نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۴، مهر و آبان ۱۴۰۵ صفحه: ۱۸۷-۱۹۹
https://doi.org/10.22034/jispp.15.74.187

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات طول‌موج‌های نوری متفاوت بر شاخص‌های رشدی و متابولیت‌های ریزجلبک هماتوکوکوس پلوویالیس *Haematococcus pluvialis* با استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی

محمد صادق مالکی[۱] و بابک بحرینی‌نژاد*[۲]

[۱] دانشکده علوم، دانشگاه باهنر کرمان، کرمان، ایران

[۲] بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

طول‌موج نوری به عنوان یکی از ویژگی‌های نور می‌تواند به‌طور مستقیم موجب بهبود رشد و تجمع متابولیت‌های اولیه و ثانویه در ریزجلبک‌ها گردد. در این مطالعه اثرات طول‌موج‌های نوری مختلف با استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی بر شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی ریزجلبک هماتوکوکوس پلوویالیس مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، ریزجلبک هماتوکوکوس تحت طول‌موج‌های قرمز (۶۳۰nm)، آبی (۴۶۰nm)، سبز (۵۲۰nm)، زرد (۵۹۰nm)، بنفش (۴۰۰nm) و سفید قرار گرفت و پس از ۲۴ روز به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی شاخص‌های مورد مطالعه برداشت شد. در این مطالعه بالاترین میزان تعداد ریزجلبک، بهره‌وری زیست‌توده و کربوهیدرات به ترتیب با ۵۲/۶۳، ۹۳/۷۵ و ۸۵/۲۵ درصد افزایش تحت نور قرمز در مقایسه با نور سفید مشاهده شدند. همچنین بیشترین میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل a و کلروفیل b نیز به‌عنوان رنگ‌دانه‌های غالب ریزجلبک‌های سبز تحت نور قرمز به ترتیب با ۷۳/۶۳ و ۵۷/۰۹ درصد افزایش نسبت به نور سفید بدست آمد. در مقابل بالاترین محتوای کاروتنوئید و لیپید در نور زرد به ترتیب با ۸۲/۹۶ و ۱۱۸ درصد افزایش و محتوای آستاگزانتین در نور بنفش با ۱۸۰ درصد افزایش در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شدند. با توجه به نتایج بدست آمده، بالاترین میزان شاخص‌های مورد مطالعه به استثنای کاروتنوئید، آستاگزانتین و لیپید به ترتیب تحت نورهای قرمز و آبی مشاهده گردید. این نتایج احتمالاً به دلیل وجود رنگدانه‌های غالب کلروفیل است که بالاترین میزان جذب نور را در طول‌موج‌های قرمز و آبی نشان می‌دهند. می‌توان پیشنهاد نمود که نورهای قرمز و آبی به‌عنوان طول‌موج‌های بهینه می‌توانند شاخص‌های رشدی را در ریزجلبک سبز هماتوکوکوس پلوویالیس نسبت به نورهای دیگر بهبود بخشند.

واژه‌های کلیدی: هماتوکوکوس پلوویالیس، نور، آستاگزانتین، زیست‌توده

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: b.bahreininejad@areeo.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

مقدمه

ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکننده‌ای هستند که به دلیل رشد سریع و توانایی تولید انبوه زیست‌توده در مقادیر بالا و در بازه زمانی کوتاه مورد توجه قرار گرفته‌اند. این موجودات به منظور تولید زیست‌توده، متابولیت‌های اولیه و ثانویه، سوخت‌های زیستی و کاربرد در صنایع دارویی، غذایی و کشاورزی مورد توجه هستند. ریزجلبک *Haematococcus pluvialis* از جمله تک‌سلولی‌های دو تاژکی ساکن در آب‌های شیرین و متعلق به خانواده *Haematococcaceae* است که به‌عنوان یکی از ریزجلبک‌های الگو در مطالعات فیزیولوژیکی و زیست‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Taylor and Krings, 2009). این ریزجلبک غنی‌ترین منبع طبیعی آستاگزانتین می‌باشد و قادر به تولید آستاگزانتین تا ۹۵ درصد کل کاروتنوئیدها است (Safi *et al*., 2014). ریزجلبک هماتوکوکوس پلوویالیس در شرایط تنش می‌تواند سلول‌های مقاومی به نام کیست یا آپلانوسپور را ایجاد کند که در آن آستاگزانتین و اسیدهای چرب تجمع می‌یابند. با توجه به تولید مثل و رشد سریع این ریزجلبک و درنتیجه توانایی تولید رنگدانه‌های کاروتنوئیدی مانند آستاگزانتین، بتاکاروتن و لوتئین در مقادیر بالا پیشنهاد شده است که این ریزجلبک می‌تواند در صنایع مختلف دارویی و غذایی مورد استفاده قرار گیرد (Ru *et al*., 2020). بنابراین کاربرد استراتژی‌هایی در جهت افزایش رشد و تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه در این ریزجلبک حائز اهمیت است. عواملی غیرزیستی همچون نور، دما، pH، تنظیم‌کننده‌های رشد، کمیت و کیفیت مواد غذایی می‌توانند رشد و تولید متابولیت‌های ریزجلبک را تحت تأثیر قرار دهند (Chowdury *et al*., 2020).

با توجه به اینکه ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکننده هستند، بر همین اساس نور و ویژگی‌های نوری نقش مهم و کلیدی را در رشد و متابولیسم این موجودات ایفا می‌کنند (Adir *et al*., 2003; Ragni *et al*., 2008). تغییر در کمیت و کیفیت ویژگی‌های نوری همچون شدت، طول‌موج و دوره نوری می‌تواند رشد و نمو ریزجلبک‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. هر چند بیشتر مطالعات بر ویژگی‌های شدت نور و دوره نوری متمرکز می‌باشد، با این حال طول‌موج‌های نوری نیز می‌توانند به‌طور مستقیم بر رشد و متابولیسم ریزجلبک مؤثر باشند. موجودات فتوسنتزکننده مانند گیاهان و ریزجلبک‌ها نور را در محدوده‌ی تابش فعال فتوسنتزی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) مورد استفاده قرار می‌دهند (Dole and Wilkins, 1999). محدوده تابش فعال فتوسنتزی علاوه بر نقش در شروع فرایند فتوسنتز موجب القای کارآمدی فتوسنتز، رشد، تقسیم سلولی، سنتز رنگدانه‌های مختلف، فعالیت آنزیم‌های وابسته به نور می‌شود (Shu *et al*., 2012; Teo *et al*., 2014b). تأثیر طول‌موج‌های متفاوت نوری بر رشد و نمو ریزجلبک با توجه به تفاوت در تنوع و مقادیر رنگدانه‌ها و گیرنده‌های نوری برای هر گونه گیاهی و ریزجلبکی اختصاصی است (Cepak *et al*., 2006). در ریزجلبک‌های سبز نورهای آبی و قرمز در میان طول‌موج‌های محدوده تابش فعال فتوسنتزی بیشترین اثرات را بر رشد و نمو ریزجلبک به عنوان منابع اصلی انرژی برای جذب کربن دی‌اکسید فتوسنتزی می‌گذارند (Lin *et al*., 2021). طول‌موج قرمز بیشترین کارایی کوانتومی را برای واکنش فتوسنتزی دارد و می‌تواند رشد، نمو و تجمع متابولیت‌های گیاهی را از طریق گیرنده‌های نوری فیتوکروم تنظیم کند. به گونه‌ای که تولید زیست‌توده در جلبک *Micractinium inermum* تحت نور قرمز به شکل معنی‌داری در مقایسه با نور آبی و سفید میزان بالاتری را نشان داد (Dickinson *et al*., 2019).

همچنین نور آبی نیز در نمو کلروپلاست، فتومورفوژنز و فتوتروپیسم ریزجلبک نقش ویژه‌ای را نشان می‌دهد (Izzo *et al*., 2020). در مطالعه‌ای میزان رشد و بهره‌وری در دو گونه ریزجلبک Nannochloropis تحت نور آبی در مقایسه با نور سفید کارایی بالاتری را نشان داد (Vadiveloo *et al*., 2017). با توجه به مطالعات گذشته استفاده از طول‌موج‌های مناسب در ناحیه مرئی می‌تواند یک استراتژی کارآمد برای القای رشد و متابولیت‌های ریزجلبک باشد. هر چند پاسخ‌های فیزیولوژیکی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

و بیوشیمیایی ریزجلبک به طیف‌های نوری متفاوت به گونه جلبک، تنوع و فراوانی رنگ‌دانه‌ها و فتورسپتورها وابسته است (Zhong *et al*., 2018).

امروزه لامپ‌های ال‌ای‌دی (LED) به علت مصرف انرژی کمتر، عمر طولانی‌تر، تولید گرمای کمتر، هزینه ساخت کم و توانایی تحمل فرکانس بالاتر در مقایسه با سایر نورهای مصنوعی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Teo *et al*., 2014a). به‌منظور کشت ریزجلبک‌ها به‌صورت تجاری، یک منبع نور بادوام، کم‌هزینه و با راندمان بالا مورد نیاز است. علاوه‌براین، اگر منبع نور دارای یک خروجی طیفی باریک باشد که طیف جذب فتوسنتز را مهیا و فراهم کند، انتشار نور در فرکانس‌های غیرقابل استفاده حذف می‌شود. این قابلیت موجب افزایش کارایی و بهره‌وری استفاده از نور و در نتیجه بهبود عملکرد رشدی ریزجلبک خواهد شد (Ra *et al*., 2016). بر همین اساس، استفاده از لامپ‌های LED که قادر به ایجاد طیف‌های نوری باریک و متفاوت هستند برای کشت ریزجلبک‌ها مناسب به نظر می‌رسند. علاوه‌براین در کنار مزایای فوق، LED تا به اندازه کافی نیز سبک و کوچک هستند و تقریباً در هر نوع فوتوبیوراکتور جای می‌گیرند (Chen *et al*., 2011) که این مزیت بسیار مطلوبی برای کشت ریزجلبک‌ها در محیط بسته است (Yang and Weathers, 2015).

با توجه به موارد فوق استفاده از لامپ‌های LED به‌عنوان یکی از استراتژی‌های کارامد به منظور بهبود رشد و تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه می تواند کارایی تجاری و اقتصادی استفاده از ریزجلبک هماتوکوکوس را برای رسیدن به اهداف فوق ارتقا بخشد. هر چند مطالعات متعددی بر نقش لامپ‌های LED بر رشد گیاهان صورت گرفته است، با این حال نقش طول‌موج‌های نوری بر رشد و متابولیت‌های ریزجلبک‌ها به ویژه هماتوکوکوس پلوویالیس به خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته است. هدف از این مطالعه بررسی اثرات طول‌موج‌های مختلف نوری با استفاده از لامپ‌های LED بر میزان رشد، تولید و تجمع متابولیت‌های اولیه و ثانویه و همچنین آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز این ترکیبات است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از ریزجلبک سبز *Haematococcus pluvialis* به منظور بررسی اثر طول‌موج‌های مختلف نوری استفاده شد. این مطالعه در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور اصفهان در سال ۱۴۰۳ انجام گرفت. ریزجلبک هماتوکوکوس مورد استفاده در این پژوهش از شرکت توسعه ذخایر زیستی جلبک‌های فارس تهیه شد. به منظور کشت، یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون حاوی ۷×۱۰^{۶} سلول ریزجلبکی که در فاز رویشی بودند به درون ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی محیط‌کشت BG-11 اضافه گردید. در ادامه به منظور تیماردهی از لامپ‌های LED با طول‌موج نوری قرمز (۶۳۰nm)، آبی (۴۶۰nm)، سبز (۵۲۰nm)، زرد (۵۹۰nm)، بنفش (۴۰۰nm) استفاده شد. بدین منظور شش پانل چوبی مجزا با ابعاد ۵۰×۶۰ سانتی‌متر تهیه و بر روی هر پانل تعداد ۳۰ لامپ LED یک وات (1W) از شرکت Bridgelux, Inc. co در فواصل یکسان از یکدیگر بر روی پانل‌ها تعبیه شدند. ارلن‌های تیمار داده‌شده و شاهد در دمای اتاق ۲۵ درجه سانتی‌گراد تحت پانل‌های نوری طراحی‌شده با دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی بر روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه قرار داده شدند. میزان شدت نور با استفاده از دستگاه TES-1339 تنظیم و تیمارها تحت شدت ۵۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه قرار گرفتند. برداشت ریزجلبک به منظور اندازه‌گیری پارامترها در پایان روز بیست و چهارم صورت گرفت و شاخص‌های بهره‌وری زیست‌توده، تعداد ریزجلبک، کلرفیل a و b، کاروتنوئید کل، آستاگزانتین، لوتئین، لیپید و کربوهیدرات مورد سنجش قرار گرفتند.

اندازه‌گیری بهره‌وری زیست‌توده: رشد ریزجلبک‌ها به کمک شاخص بهره‌وری زیست‌توده با استفاده از معادله زیر اندازه‌گیری شد (Abomohra *et al*., 2019).

$$BP = \frac{N_1 - N_2}{T_1 - T_2}$$

در این معادله BP بیان‌کننده بهره‌وری زیست‌توده، N_1 و N_2 به ترتیب بیان‌کننده میزان زیست‌توده در زمان‌های T_1 و T_2 است. T1 و T2 نیز به ترتیب نشان‌دهنده روز انتهای دوره

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

کشت و روز اول کشت ریزجلبک می‌باشد.

اندازه‌گیری تعداد ریزجلبک: جهت شمارش سلولی، تعداد ریزجلبک‌ها با استفاده از لام نئوبار و میکروسکوپ نوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور، یک قطره از محیط حاوی ریزجلبک بر روی لام نئوبار گذاشته شده و سپس لامل سنگی بر روی آن قرار گرفت. تعداد سلول‌های ریزجلبکی با بزرگنمایی ٤٠ با استفاده از میکروسکوپ نوری محاسبه شد (Sohrabi *et al*., 2019). برای تعیین تعداد سلول‌های ریزجلبکی در هر میلی‌لیتر از فرمول زیر استفاده گردید:

تعداد سلول در هر میلی‌لیتر= میانگین تعداد سلول در ۱۰ مربع × ۱۰^{٤} × ضریب رقت

اندازه‌گیری میزان کلروفیل، کاروتنوئید و لوتئین: به منظور اندازه‌گیری رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید میزان ۰/۰۱ گرم از ریزجلبک درون استون ۸۰٪ سائیده شد. مخلوط حاصل به میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. در ادامه محلول رویی به درون لوله‌های ۱۵ میلی‌لیتری منتقل و به کمک استون ۸۰٪ به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. جذب محلول حاوی رنگ‌دانه‌ها در طول‌موج‌های ٦٦٣/٢، ٦٤٦/٨ و ٤٧٠ نانومتر خوانده و در نهایت میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئید به کمک فرمول‌های زیر برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ریزجلبک (mg/g FW) محاسبه گردید (Lichtenthaler and Wellburn, 1983). در این معادله D بیانگر جذب نوری، V بیان‌کننده حجم نهایی عصاره برحسب میلی‌لیتر و W بیان‌کننده وزن ریزجلبک برحسب گرم است.

Chla (mg/(g.Fw)) =[(12.7 D"663") - (2.69 D647) ×V] /1000W

Chlb (mg/(g.Fw)) =[(22.9 D"647") - (4.93 D663) ×V] /1000W

Car (mg/(g.Fw)) =[(1000 D470) - (1.8 Chla) - (85.02 Chlb)] /198

به منظور اندازه‌گیری میزان لوتئین رنگ‌دانه‌های استخراج‌شده به کمک استون در طول‌موج ٤٤٦ نانومتر خوانده و غلظت این رنگیزه با استفاده از معادله زیر و ضریب خاموشی ١٤٤٥٠٠ لیتر بر مول بر سانتی‌متر محاسبه گردید (Pocock *et al*., 2004). میزان رنگ‌دانه لوتئین نیز بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن ریزجلبک بیان شد.

$A = \varepsilon bc$

در این معادله ε بیان‌گر ضریب خاموشی، b بیانگر عرض کووت و c بیانگر غلظت نمونه است.

اندازه‌گیری میزان آستاگزانتین: به منظور سنجش میزان آستاگزانتین ۰/۲ گرم از ریزجلبک هماتوکوکوس درون ۵ میلی‌لیتر محلول DMSO حل شد. مخلوط حاصل به لوله‌های آزمایش منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه درون بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سانتریفیوژ، محلول رویی در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان آستاگزانتین با استفاده از معادله زیر محاسبه و براساس میکروگرم بر گرم وزن ریزجلبک بیان شد (Li *et al*., 2012).

A=0.1556C+0.0107

در این معادله A بیان‌کننده میزان جذب و C بیان‌کننده غلظت آستاگزانتین است.

اندازه‌گیری میزان قند محلول: اندازه‌گیری قندهای محلول از روش فنول و اسید سولفوریک انجام گرفت (DuBois *et al*., 1956). به همین منظور میزان ۰/۱ گرم از بافت ریزجلبک درون ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ سائیده و به فالکن ۱۵ میلی‌لیتری منتقل گردید. فالکن‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد درون بن‌ماری قرار گرفته تا قندها به‌طور کامل استخراج گردند. پس از سانتریفیوژ، ۲ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۵۰ میکرولیتر فنول ۸۰٪ مخلوط گردید. سپس به مخلوط حاصل ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۸۰٪ اضافه شد و در نهایت لوله‌های حاوی محلول، به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد درون بن‌ماری قرار گرفتند. جذب محلول در طول‌موج ٤٩٠ نانومتر خوانده و میزان قندها براساس میلی‌گرم بر میلی‌لیتر محاسبه و سپس بر طبق معادله زیر و براساس درصد گلوکز برحسب وزن زیست‌توده گزارش شد. در معادله زیر W بیانگر میزان کربوهیدرات و DW بیانگر وزن خشک سوسپانسیون ریز جلبک است.

Carbohydrate content (%) = W/DW×100

اندازه‌گیری لیپید: برای استخراج لیپید کل از ۰/۱ گرم نمونه خشک ریزجلبکی که توسط دستگاه فریز درایر خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

شده بودند استفاده گردید (Bligh and Dyer, 1959). نمونه‌های خشک‌شده در ۲ میلی‌لیتر محلول متانول و ۱ میلی‌لیتر کلروفرم ساییده و به درون لوله‌آزمایش منتقل گردید لوله‌های آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه درون حمام اولتراسونیک و در ادامه به مدت ۲٤ ساعت در محیط تاریک در دمای اتاق ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا کل لیپید به مرور زمان استخراج گردد. در ادامه یک میلی‌لیتر کلروفرم و یک میلی‌لیتر سدیم کلرید یک درصد به لوله‌ها اضافه شد. پس از سانتریفیوژ لوله‌ها، محلول رویی دور ریخته شد و باقیمانده محتوای لوله‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کلروفرم تبخیر گردد. میزان لیپید کل با استفاده از معادله زیر براساس درصد از وزن خشک زیست‌توده بیان گشت. در این معادله W نشان‌دهنده میزان لیپید و DW نشان‌دهنده وزن خشک سوسپانسیون ریز جلبک است.

$$\text{lipid content}(\%) = W/DW \times 100$$

آنالیز آماری: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار انجام گرفت. تجزیه واریانس نتایج انجام و میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات با استفاده از آزمون LSD ($P\leq0.05$) در نرم‌افزار SPSS مورد مقایسه و تحلیل آماری قرار گرفت و نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج

اثر طول‌موج نوری بر تعداد ریزجلبک و بهره‌وری زیست‌توده: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تعداد سلول ریزجلبک و بهره‌وری زیست‌توده در ریزجلبک هماتوکوکوس تحت تیمار طول‌موج نوری الگوی تقریباً مشابهی را نشان می‌دهد. در این مطالعه تعداد ریزجلبک و بهره‌وری زیست‌توده تحت نور قرمز، آبی و سبز در مقایسه با نور سفید (شاهد) افزایش معنی‌داری را نشان دادند. با این حال تعداد سلول ریزجلبک تحت نور سبز تفاوت معنی‌داری را با نور سفید نشان نداد. بالاترین میزان تعداد ریزجلبک و بهره‌وری زیست‌توده در طول‌موج قرمز به ترتیب با ۵۲/٦۳ و ۹۳/۷۵ درصد افزایش در مقایسه با نمونه شاهد (سفید) مشاهده شد. در مقابل، میزان بهره‌وری ریزجلبک و تعداد سلول تحت طول‌موج‌های زرد و بنفش در مقایسه با نور سفید کاهش یافت.

اثر طول‌موج‌های نوری بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کلروفیل: در جدول ۱ نتایج حاصل از نقش طول‌موج‌های نوری متفاوت بر میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل ریزجلبک هماتوکوکوس نشان داده شده است. در این مطالعه میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیلی تحت طول‌موج‌های قرمز و آبی در مقایسه با نور سفید افزایش معنی‌داری را نشان دادند. به گونه‌ای که بالاترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b تحت نور قرمز به ترتیب با ۷۳/٦۳ و ۵۷/۰۹ درصد افزایش نسبت به نور سفید به دست آمد. میزان کلروفیل های a و b در طول‌موج‌های بنفش و زرد نیز با روندی متفاوت کاهش معنی‌داری را در مقایسه با نور سفید نشان دادند.

اثر طول‌موج‌های نوری بر کاروتنوئید، آستاگزانتین و لوتئین: محتوای کاروتنوئید کل، آستاگزانتین و لوتئین در ریزجلبک هماتوکوکوس تحت تیمار طول‌موج‌های نوری نتایج تقریباً یکسانی را نشان دادند (جدول ۱). به گونه‌ای که این رنگ‌دانه‌ها در همه طول‌موج‌های مورد استفاده افزایش معنی‌داری را در مقایسه با نمونه شاهد (نور سفید) نشان دادند. بیشترین میزان کاروتنوئید در نور زرد با ۸۲/۹٦ درصد افزایش و لوتئین در نور قرمز با ۱٦۰ درصد افزایش در مقایسه با نور سفید مشاهده شدند. با این حال، میزان کاروتنوئید کل و لوتئین تحت نورهای سبز، آبی و بنفش تفاوت معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند. بالاترین میزان رنگ‌دانه آستاگزانتین نیز تحت نورهای بنفش و زرد و در ادامه در نورهای سبز، آبی و قرمز مشاهده شد. بر این اساس نور بنفش میزان محتوای آستاگزانتین را ۱۸۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داد.

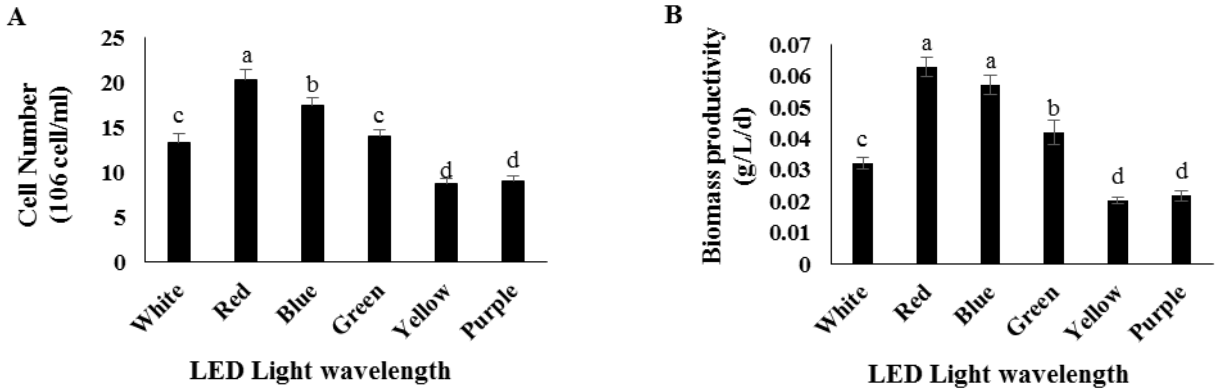
اثر طول‌موج‌های نوری بر میزان کربوهیدرات: با توجه به نتایج شکل ۲A میزان کربوهیدرات تحت نورهای قرمز، آبی و سبز در مقایسه با نور سفید افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. براساس این نتایج نور قرمز توانست با ۵۸/۲۵ درصد افزایش نسبت به نور سفید بالاترین میزان کربوهیدرات را در میان سایر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

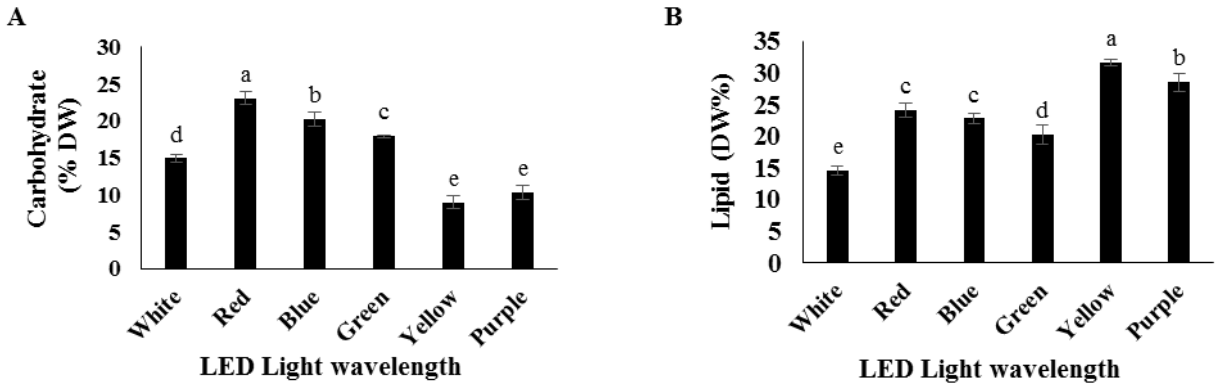
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

جدول ۱- مقایسه میانگین بررسی اثر طول‌موج نوری بر میزان کلروفیل، کاروتنوئید، آستاگزانتین و لوتئین

تیمار		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آستاگزانتین	لوتئین
		میلی‌گرم بر گرم وزن تر				
طول‌موج‌های نوری	سفید	۲۲/۳ d	۱۳/۱۷ c	۱/٤۰۹ d	۳/۲۹۱ e	۱/۱۰۹ e
	قرمز	۳۸/۷۲ a	۲۰/٦۹ a	۱/۸۵۹ c	٤/۸۹۵ d	۲/۸۷۸ a
	آبی	۳۳/۱۱ b	۱۹/۳۹ a	۱/۹۱٦ c	۵/۳۳۹ cd	۲/۵۱٦ b
	سبز	۲۵/۹۵ c	۱٦/۳۰ b	۱/۸۵۹ c	٦/۰۱۵ c	۲/۰۵۹ c
	زرد	۱۲/۲٦ e	۸/۲۱ e	۲/۵۷۸ a	۷/۳۳۵ b	۱/۳۲۰ d
	بنفش	۱۹/۷٦ f	۱۰/۳۰ d	۲/۱۲۰ b	۹/۲۱٤ a	۱/۵۵۹ d



شکل ۱- اثر طول‌موج نوری بر تعداد سلول ریزجلبک (A) و بهره‌وری زیست‌توده (B). حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد است.



شکل ۲- اثر طول‌موج نوری بر کربوهیدرات (A) و لیپید (B). حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد است.

تیمارها نشان دهد. هر چند نورهای زرد و بنفش نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری را نشان دادند. با این حال تفاوت معنی‌داری را در مقایسه با یکدیگر نشان ندادند.

اثر طول‌موج‌های نوری بر میزان لیپید: همان‌گونه که در شکل 2B مشاهده می‌شود میزان لیپید در ریزجلبک هماتوکوکوس در تمام طول‌موج‌های مورد استفاده در مقایسه با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

نور سفید افزایش معنی‌داری را نشان دادند. به گونه‌ای که بیشترین میزان لیپید به ترتیب در نورهای زرد و بنفش و در ادامه تحت نورهای قرمز، آبی و سبز به دست آمد. نور زرد توانست میزان لیپید را نسبت به نمونه شاهد ۱۱۸ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش دهد. با این حال نورهای قرمز و آبی تغییر معنی‌داری را در میزان لیپید ریزجلبک نسبت به یکدیگر نشان ندادند.

بحث

پارامترهای رشدی همچون تعداد سلول ریزجلبک و بهره‌وری زیست‌توده می‌توانند شاخص‌های کلیدی در مطالعات رشد ریزجلبک‌ها محسوب شوند. براساس نتایج این مطالعه تعداد ریزجلبک و بهره‌وری زیست‌توده در ریزجلبک هماتوکوکوس تحت نورهای قرمز، آبی و سبز نسبت به نور سفید افزایش نشان دادند. با این حال، این دو شاخص تحت نورهای زرد و بنفش نسبت به نور سفید کاهش یافت. در گزارشی بر روی جلبک *C. vulgaris* تحت نورهای متفاوت، بالاترین میزان تعداد ریزجلبک به ترتیب در نور قرمز و به دنبال آن تحت نورهای آبی و سبز مشاهده شد (Kim *et al*., 2019). همچنین در پژوهشی بر روی ریزجلبک *Scenedesmus vacuolatus* هم در فاز ایستایی و هم در فاز نمایی رشد، بالاترین میزان بهره‌وری زیست‌توده به ترتیب در نورهای قرمز، آبی، سبز و سفید مشاهده شدند (Abomohra *et al*., 2019) که مشابه با نتایج حاصل از این مطالعه است. ریزجلبک هماتوکوکوس متعلق به جلبک‌های سبز بوده که دارای رنگ‌دانه‌های غالب کلروفیل a و b و همچنین کاروتنوئید برای فتوسنتز می‌باشد. از آنجا که کلروفیل‌ها دارای بیشینه‌ی جذب در نور قرمز ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر و در نور آبی ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر هستند (Kubin *et al*., 1983; Yan *et al*., 2013)، بنابراین می‌توان انتظار داشت که نور قرمز و آبی به‌عنوان مناسب‌ترین طول‌موج‌ها می‌توانند پارامترهای رشدی را نسبت به طول‌موج‌های نوری دیگر بهبود بخشند. همان‌گونه که در نتایج حاضر مشاهده شد، پارامترهای رشدی ریزجلبک الگویی تقریباً مشابه با میزان کلروفیل‌های a و b را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج می‌توان افزایش رشد ریزجلبک تحت نورهای متفاوت را ناشی از تنوع و فراوانی رنگ‌دانه‌های ریزجلبک توجیه نمود (Kim *et al*., 2014). لذا می‌توان این‌گونه استنباط نمود که با توجه به فراوانی رنگ‌دانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید دخیل در دریافت طول‌موج‌های قرمز و آبی، این اتفاق منجر به بهبود کارایی فتوسنتز در نورهای قرمز و آبی شده و متعاقب آن میزان پارامترهای رشدی نیز افزایش یافته است. در این مطالعه، نور سبز بعد از نور قرمز و آبی موجب افزایش پارامترهای رشدی نسبت به نور سفید شد. هر چند در ریزجلبک‌های سبز به دلیل نبود رنگ‌دانه‌های دریافت‌کننده نور سبز مانند فیکوبیلین (Hohmann-Marriott and Blankenship, 2011) و همچنین عدم کارایی جذب مناسب این نور به‌وسیله رنگ‌دانه‌ی کلروفیل (Schulze *et al*., 2014)، این نور برای رشد ریزجلبک‌های سبز مانند هماتوکوکوس مناسب به نظر نمی‌رسد، اما مطالعاتی نیز نشان‌دهنده اثرات مثبت نور سبز بر ریزجلبک‌ها است (Kim *et al*., 2013; Mohsenpour *et al*., 2012; Zhao *et al*., 2019)؛ ولی هنوز مکانیسم دریافت، سیگنالینگ و اثر نور سبز در ریزجلبک‌ها به‌خوبی مشخص نیست.

در این مطالعه، بالاترین میزان محتوای رنگ‌دانه‌های کلروفیل تحت نورهای قرمز و آبی و در ادامه به ترتیب در نورهای سبز، بنفش و زرد مشاهده شد. مشابه با یافته‌های مطالعه حاضر، در ریزجلبک *Scenedesmus vacuolatus* حداکثر سطح کوانتومی و میزان کلروفیل به ترتیب در نورهای قرمز، آبی و سبز مشاهده شد (Abomohra *et al*., 2019). در مطالعه‌ای بر روی سیانوباکتری *Synechocystis* sp. نیز نشان داد که بالاترین مقدار کلروفیل به ترتیب در نورهای قرمز، آبی و سبز به‌دست‌آمده است (Gao *et al*., 2009). از یک سو نور قرمز می‌تواند محتوای کلروفیل را به کمک پاسخ‌های وابسته به گیرنده فیتوکروم و همچنین مهار و سرکوب تجزیه کلروفیل افزایش دهد (Su *et al*., 2014) و از سویی دیگر نیز بیوسنتز و تجمع کلروفیل می‌تواند به‌وسیله فعال‌سازی گیرنده فتوتروپین و القای آنزیم‌های دخیل در سنتز کلروفیل تحت نور آبی القا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

گردد (Danziger and Bernstein., 2021; Im *et al*., 2006). نتایج حاصل از این مطالعه با الگوی تغییرات پارامترهای رشدی مشابهت داشت که نشان می‌دهد افزایش رنگ‌دانه‌های کلروفیل موجب بهبود در عملکرد فتوسنتز و درنهایت منجر به افزایش رشد و شاخص‌های رشدی می‌گردد. در تأیید این استدلال، گزارش شده است که میان نرخ فتوسنتز و میزان رنگ‌دانه‌ها یک ارتباط خطی مثبت وجود دارد. به‌گونه‌ای که افزایش میزان رنگ‌دانه‌ها موجب افزایش فتوسنتز می‌گردد که متعاقباً رشد را بهبود می‌بخشد (Danziger and Bernstein., 2021; Paixao *et al*., 2019). با این حال، به دلیل عدم وجود رنگ‌دانه و گیرنده‌های نورهای زرد و بنفش در ریزجلبک‌های سبز، این دو نور می‌توانند موجب تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون نوری کلروفیل و در نهایت باعث کاهش در محتوای رنگ‌دانه‌های کلروفیل گردند (Jiang *et al*., 2023). بنابراین کاهش محتوای کلروفیل تحت نور زرد و بنفش می‌تواند به دلیل افزایش تجزیه و تخریب کلروفیل با القای آنزیم کلروفیلاز و یا اثرات مهاری بر آنزیم دخیل در سنتز کلروفیل و در نهایت کاهش تجمع کلروفیل در این دو طول موج باشد.

در این تحقیق، در همه طول‌موج‌های نوری میزان کاروتنوئید کل در مقایسه با نور سفید افزایش یافت. در یک مطالعه، نتایج مشابه نشان داد که نورهای قرمز و آبی در ریزجلبک *Dunaliella salina* میزان کاروتنوئید را در مقایسه با نور سفید افزایش چشمگیری داده است (Xu and Harvey, 2019a). همچنین در پژوهشی بر روی جوانه‌های گیاه برنج واریته IR1552، بالاترین میزان کاروتنوئید به ترتیب تحت نورهای قرمز، آبی و سبز به دست آمد که مشابه نتایج این مطالعه است (Chang-Chang *et al*., 2016). نورهای قرمز و آبی می‌توانند موجب القای آنزیم فیتوئن سنتاز (Xu and Harvey, 2019b) و فاکتورهای رونویسی دخیل در مسیر بیوسنتزی کاروتنوئید (Huang *et al*., 2022) شده که درنتیجه موجب بیش تنظیمی مسیر بیوسنتزی و تجمع کاروتنوئید می‌گردد. همچنین محتوای کاروتنوئید در نورهای قرمز، آبی و سبز مشابه با روند رشد ریزجلبک و محتوای رنگ‌دانه‌های کلروفیل می‌باشد. بر همین اساس می‌توان توجیه نمود که افزایش میزان کاروتنوئید کل در ریزجلبک هماتوکوکوس در نورهای قرمز و آبی به دلیل افزایش رشد و متعاقب آن تجمع میزان رنگ‌دانه‌ها ازجمله کاروتنوئیدها است. با این حال، بیشترین میزان کاروتنوئید کل در این مطالعه تحت نور زرد مشاهده شد. در نتایجی مشابه محتوای کاروتنوئید کل در ریزجلبک‌های *Chlorella vulgaris* و *Tetradesmus obliquus* در طول‌موج زرد در مقایسه با طول‌موج‌های قرمز، آبی و سبز افزایش معنی‌داری را نشان داد (Raqiba and Sibi, 2019). با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی کاروتنوئید می‌توان توجیه نمود افزایش میزان کاروتنوئید کل در ریزجلبک هماتوکوکوس تحت نورهای زرد و در ادامه نور بنفش می‌تواند به منظور افزایش مقاومت ریزجلبک در پاسخ به اثرات منفی و تنش اکسیداتیو احتمالی ناشی از طول‌موج‌های ناکارآمد برروی ریزجلبک باشد. در این مطالعه محتوای آستاگزانتین تحت تیمار نور بنفش در مقایسه با سایر نورها به شکل معنی‌داری افزایش یافت. در یک مطالعه طول‌موج‌های کوتاه با انرژی بالا موجب افزایش تجمع آستاگزانتین درون ریزجلبک هماتوکوکوس گردید در حالی که این افزایش با سرکوب رشد سلولی همراه شد. این طول‌موج با القای بیان ژن های مرتبط با مسیر متیل اریترتول فسفات و بیوسنتز آستاگزانتین، این ترکیب را در مقایسه با نورهای آبی، قرمز و سفید افزایش داد (Katsuda *et al*., 2004). علاوه‌براین، نور بنفش محتوای آستاگزانتین را در ریزجلبک‌های *Microcystis aeruginosa* (Zhou *et al*., 2021) و *Aurantiochytrium limacinum* (Yamakawa *et al*., 2026) در مقایسه با سایر نورها افزایش چشمگیری داده است. بر این اساس می‌توان احتمال داد در این مطالعه نیز نور بنفش با القای ژن‌های مسیر بیوسنتزی آستاگزانتین میزان این ترکیب را افزایش داده است.

لوتئین نیز به‌عنوان یک رنگ‌دانه دریافت‌کننده نور در ریزجلبک‌ها می‌تواند آن‌ها را از آسیب‌های اکسیداتیو محافظت نماید (Fernandez-Sevilla *et al*., 2010). در مطالعه‌ای مشابه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

با نتایج تحقیق حاضر بالاترین میزان لوتئین در *Emiliania huxleyi* به ترتیب تحت نورهای قرمز، آبی و سبز مشاهده شد (Zhang *et al*., 2023). علاوه‌براین، مطالعات دیگری نیز نشان دادند نور آبی در ریز جلبک *Chlamydomonas reinhardtii* (Zhao *et al*., 2019) و نور قرمز در ریزجلبک *C. vulgaris* (Li *et al*., 2019) موجب افزایش میزان لوتئین شده‌اند.

در مطالعه حاضر، بیشترین میزان کربوهیدرات به ترتیب در نورهای قرمز، آبی، سبز، بنفش و زرد مشاهده شد. در مطالعات متعددی اثبات شده است که نور قرمز نسبت به نور آبی و سفید در ریزجلبک‌های *C. reinhardtii* (Li *et al*., 2021) و *Nannochloropsis* sp. (Vadiveloo *et al*., 2017) در تولید کربوهیدرات عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. در دو مطالعه بر روی گیاه سیب‌زمینی نشان داده شد که نور قرمز نسبت به آبی کربوهیدرات را بیشتر افزایش می‌دهد (Chen *et al*., 2020; He *et al*., 2021). در توجیه عملکرد بهتر نور قرمز در مقایسه با سایر نورها در ریزجلبک‌های سبز و گیاهان، بیان شده است که نور قرمز می‌تواند سنتز و تجمع کربوهیدرات را به‌عنوان یک بازخورد از فتوسنتز افزایش دهد (Li *et al*., 2021). بنابراین بدیهی است در نمونه‌هایی که بالاترین میزان فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی را نشان می‌دهند، محتوای کربوهیدرات نیز افزایش یابد. بر همین اساس، در این مطالعه بیشترین میزان کربوهیدرات تحت نورهایی با بیشترین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی مشاهده شد. در مقابل کاهش محتوای کربوهیدرات ریزجلبک را تحت نورهای بنفش و زرد می‌توان به دلیل کاهش میزان رنگدانه‌های کلروفیلی و در نتیجه کاهش رشد دانست.

براساس نتایج این پژوهش بالاترین میزان محتوای لیپید به ترتیب در نورهای زرد و بنفش به دست آمد. در مطالعات گذشته مشاهده شده است که میزان لیپید در طول‌موج‌هایی مانند نور زرد که میزان زیست‌توده آن‌ها کمتر است، افزایش یافته است (Huerlimann *et al*., 2010) که این افزایش میزان لیپیدها ناشی از تجزیه پروتئین و کاروتنوئید است (Kim *et al*., 2019). در مطالعه‌ای بر روی سه جلبک *P. luteri*، *C. vulgaris* و *P. cruentum* بیشترین میزان لیپید تحت نور زرد مشاهده شد (Kim *et al*., 2019). مشابه با نتایج گذشته، در این مطالعه نیز بیشترین میزان لیپید تحت نورهای زرد و بنفش که کمترین میزان رشد را نشان دادند بودند مشاهده گردید. با توجه به تجمع کاروتنوئید در این طول‌موج‌ها می‌توان احتمال داد که افزایش در میزان لیپید ناشی از تجزیه کاروتنوئید و یا اثرات تنشی این طول‌موج‌های نوری بر ریزجلبک هماتوکوکوس است.

نتیجه‌گیری

طول‌موج‌های نوری می‌توانند موجب فعال‌کردن گیرنده‌های نوری مرتبط، القای مسیرهای متابولیسمی و در نهایت تغییر در شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی در ریزجلبک گردند. با توجه به نتایج، طول‌موج‌های متفاوت در ریزجلبک هماتوکوکوس می‌توانند اثرات متفاوتی را بر روی ریزجلبک داشته باشند. به‌گونه‌ای که نورهای قرمز و آبی توانستند بالاترین مقادیر را در شاخص‌های رشدی همچون بهره‌وری زیست‌توده، تعداد ریزجلبک، محتوای کربوهیدرات و رنگدانه‌های کلروفیلی موجب شوند. درحالی‌که بیشترین محتوای آستاگزانتین و لیپید تحت نور زرد مشاهده شد. با توجه به وجود رنگدانه‌های کلروفیل به‌عنوان رنگدانه‌های غالب ریزجلبک هماتوکوکوس، بالاترین میزان جذب نور در طول‌موج‌های قرمز و آبی مشاهده می‌شوند. بر همین اساس پیشنهاد می‌شود که نور قرمز و آبی به‌عنوان طول‌موج‌های بهینه می‌توانند شاخص‌های رشدی را نسبت به طول‌موج‌های نوری دیگر بهبود بخشند. افزایش محتوای آستاگزانتین و چربی را تحت تیمار نورهای بنفش و زرد می‌توان به دلیل ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن و تنش اکسیداتیو ناشی از طول‌موج زرد دانست.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

منابع

Abomohra, A. E., Shang, H., El-Sheekh, M., Eladel, H., Ebaid, R., Wang, S., & Wang, Q. (2019). Night illumination using monochromatic lightemitting diodes for enhanced microalgal growth and biodiesel production. *Bioresource Technology*, *288*, 121514. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121514

Adir, N., Zer, H., Shochat, S., & Ohad, I. (2003). Photoinhibition–a historical perspective. *Photosynthesis Research*, *76*(1-3), 343-359. https://doi.org/10.1023/A:1024969518145

Bligh, E. G, & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, *37*(8), 917-934. https://doi.org/10.1139/o59-099

Cepak, V., Pribyl, P., & Vitova, M. (2006). The effect of light color on the nucleocytoplasmic and chloroplast cycle of the green chlorococcal alga *Scenedesmus obliquus*. *Folia Microbiologica*, *51*(4), 342-348. https://doi.org/10.1007/BF02931828

Chang, C., Kuan-Hung, L., & Chi-Ming, Y. (2016). Effects of light quality on the chlorophyll degradation pathway in rice seedling leaves. *Notulae Botanicae*, *44*(2), 393-398. https://doi.org/10.15835/nbha44210555

Chen, C., Yeh, K., Aisyah, R., Lee, D., & Chang, J. (2011). Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review. *Bioresource Technology*, *102*(1), 71-81. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.159

Chen, L., Zhang, K., Gong, X., Wang, H., Gao, Y., Wang, X., Zeng, Z., & Hu, Y. (2020). Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets in vitro and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*, *19*(1), 108-119. https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62633-x

Chowdury, K., Nahar, N., & Deb, U. (2020). The growth factors involved in microalgae cultivation for biofuel production: A review. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, *9*(4), 185-215. https://doi.org/10.4236/cweee.2020.94012

Danziger, N, & Bernstein, N. (2021). Light matters: Effect of light spectra on cannabinoid profile and plant development of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, *164*, 113351. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113351

Dickinson, K., Lalonde, C., & Mc Ginn, I. (2019). Effects of spectral light quality and carbon dioxide on the physiology of *Micractinium inermum*: Growth, photosynthesis, and biochemical composition. *Journal of Applied Phycology*, *31*(6), 3385-3396. https://doi.org/10.1007/s10811-019-01880-z

Dole, J, & Wilkins, H. (1999). Floriculture: Principles and Species. 2th Ed. Prentice Hall, London.

DuBois, A., Botelho, S., Bedell, G., Marshall, R., & Comroe, J. (1956). A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume: A comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. *The Journal of Clinical Investigation*, *35*(3), 322-326. https://doi.org/10.1172/JCI103281

Fernandez-Sevilla, J., Acien Fernandez, F., & Molina Grima, E. (2010). Biotechnological production of lutein and its applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *86*, 27-40. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2420-y

Gao, Y., Xiong, W., He, M., Tang, L., Xiang, J., & Wu, F. (2009). Action spectra of chlorophyll a biosynthesis in cyanobacteria: Dark-operative protochlorophyllide oxidoreductase-deficient mutants. *Zeitschrift fur Naturforschung*, *64*(1-2), 117-124. https://doi.org/10.1515/znc-2009-1-219

He, W., Pu, M., Li, J., Xu, Z., & Gan, L. (2021). Potato tuber growth and yield under red and blue LEDs in plant factories. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(1), 40-51. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10277-z

Hohmann-Marriott, M, & Blankenship, R. (2011). Evolution of photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, *62*, 515-548. 10.1146/annurev-arplant-042110-103811

Huang, X., Hu, L., Kong, W., Yang, C., & Xi, W. (2022). Red light-transmittance bagging promotes carotenoid accumulation of grapefruit during ripening. *Communications Biology*, *5*(1), 303. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03270-7

Huerlimann, R., De Nys, R., & Heimann, K. (2010). Growth, lipid content, productivity, and fatty acid composition of tropical microalgae for scale-up production. *Biotechnology and Bioengineering*, *107*(2), 245-257. https://doi.org/10.1002/bit.22809

Im, C., Eberhard, S., Huang, K., Beck, C., & Grossman, A. (2006). Phototropin involvement in the expression of genes encoding chlorophyll and carotenoid biosynthesis enzymes and LHC apoproteins in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Journal*, *48*(1), 1-16. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2006.02852.x.

Izzo, L., Mele, B., Vitale, L., Vitale, E., & Arena, C. (2020). The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. *Environmental and Experimental Botany*, *179*, 104195. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195

Jiang, Y., Huang, Q., Wei, G., Gong, Z., Li, T., Miao, J., Lu, R., Mei, S., Wang, X., & Duan, Y. (2023). Effects of yellow and green light stress on emergence, feeding and mating of *Anomala corpulenta* and *Holotrichia parallela*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

(Coleoptera: Scarabaeidae). *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *16*(1), 81-87. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231601.7639

Katsuda, T., Lababpour, A., Shimahara, K., & Katoh, S. (2004). Astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis* under illumination with LEDs. *Enzyme and Microbial Technology,* 35, 54-69. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.03.016

Kim, D., Lee, C., Park, S., & Choi, Y. (2014). Manipulation of light wavelength at appropriate growth stage to enhance biomass productivity and fatty acid methyl ester yield using *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, *159*, 240-248. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.078

Kim, S. H., Sunwoo, I., Hong, H., Awah, C., Jeong, G., & Kim, S. (2019). Lipid and unsaturated fatty acid productions from three microalgae using nitrate and light-emitting diodes with complementary LED wavelength in a two-phase culture system. *Bioprocess Biosystem Engineering*, *42*(9), 1517-1526. https://doi.org/10.1007/s00449-019-02149-y

Kim, T., Lee, Y., Han, S., & Hwang, S. (2013). The effects of wavelength and wavelength mixing ratios on microalgae growth and nitrogen, phosphorus removal using *Scenedesmus* sp. for wastewater treatment. *Bioresource Technology*, *130*, 75-80. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.134

Kubin, S., Borns, E., Doucha, J., & Seiss, U. (1983). Light absorption and production rate of *Chlorella vulgaris* in light of different spectral composition. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, *178*(2-3), 193-205. https://doi.org/10.1016/S0015-3796(83)80032-8

Li, D., Yuan, Y., Cheng, D., & Zhao, Q. (2019). Effect of light quality on growth rate, carbohydrate accumulation, fatty acid profile and lutein biosynthesis of *Chlorella* sp. AE10. *Bioresource Technology*, *291*, 121783. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121783

Li, X., Manuel, J., Slavens, S., Crunkleton, D., & Johannes, T. (2021). Interactive effects of light quality and culturing temperature on algal cell size, biomass doubling time, protein content, and carbohydrate content. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *105*, 587-597. https://doi.org/10.1007/s00253-020-11068-y

Li, Y., Miao, F., Geng, Y., Lu, D., Zhang, C., & Zeng, M. (2012). Accurate quantification of astaxanthin from *Haematococcus crude* extract spectrophotometrically. *Chinese Journal of Oceanology Limnology*, *30*(4), 627-637. https://doi.org/10.1007/s00343-012-1217-5

Lichtenthaler, H, & Wellburn, A. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Photosynthesis Research Protocols*. https://doi.org/10.1042/bst0110591

Lin, K., Huang, M., & Hsu, M. (2021). Morphological and physiological response in green and purple basil plants (*Ocimum basilicum*) under different proportions of red, green, and blue LED lightings. *Scientia Horticulturae*, *275*, 109677. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109677

Mohsenpour, S., Richards, B., & Willoughby, N. (2012). Spectral conversion of light for enhanced microalgae growth rates and photosynthetic pigment production. *Bioresource Technology*, *125*, 75-81. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.072

Paixao, J. S., Da Silva, J., Ruas, K., Rodrigues, W., Filho, J., Bernado, W., Abreu, D., Ferreira, L. S., Gonzalez, J., & Griffin, K. (2019). Photosynthetic capacity, leaf respiration and growth in two papaya (*Carica papaya*) genotypes with different leaf chlorophyll concentrations. *AoB Plants*, *11*(2), plz013. https://doi.org/10.1093/aobpla/plz013

Pocock, T., Krol, M., & Huner, N. (2004). The determination and quantification of photosynthetic pigments by reverse phase high-performance liquid chromatography, thin-layer chromatography, and spectrophotometry. *Photosynthesis Research Protocols*, *274*, 137-148. https://doi.org/10.1385/1-59259-799-8:137

Ra, C., Kang, C., Jung, J., Jeong, G., & Kim, S. (2016). Effects of light-emitting diodes (LEDs) on the accumulation of lipid content using a two-phase culture process with three microalgae. *Bioresource Technology*, *212*, 254-261. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.059

Ragni, M., Airs, R., Leonardos, N., & Geider, R. (2008). Photoinhibition of ps in *Emiliania huxleyi* under high light stress: The role of photoacclimation, photoprotection and photorepair. *Journal of Phycolo*gy, *44*(3), 670-683. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00524.x

Raqiba, H, & Sibi, G. (2019). Light emitting diod (LED) illumination for enhanced growth and cellular composition in three microalgae. *Advances in Microbiology Research*, *3*, 7-22. https://doi.org/10.24966/AMR-694X/100007

Ru, I., Sung, Y., Jusoh, M., Wahid, M., & Nagappan, T. (2020). *Chlorella vulgaris*: A perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Applied Phycology*, *1*(1), 2-11. https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1715256

Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P., & Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *35*, 265-278. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007

Schulze, P., Barreira, L., Pereira, H., Perales, J., & Varela, J. (2014). Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production. *Trends in Biotechnology*, *32*(8), 422-430. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.06.001

Shu, C., Tsai, C., Liao, W., Chen, K., & Huang, H. (2012). Effects of light quality on the accumulation of oil in a mixed culture of *Chlorella* sp. and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, *87*(5),

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

601-607. https://doi.org/10.1002/jctb.2750

Sohrabi, D., Jazini, M. D., & Shariati, M. (2019). Mixotrophic cultivation of *Dunaliella salina* on crude glycerol obtained from calcinated fatty acid production process. *Russian Journal of Marine Biology, 45*, 470-480. https://doi.org/10.1134/S1063074019060105

Su, N., Wu, Q., Shen, Z., Xia, K., & Cui, J. (2014). Effects of light quality on the chloroplastic ultrastructure and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. *Plant Growth Regulation*, *73*, 227-235. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9883-7

Taylor, E, & Krings, M. (2009). Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants. 2th Ed Academic press, New York.

Teo, C., Atta, M., Bukhari, A., Taisir, M., Yusuf, A. M., & Idris, A. (2014a). Enhancing growth and lipid production of marine microalgae for biodiesel production via the use of different LED wavelengths. *Bioresource Technology*, *162*, 38-44. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.113

Teo, C. L., Idris, A., Wahidin, S., & Lai, L. (2014b). Effect of different light wavelength on the growth of marine microalgae. *Journal Teknologi*, *67*, 65-72. https://doi.org/ 10.11113/jt.v67.2771

Vadiveloo, A., Moheimani, N., Cosgrove, J., Parlevliet, D., & Bahri, P. (2017). Effects of different light spectra on the growth, productivity and photosynthesis of two acclimated strains of *Nannochloropsis* sp. *Journal of Applied Phycology*, *29*(4), 1765-1774. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1083-9

Xu, Y, & Harvey, P. (2019a). Carotenoid production by *Dunaliella salina* under red light. *Antioxidants*, *8*(5), 123. https://doi.org/10.3390/antiox8050123

Xu, Y, & Harvey, P. (2019b). Red light control of β-carotene isomerisation to 9-cis β-carotene and carotenoid accumulation in *Dunaliella salina*. *Antioxidants*, *8*(5), 148. https://doi.org/10.3390/antiox8050148

Yamakawa, K., Kawano, K., Kato, S., & Sawayama, S. (2026). Purple LED light and crude glycerol synergistically enhance astaxanthin production in *Aurantiochytrium limacinum*. *Scientific Reports*, *56*, 215-234. https://doi.org/10.1038/s41598-026-37313-4

Yan, C., Zhang, L., Luo, X., & Zheng, Z. (2013). Effects of various LED light wavelengths and intensities on the performance of purifying synthetic domestic sewage by microalgae at different influent C/N ratios. *Journal of Ecological Engineering*, *51*, 24-32. https://doi.org/10.1007/s10532-013-9620-y

Yang, Y, & Weathers, P. (2015). Red light and carbon dioxide differentially affect growth, lipid production, and quality in the microalga, *Ettlia oleoabundans*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *99*(1), 489-499. https://doi.org/10.1007/s00253-014-6137-1

Zhang, J., Liu, F., Wang, Q., Gong, Q., & Gao, X. (2023). Effect of light wavelength on biomass, growth, photosynthesis and pigment content of *Emiliania huxleyi*. *Journal of Marine Science and Engineering*, *11*(2), 456. https://doi.org/10.3390/jmse11020456

Zhao, X., Ma, R., Liu, X., Ho, S., Xie, Y., & Chen, J. (2019). Strategies related to light quality and temperature to improve lutein production of marine microalga *Chlamydomonas* sp. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *42*(3), 435-443. https://doi.org/10.1007/s00449-018-2047-4

Zhong, Y., Jin, P., & Cheng, J. (2018). A comprehensive comparable study of the physiological properties of four microalgal species under different light wavelength conditions. *Planta*, *248*(2), 489-498. https://doi.org/10.1007/s00425-018-2899-5

Zhou, X., Zheng, T., Xie, Y., Zou, S., & Lai, M. (2021). Astaxanthin accumulation in *Microcystis aeruginosa* under different light quality. *Bioresource Technology*, *346*, 12662. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126629

Sohrabi, D., Jazini, M. D., & Shariati, M. (2019). Mixotrophic cultivation of *Dunaliella salina* on crude glycerol obtained from calcinated fatty acid production process. *Russian Journal of Marine Biology, 45*, 470-480. https://doi.org/10.1134/S1063074019060105

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

Investigating the different light wavelengths effects on growth parameters and metabolites of the *Haematococcus pluvialis* microalgae using LED lamps

Mohammad Sadegh Maleki[1], Babak Bahreininejad[*2]

[1] Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Abstract

Light wavelength, as the light characteristics, can directly improve the growth and accumulation of primary and secondary metabolites in microalgae. In this study, the different light wavelengths effects on the growth and biochemical parameters of the microalgae Haematococcus pluvialis were evaluated using LED lamps. For this purpose, Haematococcus pluvialis was exposed to red (630 nm), blue (460 nm), green (520 nm), yellow (590 nm), purple (400 nm), and white wavelengths and harvested after 24 days to measure and evaluate the studied parameters. In this study, the highest microalgae number, biomass productivity, and carbohydrate were observed under red light with 52.63, 93.75, and 85.25% increases, respectively, compared to white light. Also, the maximum chlorophyll a and chlorophyll b pigment levels, as the dominant pigments of green microalgae, were obtained under red light with an increase of 73.63 and 57.09 percent, respectively, compared to white light. In contrast, the highest carotenoid and lipid content were observed in yellow light with an increase of 82.96 and 118 percent, respectively, and the astaxanthin content in purple light with an increase of 180 percent compared to the control sample. All the studied parameters, except for carotenoid, astaxanthin, and lipid, were observed under red and blue lights, respectively. These results are probably due to the presence of dominant chlorophyll pigments, which show the highest light absorption in red and blue wavelengths. It can be suggested that red and blue lights, as optimal wavelengths, can improve growth indices in the green microalgae Haematococcus pluvialis compared to other lights.

Keywords: *Haematococcus pluvialis,* Light, Astaxanthin, Biomass

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.187]

Received: feb. 01, 2026; Revised: may. 08, 2026; Accepted: may. 20, 2026; Published Online: Oct. 30, 2026
*Corresponding Author: b.bahreininejad@areeo.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.