

مجله علوم و صنایع غذایی ایران



سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی شکرپنیر غنی‌سازی شده با فیکوسیانین

مریم آزمون^۱، امیرحسین الهامی راد^{۲*}، حسین دلاوری امرئی^۱، محمد آرمین^۱

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

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۳- گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

۴- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۹

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۹

کلمات کلیدی:

شکرپنیر،

فیکوسیانین،

آنتی‌اکسیدان،

رنگ‌دانه طبیعی،

ریزجلبک اسپیرولینا

DOI: 10.48311/fsct.2026.84012.0

* مسئول مکاتبات:

ah.elhami@gmail.com

افزایش نگرش مصرف‌کنندگان به استفاده از رنگ‌های طبیعی به جای رنگ‌های سنتزی، موجب گسترش کاربرد ریزجلبک/اسپیرولینا به عنوان منبع پروتئین و رنگ‌دانه فیکوسیانین در صنایع غذایی و بهداشتی شده است. در این پژوهش، اسپیرولینا در محیط کشت رودیک تحت دمای $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ، pH حدود ۸ و نور سفید با شدت ۶۰۰۰ لوکس کشت شد و پس از ۱۴ روز، رنگ‌دانه فیکوسیانین به روش ذوب - انجماد استخراج گردید. فیکوسیانین در غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد به شکرپنیر افزوده شد و تغییرات فیزیکوشیمیایی و میکروبی نمونه‌ها طی دوره نگهداری ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش غلظت فیکوسیانین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، خاکستر و ترکیبات فنلی روند افزایشی و میزان رطوبت و فعالیت آبی روند کاهشی داشت. نمونه حاوی ۰/۵ درصد فیکوسیانین بالاترین امتیاز پذیرش حسی را کسب کرد و در هیچ یک از نمونه‌ها رشد میکروبی مشاهده نشد. این نتایج نشان می‌دهد فیکوسیانین می‌تواند به عنوان یک رنگ‌دانه طبیعی با خواص عملکردی مطلوب در تولید شکرپنیر مورد استفاده قرار گیرد.

۱-مقدمه

استفاده از ترکیبات طبیعی گیاهی در سال‌های اخیر به‌ویژه در زمینه‌های تغذیه‌ای، پزشکی، آرایشی و بهداشتی مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که افزودن ترکیبات گیاهی، نظیر ترکیبات فنولی، به مواد غذایی می‌تواند آثار محافظت‌کننده‌ای در برابر بسیاری از بیماری‌ها ایجاد کند. توجه به رشد جمعیت و نیاز روبه‌افزایش به پروتئین در سطح جهانی، صنعت آبی‌پروری به عنوان یکی از تأمین‌کنندگان اصلی پروتئین مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، سلول‌های خشک‌شده میکروارگانیسم‌ها، که به‌عنوان پروتئین‌های تک‌یاخته‌ای نیز شناخته می‌شوند، به‌عنوان منابع پروتئینی مناسب و پایدار به شمار می‌روند [۱]. برخلاف گیاهان خشکی زی، تولید میکروارگانیسم‌ها از جمله ریزجلبک‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها به زمین کشاورزی نیاز ندارد و این امر سبب می‌شود که ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبعی مناسب جهت تأمین پروتئین در نظر گرفته شوند [۲].

اسپیرولینا، به‌عنوان یک جلبک سبز آبی (سیانوباکتری) بدون هتروسیست، به‌صورت رشته‌ای و نخ مانند در نواحی کم‌عمق و قلیایی دریاها و دریاچه‌ها رشد می‌کند. این جلبک به‌ویژه در مناطقی مانند مکزیک و آفریقا به‌عنوان منبع غذایی مصرف می‌شود. اسپیرولینا دارای حدود ۶۲٪ اسید آمینه و سرشار از ویتامین B12 می‌باشد و همچنین حاوی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی زانتوفیل و کاروتن است [۳]. مطالعات انجام‌شده بر روی جلبک‌ها نشان‌دهنده خواص آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌بیوتیکی، ضد قارچی، ضد ویروسی و ضد سرطانی این موجودات است. همچنین، آنتی‌اکسیدان‌های قوی موجود در

اسپیرولینا و خواص سلامت بخش آن، به رنگ‌دانه‌های آنتی‌اکسیدانی آن وابسته است [۴].

فیکوسیاینین یک کمپلکس رنگ‌دانه پروتئینی آبی رنگ بوده که در سیانوباکتری‌ها و ریزجلبک‌ها یافت می‌شود. این رنگ‌دانه طبیعی محلول در آب به علت خواص بی نظیری مانند تحریک سیستم ایمنی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی، ضد التهاب، ضد ویروسی و کاهش کلسترول، پتانسیل بالایی در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بیوتکنولوژی دارد. به طور کلی ریزجلبک‌ها منابع بسیار غنی ترکیبات مغذی و رنگ‌های طبیعی هستند که قابلیت افزوده شدن به غذای انسان را دارا می‌باشد [۶و۵].

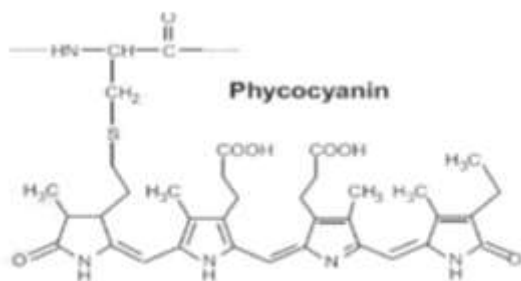


Figure (1). Phycocyanin structure[6]

نیکان ایری و همکاران (۱۴۰۱) تأثیر رنگ‌دانه فیکوسیاینین بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی، میکروبی و آنتی‌اکسیدانی پنیر را بررسی کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که میزان چربی، رطوبت، pH و ۱،۱-دی فنیل-۲-پیکریل هیدرازیل (DPPH)^۲ پنی‌های غنی شده کاهش معنی داری نسبت به نمونه شاهد داشته است. همچنین میزان پروتئین، بتاکاروتن، قدرت سنجش کاهش آهن (FRAP) و به دام اندازی نیتریک اکسید افزایش معنی داری نسبت به نمونه

رنگ‌دانه فیکوسیانین نشان از حضور ترکیباتی با خاصیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی دارد که نقش مهمی در ماندگاری و کیفیت بستنی دارد [۸].

دیوی^۷ و همکاران در تحقیقی تعیین کاربرد فیکوسیانین ریزپوشانی شده فراوری شده با روش اسپری درایر در آب نبات ژله‌ای با هدف این‌که رنگ آبی طبیعی موجود در فیکوسیانین برای مصرف کننده بی خطر باشد؛ را مورد بررسی قرار دادند و آب نبات ژله‌ای بر اساس ویژگی‌های رطوبت، خاکستر، واتر اکتیویته^۸، ظاهر رنگ و طیف فیکوسیانین آن با طیف سنجی مادون قرمز ارزیابی شد. فرآیند خشک کردن اسپری با دمای ورودی ۸۰°C انجام شد. غلظت‌های مختلف فیکوسیانین میکرو کپسوله‌شدن مانند ۰، ۱، ۳، ۵ درصد و آب نبات ژله‌ای با آبی درخشان که به عنوان مقایسه استفاده می‌شود، به آب نبات ژله اضافه شد که هر کدام PC، PS، PT، PL و PB نامیده می‌شوند. نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف فیکوسیانین اضافه‌شده بر روی محصول ژله دارای میزان رطوبت، واتراکتیویته و رنگ آبی متفاوت بود. طیف سنجی مادون قرمز نشان داد که فیکوسیانین هنوز روی آب نبات ژله باقی مانده است و PL بهترین آب‌نبات ژله‌ای شناخته شد [۹].

رنگ‌دانه‌های طبیعی، مولکول‌هایی با ارزش بالا برای صنایع غذایی و داروسازی هستند که با توجه به منشأ و ایمنی آنها به عنوان بهترین انتخاب برای مصرف کنندگان امروزی تلقی می‌شوند. با این حال، استفاده از آن به دلیل پایداری آن محدود است که مانع از کاربرد آن در محصولات می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط جاسمر^۹ همکاران انجام شده است، پایداری فیکوسیانین C در آب نبات‌های ژلاتینی هنگامی که با

شاهد داشته است. ارزیابی حسی نیز افزایش معنی داری از رضایت را به جزء حس بویایی نسبت به نمونه شاهد نشان داد. علاوه بر آن، اشرشیاکلی^۳ و استافیلوکوکوس اورئوس^۴ طی روزهای مختلف یافت نگردید. با این حال، حضور باکتری کلی فرم^۵ از روزهای ۷ تا ۲۱ در پنیرهای غنی شده و نمونه شاهد مشهود بود. همچنین نتایج ترکیبات فرار حاصل از آزمایش MS-GC در نمونه شاهد و پنیر غنی شده با ۱ درصد رنگ‌دانه فیکوسیانین نشان از حضور ترکیباتی با خاصیت ضد میکروبی می‌باشد که نقش مهمی در ماندگاری و کیفیت پنیر دارد [۷].

کاشی و همکاران (۱۴۰۳) کاربرد صنعتی رنگ‌دانه طبیعی خوراکی فیکوسیانین مستخرج از سیانوباکتری/سپیرولینا را در تهیه بستنی با تأکید بر ویژگی‌های میکروبی و آنتی اکسیدانی بررسی کردند. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که میزان چربی و قند کل، نقطه ذوب، ABTS و DPPH بستنی‌های غنی شده کاهش معناداری نسبت به کنترل داشته است. همچنین میزان پروتئین، هوادهی و FRAP افزایش معناداری نسبت به نمونه کنترل داشت. ارزیابی حسی نیز تفاوت معناداری در طعم، مزه، رنگ و قوام بستنی نسبت به نمونه کنترل نداشته است. علاوه بر آن، هیچ نشانی از حضور/اشرشیا کلی، استافیلوکوکوس اورئوس و سالمونلا^۶ در طی دوران نگهداری مشاهده نگردید. با این حال، حضور باکتری کلی فرم از روزهای ۴۲ تا ۵۶ در بستنی‌های غنی شده و نمونه کنترل و حضور کپک و مخمر در طی روزهای ۲۸ تا ۵۶ فقط در بستنی کنترل مشاهده گردید. میزان باکتری‌های سرمادوست از هفته‌ی ۲ تا هفته ۸ کاهش یافت. نتایج ترکیبات فرار حاصل از آزمایش MS/GC در بستنی غنی ۲٪

7- Dewi

8- aw

9- Josmar Araud

3- Escherichia coli

4- Staphylococcus aureus

5- Coliform

6- Salmonella

شد و رنگ آبی روی آب نبات سخت برای ۲۸ روز ثابت ماند [۱۱].

با این حال، بخش عمده تحقیقات موجود بر محصولات لبنی صنعتی یا آب نبات های ژلاتینی متمرکز بوده و درخصوص کاربرد فیکوسیانین در شیرینی ها و فرآورده های سنتی ایرانی، مطالعات بسیار محدود است. شکرپنیر یکی از شیرینی های سنتی پرمصرف در ایران است که به طور معمول فاقد ترکیبات عملکردی آنتی اکسیدانی و رنگ طبیعی است. غنی سازی این محصول با رنگ دانه های طبیعی مانند فیکوسیانین می تواند علاوه بر ایجاد رنگ جذاب و طبیعی، ارزش تغذیه ای و ویژگی های عملکردی آن را ارتقا دهد. با این وجود، تاکنون پژوهش جامعی در ارتباط با بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی، آنتی اکسیدانی، حسی و میکروبی شکرپنیر غنی شده با فیکوسیانین گزارش نشده است.

بنابراین، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی شکرپنیر غنی سازی شده با فیکوسیانین استخراج شده از اسپیرولینا است تا امکان استفاده از این رنگ دانه طبیعی در تولید شیرینی های سنتی و ارتقای کیفیت و ماندگاری آن ها مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش ها

فیکوسیانین در سال ۱۴۰۲ با توجه به زمان سفارش از کشور چین تهیه گردید و تا شروع آزمایش در بسته بندی پلی اتیلن در فریزر -۱۸ درجه سانتی گراد نگهداری شد. شکر سفید، اسید سیتریک با گرید خوراکی (شرکت کیمیاگستر، ایران) و کلیه مواد شیمیایی مصرفی جهت انجام آزمون ها از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

ترهالوز و اسید سیتریک اضافه می شود، ارزیابی شده است. با استفاده از معادلات پیش بینی کننده می توان غلظت رنگ دانه را به عنوان تابعی از زمان، مواد افزودنی و حضور آنزیمی مرتبط کرد. مشاهده شد که در اثر ترکیب ترهالوز با فیکوسیانین می توان ترکیب فوق را در حین عبور از دستگاه گوارش و در اثر برخورد با شیره معده و پپسین حفظ کرد. همچنین گنجاندن ترهالوز در فرمولاسیون منجر به پایداری طولانی تر رنگ دانه می شود. از سوی دیگر، مشخص شد که آب نبات های ژلاتینی ناقل خوبی برای رساندن فیکوسیانین C به روده هستند [۱۰].

در تحقیقی دیگر فرمولاسیون آب نبات سخت 'را با افزودن بیو پیگمنت آبی فیکوسیانین عصاره / اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان یک رنگ دهنده طبیعی به دست آورده و پایداری رنگ فیکوسیانین را پس از اعمال بر روی محصولات غذایی بررسی شده است. مرحله اول این مطالعه استخراج فیکوسیانین به روش انجماد و کپسوله سازی فیکوسیانین با استفاده از مالتودکسترین به نسبت ۱:۱ بود. مرحله دوم پردازش آب نبات سخت با دو روش بود. مرحله سوم تجزیه و تحلیل محصول انجام شد. طرح آزمایشی مورد استفاده، طرح کاملاً تصادفی (CRD) دو عاملی است. محصولات آب نبات سخت در برابر پارامترهای رنگ، طعم و بافت مورد آزمایش قرار گرفت. فرمول انتخابی طبق نظر اعضای پانل، ۸۰ گرم ساکارز و ۳ گرم فیکوسیانین برای آب نبات سخت به نتایج خوبی منجر شد. آنالیز شیمیایی نشان داد که مقدار فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50})، قند احیاکننده، ساکارز، آب، خاکستر و محتوای پروتئین به ترتیب ۳۱۰/۰۶ ppm، ۱۶/۹۲٪، ۴۴/۳۳٪، ۰/۹۲٪، ۰/۰۲٪ و ۷۲/۳۳ ppm محاسبه

۲-۱- مراحل تولید فیکوسیائین

2B) شد و در نهایت فاز بالایی که حاوی فیکوسیائین بود جمع آوری گردید [۱۲و۱۳].

نمودار زیر جذب فیکوسیائین، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Specord 210, شرکت Analytik) تعیین شد. در این بررسی، اوج‌های جذب حاکی از توانایی فیکوسیائین در جذب نور در محدوده‌های خاصی است که می‌تواند اطلاعات مهمی درباره ویژگی‌های نوری و شیمیایی این مولکول ارائه دهد.

شکل (۲)، نمودار A مربوط به پودر استاندارد فیکوسیائین خریداری شده (شرکت Xi'an Huilin Bio-Tech Co., Ltd, شماره 20298-86-6) و نمودار B مربوط به فیکوسیائین مایع به دست آمده از طریق کشت آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

ریزجلبک / سپیرولینا در محیط کشت رودیک در دمای 25°C و 28 ± 2 pH تحت نور سفید با شدت ۶۰۰۰ لوکس کشت داده شد. پس از سپری شدن دوره رشد (حدوداً ۱۴ روز) ریزجلبک به حداکثر مقدار خود در فاز رشد لگاریتمی رسید، سپس سلول‌ها برای بررسی‌های تجربی برداشت شدند. به منظور استخراج فیکوسیائین از روش ذوب - انجماد و بافر استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم زیست توده خشک شده در ۱۵ میلی لیتر بافر سدیم هیدروژن فسفات با غلظت ۰/۰۵ مولار حل شد. محلول در دمای 20°C - منجمد (یخچال فریزرپارس) و در دمای 10°C حمام آبی (AASHTO T245-97, ASTM D5581) ذوب شد. فرایند ذوب و انجماد ۵ مرتبه متوالی تکرار شد. محلول در ۴۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ (شرکت Anke, مدل TDL80-

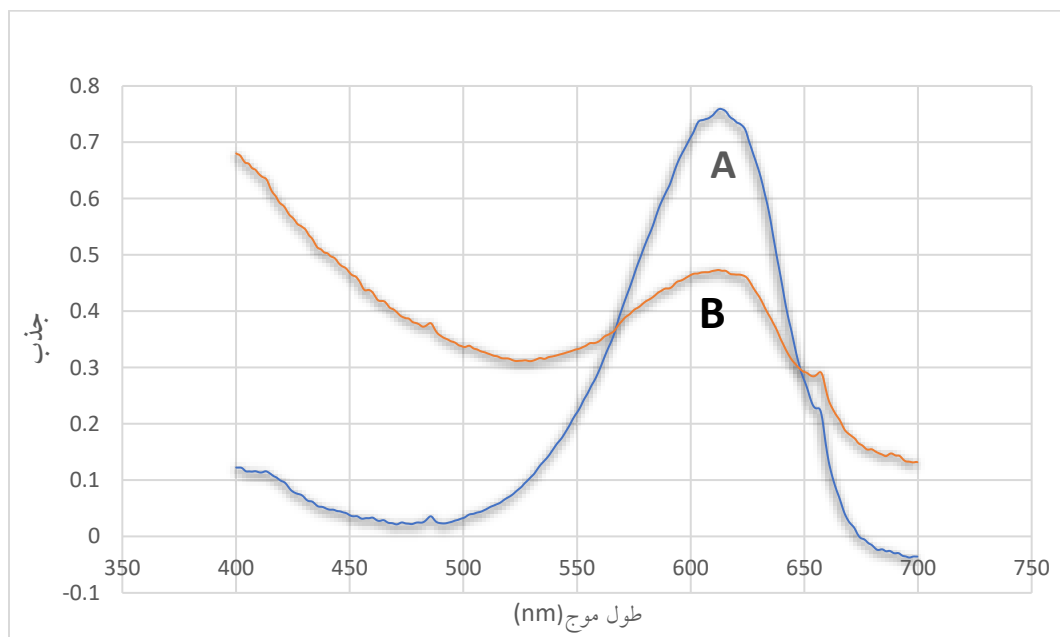


Figure (2). Graph of phycocyanin absorption rate

کاملاً در آن حل شود. پس از حل شدن کامل شکر، سفیده تخم مرغ به ترکیب فوق به جهت حذف ناخالصی‌ها و آلودگی‌های احتمالی موجود در شکر افزوده می‌شود. پس از رسیدن محلول به نقطه جوش، ناخالصی‌های موجود در شکر

۲-۲- مراحل آماده‌سازی نمونه

ابتدا آب درون دیگ حرارت داده می‌شود تا دمای آن به حدود ۶۰ تا 70°C برسد. سپس شکر به آب افزوده می‌شود تا

Limited - ساخت چین) در مقایسه با نمونه شاهد قرائت گردید. فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (DPPH) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۱۴].

$$\text{جذب شاهد نمونه} - \text{جذب نمونه} = \frac{\text{جذب نور}}{\text{جذب نمونه شاهد}} \times 100$$

۲-۳-۲- اندازه گیری مقدار ترکیبات فنلی شکر پنیر

حاوی فیکوسیانین

میزان کل ترکیبات فنولی با روش فولین سیوالتوانجام گرفت. جهت رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک استفاده گردید. میزان کل ترکیب در هر گرم عصاره بیان شد [۱۵].

۲-۳-۳- رطوبت

جهت تعیین محتوی رطوبت، طبق دستورالعمل موجود در استاندارد ملی ۱۶۱۱۳ ایران با استفاده از دستگاه آون (مدل DIN EN60521P20، شرکت memmert، ساخت آلمان) و ترازو (مدل And-Fx300gd - ساخت ژاپن) و دسیکاتور (ساخت ژاپن) اندازه گیری گردید [۱۶].

درصد رطوبت

$$\text{وزن شکر پنیر خشک همراه پلیت} - \text{وزن شکر پنیر مرطوب همراه پلیت} = \frac{\text{وزن نمونه اولیه}}{\text{وزن نمونه اولیه}}$$

۲-۳-۴- خاکستر

تعیین میزان خاکستر طبق دستورالعمل موجود در استاندارد ملی ۲۵۵۴ با استفاده از کوره الکتریکی (2-16KC، ساخت آلمان) انجام شد و با فرمول زیر به صورت درصد اندازه گیری شد:

$$\text{میزان خاکستر} = \frac{M_0}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه M_0 مقدار خاکستر باقی مانده در بوتله پس از آزمون بر حسب گرم، و M_1 مقدار نمونه اولیه بر حسب گرم می باشد [۱۷].

به صورت کف از سطح محلول جدا می شود. در این مرحله، دما تا ۱۱۰ °C افزایش می یابد و محلول به مدت ۱۰ دقیقه در این دما جوشانده می شود. سپس اسید سیتریک (جوهر لیمو) به میزان (۰/۰۲ درصد) به ترکیب افزوده می شود و فرآیند حرارت دهی ادامه می یابد تا دمای محلول به ۱۳۵ °C برسد. در این مرحله، شیر آماده شده و به میز خنک کننده منتقل می شود و در این مرحله فیکوسیانین در غلظت های (۰/۵، ۱، ۱/۵ درصد) اضافه می گردد و خمیر حاصله را ورز داده تا در اثر ورز دادن خمیر حالت کشسانی بیشتری پیدا می کند. سپس مرحله قالب زنی انجام می شود و در نهایت در میکسر دورانی قرار می گیرد. این کار باعث می شود شکرپنیر به لحاظ شکلی فرم مناسبی پیدا کند. در این مرحله مقداری شربت به صورت پاششی روی شکرپنیر ریخته می شود (هدف از افزودن شربت این است که مانع بهم چسبیدن آبنبات گردد). پس از پخت و خارج کردن از قالب و سرد شدن آن تا دمای ۲۵ °C در کیسه های پلاستیکی چندلایه بسته بندی می شود و درب آن با دوخت حرارتی چندلایه درزبندی می گردد.

۲-۳-۲- آزمایش های شیمیایی و میکروبی شکرپنیر حاوی

فیکوسیانین

۲-۳-۱- تعیین فعالیت مهارکنندگی رادیکال های آزاد

(DPPH) شکرپنیر

در این روش به عنوان ترکیب رادیکالی پایدار از ماده DPPH به عنوان معرف استفاده شد. بدین ترتیب به طور جداگانه ۲ میلی لیتر از غلظت های مختلف عصاره متانولی به ۲ میلی لیتر محلول ۰/۰۰۴ درصد DPPH در متانول اضافه گردید. بعد از ۹۰ دقیقه تاریک گذاری در دمای اتاق، جذب نوری نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر با اندازه گیری میزان جذب با دستگاه اسپکتوفوتومتری (مدل T70+ - شرکت PG Instruments

۵-۳-۲- فعالیت آبی

توسط دستگاه اندازه‌گیری فعالیت آبی (مدل Lab.Master شرکت novasina) نمونه در دمای ثابت 25°C به حال خود نگه داشته تا به فشار بخار ثابت برسد. سپس میزان فشار بخار آب ثابت شده را به فشار بخار آب خالص در 25°C تقسیم گردید. حاصل تقسیم فعالیت آبی در 25°C می‌باشد [۱۸].

۶-۳-۲- اندازه‌گیری pH

تعیین pH طبق استاندارد شماره ۲۸۵۲ (National Iran Organization Standards, 2022) با استفاده از دستگاه pH متر (مدل Sp-701، ساخت سوئیس) انجام شد [۱۹].

۷-۳-۲- بررسی میزان آلودگی به آنتروباکتریاسه

میزان آلودگی نمونه با استفاده از محیط کشت VRBD و به روش کشت آمیخته و در دمای 37°C به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت انجام گرفت [۲۰].

۸-۳-۲- شمارش کپک و مخمر

میزان آلودگی نمونه‌ها به کپک و مخمر با استفاده از روش کشت آمیخته محیط کشت YGC و گرم‌خانه‌گذاری در دمای 25°C به مدت ۵ روز انجام گرفت [۲۱].

۹-۳-۲- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی شکرپنیر بر اساس استاندارد شماره ۴۹۳۸ (Iran 1999, Organization Standards National) با استفاده از آزمون حسی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (خیلی بد=۱ تا خیلی خوب=۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون توسط ۱۵ نفر ارزیاب آموزش دیده برای شاخصه‌های طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی انجام شد [۲۲].

۴-۲- تجزیه و تحلیل آماری

بررسی سطوح مختلف فیکوسیانیین (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) و پارامتر زمان در چهار سطح (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ روز) و نمونه شاهد (فاقد افزودنی فوق) بر ویژگی‌های

فیزیکوشیمیایی و حسی شکر پنیر می‌باشد که به صورت طرح بلوک تصادفی به وسیله طرح فاکتوریل دو عامله با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. قابل ذکر است جهت مقایسه میانگین فاکتورهای مورد بررسی از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵٪ استفاده شد. همچنین کلیه تیمارها جهت بررسی در ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- اثر متقابل غلظت و زمان بر خصوصیات مهار کنند

کی رادیکال آزاد شکرپنیر حاوی فیکوسیانیین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل غلظت و زمان بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی شکرپنیر حاوی فیکوسیانیین در شکل (۲)، نشان داد است. با افزایش زمان و غلظت میزان مهارکنندگی رادیکال آزاد افزایش یافت. به طوری که در روز ۳۰ به میزان ۳/۲۵ برابر افزایش میزان آنتی اکسیدان نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. با افزایش غلظت و درجه هیدروکسیلاسیون ترکیبات فنلی، فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش می‌یابد که به عنوان فعالیت آنتی‌اکسیدانی تعریف می‌شود. انجام این فعالیت در غلظت‌های بسیار کم نیز صورت می‌گیرد. که به علت حساسیت بالای رادیکال آزاد DPPH در حضور اهداکنندگان اتم هیدروژن (ترکیبات احیاکننده نظیر ترکیبات فنلی عصاره) می‌باشد و سبب تبدیل آن‌ها به فرم غیر رادیکالی و کاهش میزان جذب محلول DPPH در طول موج ۵۱۷ نانومتر می‌شود. از این رو در این آزمون، فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره‌ها برحسب درصد کاهش در میزان جذب محلول‌های DPPH، البته در حضور عصاره‌های فنلی و نسبت به محلول فاقد بیان می‌گردد. افزایش غلظت ترکیبات فنلی به طور مستقیم توانایی عصاره‌های مختلف را در مهار رادیکال‌های آزاد، افزایش می‌دهد. در غلظت‌های بالاتر ترکیبات فنلی، به دلیل افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیل وجود در محیط واکنش و

کردند. نتایج نشان داد که مکمل فیکوسیانین ۵ درصد می‌تواند محتوای ماده خشک (DM)، پروتئین خام (CP) و کربوهیدرات محلول در آب^{۱۱} (WSC) را حفظ کند. افزایش محتوای اسید لاکتیک (LA)؛ کاهش pH و اسید بوتیریک (BA) و نیتروژن آمونیاکی (NH_3-N) و کیفیت تخمیر را بهبود بخشد. در عین حال، محتوای ظرفیت آنتی اکسیدانی کل^{۱۲} ($TAOC$)، محتوای فنل کل (TP)، محتوای پلی ساکارید (P) و محتوای فلاونوئید کل (F) در گروه افزودنی به طور قابل توجهی افزایش یافت، همچنین افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی و افزایش فراوانی باکتری‌های اسید لاکتیک، با کیفیت سیلو همبستگی مثبت داشت [۲۵].

احتمال اهداء هیدروژن به رادیکال آزاد، قدرت مهار کنندگی عصاره افزایش می‌یابد [۲۳].

احمدی و همکاران (۲۰۲۴)، اثر فیکوسیانین و فیکواریترین بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی ماست کم‌چرب و پنیر خامه‌ای یخچالی را بررسی کردند. نتایج نشان داد پنیرهای خامه‌ای و ماست‌های کم‌چرب غنی‌شده با PE یا ترکیب $PE + PC$ ، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در پایان دوره آزمایش داشتند. همچنین، افزودن PE و PC تأثیر معنی‌داری بر تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده در ارتباط با فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت ($p < 0.01$) [۲۴].

لیو و همکاران (۲۰۲۴)، اثر فیکوسیانین بر ساختار جامعه باکتریایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سیلو یونجه را بررسی

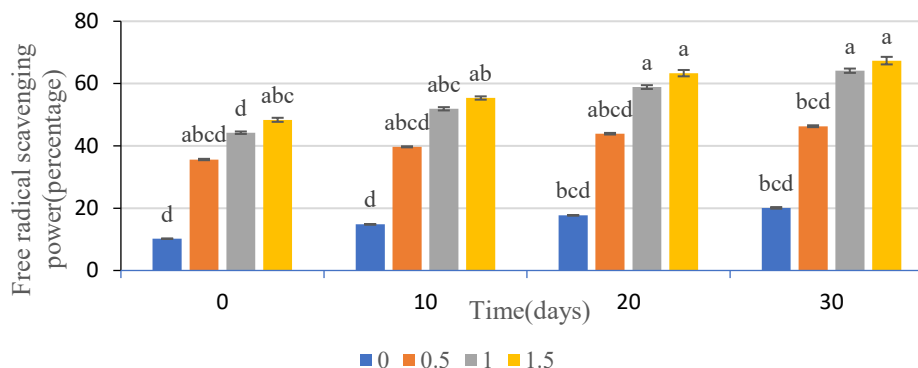


Figure (2). Interaction of concentration and time on antioxidant properties of phycocyanin-containing sugar candy. The averages in each column that have the same letters are not statistically significant at the 0.05 level

و کمترین میزان ترکیبات فنلی به ترتیب مربوط به روز ۳۰ و غلظت ۱/۵ و نمونه شاهد بود.

ثابت قدم و همکاران (۱۴۰۰)، بیان داشتند کمترین مقدار ترکیبات فنولی در نمونه شاهد مشاهده شد و با افزایش غلظت عصاره میزان ترکیبات پلی فنولی موجود افزایش یافت که این امر منجر به افزایش خاصیت آنتی اکسیدانی شد. افزایش غلظت ترکیبات فنولی به طور مستقیم میزان توانایی

۲-۳- بررسی ترکیبات فنل شکر پنیر حاوی فیکوسیانین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل غلظت و زمان بر خصوصیات ترکیبات فنلی شکرپنیر حاوی فیکوسیانین در شکل (۳)، نشان داده شده است با افزایش زمان و غلظت میزان ترکیبات فنلی شکر پنیر حاوی فیکوسیانین افزایش یافته که این امر باعث افزایش خاصیت آنتی اکسیدانی شد. بیشترین

12 -Total antioxidant capacity

11 -Water-soluble carbohydrates

آنتی‌اکسیدانی رابطه مثبت و قابل توجهی وجود دارد. نمونه‌هایی که دارای محتوای فنلی بالاتر بودند، فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH بالاتری نشان دادند که نقش ترکیبات فنلی در افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را تایید می‌کند. این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر همسو است و نشان می‌دهد افزایش غلظت فیکوسیانین در شکرپنیر موجب افزایش ترکیبات فنلی و در نتیجه ارتقای فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود و پتانسیل عملکردی ترکیبات طبیعی زیست‌فعال در محصولات شیرینی سستی را برجسته می‌سازد [۲۸].

عصاره‌های مختلف را در مهار رادیکال‌های آزاد به دلیل افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در محیط واکنش و احتمال اهدای هیدروژن به رادیکال‌های آزاد و به دنبال آن قدرت مهار کنندگی عصاره افزایش می‌دهد و قدرت مهار کنندگی عصاره‌های مختلف به میزان زیادی به تعداد موقعیت گروه‌های هیدروکسیل وزن مولکولی ترکیبات فنولی بستگی دارد چرا که در ترکیبات فنولی با وزن مولکولی پایین‌تر گروه‌های هیدروکسیل راحت‌تر در دسترس قرار می‌گیرند [۲۶]. فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره دانه رازیانه، وابسته به غلظت بوده و با افزایش غلظت، افزایش یافت [۲۷].

مطالعات اخیر بر عصاره‌های اتانولی بره‌موم ایرانی نشان داده‌اند که بین میزان ترکیبات فنلی و فلاونویدی و فعالیت

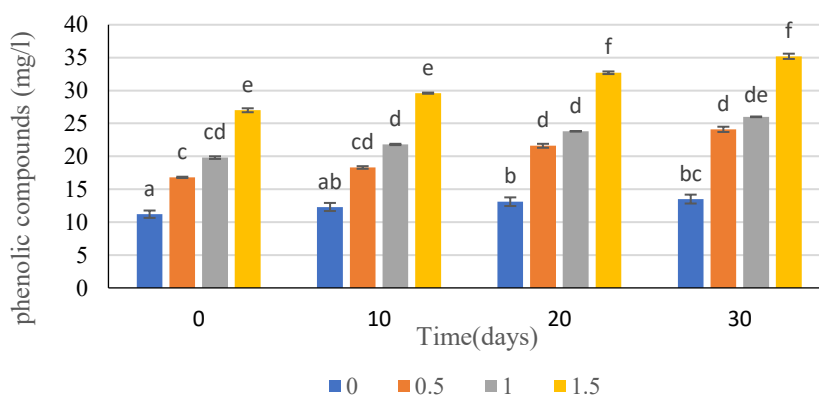


Figure (3). Interaction diagram of concentration and time of phenolic compounds of sugar candy containing phycocyanin.

The averages in each column that have the same letters are not statistically significant at the 0.05 level

شکرپنیر طی زمان نگهداری می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین میزان رطوبت مربوط به غلظت ۱/۵ و نمونه شاهد بود (به ترتیب ۵/۶۸ و ۴/۵۶).

جذب آب را باید مهم‌ترین خصوصیت فیزیکی پروتئین‌ها دانست. این پدیده نه تنها بر ساختمان فیزیکی و خصوصیات فرایندی ماده غذایی حاوی پروتئین عمیقاً اثر می‌گذارد، بلکه از نظر فساد ماده غذایی نیز به دلیل تأثیری که بر روی فعالیت آب دارد بسیار حائز اهمیت است. جذب آب در سطح پروتئین اساساً از طریق پیوندهای

۳-۳-۳ اثر متقابل زمان و غلظت بر رطوبت شکرپنیر حاوی فیکوسیانین

نتایج اثر زمان و غلظت رطوبت شکرپنیر حاوی فیکوسیانین در شکل (۴)، نشان داده شده است، همان طور که ملاحظه می‌شود میزان رطوبت با افزایش غلظت فیکوسیانین روند افزایشی داشت و در تمامی بازه‌های زمانی با افزایش زمان نگهداری به شکل معناداری کاهش یافته است ($p < 0.05$)، که این امر احتمالاً می‌تواند به دلیل ازدست‌دادن رطوبت از سطح

و همکاران (۲۰۲۱)، تأثیر غلظت‌های مختلف پودر اسپیرولینا را بر ویژگی‌های کیفی پنیر سستی یونانی بررسی کردند و بیان داشتند که با افزایش غلظت اسپیرولینا، میزان رطوبت کاهش می‌یابد [۳۱].

مطالعه‌ای اخیر بر پنیر نوع فتا که با پودر اسپیرولینا (*Arthrospira platensis*) غنی شده بود، نشان داد که افزودن اسپیرولینا منجر به کاهش میزان رطوبت نمونه‌ها شده و در عین حال سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری میکروبی محصول بهبود یافته است [۳۲]. این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر همسو است و نشان می‌دهد افزایش غلظت فیکوسیانیین در شکرپنیر نیز طی دوره نگهداری موجب کاهش رطوبت شده و به پایداری بهتر محصول کمک می‌کند.

هیدروژنی صورت می‌گیرد. نظر به اینکه /اسپیرولینا دارای بیش از ۶۰ درصد وزنی پروتئین می‌باشد، احتمالاً در این فرمولاسیون جذب توسط زنجیره پروتئینی /اسپیرولینا تحت شرایط حرارتی (دمای پخت در حین مخلوط کردن و همچنین خشک کردن)، در این ناحیه پیوندی صورت می‌گیرد که با سرد شدن محیط، تعدادی پیوندهای هیدروژنی میان زنجیره‌ها تشکیل و به این ترتیب آب در شبکه‌ای از زنجیره‌های پروتئینی گرفتار و بی حرکت می‌گردد [۲۹].

مطالعه Mardiani و همکاران (۲۰۱۳)، نشان داد با افزایش غلظت‌های مختلف رنگ‌دانه فیکوسیانیین باعث کاهش محتوای رطوبت پنیر می‌شود [۳۰]. همچنین مطالعه Bosnea

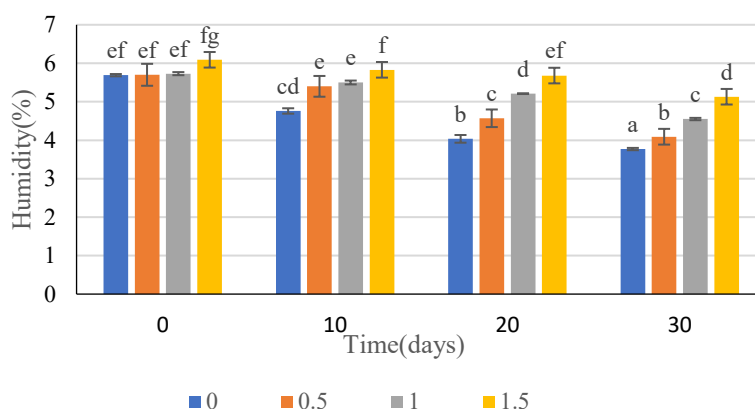


Figure (4). Interaction diagram of concentration and time on the moisture content of phycocyanin-containing sugar candy.

The averages in each column that have the same letters are not statistically significant at the 0.05 level

همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان خاکستر مربوط به غلظت ۱/۵ روز ۳۰ می‌باشد. علت بالاتر بودن خاکستر نمونه‌ها را می‌توان به بالا بودن میزان خاکستر و همچنین میزان بالای مواد معدنی در جلبک اسپیرولینا نسبت داد [۳۴]. نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با پژوهش مهربان سنگ آتش (۱۳۹۲)، همخوانی داشت [۳۵].

۴-۳- اثر متقابل غلظت و زمان بر میزان خاکستر شکر پنیر حاوی فیکوسیانیین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل زمان و غلظت بر روی خاکستر شکرپنیر حاوی فیکوسیانیین در شکل (۵)، نشان داده شده است با افزایش غلظت و زمان میزان خاکستر افزایش یافته است. به طوری که میزان خاکستر نمونه در روز ۳۰ نسبت به نمونه شاهد ۳/۳۳ برابر افزایش داشته است.

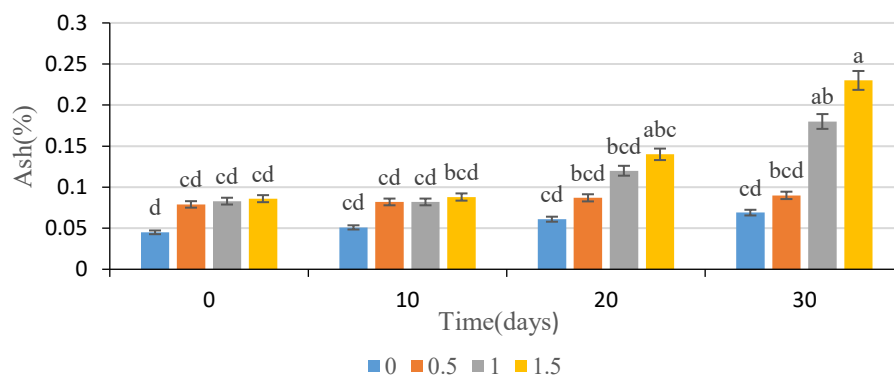


Figure (5). Interaction diagram of concentration and time on the ash content of sugar candy containing phycocyanin.

The averages in each column that have the same letters are not statistically significant at the 0.05 level

گروه هیدروکسیل پلی ساکاریدها و گروه‌های کربونیل و آمین در پروتئین‌ها از طریق پیوند هیدروژنی می‌باشد. میزان فعالیت آب از یک ماده به ماده دیگر فرق می‌کند و با توجه به اینکه بیش از نیمی از ساختار اسپیرولینا پروتئینی است؛ احتمالاً بخش دیگر اسپیرولینا از طریق پیوند هیدروژنی و تعامل یون پیوند دی - ال با مولکول‌های آب موجود در نمونه اتصال برقرار کرده است و موجب افزایش فعالیت آبی در با افزایش غلظت فیکوسیانین گردید؛ از سوی دیگر احتمالاً به دلیل خشک شدن نمونه و تبدلات دمایی و رطوبتی با محیط و شکسته شدن پیوندهای کربونیلی و هیدروژنی در طول دروره نگهداری منجر به کاهش فعالیت آبی گردید [۳۶].

۳-۵ اثر متقابل غلظت و زمان بر فعالیت آبی شکرپنیر

حاوی فیکوسیانین

نتایج اثر متقابل غلظت و زمان بر خصوصیات فعالیت آبی شکرپنیر حاوی فیکوسیانین در شکل (۶)، نشان داده شده است. با افزودن فیکوسیانین به دلیل قابلیت در جذب و نگهداری آب و افزایش محتوای رطوبتی نمونه‌ها، فعالیت آبی به طور معنی‌داری افزایش یافت. این درحالیست که فعالیت آبی نمونه‌ها در طول دوره نگهداری کاهش معناداری یافت ($p < 0.05$). بخش مهم آب در مواد غذایی متصل به

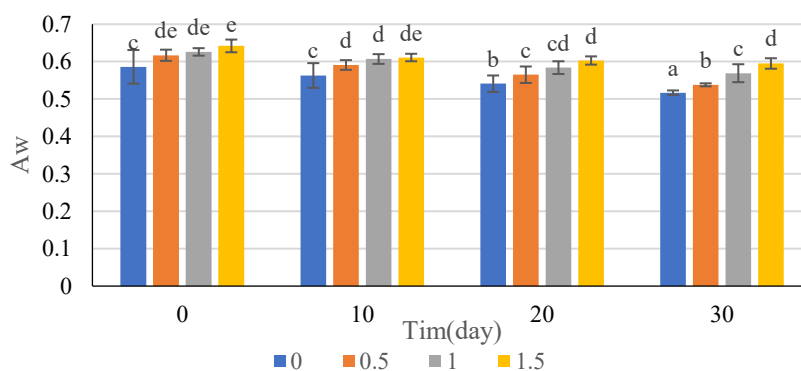


Figure (6). Interaction plot of time on water activity properties of sugar candy containing phycocyanin
The averages in each column that have the same letters are not statistically significant at the 0.05 level

نشان دادند، در حالی که مقادیر چربی، پروتئین و جامدات کل افزایش یافت [۷].

این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر همسو است و نشان می‌دهد کاهش جزئی و غیرمعنادار pH شکرپنیر حاوی فیکوسیانین می‌تواند ناشی از واکنش‌های بین مواد اولیه و تشکیل ترکیبات اسیدی در طول دوره نگهداری باشد، که همچنین به پایداری میکروبی محصول کمک می‌کند.

۳-۶- اثر متقابل غلظت و زمان بر pH شکر پنیر حاوی

فیکوسیانین

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که افزودن پودر اسپیرولینا به محصولات لبنی می‌تواند منجر به کاهش مقادیر pH شود، در حالی که ترکیب شیمیایی و محتوای مواد مغذی بهبود می‌یابد. برای مثال، در یک مطالعه، ماست‌هایی که با ۰.۲۵ تا ۱٪ پودر اسپیرولینا غنی شدند، کاهش pH، زمان انعقاد و سینریز را

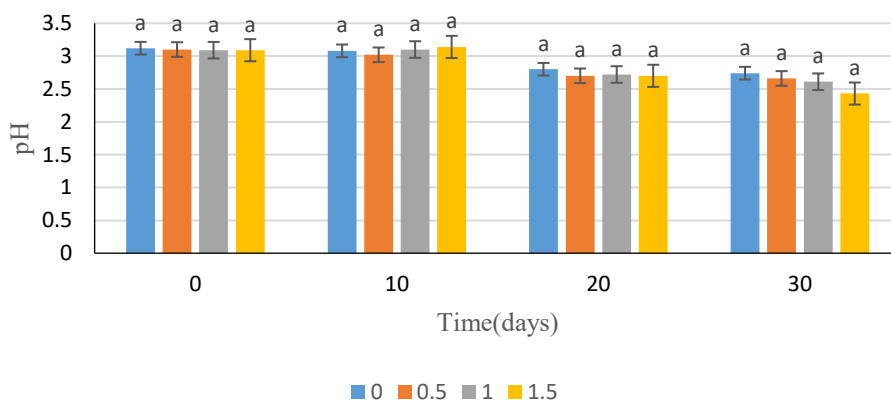


Figure (7). Interaction plot of time on pH changes of sugar candy containing phycocyanin averages in each column that have the same letters are not statistically significant at the 0.05 level

۳-۷- بررسی خصوصیات میکروبی شکرپنیر حاوی فیکوسیانین

با توجه به جدول (۱)، آزمون‌های میکروبی در تمامی زمان‌ها و غلظت‌ها مورد بررسی منفی بوده است که نشان‌دهنده شرایط مناسب می‌باشد با توجه به عدم استفاده از هر گونه مواد نگهدارنده در محصول می‌توان گفت که شکرپنیر حاوی فیکوسیانین تولید شده از پایداری میکروبی مناسبی برخوردار بوده است. بنابراین کاربرد فیکوسیانین حاصل از جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، می‌تواند بر کاهش رشد میکروبی موثر واقع شود [۳۷] و همچنین نتایج سایر تحقیقات نشان دهنده اینست که عصاره ریز جلبک اسپیرولینا بومی و رنگیزه فیکوسیانین استخراج شده از آن دارای خواص ضد میکروبی قدرتمندی در برابر باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا هستند [۳۸].

Table (1). Investigation of microbial properties of sugar candy containing phycocyanin

Time (days)	Concentration (ppm)	Mold(Cfu/g)	Yeast (Cfu/g)	Enterobacteriaceae(Cfu/g)	Acceptable limits	Execution method
0	0	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
10	0	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
20	0	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
30	0	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
0	0.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
10	0.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
20	0.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
30	0.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
0	1	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
10	1	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
20	1	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
30	1	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
0	1.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
10	1.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
20	1.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting
30	1.5	<10	<10	<10	<100	Cultivation and counting

۸-۳- بررسی خصوصیات حسی شکرپنیر حاوی فیکوسیانین

پذیرش را در بین سایر نمونه‌ها داشت ($p < 0.05$). به عبارتی رنگ آبی شکر پنیر برای مصرف‌کنندگان تازگی و جذابیت ایجاد کرد. مقایسه مجموع امتیازات حسی نشان داد که افزودن فیکوسیانین برای مصرف‌کنندگان رضایت‌بخش بوده است. اما با افزایش غلظت از میزان پذیرش نمونه‌ها کاسته شد که با نتایج فلاح و همکاران (۱۴۰۰)، برزگر و همکاران (۱۳۹۹)، هم‌خوانی داشت [۴۰ و ۳۹].

نتایج آنالیز واریانس بافت، رنگ، طعم و پذیرش کلی در جدول (۲) ارائه شده است. بیشترین امتیاز تمامی پارامترهای حسی مربوط به نمونه حاوی ۰/۵ درصد فیکوسیانین بود و افزودن فیکوسیانین به شکر پنیر در سطح ۰/۵ درصد بیشترین

Table(2). Sensory evaluation of properties of sugar candy containing phycocyanin

30	20	10	0	Tim	
3.23±0.02 ^b	3.5±0.014 ^{ab}	3.7±0.01 ^a	3.77±0.02 ^a	0	
4±0.22 ^{ab}	4.03±0.02 ^{ab}	4.17±0.23 ^a	4.23±0.012 ^a	0.5	texture
3.39±0.05 ^c	3.61±0.12 ^b	3.87±0.06 ^{ab}	4±0.014 ^a	1	
3±0.17 ^{bc}	3.44±0.01 ^b	3.67±0.09 ^{ab}	3.89±0.12 ^a	1.5	
3.2±0.003 ^a	3.2±0.2 ^a	3.4±0.01 ^a	3.5±0.01 ^a	0	
4.5±0.03 ^a	4.48±0.6 ^a	4.42±0.033 ^a	4.4±0.03 ^a	0.5	color
4.4±0.02 ^{ab}	4.7±0.01 ^a	4.6±0.09 ^a	4.56±0.05 ^a	1	
4.3±0.04 ^a	4.45±0.04 ^a	4.4±0.05 ^a	4.36±0.002 ^a	1.5	
4±0.17 ^a	4±0.32 ^a	4±0.38 ^a	4±0.1 ^a	0	
3.16±0.07 ^d	3.53±0.12 ^c	3.75±0.28 ^b	4.23±0.15 ^a	0.5	test
3±0.32 ^{bc}	3.22±0.28 ^{ab}	3.3±0.3 ^{ab}	3.5±0.16 ^a	1	
2.63±0.4 ^c	2.8±0.41 ^b	3±0.15 ^{ab}	3.2±0.22 ^a	1.5	
4±0.23 ^a	4±0.25 ^a	4±0.19 ^a	4.2±0.1 ^a	0	
4.1±0.07 ^{ab}	4.1±0.07 ^{ab}	4.27±0.2 ^{ab}	4.46±0.15 ^a	0.5	accept
3.53±0.12 ^c	3.5±0.09 ^{bc}	3.77±0.27 ^b	4.12±0.16 ^a	1	
2.8±0.17 ^d	3±0.11 ^c	3.42±0.3 ^b	4±0.22 ^a	1.5	

±: Standard deviation

(a-d): averages in each column that have the same letters are not statistically $p < 0.05$

هرگونه رشد میکروبی در طول دوره نگهداری نشان‌دهنده

پایداری میکروبی مناسب فرمولاسیون تولیدشده بود.

۴- نتیجه‌گیری کلی

این یافته‌ها بیانگر آن است که فیکوسیانین می‌تواند به‌عنوان یک رنگ‌دانه طبیعی با کارکردهای آنتی‌اکسیدانی در غنی‌سازی و بهبود کیفیت شکرپنیر مورد استفاده قرار گیرد و ظرفیت بالقوه‌ای برای کاربرد صنعتی در حوزه تولید شیرینی‌های سنتی و سلامت‌محور دارد. با توجه به روند رو به رشد مصرف محصولات طبیعی و فاقد رنگ‌های مصنوعی، استفاده از فیکوسیانین می‌تواند به توسعه محصولات نوآورانه با ارزش افزوده بالا کمک کند.

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن فیکوسیانین استخراج‌شده از اسپیرولینا به شکرپنیر می‌تواند اثرات مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی، حسی و میکروبی این محصول سنتی داشته باشد. افزایش غلظت فیکوسیانین موجب ارتقای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، خاکستر و ترکیبات فنلی، و کاهش رطوبت و فعالیت آبی گردید، در حالی که تغییرات pH معنی‌دار نبود. براساس ارزیابی حسی، نمونه حاوی ۰/۵ درصد فیکوسیانین بالاترین سطح پذیرش کلی مصرف‌کنندگان را کسب کرد. همچنین، عدم مشاهده

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

ارزیابی پایداری رنگ و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی فیکوسیانیین در دماهای مختلف فرآوری شکرپنیر.

بررسی اثر ریزپوشانی یا کپسوله‌سازی فیکوسیانیین بر پایداری رنگ و افزایش مقاومت آن در برابر نور و حرارت.

مطالعه تأثیر فیکوسیانیین بر رفتار رئولوژیک و بافتی شیرینی‌های سنتی مشابه.

بررسی امکان تجاری‌سازی محصول و تحلیل هزینه-فایده استفاده از فیکوسیانیین در صنعت شیرینی‌سازی.

ارزیابی پایداری و ویژگی‌های حسی محصول در دوره‌های نگهداری طولانی‌تر.

دسترسی به داده‌ها

۵-منابع

- [1] Zepka, L. Q., Jacob-Lopes, E., Goldbeck, R., Souza-Soares, L. A., Queiroz, M. I., 2010. Nutritional evaluation of single-cell protein produced by *Aphanotheca microscopica* Nageli. *Bioresource Technology*, 101, 7107–7111
- [2] Ende, S., Noke, A., 2018. Heterotrophic microalgae production on food waste and by-products. *Journal of Applied Phycology*, 31, 1565–1571.
- [3] Tohami, F., 2001. Therapeutic properties of *Spirulina* algae. *Southern Medicine*, 4 (Special Issue of the National Congress of Medicine and the Sea), 60–60.
- [4] Kuddus, M., Singh, P., Thomas, G., Al-Hazimi, A., 2013. Recent developments in production and biotechnological applications of *c*-phycocyanin. *BioMed Res International*, 742859.
- [5] Rasmi Mamaghani, H., Vagari, H., Ahmadi, O., Jafarizadeh Malmiri, H., 2020. Phycocyanin Pigment: Importance, Application, and Extraction Method." Paper presented at the 6th International Conference on Food Industry Sciences, Organic Agriculture, and Food Security.
- [6] Tabarzad, M., Atabaki, V., Hosseinabadi, T. 2020. Anti-inflammatory activity of bioactive compounds from microalgae and cyanobacteria by focusing on the mechanisms of action. *Molecular Biology Reports*, 47, 6193–6205.
- [7] Ragab M, El-Diasty M, El-Sherbini M, Elsharkawy HI, AbdelKhalek A. Effect of *Spirulina* Powder on Physical and Chemical Composition of Yoghurt Produced from Milk of Different Somatic Cell Counts. *Zagazig Veterinary Journal*. 2024;52(4):451–464.
- [8] Kashi, M. S., Ghazi, S., Nowruzzi, B. 2024. Industrial application of Natural Phycocyanin Edible Pigment isolated from *Spirulina platensis* in Preparation of fortified ice cream with emphasize on microbial and antioxidant properties. *FSCT*, 21(149), 54–80.
- [9] Dewi, E. N., Kurniasih, R. A., Purnamayati, L., 2017. The Application of Microencapsulated Phycocyanin as a Blue Natural Colorant to the Quality of Jelly Candy. 3rd International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development,.
- [10] Vazquez-rodriguez, J. A., Froylan, M., Escalante, E., 2022. Analysis of the stability of phycocyanin when trehalose and citric acid are used as protectants in nutraceutical gelatin candies under in vitro digestion assays, *Food Science and Technology*, 3, 5763.
- [11] Andini, D. F., Mardiah, M., K., 2017. Hard Candy Formulation using Phycocyanin of *Spirulina platensis* as Natural Colorant, *Jurnal Agroindustri Halal*, 3(2), 2442–3548.
- [12] Delavari Amrei, H., Nasernejad, B., Ranjbar, R., Rastegar, S., 2014. An Integrated Wavelength-Shifting Strategy for Enhancement of Microalgal Growth Rate in PMMA- and Polycarbonate-Based Photobioreactors. *European Journal of Phycology*, 49 (3), 324–31.
- [14] Burits, M., Bucar F. 2000. Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14, 323–328.

- [15] Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P., Gargova, S., 2007. Antioxidant activity of ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chemistry*, 102(3), 764-770.
- [16] Iranian National Standards Organization (INSO). (2012). Candy - Characteristics and test methods (INSO Standard No. [16113]). (in Persian)
- [17] Iranian National Standards Organization (INSO). (2018). Cookie - Characteristics and test methods (INSO Standard No. 2554). (in Persian)
- [18] Iranian National Standards Organization (INSO). (2021). Cake - Characteristics and test methods (INSO Standard No. 2553). (in Persian)
- [19] Iranian National Standards Organization (INSO). (2022). *Milk and milk products - Determination of acidity and pH - Test method* (INSO Standard No. 2852). (in Persian)
- [20] Iranian National Standards Organization (INSO). (2018). Microbiology of confectionery and pastry products - Characteristics and test methods (INSO Standard No. 2395). (in Persian)
- [21] Iranian National Standards Organization (INSO). (2013). Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of moulds and yeasts - Part 3: Colony count technique in products with water activity (a_{w}) less than or equal to 0,60 (INSO Standard No. 3-10899). (in Persian)
- [22] Iranian National Standards Organization (INSO). (1999). Cheese - Sensory evaluation (INSO Standard No. 4938). (in Persian)
- [23] Tashkhiri, A., Mehraban Sangatash, M., Nazari, Z., 2019. The effect of adding jujube powder on antioxidant properties, tannin and sensory properties of mint chocolate. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 15(5), 101-112. (in Persian)
- [24] Ahmadi, A., Anvar, S.M.A., Nowruzi, B., Golestan, L., 2024. Effect of phycocyanin and phycoerythrin on antioxidant and antimicrobial activity of refrigerated low-fat yogurt and cream cheese. *Scientific Reports*, 14, 27661.
- [25] Liu, X., Yichao, L., Mingjian L., Jing X., Wang, Y., Sheng, P., Ge, G., Jia, Y., Wang, Z., 2024. Phycocyanin Additives Regulate Bacterial Community Structure and Antioxidant Activity of Alfalfa Silage. *Microorganisms Journal*, 12(12), 2517.
- [26] Sabet Qadam, M., Lotifi, Z., Malami, P., Mohammadi Kartlahi, N., Razghandi E., 2021. Enhancing the extraction process of Hawthorn fruit extract using surface response methodology and examining its antioxidant properties on sustainable soybean oil. *Journal of Food Science and Industry*, 18(120), 51.
- [27] Tahami, F., Basiri, A., Ghiasi Tarzi, B., Mahasti, P., 2012. Antioxidant effect of Fennel seed extract (*Foeniculum vulgare*) on the stability of sunflower oil. *Food Science and Nutrition*, 10(1), 71-78.
- [28] Fathi-Hafshejani S., Lotfi S., Rezvannejad E., Mortazavi M., Riahi-Madvar A. Correlation between total phenolic and flavonoid contents and biological activities of 12 ethanolic extracts of Iranian propolis. *Food Science & Nutrition*. 2023; 11(7): 4308-4325.
- [29] Fatemi, H., 2008. Food Chemistry. Enteshar Co. (in Persian)
- [30] Mardiani, A., Sumarmono, J., Setyaward, T. 2013. Total Bakteri Asam Laktat, Kadar Air Dan Protein Keju Peram Susu Kambing Yang Mengandung Probiotik Lactobacillus casei DAN Bifidobacterium longum. *Jurnal Ilmiah Peternakan*, 1(1), 244-253.
- [31] Bosnea, L., Terpou, A., Pappa, E., Kondyli, E., Mataragas, M., Markou, G., Katsaros, G., 2021. Incorporation of Spirulina platensis on Traditional Greek Soft Cheese with Respect to Its Nutritional and Sensory Perspectives. *Proceedings*, 70(1), 99.
- [32] Terpou A, Bosnea L, Mataragkas M, Markou G. Influence of incorporated Arthrospira (Spirulina) platensis on the growth of microflora and physicochemical properties of feta-type cheese as functional food. *Proceedings* (MDPI). 2021;70(1):97.
- [33] Sabouhi, M., Berenji, Sh., & Nateghi, L. (2020). Investigating the effects of using stevia sweetener and isomalt for the production of low-calorie milk chocolate. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(99), 31-44.
- [34] Zangeneh, N., Barzegar, H., Ali Zadeh Behabani, B., Mahdavinia, M. A., 2020. Investigation of the effect of different levels of Spirulina microalga on the nutritional, physicochemical, and sensory properties of sponge cake. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 16(2), 207-220.
- [35] Mehraban-sang-Atesh, M., Mohammadi Sani, A., Sarraf, M., 2013. Investigation of physicochemical and organoleptic properties of sesame flour-enriched donut. *National Conference on Non-Combatants in Agriculture*, 917
- [36] Ebaadi Molla-Bashi, M., Nateghi, L., 2018. The Effect of Garden Cress Seed Gum on Improving Physicochemical and Sensory Characteristics of Rice Cookies. *Food Science and Technology Innovation Iranian Journal of Food Science and Technology*, 10(3), 127-147.
- [37] Asadi, S., Beig Mohammadi, Z., & Mirmajidi Hashtjin, A. (2020). Investigation of the effect of edible coating containing Spirulina platensis, chitosan, and gelatin on the physicochemical, sensory, and nutritional properties of dried kiwi. *Journal of Food Science and Industry*, 17(102), 53-67.
- [38] Ghanbary, H., Afouri, H., Sarmad, J., Zamani, H., 2015. Investigation of antioxidant activity of Spirulina sp. microalgae and assessment of antimicrobial properties of this microalgae and the

extracted phycocyanin pigment. Master's thesis, University of Guilan.

[39] Azadfallah, S., Kafil, T., 2021. Investigation of rheological, textural, sensory, and color properties of apple jelly enriched with *Spirulina* algae. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, 18(114), 83-94.

[40] Barzegar, H., Ali Zadeh Behbani, B., Zangeneh, N., Abdalnabi Pour, A., 2020. Investigation of the effect of *Spirulina platensis* microalgae powder as an egg white replacer on the properties of sponge cake. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, 17(108), 31-44.

[41] Asadi, S., Big Mohammadi, Z., Mirmajidi Hashtajin, A., 2020. Investigation of the effect of edible coating containing *Spirulina platensis*, chitosan, and gelatin on the physicochemical, sensory, and nutritional properties of dried kiwi. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, 17(102), 53-67.



Scientific Research

Evaluation of Physicochemical and Microbial Properties of Phycocyanin-Enriched Sugar Candy

Marim Azmoun¹, Amir Hossein Elhami Rad^{2*}, Hossein Delavari Emree³, Mohammad Armin⁴

1 -MSc in Food Science and Engineering, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

2 -Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

3 -Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Bojnourd University, Bojnourd, Iran

4- Department of Agriculture and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/03/29

Review: 2025/12/03

Accepted: 2026/05/19

Keywords:

Sugar candy,

Phycocyanin,

Antioxidant,

Natural pigment,

Spirulina

Growing consumer preference for natural over synthetic colorants has promoted the use of *Spirulina*, a rich source of protein and the pigment phycocyanin, in the food and health industries. In this study, *Spirulina* was cultivated in Roulik culture medium at 28 ± 2 °C and pH ~8 under white light with an intensity of 6000 lux. After 14 days, phycocyanin was extracted using the freeze-thaw method. Phycocyanin was incorporated into sugar candy at concentrations of 0, 0.5, 1, and 1.5%, and the physicochemical and microbial properties of the samples were evaluated during storage periods of 0, 10, 20, and 30 days. Results showed that increasing phycocyanin concentration enhanced antioxidant activity, ash content, and phenolic compounds, while reducing moisture content and water activity. The sample containing 0.5% phycocyanin achieved the highest sensory acceptance, and no microbial growth was observed in any of the samples. These findings suggest that phycocyanin can serve as a natural colorant with functional properties in the production of sugar candy.

DOI: 10.48311/fsct.2026.84012.0

*Corresponding Author E-

ah.elhami@gmail.com