مقاله کامل علمی- پژوهشی

بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد دهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
۸۱-۹۶
http://japu.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/japu.2021.18708.1566

مقایسه پتانسیل جذب پرتوهای ماورابنفش و مقدار فیکوبیلی‌پروتئین‌های عصاره‌های استخراج شده با کمک حلال و امواج فراصوت از ریزجلبک *اسپیرولینا* (*Spirulina platensis*)

لیلا اصلانی[۱]، بهاره شعبانپور*[۲]، پرستو پورعاشوری[۳]، وحیده پیام‌نور[۴] و افشین عادلی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده شیلات و محیط زیست، گرگان، ایران،

[۲]استاد گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده شیلات و محیط زیست، گرگان، ایران،

[۳]دانشیار گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده شیلات و محیط زیست، گرگان، ایران،

[۴]دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳

چکیده

ریزجلبک‌ها، طیف گسترده‌ای از ترکیبات و رنگدانه‌های محافظت‌کننده (اسیدهای‌آمینه شبه مایکوسپورین، سیتونمین‌ها، فیکوبیلی‌پروتئین‌ها و کارتنوئیدها) در برابر پرتوهای ماوراءبنفش (UV) تولید می‌کنند که به‌طور اختصاصی ریسک ابتلا به سرطان و پیری پوست را کاهش می‌دهند. جهت مقایسه تأثیر حلال بر فاکتور محافظت‌کنندگی از پرتوهای UV (SPF) و هم‌چنین میزان کربوهیدرات، پروتئین کل و فیکوبیلی‌پروتئین‌های عصاره‌های ریزجلبک اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) از حلال‌های آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی استفاده شد. بازده عصاره‌های تهیه شده از اسپیرولینا با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که عصاره اتانولی فاکتور محافظت‌کنندگی بالاتری نسبت به سایر عصاره‌ها داشت (۰/۰۰ ± ۱۱/۹۴=SPF). هم‌چنین عصاره اتانولی حاوی مقدار بالاتری کربوهیدرات (۰/۰۰۲ ± ۲/۳۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) نسبت به سایر عصاره‌ها بود. عصاره آبی، بالاترین مقدار فیکوبیلی‌پروتئین‌ها و راندمان استخراج را در بین سایر عصاره‌های پودر شده با خشک‌کن تصعیدی (۹۰/۰۵ درصد) داشت. با توجه به مقدار قابل‌توجه SPF عصاره اتانولی، می‌توان استفاده از این عصاره در فرمولاسیون‌های ضدآفتاب به‌عنوان فیلترکننده طبیعی پرتوهای UV پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: اسپیرولینا، حلال، ضدآفتاب، فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، SPF

* مسئول مکاتبه: b_shabanpour@yahoo.com

مقدمه

اسپیرولینا، سیانوباکتر چندسلولی است که به‌عنوان یک جلبک سبز-آبی خانواده Oscillatoraceae[1] شناخته می‌شود. دو گونه شناخته شده این ریز جلبک *Spirulina platensis* و *Spirulina maxima* می‌باشد (مارتینز گالرو و همکاران، ۲۰۱۵). اسپیرولینا حاوی رنگدانه آبی فیکوسیانین[2] و فیکواریترین[3] است که ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و خواص فلوئورسنت آن اثبات شده است. این رنگدانه از سال ۲۰۱۳ به‌طور گسترده در کشورهای مختلف به‌عنوان رنگ آبی طبیعی برای صنایع غذایی، داروئی و آرایشی-بهداشتی به کار می‌رود (چیکلاهانا و همکاران، ۲۰۱۸). در واقع بسیاری از ترکیبات ریزجلبک‌ها از جمله پروتئین‌ها، لیپیدها، گلیکوزیدها، اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین و ترکیبات فنولی در صنعت آرایشی-بهداشتی به‌عنوان ضدآفتاب، آنتی‌اکسیدان، مواد نگهدارنده طبیعی، آنتی‌باکتری، مرطوب‌کننده و آبرسان مورد استفاده قرار می‌گیرد (آریدا و همکاران، ۲۰۱۷). از چند دهه گذشته افزایش آنتروپوژن، انتشار هالوژن‌های شیمیایی مانند کلروفلوئورکربن‌ها (CFC)، هیدروکلروفلوئورکربن (HCFC) و ترکیبات عالی فرار سبب کاهش لایه ازن شده است (پاتاک و همکاران، ۲۰۱۹). تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال (ROS[4]) در این شرایط نقش مهمی در بیماری‌های پوستی مانند سرطان، پیری و ایجاد استرس اکسیداتیو در DNA دارند. کرم‌های ضدآفتاب سبب کاهش تشکیل ROS ناشی از پرتوهای خورشید می‌شوند. وارد نمودن آنتی‌اکسیدن‌ها در فرمولاسیون ضدآفتاب سبب بهبود بخشیدن پوست با ایجاد عملکرد بهتر کرم ضدآفتاب در مهار ROS می‌شود (دنیل و همکاران، ۲۰۱۷). پرتوهای UV در عین‌حال که قسمت کوچکی از نور خورشید را تشکیل می‌دهند، باعث التهاب و سوزش پوست، تغییرات ریخت‌شناسی، پیری زودرس و سرطان پوست می‌شوند. بسیاری از موجودات زنده از جمله میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و حیوانات سازوکارهای دفاعی را برای مقابله با پرتوهای مضر UVA و UVB دارا می‌باشند. این ترکیبات محافظ نوری مانند فنیل پروپانوئیدها و فلاونوئیدها (در گیاهان عالی)، ملانین‌ها (در انسان‌ها و حیوانات)، سایتونمین‌ها (منحصراً در سیانوباکترها)، مایکوسپورین‌ها (در قارچ‌ها)، اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین (MAAs در سیانوباکترها، جلبک‌ها و حیوانات) و چندین ترکیبات جذب‌کننده پرتوهای UV با ساختار شیمیایی نامعلوم می‌باشند که میتوان از این ترکیبات به‌عنوان ضدآفتاب ایمن استفاده کرد (سینها و همکاران، ۲۰۰۸). فیکوبیلی‌پروتئین‌ها پروتئین‌هایی هستند که انرژی نور را جذب کرده و به عنوان رنگدانه فتوسنتزکننده در سیانوباکترها هم‌چون اسپیرولینا یافت می‌شود (آراد و وارون، ۱۹۹۲). فیکوبیلی‌پروتئین‌ها کرموپروتئین می‌باشند که انرژی خورشیدی را در مناطقی از طیف مرئی که کلروفیل‌ها جذب کم‌تری دارند، جذب و سپس این انرژی را در غشای فتوسنتزی به کلروفیل منتقل می‌کنند. بیلی‌پروتئین‌ها رنگ‌های خود را از کروموفورهای تتراپیرول خطی که به صورت کوالانسی به آپوپروتئین‌ها متصل شده‌اند به‌دست می‌آورند (ماکول و گارد، ۱۹۸۷). استفاده از امواج فراصوت با مکانیسم کاویتاسیون میزان بازده استخراج را افزایش می‌دهد و هم‌چنین بدون اثر منفی بر روی ترکیبات زیست‌فعال، بازده استخراج این

۱- اسیلاتوریا

2- Phycocyanin
3- Phycoerythrin
4- Reactive oxygen species

ترکیبات را افزایش می‌دهد. فشار و دمای بالای امواج فراصوت، دیواره سلولی ریزجلبک را تخریب می‌کند، تا محتوای آن درون محیط رها شود (آدام و همکاران، ۲۰۱۲). روش‌های مختلفی بر پایه شکستن دیواره سلولی ریزجلبک‌ها وجود دارد، مانند فراصوت، مایکروویو، آنزیم‌ها، مواد ساینده، مانند پودر سیلیس و استخراج با سیالات فوق بحرانی. مکانیسم هریک از این روش‌ها متفاوت است، اما اکثر روش‌ها بر پایه ایجاد اختلال در دیواره سلولی ریزجلبک‌ها می‌باشد (آروجو و همکاران، ۲۰۱۳). اسپیرولینا، رنگدانه‌های جاذب پرتوهای ماوراءبنفش (UV)، بسیاری دارد. رنگدانه‌های اسپیرولینا محلول در آب هستند، هم‌چنین در مطالعات انجام شده گزارش‌های متعددی از وجود ترکیبات فنولی، اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین و سیتونمین‌ها در عصاره‌های الکلی شده است (گرانت و لودا، ۲۰۱۳). طبق مطالعه استولز و همکاران (۲۰۰۵) در کاربرد ریزجلبک‌ها در ساخت کرم‌های پوستی حاوی جاذب پرتوهای UV، ترکیبات موجود در ریزجلبک‌های کلرلا، دونالیا[1] و اسپیرولینا (آرتروسپیرا[2]) سبب تسریع سنتز کلاژن، از بین بردن عیوب عروق خونی و احتمالاً جلوگیری از تشکیل چین و چروک بر سطح پوست می‌گردد. برخی مطالعات نشان‌دهنده اثر مثبت عصاره آبی اسپیرولینا در محافظت از اثر رادیکال‌های آزاد ناشی از پرتوهای UV بر مرگ سلولی هستند (استرادا و همکاران، ۲۰۰۱). گونش و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر عصاره آبی اسپیرولینا بر ترمیم زخم و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی پرداختند. این گونه غنی از فیکوسیانین است و این رنگدانه محلول در آب به‌عنوان ترکیب رنگدانه آبی طبیعی در محصولات آرایشی استفاده می‌شود. طبق مطالعه برتون و همکاران (۲۰۱۷) وجود رنگدانه‌های فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، چربی‌ها و MAAs استفاده از جلبک‌های سبزآبی را به عنوان عامل ضداکسایشی، ضدالتهاب، سفیدکننده و محافظت‌کننده در برابر پرتوهای UV، مناسب نموده است. اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین استخراج شده با متانول از ریزجلبک اسپیرولینا قدرت جذب پرتوهای UVA و UVB را درا می‌باشند (راستوگی و همکاران، ۲۰۱٤). باتوجه به مطالب بیان شده، در این مطالعه عصاره‌هایی از ریزجلبک اسپیرولینا با کمک امواج فراصوت تهیه و به‌صورت پودر حاصل شد. جهت تعیین اثر نوع حلال (الکلی، آبی و آبی/الکلی)، در میزان فاکتور محافظتی پرتوهای ماوراءبنفش (SPF[3])، عصاره‌ها از رابطه برون‌تنی (اسپکتروفتومتری) استفاده گردید. مقایسه مقدار فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، کربوهیدرات، پروتئین و راندمان عصاره‌های اسپیرولینا، به‌دست آمده با حلال‌های مختلف با یکدیگر به جهت بررسی عصاره‌ها جهت استفاده در در صنعت آرایشی-بهداشتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در پژوهش حاضر، پودر خشک *Spirulina platensis* (با کد دسترسی INA-S-013 از بانک ملی جلبک ایران)، اتانول، متانول، آب دی‌یونیزه، EDTA سدیم، کربنات سدیم، اسید کلریدریک، تارتارات سدیم پتاسیم، سولفات مس، یدید پتاسیم می‌باشد.

1- Dunaliella
2- Arthrospira
3- Sun protection factor

تهیه عصاره آبی اسپیرولینا: یک گرم از پودر خشک اسپیرولینا را با پتاسیم فسفات (۱۰ میلی‌مولار) و EDTA (۰/۱ میلی‌مولار) با pH = ۷/۸ مخلوط و روی همزن مغناطیسی (HM-101model, Germany) قرار داده شد، سپس با دستگاه التراسونیک هموژنایزر (UHP-400, Iran) با قدرت ۲۵۰ وات به مدت ۱۲ دقیقه (۳ ثانیه روشن و ۳ ثانیه خاموش)، تحت امواج فراصوت قرار گرفت. سپس در سانترفیوژ ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانترفیوژ (3K30 model, Sigma, Germany) گردید، سپس مایع رویی عصاره تهیه شده از کاغذ واتمن شماره ۱ عبور داده شد. سرانجام پس از ۷۲ ساعت در فریزدرایر (MPS-55 model, South Korea) عصاره‌ها به صورت پودر حاصل شد و تا انجام آزمون‌ها درون ظرف تیره رنگ در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (برتون و همکاران، ۲۰۱۷).

تهیه عصاره الکلی و آبی/الکلی اسپیرولینا: تهیه عصاره اسپیرولینا به دو روش استخراج الکلی (اتانولی و متانولی) و استخراج هیدروالکلی (آبی/اتانولی و آبی/متانولی) انجام شد. طی دو مرحله ۵ گرم از پودر اسپیرولینا با ۱۰۰ میلی لیتر از الکل و یا (۱:۱) الکل و آب در دمای اتاق در شرایط تاریکی بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. سپس عصاره‌ها درون حمام آب یخ در دستگاه التراسونیک هموژنایزر با قدرت ۲۵۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت. عصاره‌ها در دستگاه سانترفیوژ با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد، مایع رویی با کاغذ واتمن شماره ۱ فیلتر شد و با دستگاه فریزدرایر، به‌صورت پودر به‌دست آمد. عصاره‌ها در ظرف تیره در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (شتی و همکاران، ۲۰۱۵).

استخراج رنگدانه فیکوبیلی‌پروتئین‌ها: رنگدانه‌های محلول در آب که فیکوبیلی‌پروتئین‌ها نام دارند، شامل آلوفیکوسیانین[1] (APC)، فیکواریترین (PE) و فیکوسیانین (PE) می‌باشند، برای استخراج فیکوبیلی‌پروتئین‌ها ۲ گرم از پودر اسپیرولینا را در ۳۰ میلی‌لیتر از هر حلال (اتانول، متانول، آب/اتانول و آب/متانول) مخلوط شد. استخراج فیکوبیلی‌پروتئین‌های ریزجلبک اسپیرولینا با حلال آبی با سدیم فسفات (۰/۰۱ مولار) و کلراید سدیم (۰/۱۵ مولار) و pH= ۷، به حجم ٦ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس پودر ریزجلبک اسپیرولینا حل شده در حلال‌های آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی، در حمام یخ گذاشته شد و به مدت ۵ دقیقه با التراسونیک هموژنایزر تحت امواج فراصوت قرار گرفت. مقدار فیکوبیلی‌پروتئین‌های استخراج شده بر حسب گرم بر لیتر گزارش شد. عدد جذب در طول موج‌های (٦١٥، ٦٥٢، ٥٦٢) نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برآورد و مقایسه میزان فیکوسیانین، آلوفیکوسیانین و فیکواریترین استخراج شده با حلال‌های اتانولی، متانولی، آبی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی اسپیرولینا به ترتیب در رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ انجام شد (رودرینگو و همکاران، ۲۰۱۸).

1- Allophycocyanin

(۱) (۵/۳٤) / ((عدد جذب طول موج٦٥٢) ۰/٤٧٤ – عدد جذبطول موج٦١٥) = (گرم بر لیتر) فیکوسیانین

(۲) (۵/۰۹) / ((عدد جذبطول موج٦١٥) ۰/۲۰۸ – (عدد جذب طول موج٦٥٢) = (گرم بر لیتر) آلو- فیکوسیانین

(۳) (۹/٦۲) / ((آلوفیکوسیانین) ۰/۸٤۹ – (فیکوسیانین) ۲/٤۱ – (عدد جذب طول موج٦٥٢) = (گرم بر لیتر) فیکواریترین

اندازه‌گیری کربوهیدرات عصاره‌های اسپیرولینا: ۱ میلی‌لیتر از هر عصاره (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی) با ۱ میلی‌لیتر فنول ۵ درصد مخلوط شد سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در حمام آب ۹۰ درجه قرار داده شد سپس به مدت ۵ دقیقه در حمام آب سرد قرار داده شد. محلول زرد رنگی حاصل شد. با گذشت ۳۰ دقیقه رنگ آن تغییر یافت و به رنگ قهوه‌ای روشن تمایل پیدا کرد. عدد جذب نمونه‌ها در طول موج ٤۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (شولز و همکاران، ۲۰۱۷).

اندازه‌گیری میزان پروتئین کل عصاره‌های اسپیرولینا: اندازه‌گیری میزان پروتئین کل عصاره‌های اسپیرولینا، ابتدا مقدار ۰/۰۰۲ گرم از عصاره (اتانولی، متانولی، آبی، آبی/اتانولی، آبی/متانولی) در حجم ۵ میلی‌لیتر آب مقطر استریل کاملاً حل کرده و ٤/۵ میلی‌لیتر محلول بیورت به آن افزوده شد سپس ۳۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه گردید و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵٤۰ نانومتر قرائت شد (محمد و همکاران، ۲۰۱۹).

اندازه‌گیری راندمان عصاره‌های (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی) تهیه شده از ریزجلبک اسپیرولینا: راندمان عصاره‌های تهیه شده از اسپیرولینا، پس از خشک شدن به مدت ۷۲ ساعت با خشک‌کن تصعیدی به‌صورت نسبت درصد جرمی پودر به‌دست آمده به جرم کل اسپیرولینا (پودر خشک) با استفاده از رابطه ٤ محاسبه گردید. در این رابطه w_2 جرم نهایی پودر عصاره‌ها و w_1 جرم کل پودر خشک اسپیرولینا (شوتا و سارنلاتا، ۲۰۱۰).

$$y = w_2/w_1 * 100 \quad (٤)$$

اندازه‌گیری ضریب حفاظت نوری (SPF) به روش برون‌تنی (In vitro): جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای اندازه‌گیری SPF، ۲۰۰ میکروگرم از عصاره‌های تهیه شده (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی) اسپیرولینا، به ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ٤۰ درصد اضافه شد و ۵۰۰ میکرولیتر از محلول آماده شده با ٤/۵ میلی‌لیتر الکل ٤۰ درصد مخلوط شد. ۱ میلی‌لیتر از این محلول با ٤ میلی‌لیتر الکل ٤۰ درصد مجدداً مخلوط شد. پس از ۲۰ دقیقه عدد جذب نمونه‌ها در طول موج UVB (۲۹۰ تا ۳۲۰) نانومتر ثبت شد و با رابطه ۵ محاسبه شد. مقدار $EE(\lambda)$ و $I(\lambda)$ در جدول ۱ آورده شده است. $Abc(\lambda)$ جذب نمونه، $EE(\lambda)$[1] طیف عمل اریتمال، $I(\lambda)$[2] طیف شدت تابش خورشید، CF عدد ثابت برابر است با ۱۰ (یانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

$$SPF = CF \times \Sigma\ (۲۹۰nm)\ ^\wedge\ (۳۲۰nm)\ EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abc(\lambda) \quad (۵)$$

1- Erythemal action spectrum at wavelength λ
2- Spectral irradiance received from the UV source at wavelength λ

جدول ۱- میزان (λ) EE و (λ)I استاندارد برای تهیه SPF فراورده‌های ضدآفتاب چند سال اخیر در بسیاری از مناطق جهان.

طول موج (λ_{MAX} nm)	(λ) EE (λ)× I
۲۹۵	۰/۰۸۱۷
۳۰۰	۰/۲۸۷٤
۳۰۵	۰/۳۲۷۸
۳۱۰	۰/۱۸٦٤
۳۱۵	۰/۰۸۳۹
۳۲۰	۰/۰۱۸۰

آنالیز آماری داده‌ها: تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصله با نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 22 انجام پذیرفت. جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های مورد آزمایش از آنالیز واریانس یک‌طرفه و برای مشخص کردن اختلاف بین میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن گروه‌های مورد آزمایش از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد استفاده گردید.

نتایج

میزان کربوهیدرات عصاره‌ها: میزان کربوهیدرات اسپیرولینا با حلال‌های مختلف اندازه‌گیری و مقدار آن در جدول ۲ نشان داده شده است. مشاهده شد که عصاره اتانولی مقدار بالاتری کربوهیدرات داشته (۰/۰۰۲ ± ۲/۳۹ میلی‌گرم بر وزن خشک) و هم‌چنین کم‌ترین میزان کربوهیدرات مربوط به عصاره آبی/ اتانولی (۰/۰۰۲ ± ۱/۰۷ میلی‌گرم بر وزن خشک) بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین کربوهیدرات کل عصاره‌ها (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی، آبی/متانولی).

عصاره	مقدار بر حسب میلی‌گرم بر وزن خشک
آبی	$۱/۹ \pm ۰/۰۰۵^{b}$
اتانولی	$۲/۳۹ \pm ۰/۰۰۲^{a}$
متانولی	$۱/۱۳ \pm ۰/۰۰۱^{b}$
آبی/ اتانولی	$۱/٤۲ \pm ۰/۰۰۳^{b}$
آبی/متانولی	$۱/۰۷ \pm ۰/۰۰۲^{b}$

حروف متفاوت بین تیمارها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) می‌باشد. نتایج به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند.

میزان پروتئین عصاره‌ها: میزان پروتئین عصاره‌های تهیه شده اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول۳) عصاره متانولی بالاترین میزان پروتئین را دارا بود (۰/۰۰۰۰ ± ۱۰/۵۲) و کم‌ترین میزان پروتئین در عصاره تهیه شده با حلال آبی/اتانولی (۰/۰۰۰۰ ± ۱۰/۱٦) مشاهده شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین پروتئین کل عصاره‌ها (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی، آبی/متانولی).

عصاره	مقدار بر حسب میلی‌گرم بر وزن خشک
آبی	۱۰/۳۰ ± ۰/۰۰۰^{c}
اتانولی	۱۰/۳۱ ± ۰/۰۰۰^{b}
متانولی	۱۰/۵۰ ± ۰/۰۰۰^{a}
آبی/ اتانولی	۱۰/۱٦ ± ۰/۰۰۰^{d}
آبی/ متانولی	۱۰/۱۹ ± ۰/۰۰۰^{e}

حروف متفاوت بین تیمارها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) می‌باشد. نتایج به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند.

میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌ها: میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌های (فیکواریترین (PE)، فیکوسیانین (PC)، آلوفیکوسیانین (APC)) استخراج‌شده با حلال‌های مختلف اندازه‌گیری شد. فیکوبیلی‌پروتئین‌های عصاره‌های مختلف اسپیرولینا که شامل فیکوسیانین و آلوفیکوسیانین است در جدول ٤ آورده شده است. با توجه به این‌که فیکوبیلی‌پروتئین‌ها محلول در آب می‌باشند در مقایسه با فیکوسیانین عصاره‌ها بالاترین میزان به عصاره آبی تعلق داشت (۰/۰۰۰ ± ۲/۳۲ گرم بر لیتر) و کم‌ترین میزان فیکوسیانین مربوط به عصاره آبی اتانولی بود (۰/۰۰۰ ± ۰/۲۱ گرم بر لیتر) که تفاوت معنی‌داری نیز با یکدیگر داشتند. در مقایسه بین آلوفیکوسیانین بالاترین میزان را عصاره آبی با مقدار ۰/۰۰ ± ۲/٤۸ گرم بر لیتر و کم‌ترین میزان را عصاره آبی اتانولی با مقدار ۰/۰۰۲ ± ۰/۳۲ گرم بر لیتر دارا بودند که تفاوت معنی‌داری نیز با یکدیگر داشتند (P<۰/۰۵). لازم به ذکر است که در پژوهش حال حاضر در هیچ‌کدام از عصاره‌های تهیه شده از *S.platensis* فیکواریترین مشاهده نشد، به‌جز در عصاره آبی/ اتانولی که با میزان ۰/۷۰۵۸ گرم بر لیتر به‌دست آمد.

جدول ٤- مقایسه میانگین فیکوبیلی‌پروتئین‌های عصاره‌ها (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی، آبی/متانولی).

	اندازه‌ها بر حسب گرم بر لیتر		
عصاره	(PC)	(APC)	(PE)
آبی	۲/۳۲ ± ۰/۰۰۰^{d}	۲/٤۸ ± ۰/۰۰^{d}	-
اتانولی	۰/٦۸ ± ۰/۰۰۳^{b}	۰/۸۲ ± ۰/۰۰۱^{c}	-
متانولی	۱/۲۷ ± ۰/۰۰۲^{a}	۱/٤۸ ± ۰/۰۰۲^{a}	-
آبی/ اتانولی	۰/۲۱ ± ۰/۰۰۰^{e}	۰/۳۲ ± ۰/۰۰۲^{e}	-
آبی/ متانولی	۰/٦۵ ± ۰/۰۰۳^{c}	۰/۸٤ ± ۰/۰۰۰^{b}	۰/۷۰ ± ۰/۰۰۱

حروف متفاوت بین تیمارها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) می‌باشد. (PC) فیکوسیانین، (APC) آلوفیکوسیانین و (PE) فیکواریترین می‌باشد. نتایج به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند.

راندمان عصاره‌های آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی تهیه شده از ریزجلبک اسپیرولینا: راندمان عصاره‌های تهیه شده از ریزجلبک اسپیرولینا، به‌دست آمده با حلال‌های آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی مقایسه شد (جدول ۵). طبق نتایج به‌دست آمده عصاره آبی بالاترین راندمان تولید پودر را با مقدار ۹۰/۰۵ درصد، دارا بود. پس از آن عصاره‌های آب/اتانولی و آبی/متانولی بیش‌ترین راندمان را نسبت به عصاره‌های اتانولی و متانولی داشتند. با توجه به این‌که اسپیرولینا دارای مقدار قابل‌توجهی رنگدانه محلول در آب دارد، عصاره آبی اسپیرولینا بازده بالاتری داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین راندمان عصاره‌های اتانولی، متانولی، آبی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی تهیه شده از ریزجلبک اسپیرولینا.

عصاره‌ها	درصد راندمان عصاره‌ها
آبی	۷/۳۳ ± ۰/۰۷^{d}
اتانول	۹۰/۰۵ ± ۰/۰۰^{a}
متانولی	۳/۹۳ ± ۰/۰۰^{e}
آبی/اتانولی	۳۱/٦٦ ± ۰/۰۷^{b}
آبی/متانولی	۲۰/۱۲ ± ۰/۰۳^{c}

حروف متفاوت بین تیمارها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) می‌باشد. نتایج به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند.

فاکتور قدرت محافظت‌کنندگی (SPF) عصاره‌ها از پرتوهای UV: با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین بیان کرد که عصاره اتانولی دارای SPF بالاتری (۰/۰۰ ± ۱۱/۹٤) از سایر عصاره‌ها داشت. کم‌ترین SPF نیز به عصاره آبی اسپیرولینا (۰/۰۱ ± ۳/۲٤) تعلق داشت که از لحاظ آماری نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. به‌طور کلی عصاره‌های الکلی از SPF بالایی نسبت به عصاره آبی برخوردار بودند (جدول ٦).

جدول ٦- مقایسه تأثیر حلال بر قدرت محافظت‌کنندگی از پرتوهای ماوراءبنفش (SPF) عصاره‌های اتانولی، متانولی، آبی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی اسپیرولینا.

عصاره‌ها	(SPF)
اتانول	۱۱/۹٤ ± ۰/۰۰^{a}
متانولی	۷/۵۳ ± ۰/۰۱^{b}
آبی	۳/۲٤ ± ۰/۰۰^{e}
آبی/اتانولی	٤/۹۳ ± ۰/۰۸^{c}
آبی/متانولی	٤/٤۲ ± ۰/۰۱^{d}

حروف متفاوت بین تیمارها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) می‌باشد. نتایج به‌صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند.

بحث

پژوهش‌های اخیر روی کشف ترکیبات طبیعی جاذب پرتوهای UV محافظ پوست و دوست‌دار محیط زیست متمرکز شده‌اند (سانتاکوماران و همکاران، ۲۰۲۰). در میان موجودات دریایی، باکتری‌ها و جلبک‌ها منبع اصلی مواد تشکیل‌دهنده زیست‌فعال مورد استفاده در صنعت آرایشی-بهداشتی می‌باشند. رشد و پرورش اسپیرولینا بدون نیاز به زمین مسطح، دسترسی آسان و وجود رنگدانه‌های جاذب پرتوهای UV پتانسیل به‌کارگیری اسپیرولینا را به‌عنوان ضدآفتاب فراهم آورده است (کامپوس و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه حاضر عصاره‌هایی (اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی) از ریزجلبک اسپیرولینا استخراج و پتانسیل جذب پرتوهای UV، میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، میزان پروتئین و کربوهیدرات عصاره‌های تهیه شده با کمک حلال‌های آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی، آبی/متانولی و امواج فراصوت، بایکدیگر مقایسه شد. جهت تعیین عملکرد حلال‌های آبی و آبی- الکلی در استخراج کربوهیدرات، میزان کربوهیدرات عصاره‌های تهیه شده با حلال‌های مختلف از ریزجلبک اسپیرولینا، تحت بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده حلال اتانولی پتانسیل بیش‌تری در استخراج کربوهیدرات داشت. علاوه بر روش استخراج و نوع حلال، شرایط رشد و نوع گونه جلبک در میزان کربوهیدرات ریزجلبک‌ها دخیل هستند (انصاری و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعات اخیر، میزان کربوهیدرات ریزجلبک اسپیرولینا در شرایط کشت و محیط کشت متفاوت تحت مطالعه قرار گرفته است. داود و همکاران (۲۰۱۵) میزان کربوهیدرات ریزجلبک اسپیرولینا را در محیط کشت‌های مختلف و pH متفاوت ۰/٦۱۱ ± ۱٤/۳۱ تا ۰/٦ ± ۲۰/٦۹ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک جلبک گزارش نموده‌اند. اسپیرولینا دارای پروتئین با ترکیب مناسب اسیدآمینه در مقادیر قابل‌توجه (٦۰ تا ۷۰ درصد وزن خشک) می‌باشد، این میزان از پروتئین بسیار بیش‌تر از پروتئین سایر منابع گیاهی است (پالانیزامی و همکاران، ۲۰۱۹). جلبک‌ها حاوی ترکیبات مختلفی هستند که ساختارهای متفاوتی دارند. استخراج این ترکیبات به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها نوع حلال و روش استخراج می‌باشد (سیلوا و همکاران، ۲۰۱٦). در مطالعه حاضر، نتایج میزان پروتئین ریزجلبک اسپیرولینا با استفاده از روش اسپکتروفتومتری با استفاده از حلال‌های مختلف (آبی، اتانولی، متانولی، آبی/اتانولی و آبی/متانولی) تهیه شده، اختلاف معنی‌داری نشان دادند ($P<۰/۰۵$). در بین حلال‌های مورد آزمون به‌ترتیب عصاره تهیه شده با حلال متانولی و اتانولی مقدار پروتئین بالاتری نسبت به سایر حلال‌ها داشتند. حلال‌های الکلی، متانول و یا اتانول برای استخراج پروتئین‌ها از ریزجلبک اسپیرولینا نتیجه بهتری می‌دهد. در برخی از مطالعات انجام شده، میزان پروتئین اسپیرولینا را در شرایط کشت مختلف با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. اوگبوندو و همکاران (۲۰۰۷)، تأثیر pH و دما را بر روی میزان تولید زیست‌توده و سنتز زیستی پروتئین در ریزجلبک اسپیرولینا را مورد مطالعه قرار دادند. مقدار پروتئین اسپیرولینا را ۰/۰۳ ± ۳۸/٥٤ تا ۰/۰٤ ± ٤٦/۳۹ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک جلبک گزارش کرده‌اند. وو و همکاران (۲۰۱٦)، پایداری و قدرت آنتی‌اکسیدانی فیکوسیانین استخراج‌شده در اسپیرولینا را مورد ارزیابی نمودند و میزان پروتئین اسپیرولینا را ٦۰ تا ۷۰ درصد (w/w) گزارش نمودند. سونی و همکاران (۲۰۱۲)، عملکرد رشد و ترکیبات بیوشیمیایی اسپیرولینا را در شرایط کشت متفاوت بررسی کردند. میزان پروتئین *S. platens* را در شرایط رشد متفاوت (آزمایشگاهی، فضای باز و فتوبیوراکتور) ٥٥، ٥٦/٥ و

۵۹ درصد گزارش نموده‌اند. میزان پروتئین اسپیرولینا در شرایط کشت و هم‌چنین شیوه استخراج متفاوت می‌باشد. در سراسر جهان، استفاده از فیکوبیلی‌پروتئین‌ها به‌عنوان رنگدانه طبیعی غیرسمی و غیرسرطان‌زا در صنایع آرایشی-بهداشتی از اهمیت فراوانی برخوردار است (منیرافاشا و همکاران، ۲۰۱۶). فیکوبیلی پروتئین‌ها، رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌باشند که در سیانوباکترها، جلبک‌های قرمز، کریپتوفیت‌ها و گلوکوفیت‌ها یافت می‌شود (دیوی و همکاران، ۲۰۱۸). این پروتئین‌ها محلول در آب هستند. *S.platensis* منبع مهمی از فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، به‌خصوص فیکوسیانین و آلوفیکوسیانین است (مادیاستا و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه حاضر، اثر حلال‌های مختلف بر میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌های استخراج شده از ریزجلبک اسپیرولینا، تحت مقایسه قرار گرفت. میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌های استخراج شده با کمک حلال آبی و فراصوت به مقدار قابل‌توجهی از سایر حلال‌ها بالاتر بود. با استفاده از حلال آبی، به‌دلیل حلالیت بالای فیکوبیلی‌پروتئین‌ها در آب، فیکوبیلی‌پروتئین‌های بیش‌تری استخراج گردید. جهت تعیین اثر نوع حلال بر میزان فیکوبیلی پروتئین‌های استخراج شده، مطالعاتی انجام شده است. شانابی و شاناب (۲۰۱۳)، قدرت آنتی‌اکسیدانی و میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌های استخراج شده با حلال‌های مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. در این بررسی، بالاترین میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌های استخراج شده بین حلال آبی، متانولی و آبی/متانولی *S.platensis* را در عصاره استخراج شده با آب و متانول گزارش شد. با توجه به این‌که آلوفیکوسیانین استخراجی بیش‌تر فیکوسیانین و کم‌ترین میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌ها در عصاره آبی/الکلی مشاهده شده است، نتیجه این پژوهش با مطالعه حاضر همخوانی داشت. رودرینگو و همکاران (۲۰۱۹)، استخراج فیکوبیلی‌پروتئین‌ها با مایعات یونی را مورد مطالعه قرار دادند و میزان فیکواریترین را ۲/۶۲ میلی‌گرم بر گرم گزارش نمودند. رودرینگو و همکاران (۲۰۲۰)، میزان فیکوبیلی‌پروتئین‌های *S. platensis* استخراج شده با مایعات یونی به کمک فراصوت را مورد مطالعه قرار دادند. مقدار آلوفیکوسیانین با میزان ۶/۳۴ میلی‌گرم بر گرم بالاتر از مقدار فیکوسیانین با میزان ۵/۹۵ میلی‌گرم بر گرم گزارش کردند. در مطالعات انجام شده میزان کربوهیدرات، پروتئین و فیکوبیلی‌پروتئین‌های اسپیرولینا با مقدارهای متفاوت گزارش شده است، می‌توان چنین بیان کرد که تغییر در شرایط محیط رشد مختلف، از جمله تغیرات در دما، pH و شدت نور دریافتی و علاوه بر این زمان برداشت محصول، میزان نیتروژن، نوع گونه، شیوه استخراج و نوع حلال می‌تواند بر میزان این ترکیبات در اسپیرولینا مؤثر باشد (باکیا و باروت، ۲۰۱۲). ترکیبات مورد استفاده در ضدآفتاب‌های شیمیایی، متوکسی دی بنزوئیل متان (BM-DBM)[1]، اتیل هگزیل متوکسی سینامانت (EHMC)[2]، بنزوفنون (BP-4)[3] و اکتو کرایلن (OCR)[4] هستند (هوسیا و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات انجام شده بر روی اثرات جانبی این مواد شیمیایی نشان داده است که این مواد اثر تخریبی بر روی غدد درون ریز دارند. این مواد پس از شستشو وارد آب‌های فاضلاب شده و در رودخانه‌ها رسوب می‌کنند و منجر به مسمومیت ارگانیسم‌های مختلف می‌شوند. بنابراین استفاده از مواد شیمیایی در فرمولاسیون‌های ضدآفتاب نه تنها به انسان ضرر می‌رساند بلکه سبب ایجاد آسیب جدی به اکوسیستم می‌شود (مورون و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اثرات احتمالی استفاده از ضدآفتاب‌های فیزیکی و شیمیایی

1- Methoxydibenzoylmethane
2- 2-ethyl-hexyl-4-trimethoxycinnamate
3- Benzophenone-4
4- Octocrilen

می‌توان از عصاره‌های گیاهی به عنوان جاذب پرتوهای UV در تولید کرم ضدآفتاب طبیعی استفاده کرد و از مشکلات ناشی از ضدآفتاب‌های شیمیایی پیش‌گیری کرد (بورویتسکا و همکاران، ۲۰۱۳). فاکتور محافظتی از پرتوهای UV (SPF) یکی از مفیدترین روش‌های مورد استفاده برای بررسی پتانسیل جذب پرتوهای UV، ترکیبات مختلف هم‌چون رنگدانه‌های گیاهان و جلبک‌ها است (دوترا و همکاران، ۲۰۰٤). در مطالعه حاضر پتانسیل جذب پرتوهای UV عصاره‌های تهیه شده از اسپیرولینا، تحت مقایسه قرار گرفت. میزان جذب پرتوهای UV عصاره‌ها، در رابطه برون‌تنی (اسپکتروفتومتری) قرار داده شد. فاکتور محافظتی از پرتوهای UV عصاره‌ها محاسبه و بهترین عصاره در جذب پرتوهای UV، ارائه گردید. عصاره اتانولی ریزجلبک اسپیرولینا میزان SPF قابل‌توجهی نسبت به سایر عصاره‌ها داشت. ترکیباتی هم‌چون فنل‌ها، فلاونوئیدها، اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین و سیتونمین‌های موجود در ریزجلبک اسپیرولینا دارای پتانسیل جذب پرتوهای UV می‌باشند. حلال اتانول توانایی استخراج ترکیبات جاذب پرتوهای UV را دارد. در مطالعات مختلف وجود فلاونوئیدها و فنول‌ها در عصاره اتانولی ریزجلبک اسپیرولینا گزارش شده است. دیانورسانتی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی مقدار فاکتور محافظت‌کنندگی از پرتوهای UV (SPF) و پایداری کرم ضدآفتاب فرموله شده با عصاره اسپیرولینا حاوی فلاونوئید پرداختند. فاکتور محافظت‌کنندگی از پرتوهای UV (SPF) عصاره اتانولی اسپیرولینا حاوی فلاونوئیدها به‌میزان ۲۹/۰٦ بود. استفاده از ضدآفتاب راهی مناسب جهت محافظت از پوست در برابر پرتوهای مضر UV می‌باشد. امروزه کرم‌های ضدآفتاب زیادی بر پایه مواد شیمیایی (آلی مصنوعی) در بازار وجود دارد، مانند اووبنزون[1] و اکسی بنزون[2]، اثرات سمیت این ترکیبات شیمیایی بر روی پوست به اثبات رسیده است. مطالعات بسیاری جهت به‌کارگیری مواد طبیعی جاذب پرتوهای UV در ضدآفتاب، درحال انجام می‌باشد. ریز جلبک‌ها یکی از مواد طبیعی به‌عنوان جاذب پرتوهای UV هستند. ریزجلبک اسپیرولینا سیانوباکتری است که دارای ترکیبات جاذب پرتوهای UV هم‌چون فلاونوئید می‌باشد. فلاونوئید به دلیل توانایی جذب حداکثر طول موج در محدوده پرتوهای UV و هم‌چنین به‌دلیل افزایش فاکتور محافظت‌کنندگی از پرتوهای UV (SPF) امکان استفاده به عنوان ماده طبیعی در ضدآفتاب را ایجاد می‌کند. نیکلز و همکاران (۲۰۱۰)، مروری بر خواص محافظت‌کنندگی، آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و تخریب DNA، ناشی از پرتوهای UV داشته‌اند. طبق گزارش این پژوهشگران، استفاده از ترکیبات فنولی به‌عنوان ضدآفتاب، پوست را از پرتوهای ماوراءبنفش (UV)، محافظت خواهد کرد. از این‌رو احتمالاً با استخراج بهتر ترکیبات فنولی با حلال‌های الکلی، جذب پرتوهای UV عصاره الکلی اسپیرولینا بالاتر از عصاره‌های دیگر بوده است. وجود اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین و فیکوبیلی‌پروتئین‌ها سبب جذب پرتوهای UV توسط جلبک‌ها می‌شود (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰). سوزا و کمپوز (۲۰۱۷) به بررسی اثر افزودن آنتی‌اکسیدان به ضدآفتاب، به جهت افزایش قدرت جذب پرتوهای UV کرم‌های ضدآفتاب تولیدی پرداختند. پودر ریزجلبک اسپیرولینا (۰/۱) و نانو ذرات دی‌متیل متوکسی‌کرومانول (۰/۰۵) به‌عنوان آنتی‌اکسیدان به فرمولاسیون ضدآفتاب تولیدی اضافه شد. میزان SPF کرم ضدآفتاب شاهد ۰/۰۵ ± ۳۱/۲ و کرم ضدآفتاب

1- Ovobenzone
2- Oxybenzone

فرموله شده با ریزجلبک اسپیرولینا و نانو ذرات دی‌متیل‌متوکسی‌کرومانول ٤/٤ ± ٣٣/٦ بود. طبق نتیجه حاصل از این بررسی، ریزجلبک اسپیرولینا دارای ترکیباتی هم‌چون ترکیبات فنولی و رنگدانه‌های جاذب پرتوهای UV می‌باشد. این ریزجلبک پتانسیل به‌کارگیری در ضدآفتاب را دارا می‌باشد. لی و همکاران (۲۰۱۷) جهت تعیین مناسب‌ترین روش استخراج و نوع حلال، عصاره‌های تهیه شده با کمک فراصوت و بدون استفاده از فراصوت با حلال‌های اتانول، اتیل استات، هگزان و آب از ریزجلبک اسپیرولینا، در جلوگیری از مرگ سلولی ناشی از پرتوهای UVB و هم‌چنین پتانسیل جذب پرتوهای UV را تحت بررسی قرار دادند. نتیجه این بررسی با مطالعه حاضر همخوانی داشت. عصاره اتانولی استخراج شده با کمک فراصوت، بهترین تیمار در جذب پرتوهای UV و جلوگیری از مرگ سلولی ناشی از پرتوهای UVB بوده است. عصاره اتانولی ریزجلبک اسپیرولینا، نوع خاصی از آسیب DNA مرسوم به دیمر پیریمیدین سیکلوبوتان (CPD) ناشی از پرتوهای UV را سرکوب می‌کند و مانع ایجاد چین و چروک ناشی از آسیب پرتوهای UV می‌شود. با توجه به نتیجه این بررسی و مطالعه حال حاضر، عصاره اتانولی ریزجلبک اسپیرولینا تهیه شده با کمک فراصوت، توانایی بالاتری در استخراج ترکیبات جاذب پرتوهای UV دارد. مپونگ و همکاران (۲۰۲۰)، عصاره اتانولی تهیه شده از اسپیرولینا را در جذب پرتوهای UVB، مورد ارزیابی قرار دادند. SPF عصاره اتانولی اسپیرولینا در غلظت ۷۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر را ۳۰/۳۹ گزارش کردند. هم‌چنین بیان شده است که عصاره اتانولی ریزجلبک *S. platensis* دارای مقدار زیادی ترکیبات فنولی است که می‌تواند کاندیدای بالقوه برای تولید محصولات آنتی‌اکسیدانی، ضدآفتاب و یک منبع طبیعی جاذب پرتوهای UV در آینده باشد. پراتاما و همکاران (۲۰۲۰) پتانسیل عصاره آبی اسپیرولینا را در جذب پرتوهای UV به‌عنوان ضدآفتاب تحت مطالعه قرار دادند. خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره *S.platensis*، حاوی فیکوبیلی پروتئین‌ها، پوست را از تخریب رادیکال‌های آزاد ایجاد شده ناشی از پرتوهای UV، محافظت می‌کند. عصاره *S.platensis* با کاهش سطح مالون دی آلدهید (MDA) پس از قرار گرفتن در معرض پرتوهای UVB، تخریب سلولی را کاهش می‌دهد. MMPها، ماتریکس متالو پروتئینازهای وابسته به روی هستند و باعث تخریب کلاژن‌ها در ماتریکس خارج سلولی می‌شوند. عصاره اسپیرولینا وابسته به غلظت بر روی سلول‌های فیبروبلاست با کاهش بیان ماتریکس متالوپروتئیناز با افزایش تنظیم سنتز کلاژن همراه است. علاوه بر این عصاره آبی اسپیرولینا، سطح مالون دی آلدهید (MDA) را در سلول‌های فیبروبلاست قرار گرفته در معرض پرتوهای UVB در مقایسه با گروه کنترل کاهش داد. گونگ لیو و همکاران (۲۰۱۱)، اسپیرولینا را تحت تخمیر اسیدلاکتیک قرار دادند و مهار رادیکال‌های آزاد و جذب پرتوهای UV را در مقایسه با زیست‌توده اسپیرولینا به عنوان شاهد مقایسه کردند. اسپیرولینای تخمیرشده را جهت میزان جذب پرتوهای UV بر روی کراتینوسیت انسانی HaCa T، تحت تابش مصنوعی UVB در طول موج ۲۷۵ تا ۳۷۵ نانومتر قرار دادند. سلول‌ها بعد از تابش پرتوهای UVB به میزان ۵۲/۹۸ درصد زنده ماندند. درصد زنده ماندن سلول‌های تحت تیمار اسپیرولینای تخمیر شده به‌طور معنی داری از تیمار شاهد بالاتر بود. قابلیت جذب پرتوهای UV اسپیرولینای تخمیر شده مربوط به فیکوسیانین و پلی‌فنول‌ها می‌باشد. فیکوسیانین خواص آنتی‌اکسیدانی و جذب پرتوهای UV بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشته است.

اسپیرولینای تخمیر شده را می‌توان در فرمولاسیون‌های ضدآفتاب و لوسیون‌های مراقبت‌کننده از پرتوهای UV استفاده کرد. ریزجلبک‌ها، از جمله سیانوباکترها، گروه متنوعی از ارگانسیم‌های فتوسنتزکننده هستند که در مراحل اولیه پیدایش حیات در زمین در معرض تابش پرتوهای شدید خورشید ظاهر شدند. پرتوهای خورشید به‌خصوص UVB قادرند از عمر سلول‌های اساسی بدن از جمله پوست، به‌طور مستقیم و یا با ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) بکاهند. ریزجلبک‌ها در طی تکامل خود چندین خط دفاعی و یا سازو کارهای تحمل در برابر تنش‌های محیطی از جمله پرتوهای UV، مانند ترمیم DNA، سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها (ترکیبات آنزیمی و غیر آنزیمی)، رنگدانه‌ها (فیکوبیلی پروتئین‌ها، کارتنوئیدها و کلروفیل‌ها)، اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین و سیتونمین‌ها در خود ایجاد کرده‌اند. پس از شناسایی بهترین گونه، وضعیت بهینه تولید، ثبات و ایمنی ریزجلبک‌ها با خواص آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌میکروبی و جاذب پرتوهای UV، می‌توانند در صنعت آرایشی بهداشتی نوآورانه، به‌کار گرفته شوند (راستوگی و همکاران، ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده از مطالعه انجام شده، عصاره‌های تهیه شده از ریزجلبک اسپیرولینا، با حلال‌های مختلف دارای فاکتور محافظت‌کنندگی (SPF) مختلفی بود. باتوجه به‌میزان قابل‌توجه فیکوبیلی‌پروتئین‌ها در حلال آبی و راندمان بالای تولید پودر (حاصل از خشک‌کن تصعیدی) عصاره آبی، می‌توان از این عصاره به‌عنوان رنگدانه در صنعت آرایشی-بهداشتی استفاده کرد. از سوی دیگر عصاره‌های این ریزجلبک به علت دارا بودن مقدار قابل‌توجهی از رنگدانه‌ها و سایر ترکیبات هم‌چون ترکیبات فنولی دارای خاصیت جذب پرتوهای UV بوده و پتانسیل استفاده به‌صورت مکمل در فرمولاسیون‌های ضدآفتاب را دارا می‌باشد. عصاره اتانولی به علت مقدار بالای فاکتور محافظت‌کنندگی (SPF) با میزان SPF=۱۱/۹٤، به‌عنوان تیمار بهینه جهت تولید کرم ضدآفتاب و یا به عنوان مکمل در ضدآفتاب‌های حاوی رنگدانه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این مطالعه حاصل پروژه تحقیقاتی با استفاده از اعتبارات پژوهشی (گرنت) دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است. صمیمانه از همکاری گروه فرآوری محصولات شیلاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تشکر می‌گردد.

منابع

Adam, F., Abert-Vian, M., Peltier, G., and Chemat, F. 2012. Solvent-free" ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: A green, clean and scalable process. Bioresource Technology 144, 457-pp. 465.

Ansari, F.A., Ravindran, B., Gupta, S.K., Nasr, M., Rawat, I., and Bux, F. 2019. Techno-economic estimation of wastewater phycoremediation and environmental benefits using Scenedesmus obliquus microalgae. Journal of Environmental Management. 240: 293-302.

Arad, S.M., and Varon, A. 1992. Natural pigments from red microalgae for use in foods and cosmetics. Trends in Food Science & Technology April 3, pp. 92-97.

Araujo, G.S., Matos, L.J.B.L., Fernandes, J.O., Cartaxo, S.J.M., Gonçalves, L.R.B., and Fern, F.A.N. 2013. Extraction of lipids from microalgae by ultrasound application: Prospection of the optimal extraction method Ultrasonics Sonochemistry. 20: 95-98.

Ariedea, M.B., Candidoa, T.M., Jacomea, A.L.M., Velascoa, M.V.R., Carvalhob, J.C.M.d., and Babya, A.R. 2017. Cosmetic attributes of algae - A review Algal Research. 25: 483-487.

Berthon, J.Y., Nachat-Kappes, R., Bey, M., Cadoret, J.P., Renimel, I., and Filaire, E. 2017. Marine algae as attractive source to skin care. Free Radical Research. 51: 555-567.

Borowitzka, M.A. 2013. High-value products from microalgae-their development and commercialisation. journal of Applied Phycology. 25: 743-756.

Campos, P.M.B.G.M., Benevenuto, C.G., Calixto, L.S., Melo, M.O., Pereira, K.C., and Gaspar, L.R. 2019. Spirulina, Palmaria palmata, Cichorium intybus, and Medicago sativa extracts in cosmetic formulations: an integrated approach of in vitro toxicity and in vivo acceptability studies. Cutaneous and Ocular Toxicology, pp. 1-25.

Chaiklahana, R., Chirasuwana, N., Lohab, V., Tiab, S., and Bunnag, B. 2018. Stepwise extraction of high-value chemicals from Arthrospira (Spirulina) and an economic feasibility study Biotechnology Reports. 20: 1-41.

Chandra, R., Das, P., Vishal, G., and Nagra, S. 2019. Factors affecting the induction of UV protectant and lipid productivity in Lyngbya for sequential biorefinery product recovery. Bioresource Technology. 278: 303-310.

Daniel, S., Cornelia, S., and Zülli, F. 2017. UV-A sunscreen from red algae for protection against premature skin aging. Cosmetics, pp. 139-143.

Daudt, R.M., Back, P.I., Cardozo, N.S.M., Marczak, L.D.F., and Külkamp-Guerreiro, I.C. 2015. Pinhão starch and coat extract as new natural cosmetic ingredients: Topical formulation stability and sensory analysis. Carbohydrate Polymers. 134: 573-580.

Dianursanti, Prakasa, M.B., and Nugroho, P. 2020. The Effect of Adding Microalgae Extract *Spirulina platensis* Containing Flavonoid in The Formation of Sunscreen towards Cream Stability and SPF Values AIP Conference Proceedings, pp 040022-040021.

Dewi, N., Kurniasih, A., and Purnamayanti, 2018. Physical Properties of Spirulina Phycocyanin Microencapsulated with Maltodextrin and Carrageenan. Philippine Journal of Science. 147: 201-207.

Dutra, E.A., Oliveira, D.A.G.d.C.e., KedorHackmann, E.R.M., and Santoro, M.I.R.M. 2004. Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. 40: 382-385.

El-Bakya, H.H.A., and El-Baroty, G.S., 2012. Characterization and bioactivity of phycocyanin isolated from *Spirulina maxima* grown under salt stress. Food & Function. 3: 381-388.

Estrada, J.P., Bescos, P.B., and Del Fresno, A.V. 2001. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. Il Farmaco. 56: 497-500.

Grant, C.S., and Louda, J.W. 2013. Scytonemin-imine, a mahogany-colored UV/Vis sunscreen of cyanobacteria exposed to intense solar radiation Cidya. Organic Geochemistry Journal. 65: 29-36.

Gunes, S., Tamburaci, S., Dalay, M.C., and Gurhan, I.D. 2017. In vitro evaluation of *Spirulina platensis* extract incorporated skin cream with its wound healing and antioxidant activities. Parmacutical biology. 55: 1824-1832.

Hossya, B.H., Leitão, A.A.C., Santos, E.P.d., Matsuda, M., Rezende, L.B., Rurr, J.S.C., Pinto, A.V., Ramos-e-Silvaa, M., Pádula, M.d., and Miguel, N.C.d.O. 2017. Phototoxic assessment of a sunscreen formulation and its excipients: An in vivo and in vitro stud. Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology. 173: 545-550.

Jiang-Gong Liu, Shin-YiLee, C.W., Yaju Chuang, and Chih-Cheng Lin. 2011. Antioxidant effects and UVB protective

activity of Spirulina (*Arthrospira platensis*) products fermented with lactic acid bacteria. Process Biochemistry. 46: 1405-1410.

Lee, J.J., Kim, K.B., Heo, J., Cho, D.H., Kim, H.S., Han, S.H., Ahn, K.J., An, I.S., An, S., and Bae, S. 2017. Protective effect of *Arthrospira platensis* extracts against ultraviolet B induced cellular senescence through inhibition of DNA damage and matrix metalloproteinase-1 expression in human dermal fibroblasts Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology. 16: 1011-1344.

MacColl, R., and Guard-Friar, D. 1987. Phycobiliproteins, Environment & Agriculture. 18 January 2018, Boca Raton London New York, pp. 224.

Madhyastha, H.K., Sivashankari, S., and Vatsala, T.M. 2009. C-phycocyanin from Spirulina fussiformis exposed to blue light demonstrates higher efficacy of in vitro antioxidant activity. Biochemical Engineering Journal. 43: 221-224.

Manirafasha, E., Ndikubwimana, T., Zeng, X., Lu, Y., and Jing, K. 2016. Phycobiliprotein: potential microalgae derived pharmaceutical and biological reagent Emmanuel. Biochemical Engineering Journal. 109: 282-296.

Mapoung, S., Arjsri, P., Thippraphan, P., Semmarath, W., Yodkeeree, S., Chiewchanvit, S., Piyamongkol, W., and Dejkriengkraikul, P.L., 2020. Photochemoprotective effects of *Spirulina platensis* extract against UVB irradiated human skin fibroblast. South African Journal of Botany 130: 198-207.

Martínez-Galero, E., Pérez-Pastén, R., Perez-Juarez, A., Fabila-Castillo, L., Gutiérrez-Salmeán, G., and Chamorro, G. 2015. Preclinical antitoxic properties of Spirulina (Arthrospira). Pharmaceutical Biology. 54: 1345-1353.

Mohammed, H., AmyHolmes, Y., Haridass, N., Sanchez, I.Y., Hauke, W., Studier, E., Grice, J.A.E., Benson, H.S., and Roberts, M. 2019. Support for the Safe Use of Zinc Oxide Nanoparticle Sunscreens: Lack of Skin Penetration or Cellular Toxicity after Repeated Application in Volunteers. Journal of Investigative Dermatology. 139: 308-315.

Morone, J., Alfeus, A., Vasconcelos, V., and Martins, R. 2019. Revealing the potential of cyanobacteria in cosmetics and cosmeceuticals - A new bioactive approach. Algal Research. 41: 101541.

Nichols, J.A., and Katiyar, S.K. 2010. Skin photoprotection by natural polyphenols: anti-inflammatory, antioxidant and DNA repair mechanisms. Arch Dermatol Res, pp. 71-83.

Ogbonda, Kemka, Aminigo, Rebecca, Abu, Gideon, 2007. Influence of temperature and pH on biomass production and protein biosynthesis in a putative *Spirulina sp*. Bioresource technology. 98: 2207-2211.

Palanisamy, M., Töpfl, S., Berger, R.G., and Hertel, C. 2019. Physico-chemical and nutritional properties of meat analogues based on Spirulina/lupin protein mixtures. European Food Research and Technology. 245: 1889-1898.

Pathaka, J., Ahmeda, H., Rajneesha, Singhb, S.P., Häderc, D.P., and Sinha, R.P. 2019. Genetic regulation of scytonemin and mycosporine-like amino acids (MAAs) biosynthesis in cyanobacteria. Plant Gene. 17: 100172.

Pratama, G.M.C.T., Hartawan, I.G.B.R.M., Indriani, I.G.T., Yusrika, M.U., Suryantari, S.A.A., Satyarsa, A.B.S., and Sudarsa, P.S.S. 2020. Potensi Ekstrak *Spirulina platensis* sebagai Tabir Surya terhadap Paparan Ultraviolet B. Journal of Medicine and Health. 2: 2442-5257.

Rastogi, R.P., and Incharoensakdi, A. 2014. Analysis of UV-absorbing photoprotectant mycosporine-like amino acid (MAA) in the cyanobacterium Arthrospira sp. CU2556. Photochemical & Photobiological Sciences. 13: 1016-1024.

Rastogi, P., Madamwar, R., Nakamoto, D., and AranIncharoensakdi, H. 2020. Resilience and self-regulation processes of microalgae under UV radiation stress. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. 43: 100322.

Rodrigues, L.R., and Jose, J. 2020. Exploring the photo protective potential of solid lipid nanoparticle-based sunscreen cream containing Aloe vera. Environmental Science and Pollution Research. 27: 20876-20888.

Rodrigues, R.D.P., Castro, F.C.d., Santiago-Aguiar, R.S.d., and Rocha, M.V.P. 2018. Ultrasound-assisted extraction of phycobiliproteins from *Spirulina* (Arthrospira) *platensis* using protic ionic liquids as solvent. Algal Research. 31: 454-462.

Rodrigues, R.D.P., Lima, P.F.d., Santiago-Aguiar, R.S.d., and Rocha, M.V.P. 2019. Evaluation of protic ionic liquids as potential solvents for the heating extraction of phycobiliproteins from *Spirulina* (Arthrospira) *platensis* Algal Research. 38: 101391.Santhakumaran, P., Ayyappan, S.M., and Ray, J.G. 2020. Nutraceutical applications of twenty-five species of rapid-growing greenmicroalgae as indicated by their antibacterial, antioxidant and mineral content Algal Research. 47: 1-12.

Schulze, C., Strehle, A., Merdivan, S., and Mundt, S. 2017. Carbohydrates in microalgae: Comparative determination by TLC, LC-MS without derivatization, and the photometric thymol-sulfuric acid method. Algal Research. 25: 372-380.

Shalaby, E.A., and Shanab, S.M.M. 2013. Comparison of DPPH and ABTS assays for determining antioxidant potential of water and methanol extracts of *Spirulina platensis*. indian journal of geo-marine sciennces. 42: 556-564.

Shetty, P.K., Venuvanka, V., Jagani, H.V., Chethan, G.h., Ligade, V.S., Musmade, P.B., Nayak, U.Y., Reddy, M.S., Kalthur, G., Udupa, N., Rao, C.M., and Mutalik, S. 2015. Development and evaluation of sunscreen creams containing morin-encapsulated nanoparticles for enhanced UV radiation protection and antioxidant activity. International Journal of Nanomedicine. 10: 6477-6491.

Shweta, K., and Swarnlata, S. 2010. Formulation and Evaluation of Moisturizer Containing Herbal Extracts for the Management of Dry Skin Pharmacognosy Journal. 2: 409-417.

Silva, A.d.S.e., Moreira, L.M., Magalhães, W.T.d., Farias, W.R.L., Rocha, M.V.P., and Bastos, A.K.P. 2016. Extraction of Biomolecules from *Spirulina platensis* using Non-Conventional Processes and Harmless Solvents journal of Enviornmental chemical engineering. 17: 1-26.

Singh, S.P., Klisch, M., Sinha, R.P., and Häder, D.P. 2010. Genome mining of mycosporine-like amino acid (MAAs) synthesizing and non-synthesizing cyanobacteria: A bioinformatics study. Genomics. 95: 120-128.

Sinha, R.P., and Hader, D.P. 2008. UV-protectants in cyanobacteria Plant Science. 174: 278-289.

Souza, C., and Campos, P.M.B.G.M. 2017. Development and photoprotective effect of a sunscreen containing the antioxidants Spirulina and dimethylmethoxy chromanol on sun-induced skin damage. European Journal of Pharmaceutical Sciences. 104: 52-64.

Stolz, P., and Obermayer, B. 2005. Manufacturing microalgae for skin care. Cosmetic Toiletries. 120: 99-106.

Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., and Kuča, K. 2016. The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: an overview. Arch Toxicol 90: 1817-1840.

Yang, S.I., Liu, S., Brooks, G.J., Lanctot, Y., and Gruber, J.V. 2017. Reliable and simple spectrophotometric determination of sun protection factor: A case study using organic UV filter-based sunscreen products. journal of cosmetic Dermatology. 17: 218-522.