*) و کروما (C^*) با افزودن پودر ماکروجلبک‌ها در کیک کاهش یافت. بر اساس جدول (۳) شاخص سبزی (a^*) با افزودن پودر جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* به‌ترتیب کاهش و افزایش معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد یافت ($p<$۰/۰۵)، که علت این امر را می‌توان به سبز بودن رنگدانه‌های *کالرپا* (جلبک سبز) و قرمز بودن رنگدانه‌های *گراسیلاریا* (جلبک قرمز) نسبت داد که به‌ترتیب هر جلبک باعث افزایش رنگ سبز (a*-) و قرمز (a*+) شدند. نتایج حاصل از این پارامترها می‌تواند بیانگر مشارکت رنگدانه‌های موجود در جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* در رنگ نمونه‌های کیک با جایگزینی آرد گندم باشد که بر این اساس از این دو جلبک می‌توان به‌عنوان رنگ‌دهنده طبیعی در محصولات غذایی بهره‌مند شد. رنگ کیک اصولاً به سطح قند و پروتئین موجود در فرمولاسیون بستگی دارد زیرا واکنش میلارد اولین واکنش شیمیایی در محصولات نانوایی در حین پخت است. سطح آب روی سطح خمیر با اعمال حرارت به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد که بهترین شرایط را برای واکنش میلارد در محصول ایجاد کرده و به رنگ قهوه‌ای نشان می‌دهد؛ اما در صورت افزودن پودری متفاوت از آرد، قهوه‌ای شدن و ایجاد رنگی تیره‌تر تحت تأثیر نوع و رنگ پودر اضافه شده در محصولات قنادی و پخت محصولات رخ می‌دهد (۳۳). با توجه به نتایج مطالعه حاضر و مطالعات ذکر شده در فوق می‌توان تیره‌تر شدن رنگ محصولات غلات از جمله کیک‌ها را به افزایش واکنش‌های میلارد و کاراملیزاسیون در حین پخت نسبت داد (۳۹) و از طرفی استفاده از اجزای مختلف در فرمولاسیون تولید می‌تواند تأثیر مهمی در پارامتر رنگ داشته باشند. از آنجا که رنگ در ظاهر محصولات غذایی مهم است و بر مقبولیت

غذاها، کیفیت حسی و ترجیح مصرف‌کنندگان تأثیر می‌گذارد، در مطالعات متعددی تأثیر آردهای مختلف بر پارامتر رنگ محصولات بر پایه غلات از جمله کیک‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در همین راستا نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تأثیر غلظت‌های مختلف (۱، ۵ و ۱۰ درصد) از مکمل جلبک دریایی سبز *C. racemosa* بر شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^* بیسکویت‌های نیمهشیرین معنی‌دار بود بطوری‌که افزودن جلبک *C. racemosa* باعث کاهش معنی‌داری در شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^* نسبت به نمونه شاهد شد(۲۵).

۳-۳-۵- بررسی تغییرات TPC و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)

نتایج ارزیابی TPC و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های کیک در طی دوره نگهداری در شکل (۵) گزارش شده است. مطابق با نتایج، افزودن پودر دو ماکروجلبک *گراسیلاریا* و *کالرپا* باعث افزایش معنی‌داری در TPC و مهارکنندگی رادیکال DPPH نمونه‌های کیک نسبت به نمونه شاهد در تمام طول دوره نگهداری گردید ($p<۰/۰۵$). در روز اول تولید مشاهده گردید که دو نمونه کیک حاوی ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* به‌ترتیب دارای TPC، ۳/۳۲ mg GA/g و ۳/۲۲ بودند (شکل ۵-الف) و دارای مهارکنندگی، ۲۵/۲۵ و ۲۶/۶۵ درصد بودند (شکل ۵-ب). با افزایش دوره نگهداری، میزان هر دو پارامتر در نمونه‌های کیک کاهش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$).



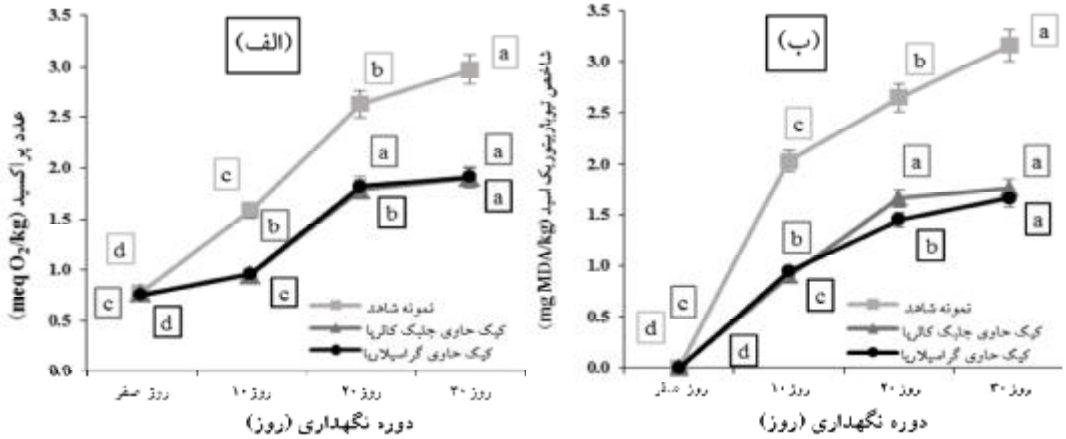
شکل ۵: تغییرات TPC و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* طی دوره نگهداری

در سال‌های اخیر، مصرف غذاهای غنی از آنتی‌اکسیدان با توجه به اثرات محافظتی آنها در برابر ROS و شرایط سلامتی مرتبط با آن‌ها افزایش یافته است (۴۹). میزان TPC و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های کیک غنی‌شده با پودر جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بالاتر از نمونه‌های کیک شاهد بودند (شکل ۵). افزایش TPC نمونه‌های کیک، احتمالاً موجب افزایش توانایی اهدای هیدروژن کیک‌ها شده و در نتیجه فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد را افزایش داده‌است. گونه

کالرپا حاوی ترکیبات فنولیکی متعددی از جمله فرولیک اسید، کوئرستین، کلروژنیک اسید و کافئیک اسید می‌باشد (۵۸)، همچنین گونه‌های *گراسیلاریا* حاوی ترکیبات فیتوشیمیایی مختلف از جمله اوژنول و اسید فتالیک هستند (۵)؛ بنابراین وجود این ترکیبات باعث خواص بالای آنتی‌اکسیدانی این گونه‌های جلبک شوند. همراستا با مطالعه حاضر، غنی‌سازی بیسکویت‌ها با جلبک *کالرپا راسموسا* باعث افزایش TPC و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیسکویت‌ها شد (۲۵). با توجه به شکل (۵-الف) میزان TPC نمونه‌های کیک طی دوره نگهداری کاهش یافت که علت کاهش ترکیبات فنلی طی زمان نگهداری، شرکت این ترکیبات در متابولیسم یا تأثیر واکنش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی طی انبارداری می‌باشد (۴۴). البته لازم به ذکر است که مخلوط کردن سایر ترکیبات در فرمولاسیون مانند روغن در خمیر می‌تواند منجر به سطوحی از اکسیداسیون طی دوره نگهداری شود که می‌تواند برخی از ترکیبات فنلی کیک را کاهش دهد (۲۳). همچنین میزان مهارکنندگی رادیکال DPPH نمونه‌های کیک طی دوره نگهداری گاهش یافت (شکل ۵-ب) که علت کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی دوره نگهداری، تغییرات شیمیایی (واکنش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی) ترکیبات زیست فعال که منجر به تخریب دیواره و غشای سلولی، ایجاد اکسیژن فعال و رادیکال‌های آزاد و همچنین شرکت این ترکیبات در متابولیسم سلولی و مصرف شدن آنها طی دوره نگهداری می‌باشد که باعث کاهش محتوای آنتی‌اکسیدان طی دوره نگهداری می‌شود (۴۰).

۳-۳-٦- بررسی روند ماندگاری نمونه‌های کیک طی دوره نگهداری (PV و TBARS)

عدد پراکسید (PV) و شاخص تیوباربیتوریک اسید (TBARS) در نمونه‌های کیک طی دوره نگهداری بررسی گردید که نتایج آن در شکل (۶) گزارش شده است. مطابق با نتایج، نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک‌های *گراسیلاریا* و *کالرپا* در تمام طول دوره نگهداری از میزان PV و TBARS کمتری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بودند ($p<۰/۰۵$). میزان PV در روز اول در محدوده ۰/۷۸ meq O_2/kg-۰/۷۵ بود اما با گذشت زمان این مقدار به ۲/۹۷ meq O_2/kg-۱/۹۰ افزایش یافت که بالاترین میزان مربوط به نمونه شاهد بود (شکل ۶-الف). میزان TBARS در روز پایان نگهداری در محدوده ۳/۱۶ mg MDA/kg-۱/۶۶ بود که بالاترین میزان مربوط به نمونه شاهد بود (شکل ۶-ب). تأثیر زمان نگهداری بر میزان PV و TBARS، باعث افزایش معنی‌داری در تمام نمونه‌های کیک شد ($p<۰/۰۵$).



شکل ٦: تغییرات میزان PV و TBARS نمونه‌های کیک حاوی پودر ماکروجلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* طی دوره نگهداری

راهکارهای متعددی از جمله افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند برای کاهش تخریب هیدروپراکسید و افزایش پایداری اکسیداتیو مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد (۵۷). در مطالعه حاضر از آنتی‌اکسیدان طبیعی دو جلبک *کالرپا* و *گراسیلاریا* جهت افزایش پایداری اکسیداتیو نمونه‌های کیک استفاده‌شد که نتایج نشان داد افزودن ماکروجلبک‌ها در غلظت ۱/۵ درصد طی دوره نگهداری به‌طور مؤثری در کنترل اکسیداتیو نمونه‌های کیک نقش داشت؛ که این نشان‌دهنده کاهش در سرعت تشکیل هیدروپراکسیدها و به‌دنبال آن افزایش پایداری اکسیداتیو نمونه‌های کیک طی دوره ذخیره‌سازی می‌باشد. در مطالعه‌ای گزارش شد که ادغام زیست‌توده میکروجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* پایداری اکسیداسیون بالاتری را در طول زمان در مقایسه با شاهد در نمونه‌های کوکی ایجاد کرد (۴۸). به‌نظر می‌رسد کاهش PV در نمونه‌های کیک حاوی میکروجلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* به‌دلیل گروه‌هایی از ترکیبات فنلی شامل اسیدهای فنولیک، فنل‌های ساده، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و غیره باشد (۳۵, ۱۷). یافته‌های حاصل از یک برررسی، اندیس پراکسید نمونه‌های مختلف کیک حکایت از آن داشت که افزایش میزان پودر کدو از ۴ درصد تا ۱۲ درصد موجب کاهش اندیس پراکسید می‌شود و همچنین با افزایش زمان انبارمانی نیز اندیس پراکسید تمامی نمونه‌ها افزایش پیدا کرد اما با این‌حال نمونه کیک حاوی ۱۲ درصد پودر کدو از پائین‌ترین میزان پراکسید در تمام دوره نگهداری برخوردار بود که محققان آن، علت این امر را وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر کارتنوئیدها و ترکیبات فنولیک و ترپنوئیدها در کدو بیان کردند که این ترکیبات می‌توانند مانعی در برابر اکسیداسیون کیک باشند و در نتیجه کیفیت کیک را در طی دوره انبارمانی حفظ نمایند (۲۴). آنتی‌اکسیدان‌ها به‌دلیل توانایی آنها در از بین بردن رادیکال‌های آزاد و شلاته‌کنندگی فلزات، سرعت اکسیداسیون را به تأخیر می‌اندازند (۱۹).

اندیس تیوباربیتوریک اسید (TBARS) به‌عنوان شاخص اکسیداسیون لیپیدی ثانویه، محتوای آلدئیدها را تعیین می‌کند (۱۰). در روز اول مقدار این اندیس در نمونه‌های کیک برابر با صفر بود، زیرا این اندیس در اثر تجزیه هیدروپراکسیدهای تشکیل‌شده در روزهای اول و تبدیل آن‌ها به آلدئیدها و کتون افزایش می‌یابد. در نتیجه با پیشرفت روزهای آزمایش و در روزهای پایانی مقدار این اندیس بیشتر افزایش می‌یابد. از آنجائی‌که مالون آلدئید از تجزیه هیدروپراکسیدها حاصل می‌گردد؛ بیشترین توانایی در جلوگیری از تشکیل محصولات ثانویه اکسیداسیون توسط جلبک‌های *کالرپا* و *گراسیلاریا* اعمال گردید. مقدار TBARS پایین نمونه‌های کیک حاوی پودر جلبک در مقایسه با شاهد می‌تواند به‌دلیل محتوای فنلی و توانایی آنتی‌اکسیدانی آنها باشد، زیرا این ترکیبات شامل پلی‌فنول‌هایی است که در فعالیت‌های زیستی مختلفی مانند از بین بردن رادیکال‌های آزاد و مهار اکسیداسیون نقش دارند (۴۵, ۴۳). گزارشات متعددی مبنی بر کنترل میزان TBARS در محصولات غلات مانند کیک و بیسکویت حاوی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی وجود دارد که از جمله تأثیر عصاره ضایعات آناناس در نمونه‌های مافین (۴۶)، پودر جلبک *اسپیرولینا آرتروسپیرا* (*Arthrosphira platensis*) در بیسکویت (۳۱) و همچنین آرد پوست گلابی (*opuntia* sp.) در کیک (۱۲) گزارش شده‌اند.

٤- نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که دو گونه ماکروجلبک *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا* دارای مواد معدنی، پروتئینی و فیبر فراوانی هستند که می‌توانند مزایای سلامتی بخشی داشته باشند. علاوه بر این، خواص ضداکسیدانی خوب در دو گونه ماکروجلبک مورد مطالعه نیز ارزش بیشتری به کاربرد آنها در صنایع دارویی و غذایی می‌افزاید. به نظر می‌رسد افزودن جلبک‌های دریایی *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا* با توجه به خصوصیات قابل توجه آنها رویکردی ابتکاری و نوین در تولید کیک جهت توسعه غذاهای سالم و عملگرا است. علاوه بر این، نمونه‌های کیک حاوی جلبک‌های دریایی از روند ماندگاری بالایی به جهت کنترل اکسیداتیو لیپیدی توسط ترکیبات زیست فعال و خواص آنتی‌اکسیدانی بالای این دو جلبک برخوردار بودند. بنابراین استفاده از جلبک‌های دریایی *کالرپا سرتولاریودس* و *گراسیلاریا کورتیکاتا* به میزان ۱/۵ درصد در تولید غذاهای سالم و عملگرا می‌توانند امنیت غذایی افراد یک جامعه را تقویت نمایند و علاوه بر تقویت ارزش غذایی، حسی و سلامتی‌بخش، به‌دلیل اثر کاهندگی بر فساد شیمیایی چربی کیک، امکان کاهش مصرف افزودنی‌ها و نگهدارنده‌ها را نیز فراهم می‌آورد.

منابع

1. AACC. American Association of Cereal Chemists., 2002. Approved Methods Committee. Approved methods of the American association of cereal chemists (Vol 1) Amer Assn of Cereal Chemists.
2. Ahmad, F., Sulaiman, M.R., Saimon, W., Yee, C.F. and Matanjun, P., 2016. Proximate compositions and total phenolic contents of selected edible seaweed from Semporna, Sabah, Malaysia. *Borneo Science,* 31, pp.85-96.
3. AOAC. Official Method 2001.11., 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 18th Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.
4. Arora, B., Kamal, S. and Sharma, V.P., 2017. Sensory, nutritional and quality attributes of sponge cake supplemented with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder. *Nutrition & Food Science, 47*(4), pp.578-90. doi:10.1108/NFS-12-2016-0187
5. Arulkumar, A., Rosemary, T., Paramasivam, S. and Rajendran, R.B., 2018. Phytochemical composition, in vitro antioxidant, antibacterial potential and GC-MS analysis of red seaweeds (*Gracilaria corticata* and *Gracilaria edulis*) from Palk Bay, India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,* 15, pp.63-67. doi:10.1016/j.bcab.2018.05.008
6. Ashoush, I.S. and Mahdy, S.M., 2019. Nutritional Evaluation of Cookies Enriched with Different Blends of *Spirulina platensis* and *Moringa oleifera* Leaves Powder. *Journal of Food and Dairy Sciences, 10*(3), pp.53-60. doi:10.21608/JFDS.2019.36154
7. Aslan, M. and Ertas, N., 2020. Possibility of using'chickpea aquafaba'as egg replacer in traditional cake formulation. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 24*(1), pp.1-8. doi:10.29050/harranziraat.569397
8. Aumeerun, S., Soulange-Govinden, J., Driver, M.F., Ranga, R.A., Ravishankar, G.A. and Hudaa, N., 2019. Macroalgae and microalgae: novel sources of functional food and feed. In: Handbook of algal technologies and phytochemicals. CRC Press, pp.207-219.
9. Batista, AP., Niccolai, A., Fradinho, P., Fragoso, S., Bursic, I., Rodolfi, L. and *et al.*, 2017. Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. *Algal research,* 26, pp.161-71. doi.org/10.1016/j.algal.2017.07.017
10. Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W. and Lorenzo, J.M., 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants, 8*(10), 429. doi:10.3390/antiox8100429
11. Drozłowska, E., Bartkowiak, A., Trocer, P., Kostek, M., Tarnowiecka-Kuca, A., Bienkiewicz, G. and *et al.*, 2021. The influence of flaxseed oil cake extract on oxidative stability of

microencapsulated flaxseed oil in spray-dried powders. *Antioxidants, 10*(2), 211. doi:10.3390/antiox10020211

12. El-Beltagi, H.S., Ahmed, A.R., Mohamed, H.I., Al-Otaibi, H.H., Ramadan, K.M. and Elkatry, H.O., 2023. Utilization of prickly pear peels flour as a natural source of minerals, dietary fiber and antioxidants: effect on cakes production. *Agronomy,* 13(2), p.439. doi:10.3390/agronomy13020439
13. El-Manawy, M.I., Nassar, Z.M., Fahmy, M.N. and Rashedy, H.S., 2019. Evaluation of proximate composition, antioxidant and antimicrobial activities of some seaweeds from the Red Sea coast, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries,* 23(1), pp.317-329. doi:10.21608/EJABF.2019.30541
14. Feng, X., Sun, G. and Fang, Z., 2022. Effect of Hempseed Cake (*Cannabis sativa* L.) Incorporation on the Physicochemical and Antioxidant Properties of Reconstructed Potato Chips. *Foods,* 11(2), p.211. doi:10.3390/foods11020211
15. Feyera, M., 2020. Review on some cereal and legume based composite biscuits. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology,* 6(1), pp.101-109. doi: 10.17352/2455-815X.000062
16. Gao, X., Choi, H.G., Park, S.K., Sun, Z.M. and Nam, K.W., 2019. Assessment of optimal growth conditions for cultivation of the edible *Caulerpa okamurae* (*Caulerpales*, Chlorophyta) from Korea. *Journal of Applied Phycology,* 31, pp.1855-1862. doi:10.1007/s10811-018-1691-z
17. Ghannadi, A., Shabani, L. and Yegdaneh, A., 2016. Cytotoxic, antioxidant and phytochemical analysis of Gracilaria species from Persian Gulf. *Advanced Biomedical Research,* pp.1-5. doi:10.4103/2277-9175.187373
18. Goranova, Z., Marudova, M. and Baeva, M., 2019. Influence of functional ingredients on starch gelatinization in sponge cake batter. *Food Chemistry, 297*,p.124997. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.124997
19. Grosshagauer, S., Steinschaden, R. and Pignitter, M., 2019. Strategies to increase the oxidative stability of cold pressed oils. *Lwt,* 106, pp.72-77. doi:10.1016/j.lwt.2019.02.046
20. Harrysson, H., Konasani, V.R., Toth, G.B., Pavia, H., Albers, E. and Undeland, I., 2019. Strategies for improving the protein yield in ph-shift processing of Ulva lactuca linnaeus: Effects of ulvan lyases, ph-exposure time, and temperature. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 7*(15), pp.12688-91. doi:10.1021/acssuschemeng.9b02781
21. Holdt, S.L. and Kraan, S. 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology, 23,* pp.543-597. doi:10.1007/s10811-010-9632-5
22. Hurtado, A.Q., Magdugo, R. and Critchley, A.T., 2020. Harvesting and potential uses of selected red seaweeds in the Philippines with emerging high-value applications. *Advances in Botanical Research,* 95, pp. 19-56. Academic Press. doi:10.1016/bs.abr.2019.12.004

23. Jahanbakhshi, R. and Ansari, S., 2020. Physicochemical properties of sponge cake fortified by olive stone powder. *Journal of Food Quality.,* 2020, pp.1-11. doi:10.1155/2020/1493638
24. Khademi, F., Mehdipour Biregani, Z., Keramat, J., 2020. Physicochemical, textural, nutritional and sensory properties of sponge cake enriched with pumpkin powder during storage. *Journal of food science and technology (Iran),* 17(103), pp.167-80. doi:10.52547/fsct.17.103.167
25. Kumar, A., Krishnamoorthy, E., Devi, H.M., Uchoi, D., Tejpal, C.S., Ninan, G.and *et al*., 2018. Influence of sea grapes (*Caulerpa racemosa*) supplementation on physical, functional, and anti-oxidant properties of semi-sweet biscuits. *Journal of Applied Phycology, 30*(2), pp.1393-1403. doi:10.1007/s10811-017-1310-4
26. Li, W., 2022. Quality characteristics of sponge cakes made of rice flour under different preservation conditions. *Food Science and Technology,*42, e02922. doi.org/10.1590/fst.02922
27. Luyts, A., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., Courtin, C.M. and Delcour, J.A,. 2013. Relative importance of moisture migration and amylopectin retrogradation for pound cake crumb firming. *Food Chemistry,* 141(4), pp.3960-3966. doi:10.1016/j.foodchem.2013.06.110
28. Madukwe, E.U., Okoye, V., Ayogu, R.N. and Franca, O., 2013. Chemical and organoleptic evaluation of fermented maize (*Zea mays*) gruel supplemented with fermented cowpea (*Vigna unguiculata*) flour and roasted melon seed (*Citrullus vulgaris*) paste. *African Journal of Biotechnology,12*(36), pp.5549-5553. doi:10.5897/AJB2013.12886
29. Majzoobi, M., Poor, Z.V., Jamalian, J. and Farahnaky, A., 2016. Improvement of the quality of gluten-free sponge cake using different levels and particle sizes of carrot pomace powder. *International Journal of Food Science & Technology, 51*(6), pp.1369-1377. doi:10.1111/ijfs.13104
30. Mandalka, A., Cavalcanti, M.I.L.G., Harb, T.B., Toyota Fujii, M., Eisner, P., Schweiggert-Weisz, U.and *et al*., 2022. Nutritional composition of beach-cast marine algae from the Brazilian coast: Added value for algal biomass considered as waste. *Foods,* 11(9). doi:10.3390/foods11091201
31. Marcinkowska-Lesiak, M., Onopiuk, A., Zalewska, M., Ciepłoch, A. and Barotti, L., 2018. The effect of different level of *Spirulina* powder on the chosen quality parameters of shortbread biscuits. *Journal of Food Processing and Preservation,42*(3), e13561. doi:10.1111/jfpp.13561
32. Messaoudi, A. and Fahloul, D., 2018. Physicochemical and sensory properties of pancake enriched with freeze dried date pomace powder. *Annals Food Science and Technology, 19*(1), pp.59-68.
33. Najjaa, H., Ben Arfa, A., Elfalleh, W., Zouari, N. and Neffati, M., 2020. Jujube (*Zizyphus lotus* L.): Benefits and its effects on functional and sensory properties of sponge cake. *PloS One, 15*(2), e0227996. doi:10.1371/journal.pone.0227996
34. Nhung, T.T.N., Chau, N.T.B., Hien, L.T.M., Linh, V.T.H., Ha, N.L. and Dong, D.T.A., 2022. Characteristics of sponge cake preserved by green tea extract powder. *Journal of Food Processing and Preservation, 46*(11), e16939. doi.:10.1111/jfpp.16939

35. Nurjanah, J.A., Asmara, D.A. and Hidayat, T., 2019. Phenolic compound of fresh and boiled sea grapes (*Caulerpa* sp.) from Tual, Maluku. *Food Science Technology Journal, 1*(1), pp.31-39. doi:10.33512/fsj.v1i1.6244
36. Okolie, C.L., Mason, B. and Critchley, A.T., 2018. Seaweeds as a source of proteins for use in pharmaceuticals and high-value applications. Novel Proteins for Food, Pharmaceuticals, and Agriculture: Sources, Applications, and Advances. 217.
37. Pereira, D.M., Valentão, P., Pereira, J.A. and Andrade, P.B., 2009. Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules,* 14(6), pp.2202-2211. doi:10.3390/molecules14062202
38. Raja, R., Hemaiswarya, S., Sridhar, S., Alagarsamy, A., Ganesan, V., Elumalai, S.and et al., 2020. Evaluation of proximate composition, antioxidant properties, and phylogenetic analysis of two edible seaweeds. *Smart Science,* 8(3), pp.95-100. doi:10.1080/23080477.2020.1795338
39. Raymundo, A., Fradinho, P. and Nunes, M.C., 2014. Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 3*(2), pp.96-105. doi:10.1016/j.bcdf.2014.03.001
40. Remorini, D., Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Loreti, F., Massai, R. and Guidi, L., 2008. Effect of rootstocks and harvesting time on the nutritional quality of peel and flesh of peach fruits. *Food Chemistry,110*(2), pp.361-367. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.011
41. Rosemary, T., Arulkumar, A., Paramasivam, S., Mondragon-Portocarrero, A. and Miranda, J.M., 2019. Biochemical, micronutrient and physicochemical properties of the dried red seaweeds *Gracilaria edulis* and *Gracilaria corticata*. *Molecules,* 24(12). doi:10.3390/molecules24122225
42. Salehi, F. and Aghajanzadeh, S., 2020. Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review. *Trends in Food Science & Technology,* 95, pp.162-172. doi: 10.1016/j.tifs.2019.11.011
43. Sanger, G., Wonggo, D., Taher, N., Dotulong, V., Setiawan, A.A., Permatasari, H.K.and *et al.*, 2023. Green seaweed Caulerpa racemosa-Chemical constituents, cytotoxicity in breast cancer cells and molecular docking simulation. *Journal of Agriculture and Food Research,* 12. doi:10.1016/j.jafr.2023.100621
44. Sartip, G. and Hajilou, J., 2015. Effect of preharvest application salicylic acid on physicochemical characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits cv.'Shamlou'during storage. *Journal of Crops Improvement,* 17(1), pp.81-91.
45. Sasadara, M. and Wirawan, I. (Editors)., 2021. Effect of extraction solvent on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Bulung Sangu* (*Gracilaria* sp.) Seaweed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/712/1/012005
46. Segovia Gómez, F. and Almajano Pablos, M.P., 2016. Pineapple waste extract for preventing oxidation in model food systems. *Journal of Food Science and Technology (Iran*), 81(7), pp.1622-1628. doi:10.1111/1750-3841.13341

47. Serna Saldívar, S.O. and Hernández, D.S., 2020. Dietary fiber in cereals, legumes, pseudocereals and other seeds. In: Science and Technology of Fibers in Food Systems: Springer, pp.87-122. doi:10.1007/978-3-030-38654-2
48. Shahbazizadeh, S., Khosravi-Darani, K. and Sohrabvandi, S., 2015. Fortification of Iranian traditional cookies with *spirulina platensis*. *Annual Research & Review in Biology,*77(3), pp.144-54. doi:10.9734/ARRB/2015/13492
49. Shahidi, F. and Ambigaipalan, P., 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects–A review. J*ournal of Functional Foods,* 18, pp.820-97. doi:10.1016/j.jff.2015.06.018
50. Tapotubun, A.M., Matrutty, T.E., Riry, J., Tapotubun, E.J., Fransina, E.G., Mailoa, M.N.and *et al*., 2020. Seaweed *Caulerpa* sp. position as functional food. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 517 (2020) 012021. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/517/1/012021
51. Tenorio, A.T., Boom, R.M. and van der Goot, A.J., 2017. Understanding leaf membrane protein extraction to develop a food-grade process. *Food Chemistry,* 217, pp.234-43. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08.093
52. Usha, R., Lakshmi, M., Ranjani, M., 2010. Nutritional, sensory and physical analysis of pumpkin flour incorporated into weaning mix. *Malaysian Journal of nutrition,*16(3), pp. 379-87
53. Vásquez, V., Martínez, R. and Bernal, C., 2019. Enzyme-assisted extraction of proteins from the seaweeds Macrocystis pyrifera and C hondracanthus chamissoi: Characterization of the extracts and their bioactive potential. *Journal of Applied Phycology,* 31, pp.1999-2010. doi:10.1007/s10811-018-1712-y
54. Wells, M.L., Potin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S., Helliwell, K.E.and *et al*., 2017. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology,* 29, pp.949-82. doi:10.1007/s10811-016-0974-5
55. Yousef ,N.S., Salem, R.H., Abo Zaid, E.M.E. and El-kader, A., 2015. Enriching balady bread using red algae (*Pterocladia capillacea*). *Egyptian Journal of Agricultural Sciences,* 66(3), pp.234-244.
56. Zangeneh, N., Barzegar, H., Alizadeh Behbahani, B. and Mehrnia, M.A., 2020. 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), pp.207-220. doi:10.22067/ifstrj.v16i2.81859
57. Zhang, N., Li, Y., Wen, S., Sun, Y., Chen, J., Gao, Y.and *et al*., 2021. Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review. *Food Chemistry, 358*, 129834. doi:10.1016/j.foodchem.2021.129834

58. Zhong, B., Robinson, N.A., Warner, R.D., Barrow, C.J., Dunshea, F.R. and Suleria, H.A., 2020. LC-ESI-QTOF-MS/MS characterization of seaweed phenolics and their antioxidant potential. *Marine Drugs*, 18(6), 331. doi:10.3390/md18060331

The Effect of Adding Macroalgae *Caulerpa sertulariodes* and *Gracillaria corticata* on the Physicochemical, Shelf Life, and Sensory Properties of Cake Samples during the Storage Period

Mahnaz Al-Sadat Hasani Attar [1], Sepideh Bahrami*[2], Maryam Moslehishad [3]

1. M.sc Graduated Department of Food Science and Technology, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. mahnaz.ha63@gmail.com
2. Assistant Professor of Department of Food Science and Technology, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. sepideh.bahrami@iau.ac.ir
3. Associate Professor of Department of Food Science and Technology, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Ma.Moslehishad@iau.ac.ir

Abstract

Green algae (*Caulerpa sertulariodes*) and red algae (*Gracillaria corticata*) are two different types of seaweed with high nutritional value. In the present study, different concentrations (0, 1, 1.5, and 2%) of two algae species, *C. sertulariodes* and *G. corticata*, were used independently in the cake samples. Then the samples were evaluated in terms of sensory, physicochemical, antioxidant properties, and total phenol content (TPC), as well as in terms of oxidative stability by the parameters of peroxide value (PV) and thiobarbituric acid index (TBARS) during the 30-day storage period. Sensory evaluation results showed that cake samples containing 1.5% macroalgae powder were more acceptable than the other two concentrations in all evaluation parameters ($p<0.05$). Adding 1.5% of macroalgae powder to the cake samples caused a significant increase in acidity, moisture, ash, protein, and fiber compared to the control sample ($p<0.05$). Adding two algae powders and increasing storage time caused a significant decrease in the L* and b^* indices of cake samples ($p<0.05$). Cake samples containing *C. sertulariodes* and *G. corticata* had higher TPC and antioxidant capacity

than the control sample. The amount of PV and TBARS over time in the cake samples containing *C. sertulariodes* and *G. corticata* was lower than the control sample throughout the entire storage period. According to the results, it can be stated that the use of seaweed in the production of healthy foods can ensure the food security of the people in a society.

Keywords: Cake, Macroalgae, Sensory properties, Antioxidant activity, *Calerpa sertulariodes*, *Gracilaria corticata*.

Corresponding author: sepideh.bahrami@iau.ac.ir