



Changes in the Pigments Content and Apparent Color of *Spirulina Platensis* Powder Under Radiation of Visible Light Wavelengths

H. Delavari Amrei^{1*}, N. Nemani², B. B. F. Azarkar³, M. Yazdani⁴

1- Associate Professor of Chemical Engineering, University of Bojnord

2- MSc. in Chemical Engineering, Amirkabir University of Technology

3- Assistant Professor of Organic Chemistry, University of Bojnord

4- MSc. Student of Chemical Engineering, University of Bojnord

Email: h.delavari@ub.ac.ir

Abstract

Spirulina microalgae powder (Spirulina harvested from the culture medium that has been dried and powdered) can be affected by the type of light spectrum, just like Spirulina, during the pre-harvest period (growth period). In this study, the content of phycocyanin and chlorophyll in Spirulina platensis powder was evaluated under radiation of different light spectra. The results showed that the highest phycocyanin content was related to the sample under red LED light and the lowest was related to the sample under blue LED light. But the sample under blue light looked bluer in appearance and the purity of phycocyanin was the highest for this sample. The chlorophyll-a and total carotenoids content in all samples decreased during the test period compared to the control sample, which indicates the destruction of chlorophyll under the radiation of different light spectra.

Received: 31 December 2024

Accepted: 21 April 2025

Page Number: 79-87

Keywords:

Microalgae Powder,
Light Spectra,
Phycocyanin,
Chlorophyll,
Apparent Color

Please Cite this Article Using:

Delavari Amrei, H., Nemani, N., Azarkar, B. B. F., & Yazdani, M. (2026). Changes in the Pigments Content and Apparent Color of *Spirulina Platensis* Powder Under Radiation of Visible Light Wavelengths. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 24(143), 79-87, [In Persian].



تغییر محتوای رنگدانه‌ها و رنگ ظاهری پودر اسپیرولینا پلاتنسیس تحت تابش امواج نور مرئی

حسین دلاوری امرئی^{۱*}، ندا نعمانی^۲، بی‌بی‌فائزه آذرکار^۳، مهدی یزدانی^۴

۱- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه بجنورد

۲- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- استادیار شیمی آلی، دانشگاه بجنورد

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه بجنورد

پیام‌نگار: h.delavari@ub.ac.ir

چکیده

پودر ریزجلبک اسپیرولینا (اسپیرولینای برداشت‌شده از محیط کشت که خشک و پودر شده‌است) می‌تواند همانند اسپیرولینا در دوره قبل از برداشت (دوره رشد) از نوع طیف نور تأثیرپذیرد. در این مطالعه میزان فیکوسیانین، کلروفیل و کارتنوئیدها در پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در مجاورت نور با طول موج‌های مختلف ارزیابی‌شد. نتایج نشان داد که بیشترین محتوای فیکوسیانین مربوط به نمونه تحت نور LED سرخ و کمترین آن مربوط به تحت نور LED آبی بوده‌است. نمونه تحت نور LED آبی از لحاظ ظاهری، آبی‌تر به نظر می‌رسید و میزان خلوص فیکوسیانین برای این نمونه بیشترین مقدار بوده‌است. محتوای کلروفیل a و کارتنوئیدها در تمامی نمونه‌ها در طول دوره آزمایش نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته‌است که این مطلب نشان‌دهنده تخریب کلروفیل و کارتنوئیدها تحت تابش طیف‌های مختلف نوری بوده‌است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

شماره صفحات: ۷۹ تا ۸۷

کلیدواژه‌ها:

پودر ریزجلبک،

طیف‌های نور،

فیکوسیانین،

کلروفیل،

رنگ ظاهری

* بجنورد، دانشگاه بجنورد، دانشکده فنی و مهندسی

استناد به مقاله:

دلاوری امرئی، حسین، نعمانی، ندا، آذرکار، بی‌بی‌فائزه، و یزدانی، مهدی. (۱۴۰۴). تغییر محتوای رنگدانه‌ها و رنگ ظاهری پودر اسپیرولینا پلاتنسیس تحت تابش امواج نور مرئی، نشریه مهندسی شیمی ایران، ۲۴(۱۴۳)، ۷۹-۸۷.

۱. مقدمه

ریز جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها مسؤول ۳۲ درصد از فعالیت فتوسنتزی در کره زمین هستند؛ بنابراین، نقش مهمی در زیست‌بوم‌های گونه‌گون ایفای کنند [۱ و ۲]. این ریزاندامگان دارای محتوای متابولیت ارزشمند هستند که می‌توان از آن‌ها برای کاربردهای مختلف، در زمینه‌هایی مانند پزشکی، صنعت، انرژی، کشاورزی، غذا و غیره استفاده کرد [۳-۵]. علاوه بر این، ریز جلبک‌ها نسبت به درختان گاز دی‌اکسید کربن را به‌طور مؤثرتری جذب می‌کند و اثر گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد [۶]. اسپیرولینا پلاتنسیس^۱ (آرترواسپیرا پلاتنسیس^۲) یکی از ریز جلبک‌های سبز-آبی است که به‌عنوان سیانوباکتری نیز طبقه‌بندی می‌شود [۷]. به سبب غلظت بالای پروتئین (۶۰-۷۰ درصد)، ترکیبات زیست‌فعال، مانند: کلروفیل‌ها (۱/۷ درصد)، کاروتنوئیدها و زانتوفیل‌ها (۰/۵ درصد)، فیکوبیلی پروتئین‌ها، شامل: C فیکوسیانین و آلفوفیکوسیانین (۲۹ درصد)، اسیدهای چرب غیر اشباع، مانند: آراشیدونیک اسید، ایکوساپنتئوئیک اسید، دو کوسوهگزانوئیک اسید و اسید چرب ضروری گامالینولیک منبع غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی مخصوصاً آهن و کلسیم، این ریز جلبک بسیار مغذی است [۸-۱۰]. هم‌چنین، اسپیرولینا یک تولیدکنندهٔ آگزوپلی ساکاریدهای^۳ ساختاری متنوع (EPS) است که از فعالیت‌های دارویی متعددی، مانند: آنتی‌اکسیدان، ضد تومور، ضد چربی خون، ضد باکتری و فعالیت‌های ضد انعقادی برخوردار است [۱۱ و ۱۲].

در مقالات مختلف، نتایج بررسی‌ها در مورد تأثیر طول موج‌های مختلف نشان داد که رنگدانه‌های فتوسنتزی موجود در سیانوباکتری‌ها تحت تأثیر نور سرخ، بیشترین فوتون‌ها را در طول موج ۶۷۰-۶۲۰ نانومتر جذب می‌کند و بالاترین طیف جذبی را در این محدوده نشان می‌دهد. هم‌چنین غلظت بالایی از زیست‌توده اسپیرولینا تحت تابش این نور حاصل شده است. رنگدانه‌های فتوسنتزی موجود در سیانوباکتری‌ها بیشترین میزان جذب را در طول موج ۴۴۱ و ۶۶۹ نانومتر (کلروفیل *a*) و طول موج ۶۲۷ نانومتر (فیکوبیلی پروتئین‌ها) نشان می‌دهد [۱۳]. رنگدانهٔ پروتئینی فیکوسیانین موجود در سلول‌های ریز جلبک

اسپیرولینا پلاتنسیس نیز تحت تأثیر نور قراری گیرد و نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که بیشترین غلظت فیکوسیانین زمانی حاصل می‌شود که تحت تأثیر نور سرخ قراری گیرد [۱۴]. مقالات بسیار دیگری در مورد تأثیر نور بر محتوای درون سلولی ریز جلبک‌های در فاز پیش‌رشد، رشد یا سکون وجود دارد [۱۹-۱۵]. اما تاکنون هیچ کار پژوهشی در زمینهٔ تأثیر طول موج‌های مختلف نور بر محتوای درون سلولی پودر ریز جلبک - یعنی پس از آن‌ها از محیط کشت جدا و خشک می‌شود^۴ - انجام نشده است. با این حال تحقیقات زیادی در مورد تأثیر امواج ساطع شده از انواع LED ها بر میوه‌ها و سبزیجات پس از برداشت وجود دارد. استفاده از امواج نور به‌عنوان یک روش غیر خطرناک به منظور بهبود فرایند رسیدن محصول، مشخصه‌های تغذیه‌ای و متابولیت‌های ثانویه، به تأخیر انداختن پیری، در تحقیقات گوناگون بررسی شده است [۲۰-۲۲]. به‌عنوان نمونه، می‌توان به پژوهش ما^۵ و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد. نتیجه کار نشان داد که تابش نور سرخ (۶۶۰ نانومتر) بر نوعی کلم بروکلی^۶ در دورهٔ پس از برداشت محصول باعث شد تا کلم مورد نظر کمتر زرد شود و تولید اتیلن کمتری در مقایسه با نور آبی و سفید در آن مشاهده شود [۲۳]. هم‌چنین، تأثیر نور آبی (۴۷۰ نانومتر) بر بیبری چینی^۷ نشان داد که نمونه‌ای که پس از برداشت تحت تابش پیوستهٔ این نور قرار گرفته است، نسبت به نمونه‌ای که در محل تاریک نگهداری شد، محتوای آنتوسیانین بسیار بیشتری داشته است [۲۴]. پانتراس و همکاران نوعی کدوی تلخ (۲۰۱۴) را در دورهٔ پس از برداشت تحت تابش نورهای مختلف قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که محتوای کلروفیل *a*، *b* و کارتنوئیدها مربوط به نمونه‌های تحت تابش نورهای سفید، آبی و سرخ، کاهش کمتری نسبت به نمونه‌ای که تحت هیچ تابشی نبوده، نشان داده است. به‌طور کلی، نمونه‌های تحت نور سفید محتوای رنگدانهٔ بیشتری نسبت به نمونه‌های تحت نور سرخ و آبی داشته‌اند [۲۲].

در پژوهش حاضر، به دلیل نبود هیچ پژوهش دیگری در مورد تأثیر نور بر محتوای رنگدانه‌های موجود در ریز جلبک‌ها پس از برداشت، اثر طیف‌های نوری مختلف (سرخ، آبی، سبز و سفید) بر محتوای فیکوسیانین، کلروفیل *a* و رنگ ظاهری پودر ریز جلبک

4. Postharvest Period

5. Ma

6. Brassica Oleracea L. Var. Italica

7. Chinese Bayberries (Myrica Rubra)

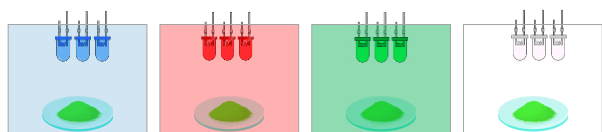
1. Spirulina Platensis

2. Arthrospira Platensis

3. Exopolysaccharides

اسپیرولینا پلاتنسیس (یعنی ریزجلبکی که از محیط کشت برداشت شده و سپس خشک و پودر شده است) بررسی شده است.

روز) به منظور مشخص کردن تفاوت ظاهری نمونه‌ها از آن‌ها تحت نور لامپ LED سفید با دوربین ۱۴ مگاپیکسل عکسبرداری شد.



شکل ۱. طرحواره سامانه آزمایشی.

Figure 1. Schematic of the experimental system.

۲-۳ اندازه‌گیری غلظت فیکوسیانیین

استخراج پروتئین فیکوسیانیین به روش ترکیبی ذوب-انجماد و بافر انجام شد [۲۶]. ۰/۱ گرم زیست‌توده خشک شده در ۱۵ میلی‌لیتر بافر سدیم هیدروژن فسفات با غلظت ۰/۰۵ مولار حل شد. سپس، در دمای منفی ۲۰ درجه سلسیوس منجمد و در دمای ۱۰ درجه سلسیوس در حمام آب گرم ذوب شد. فرایند ذوب و انجماد ۵ مرتبه متوالی تکرار شد. به منظور جداسازی فیکوسیانیین از زیست‌توده، محلول در ۴۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت، مایع بالایی برای تجزیه و تحلیل بیشتر جمع‌آوری شد. البته لازم به ذکر است که دیگر فیکوبیلی پروتئین‌ها، مانند آلفا فیکوسیانیین و فیکواریترین در این حلال نیز وجود دارند.

برای اندازه‌گیری غلظت فیکوسیانیین میزان جذب مایع بالایی در طول موج‌های ۶۲۰ و ۶۵۲ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج (UV-Vis Array Spectrophotometer مدل Photonix Ar2017) اندازه‌گیری شد، غلظت فیکوسیانیین با استفاده از رابطه (۱) برآورد شد [۲۷].

$$C_{pc} = \frac{A_{620} - 0.474A_{652}}{5.34} \quad (1)$$

که در رابطه بالا A_{620} و A_{652} به ترتیب میزان جذب در طول موج‌های ۶۲۰ و ۶۵۲ نانومتر است که غلظت فیکوسیانیین بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به دست می‌آید. برای محاسبه خلوص فیکوسیانیین نسبت جذب نوری در طول موج ۶۲۰ (بیشینه جذب فیکوسیانیین) به جذب نوری در طول موج ۲۸۰ (غلظت پروتئین در محلول) با استفاده از رابطه (۲) حساب شد [۲۷ و ۲۸].

$$P = \frac{A_{620}}{A_{280}} \quad (2)$$

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ پودر ریزجلبک

ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس مورد استفاده در این پژوهش از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه و در محیط کشت رودیک با pH تقریبی ۸ تحت نور LED سفید با شدت نور ۶۰۰۰ لوکس کشت شد [۲۵]. میزان مواد موجود در محیط کشت در یک لیتر محیط کشت به قرار زیر بوده است:

300 mg NaNO₃, 20 mg KH₂PO₄, 80 mg K₂HPO₄, 20 mg NaCl, 47 mg CaCl₂, 10 mg MgSO₄·7H₂O, 0.1 mg ZnSO₄·7H₂O, 1.5 mg MnSO₄·H₂O, 0.08 mg CuSO₄·5H₂O, 0.3 mg H₃BO₃, 0.3 mg (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, 17 mg FeCl₃·6H₂O, 0.2 mg Co(NO₃)₂·H₂O, and 7.5 mg EDTA.

پس از یک دوره ۱۴ روزه که غلظت ریزجلبک به حداکثر مقدار خود در فاز رشد لگاریتمی رسید، سلول‌ها با فیلتر ۲۰ میکرونی از محیط کشت جدا شد. به منظور خشک کردن، نمونه سلول‌های جدا شده از محیط کشت به مدت ۴۸ ساعت در آن در دمای ۴۰ °C قرار داده و سپس، با آسیاب تیغه‌ای پودر شد.

۲-۲ سامانه آزمایشگاهی

از چهار LED ساطع‌کننده نور مختلف، سرخ (۶۲۵-۷۴۰ نانومتر)، آبی (۴۵۰-۴۸۵ نانومتر)، سفید (۳۸۰-۷۶۰ نانومتر) و نور سبز (۴۹۵-۵۷۰ نانومتر) استفاده شد. سپس، چهار نمونه، به مقدار مساوی ۱/۳ گرم از پودر آسیاب شده اسپیرولینا بر روی شیشه ساعت پخش شد، در شرایط کاملاً یکسان، تحت تأثیر نورهای مختلف قرار گرفتند (شکل (۱)). شدت تابش بر روی هر نمونه تقریباً معادل ۶۰۰۰ لوکس بوده است. نمونه‌ها به طور متوالی هر سه روز یکبار، زیر نور شد تا تمامی قسمت‌های نمونه (پودر) تحت تأثیر نور قرار بگیرد. پس از یک دوره ۱۴ روزه، تغییر قابل توجهی در رنگ نمونه‌ها مشاهده و دیگر آنالیزها بر روی نمونه‌ها (اندازه‌گیری محتوای رنگدانه‌ها) انجام شد. هم‌چنین، یک نمونه در طول این مدت در فضای تاریک یخچال نگهداری شد که از آن به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. لازم به ذکر است که تمامی آنالیزهای انجام گرفته بر روی نمونه‌ها تکرار شده است. هم‌چنین، بعد از اتمام آزمایش (پس از ۱۴

۲-۴ اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a و کارتنوئیدها

۰/۵۰ گرم از زیست‌توده خشک‌شده در ۱۰ میلی‌لیتر متانول حل شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در تاریکی قرار داده شد؛ سپس، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. طیف جذبی مایع بالای در طول موج‌های مختلف، با استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج ثبت شد و غلظت کلروفیل (Ca) با رابطه (۳) و کارتنوئیدها با رابطه (۴) بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر حساب شد [۲۹].

$$C_a = 15.65 \times OD_{666} - 7.34 \times OD_{653} \quad (3)$$

$$\text{Total carotenoids} = \frac{1000 \times OD_{470} - 2.86 \times C_a}{245} \quad (4)$$

که در رابطه (۳)، OD_{653} و OD_{666} به ترتیب میزان جذب مایع بالاسری به منظور تعیین میزان رنگدانه با طیف‌نورسنج در طول موج‌های ۶۶۶ و ۶۵۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه کارتنوئیدها میزان جذب مایع بالاسری در طول موج ۴۷۰ نانومتر (OD_{470}) اندازه‌گیری شد.

۳. نتایج و بحث

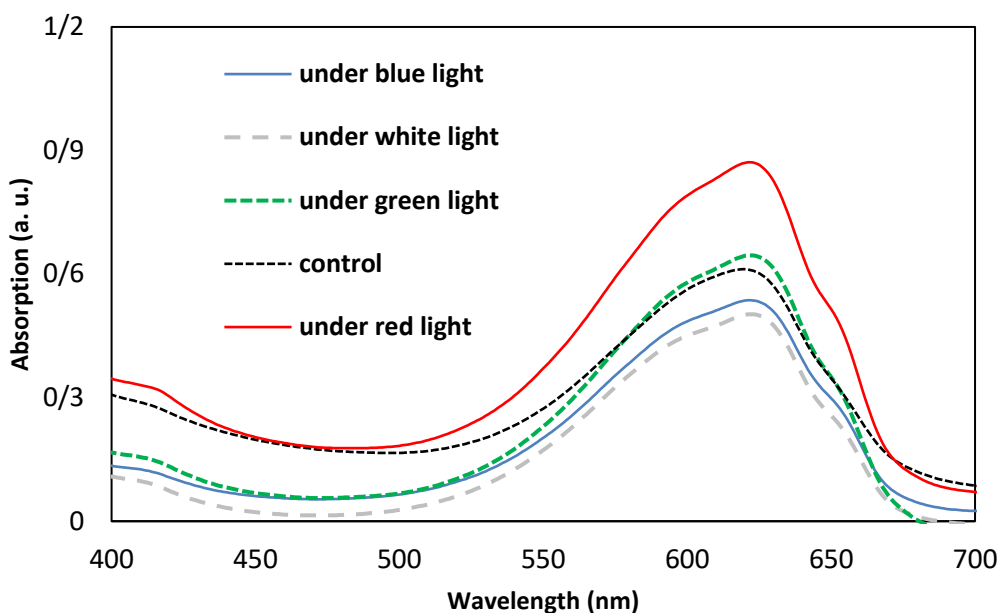
۳-۱ اثر طیف نور بر محتوای رنگدانه‌ها

نتایج مربوط به طیف جذب رنگدانه‌های استخراج‌شده در بافر سدیم هیدروژن فسفات در شکل (۲) نشان داده شده است. بیشینه طول موج جذب این طیف در 2 ± 624 نانومتر بوده است. در واقع، می‌توان گفت که رنگدانه‌های پروتئینی، شامل آلفا فیکوسیانین، فیکوسیانین و فیکواریترین در بافر حل می‌شوند. بنابراین، طیف ارائه شده نشان‌دهنده طیف جذب مخلوطی از این رنگدانه‌ها است؛ اما به هر حال غلظت فیکوسیانین نسبت به دو رنگدانه پروتئینی دیگر در اسپیرولینا بیشتر است [۱۴ و ۱۰]. با افزایش غلظت فیکوسیانین (همان‌طور که در جدول (۱) برای نمونه‌های مختلف گزارش شده است)، طول موج جذب بیشینه طیف کاهش یافته است

در این کار، باتوجه به این که طول موج خروجی از منابع نور مورد استفاده (LEDهای سرخ، سبز، آبی و سفید) در محدوده نور فرابنفش نبوده‌اند که به وسیله رنگدانه‌های پروتئینی جذب شوند و هم‌چنین، باتوجه به این که صرفاً محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر امواج الکترومغناطیس به‌عنوان محدوده فعال فتوسنتز^۱ و نور مرئی به حساب می‌آید، بنابراین طیف موج جذب گزارش شده صرفاً در محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر است.

باتوجه به غلظت فیکوسیانین موجود در پودر ریزجلبک نمونه‌های مختلف (استخراج‌شده با بافر) در جدول (۱) می‌توان گفت که محتوای فیکوسیانین برای پودر اسپیرولینا تحت نور سرخ بیشترین مقدار بوده است. در واقع، برای نمونه‌های تحت نور سرخ و سبز محتوای فیکوسیانین از نمونه شاهد، به ترتیب به میزان ۴۰٪ و ۷٪ بیشتر بوده است. برای نمونه‌های تحت نور آبی و سفید میزان فیکوسیانین از نمونه شاهد کمتر شده است. با بررسی طول موج جذب طیف ارائه شده در شکل (۲) (۵۷۰-۶۵۰ نانومتر) و طول موج نشر هر یک از منابع نوری، می‌توان گفت که طول موج‌های نور سرخ (۷۴۰-۶۲۰ نانومتر) انطباق بیشتری با طول موج جذب رنگدانه‌های پروتئینی دارد. هم‌چنین، انطباق طول موج نور سبز (۴۹۵-۵۷۰ نانومتر) با طول موج جذب شکل (۲) نیز از نور آبی (۴۵۰-۴۹۵ نانومتر) بیشتر است. هم‌چنین، اگرچه طیف خروجی از لامپ LED سفید دارای طول موج‌های سرخ و آبی است، اما به‌رحال تعداد فوتون‌های موجود در محدوده نور سرخ لامپ LED سفید بسیار کمتر از تعداد فوتون‌های سرخ خروجی از لامپ LED سرخ است [۳۰]. میزان خلوص فیکوسیانین در جدول (۱) گزارش شده است. نتایج نشان‌دهنده این است که میزان خلوص فیکوسیانین در نمونه‌های تحت تأثیر نور آبی، سرخ و سبز به ترتیب دارای بیشترین مقدار بوده و از نمونه شاهد هم بیشتر شده است. این بدان معنی است که بخش قابل توجهی از کل پروتئین موجود، فیکوسیانین دارد. نمونه تحت تأثیر نور سفید میزان خلوص پایین‌تری نسبت به نمونه شاهد دارد که باتوجه به غلظت پایین فیکوسیانین، انتظار می‌رفت که میزان خلوص آن هم پایین‌تر باشد.

1. Photosynthetically Active Radiation (PAR)



شکل ۲. طیف جذب رنگدانه‌های استخراج‌شده در بافر سدیم هیدروژن فسفات.

Figure 2. Absorption spectra of pigments extracted in sodium hydrogen phosphate buffer.

جدول ۱. غلظت انواع رنگدانه برای نمونه‌های مختلف.

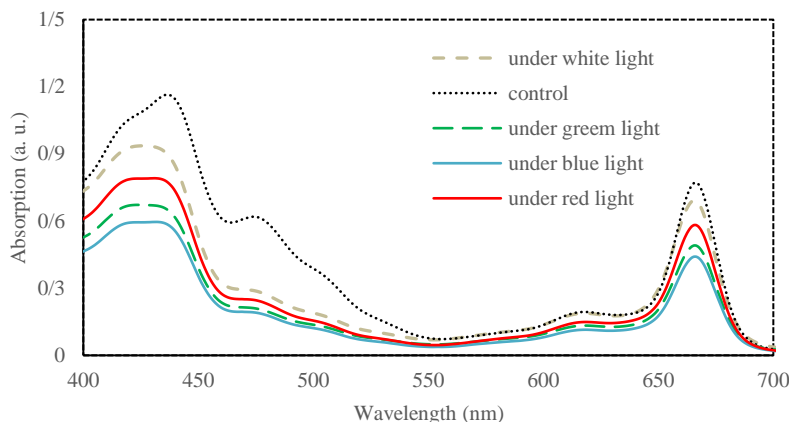
Table 1. Pigments content and purity of phycocyanin for different samples.

Sample	Phycocyanin (mg/L)	Phycocyanin purity	Chlorophyll <i>a</i> (mg/L)	Total Carotenoids (mg/L)
Control	85±5	0.48±0.03	9.86±1.04	2.69±0.41
Under red light	119±9	0.53±0.03	7.2±0.85	1.1±0.35
Under green light	91±6	0.52±0.02	6.00±0.82	0.91±0.36
Under blue light	78±5	0.57±0.03	5.53±0.85	0.82±0.25
Under white light	74±6	0.46±0.02	8.43±0.90	1.25±0.32

خشک‌نشده‌است- معمولاً تحت تابش نور غلظت کلروفیل به‌ویژه در نور سرخ افزایش یافته‌است [۳۱]. همین پدیده برای کارتنوئیدها نیز رخ داده‌است و نتایج نشان می‌دهد که در دوره پس از برداشت کارتنوئیدهای موجود در سلول نیز تحت تأثیر نور تخریب شده‌اند. تأثیر لامپ LED سفید گرم^۱ بر روی نوعی کاهو^۲ پس از برداشت آن، بررسی شده‌است. میزان کلروفیل برای تمامی نمونه‌ها کاهش یافته‌است، اما برای نمونه‌هایی که تحت تابش نور بوده‌اند نسبت به نمونه شاهد سرعت تخریب کلروفیل کمتر بوده‌است. هم‌چنین، برای نمونه‌های تحت تابش سطح فئوفیتین بالاتری گزارش شده‌است [۳۲].

نتایج طیف کلروفیل برای نمونه‌های مختلف در شکل (۳) نشان داد که بیشینه جذب کلروفیل در طول موج‌های ۴۳۵ و ۶۶۶ نانومتر بوده‌است؛ البته این میزان جذب در طول موج ۴۳۵ نانومتر نسبت به طول موج ۶۶۶ نانومتر بیشتر است و هر چقدر غلظت کلروفیل افزایش یابد، مقادیر بیشینه در طول موج‌های کمتری رخ می‌دهد. هم‌چنین، با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱)، محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها در نمونه شاهد، که تحت تأثیر هیچ نوری نبوده، بیشترین مقدار بوده‌است. در واقع، می‌توان گفت که تحت تابش نورهای مختلف محتوای کلروفیل کاهش یافته‌است و قسمتی از کلروفیل تحت تابش تخریب شده‌است. البته برای ریزجلبک‌های در حال رشد- یعنی ریزجلبکی که از محیط کشت جدا و

1. Warm White
2. Valerianella Olitoria L. Pollich



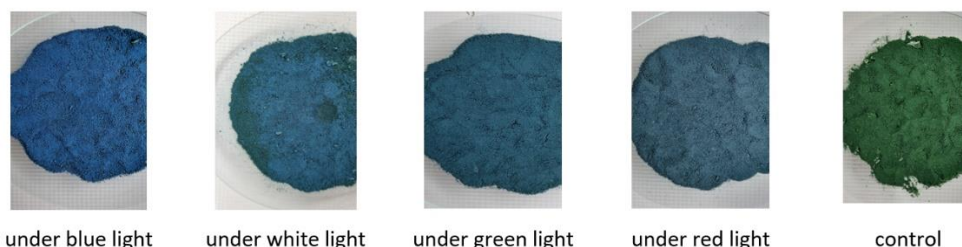
شکل ۳. نمودار طیف جذب کلروفیل برای نمونه‌های مختلف.

Figure 3. Absorption spectra of chlorophyll for different samples.

غلظت هر سه رنگدانه پروتئینی می‌تواند نتایج بهتری را ارائه دهد. اما به‌طور کلی، در نمونه‌هایی که تحت نور سفید و آبی قرار داشتند، رنگ ظاهری پودر ریز جلبک آبی‌تر بوده‌است و محتوای فیکوسیانین در این نمونه‌ها از دیگر نمونه‌ها نیز کمتر بوده‌است. برای نمونه تحت نور آبی، میزان خلوص فیکوسیانین بیشتر بوده و همچنین، محتوای کلروفیل (به‌علت تخریب بیشتر آن‌ها) کمتر بوده‌است، از همین رو، رنگ ظاهری آن تقریباً آبی به‌نظر می‌رسد. با بررسی طیف جذب رنگدانه‌های استخراج‌شده برای نمونه‌های مختلف (شکل (۲)) می‌توان گفت که در محدوده طول موج‌های آبی (۴۵۰-۴۹۵ نانومتر)، نمونه‌های تحت نور LED آبی و سفید جذب کمتری نشان داده‌اند (یعنی انعکاس بیشتر طول موج‌های آبی و بالتبع ظاهری آبی‌تر) اما برای نمونه تحت نور سرخ، جذب طول موج‌های آبی بیشتر بوده‌است (یعنی انعکاس کمتر نور آبی و ظاهری که تمایل بیشتری به رنگ سبز نشان می‌دهد). به‌علاوه، برای نمونه تحت نور آبی، میزان کلروفیل و کارتنوئید نسبت به نمونه تحت نور سرخ کمتر است.

۲-۳ اثر طیف نور بر رنگ ظاهری پودر اسپیرولینا

در شکل (۴) عکس نمونه‌ها پس از یک دوره ۱۴ روزه تحت تأثیر نور نمایش داده شده‌است. در این حالت، تمام نمونه‌ها تحت نور لامپ LED سفید قرار گرفت و از آن‌ها عکس برداری شد تا تغییر ظاهری در نمونه‌ها مشخص شود. چنان‌که در این شکل پیدا است، رنگ نمونه تحت نور سرخ تمایل کمتر و نمونه تحت نور آبی تمایل بیشتری به رنگ آبی نشان می‌دهد. با توجه به طیف جذبی و رنگ ظاهری فیکوسیانین - که آبی فیروزه‌ای است - به‌نظر می‌رسد که نمونه‌های تحت نور سرخ ظاهراً آبی‌تر باشد، اما این مورد مشاهده نشد. در واقع، در نمونه‌های تحت نور سرخ اگرچه غلظت فیکوسیانین بیشتر است، اما به‌رحال غلظت کلروفیل a - که دارای رنگ ظاهری سبز است - نیز در آن‌ها بیشتر است؛ به‌همین دلیل نمونه تحت نور سرخ، تمایل کمتری به رنگ آبی دارد. به‌رحال مطالعات بیشتری نیاز است تا بتوان دقیقاً علت تغییر در رنگ ظاهری نمونه‌ها را بیان کرد؛ چراکه طیف جذب فیکوسیانین با طیف جذب آلفوفیکوسیانین و فیکواریترین متفاوت است و بررسی هم‌زمان



شکل ۴. رنگ ظاهری نمونه پودر اسپیرولینا پس از یک دوره ۱۴ روزه تحت تأثیر طیف‌های نوری مختلف.

Figure 4. apparent color of spirulina powder samples after a period of 14 days under of different light spectra.

۴. نتیجه‌گیری

تحت تابش نور، رنگ ظاهری پودر ریزجلبک اسپیرولینا- ریزجلبکی که از محیط کشت برداشت و خشک شده است- تغییر می‌یابد و رنگ سبز اولیه آن به علت تخریب رنگدانه‌ها تغییر می‌کند. ظاهر آبی‌رنگ برای نمونه‌های تحت نور آبی و سفید مشهودتر بوده است. بررسی محتوای رنگدانه‌ها نشان داد که فیکوسیانین موجود در این پودر تحت تابش نور سرخ حتی بیشتر از نمونه شاهد (پودری که تحت تابش نوری نبوده است و در طول دوره آزمایش در یخچال نگهداری شده است) بوده است. این پدیده تا حدی در مورد نمونه تحت نور سبز نیز مشاهده شده است. در واقع، تحت نور سرخ و سبز محتوای فیکوسیانین پودر اسپیرولینا نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است؛ اما محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها در تمام نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده است؛ که این تغییر در محتوای رنگدانه‌ها باعث تغییر رنگ ظاهری پودر اسپیرولینا شده است. به هر حال، با وجود مطالعات زیاد انجام شده بر روی تأثیر طیف‌های مختلف نوری در رشد ریزجلبک، بررسی تأثیر تابش نور بر روی پودر ریزجلبک اسپیرولینا برای اولین بار در این کار انجام شده است و هم‌چنان نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

۵. سپاسگزاری

از همکاری و کمک کارشناسان «آزمایشگاه محیط زیست و انرژی» واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه بجنورد و هم‌چنین، حمایت‌های مادی و معنوی شرکت «زیست فناوران گنجینه سلامت برنا» صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] Priyadarshani, I., Sahu, D., & Rath, B. (2012). Microalgal bioremediation: Current practices and perspectives. *Journal of Biochemical Technology*, 3(3): 299-304.
- [2] Nadaei, L., & Shokrkar, H. (2022). A Review on the Extraction of Chlorophyll and Carotenoids from Microalgae. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 21(123): 45-58, [In Persian].
- [3] Vigani, M., Parisi, C., Rodríguez-Cerezo, E., Barbosa M., Sijtisma L., & Ploeg M., Enzing C. (2015). Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. *Journal of Trends in Food Science & Technology*, 42(1): 81-92. doi: 10.1016/j.tifs.2014.12.004.
- [4] Lucas, B. F., de Morais, M. G., Santos, T. D., & Costa, J. A. V. (2017). Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. *Journal of LWT - Food Science and Technology*, 90: 270-276. doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.032.
- [5] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO) Commercial Applications of Microalgae. *Biosci. Bioengineering*, 101: 87-96.
- [6] Levasseur, W., Perré, P., & Pozzobon, V. (2020). A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnol. Adv.*, 41: 107545. doi: 10.1016/j.biotechadv.2020.107545.
- [7] Martínez-Ruiz, M., et al. (2022). Microalgae Bioactive Compounds to Topical Applications Products—A Review. *Journal of Molecules*, 27(11): 3512. doi: 10.3390/molecules27113512.
- [8] Nicoletti, M. (2016). Microalgae nutraceuticals. *Journal of Foods*, 5(3): 54. doi: 10.3390/foods5030054.
- [9] Şahin, O. I. (2019). Effect of Spirulina Biomass Fortification for Biscuits and Chocolates. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(4): 583. doi: 10.24925/turjaf.v7i4.583-587.2204.
- [10] Selig, M. J., Malchione, N. M., Gamaleldin, S., Padilla-Zakour, O. I., & Abbaspourrad, A. (2018). Protection of blue color in a spirulina derived phycocyanin extract from proteolytic and thermal degradation via complexation with beet-pectin. *Journal of Food Hydrocoll.* 74: 46-52. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.07.027.
- [11] Chentir, I., Hamdi, M., Li, S., Doumandji, A., Markou, G., & Nasri, M. (2018). Stability, bio-functionality and bio-activity of crude phycocyanin from a two-phase cultured Saharian *Arthrospira* sp. strain. *Journal of Algal Res.* 35: 395-406. doi: 10.1016/j.algal.2018.09.013.
- [12] Liu, J., Mao, X., Zhou, W., & Guarnieri, M. T. (2016). Simultaneous production of triacylglycerol and high-value carotenoids by the astaxanthin-producing oleaginous green microalga *Chlorella zofingiensis*. *Bioresour. Technol.*, 214: 319-327. doi: 10.1016/j.biortech.2016.04.112.
- [13] Markou, G. (2014). Effect of various colors of light-emitting diodes (LEDs) on the biomass composition of *Arthrospira platensis* cultivated in semi-continuous mode. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 172(5): 2758-2768. doi: 10.1007/s12010-014-0727-3.
- [14] Tayebati, H., Pajoum Shariati, F., Soltani, N., & Sepasi Tehrani, H. (2021). Effect of various light spectra on amino acids and pigment production of *Arthrospira platensis* using flat-plate photobioreactor. *Prep. Biochem. Biotechnol.*, 54(8): 1028-1039. doi: 10.1080/10826068.2021.1941102.

- [15] Prates, D. da F., Radmann, E. M., Duarte, J. H., de Moraes, M. G., & Costa, J. A. V. (2018). Spirulina cultivated under different light emitting diodes: Enhanced cell growth and phycocyanin production. *Bioresour. Technol.* 256: 38–43. doi: 10.1016/j.biortech.2018.01.122.
- [16] Roldan-Prieto, P., Torres-Serra, O., Bilbao, J., Suárez-Álvarez, S., Blanco-Rayón, E., & Seoane, S. (2024). Combined effect of LED light color and nitrogen source on growth, pigments composition and oxidative stress in *Arthrospira platensis*. *Journal of Algal Res.*, 79: 103470. doi: 10.1016/j.algal.2024.
- [17] Lima, G. M., Teixeira, P. C. N., Teixeira, C. M. L. L., Filócomo, D., & Lage, C. L. S. (2018). Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of *Arthrospira platensis*. *Journal of Algal Res.* 31: 157–166. doi: 10.1016/j.algal.2018.02.012.
- [18] Zhang, Y., *et al.* (2024). Regulation of different light conditions for efficient biomass production and protein accumulation of *Spirulina platensis*. *J. Oceanol. Limnol.* 42(1): 174–186. doi: 10.1007/s00343-023-2360-x.
- [19] Niangoran, U., Tian, F., Canale, L., Haba, C. T., Buso, D. and Zissis, G. (2018). Study of the LEDs Spectrums Influence on the *Spirulina Platensis* Growth in Batch Culture. *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2018 IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. IEEEIC/ CPS Eur. 2018*, Palermo, Italy. doi: 10.1109/IEEEIC.2018.8493759.
- [20] D'Souza, C., Yuk, H. G., Khoo, G. H., & Zhou, W. (2015). Application of Light-Emitting Diodes in Food Production, Postharvest Preservation, and Microbiological Food Safety. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 14(6): 719–740. doi: 10.1111/1541-4337.12155.
- [21] Nassarawa, S. S., Abdelshafy, A. M., Xu, Y., Li, L., & Luo, Z. (2021). Effect of Light-Emitting Diodes (LEDs) on the Quality of Fruits and Vegetables During Postharvest Period: a Review. *Food Bioprocess Technol.* 14(3): 388–414. doi: 10.1007/s11947-020-02534-6.
- [22] Ponteras, J. G., & Salas, F. M. (2024). Pigment composition and physico-chemical parameters of Bittergourd. *Advances in Horticultural Science.* 38: 155–168. doi: 10.36253/ahsc.
- [23] Ma, G., *et al.* (2014). Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. *Postharvest Biol. Technol.* 94: 97–103. doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.03.010.
- [24] Shi, L., Cao, S., Chen, W., & Yang, Z. (2014). Blue light induced anthocyanin accumulation and expression of associated genes in Chinese bayberry fruit. *Sci. Hortic. (Amsterdam).* 179: 98–102. doi: 10.1016/j.scienta.2014.09.022.
- [25] 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. *Eur. J. Phycol.* 49(3): 324–331. doi: 10.1080/09670262.2014.919030.
- [26] Bennett, A., & Bogobad, L. (1973). Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. *J. Cell Biol.* 58(2): 419–435. doi: 10.1083/jcb.58.2.419.
- [27] Munawaroh, H. S. H., *et al.* (2020). Photostabilization of phycocyanin from *Spirulina platensis* modified by formaldehyde. *Journal of Process Biochem.* 94: 297–304. doi: 10.1016/j.procbio.2020.04.021.
- [28] Muthulakshmi, M., Saranya, A., Sudha, M., & Selvakumar, G. (2012). Extraction, partial purification and antibacterial activity of phycocyanin from *Spirulina* isolated from fresh water body against various human pathogens. *Journal of Algal biomass Utilization.* 3(3): 7-11.
- [29] Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Journal of Biochemical Society Transactions.* 11(5): 591–592. doi: 10.1042/bst0110591.
- [30] Khoobkar, Z., & Delavari Amrei, H. (2020). Effect of fluorescent dye positioning and concentration on the growth parameters and lipid content of *Chlorella* sp. in a flat panel photobioreactor. *Biotechnol. Lett.*, 42(8): 1397–1405. doi: 10.1007/s10529-020-02862-9.
- [31] Khoobkar, Z., Shariati, F. P., Safekordi, A. A., & Amrei, H. D. (2019). Performance assessment of a novel pyramid photobioreactor for cultivation of microalgae using external and internal light sources. *Journal of Food Technol. Biotechnol.*, 57(1): 68–76. doi: 10.17113/ftb.57.01.19.5702.
- [32] Braidot, E., *et al.* (2014). Low-intensity light cycles improve the quality of lamb's lettuce (*Valerianella olitoria* [L.] Pollich) during storage at low temperature. *Journal of Postharvest Biology and Technology.* 90: 15–23. doi: 10.1016/j.postharvbio.2013.12.003.