Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Induction of Morph-Physiological and Biochemical Alternation of *Salvia Officinalis* L. by Manipulating Light Spectrum

Mehdi Moradi[1], Hossein Aruei[*2], Bahram Abedy[3], Sasan Aliniaeifard[4], Kamal Ghasemi-Bezdi[5]

1. Ph.D. Student of Horticultural Science, Dept. of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: moradi.ob@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: aroiee@um.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: abedy@um.ac.ir
4. Associate Prof., Photosynthesis Laboratory, Dept. of Horticulture, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran. E-mail: aliniaeifard@ut.ac.ir
5. Associate Prof., Dept. of Agricultural and Horticultural Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, University of Torbat-e Jam, Iran. E-mail: k.ghasemi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.01.2022
Revised: 11.14.2022
Accepted: 12.03.2022

Keywords:
Growth,
LED,
Light quality,
Sage,
Shotosynthesis

ABSTRACT

Background and Objectives: Light spectrum of growing environment is a determinant factor for plant growth and photosynthesis. Photoregulation is an effective strategy to improve productivity of plants. Light sources such as metal-halide, fluorescent, high-pressure sodium, neon lamps and light-emitting diode (LED) can be used for production of plants in closed environments instead of sun light. Nowadays, by using the LED technology, it is possible to study the physiological effect of different light spectra for optimization of growth conditions and for increase the production of plants in controlled environments. Due to high marketability, producers continually investigate to maximize yield and productivity of sage plant. The main purpose of this study was to examine and compare different combinations of LED light spectra on morphological, growth and biochemical response of sage plant.

Materials and Methods: In this study, the effects of different light spectra were implemented and performed as a pot experiment soilless media in the plant growth chamber based on a completely randomized design with 6 lighting spectra including white, blue, red, red: blue (30:70, 50:50 and 70:30) with tree replication. The light intensity in all growth chambers was adjusted to photosynthetic photon flux density (PPFD) of 250 ±10 µmol $m^{-2}s^{-1}$ intensity and light spectrum were monitored using a sekonic light meter. Growth condition was set at 14/10 h day/night cycles, 25/20 ^{o}C day/night temperatures and 40% relative humidity. In this study, different morphological traits (plant height, root length, root volume, stem diameter, number of leaves, Leaf length, Leaf width, Leaf area, specific leaf area, Number of nodes, Internode length, Number of branches), vegetative parameters, photosynthetic pigment concentrations and biochemical characteristics were measured analyzed. Data analysis of variance (ANOVA) was performed using IBM SAS software (Version 9.1), and the differences between means were assessed using Duncan's multiple range tests at $P \leq 0.01$.

Results: The results showed that the morphological, growth and biochemical characteristics of sage plant were affected by different light spectra. Red: blue combinational lights caused a better growth in comparison with monochromatic red and blue lights. The plants grown under red light had the tallest stem in comparison with the stem lengths of plants grown under other light spectra. The highest shoot and root fresh weight were measured in red: blue (70:30) light. Highest root dry weight and root volume were detected under red: blue (70:30) and lowest values of them were observed under red light. In the present study, increasing the ratio of blue light led to the generation of short and small plants, while increasing the ratio of red light led to the improvement of growth characteristics. Concentrations of all photosynthetic pigments in the sage leaves were significantly influenced by the light spectra. The highest Chl a and Chl b concentration was observed under red: blue (50:50) and red: blue (70:30) lights. Highest Chl a+b content was detected under red: blue (70:30). Highest amount of total phenolic content and antiradical activity was observed in leaves of plants grown under red: blue (70:30) light.

Conclusion: Growth, morphology and biochemical characteristics of sage plants were considerably influenced by light spectra in this study. In conclusion, combined red and blue lights (70:30) by inducing of production of more photosynthetic pigments improved growth and improving growth of sage plant. Therefore, it can be expressed that the presence of both wavelengths (blue and red) is necessary for a better and more complete growth of the plant. In general, it can be suggested that the use of LEDs can result in better economic production-controlled environment systems.

Cite this article: Moradi, Mehdi, Aruei, Hossein, Abedy, Bahram, Aliniaeifard, Sasan, Ghasemi-Bezdi, Kamal. 2023. Induction of Morph-Physiological and Biochemical Alternation of *Salvia Officinalis* L. by Manipulating Light Spectrum. *Journal of Plant Production Research*, 30 (3), 101-121.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20733.2977
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

القای تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی در گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) توسط دست‌ورزی طیف نور

مهدی مرادی[۱]، حسین آروئی*[۲]، بهرام عابدی[۳]، ساسان علی‌نیایی‌فرد[٤]، کمال قاسمی بزدی[٥]

۱. دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی باغبانی، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: moradi.ob@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: aroiee@um.ac.ir

۳. استادیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: abedy@um.ac.ir

٤. دانشیار آزمایشگاه فتوسنتز، گروه علوم باغبانی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران. ایران. رایانامه: aliniaeifard@ut.ac.ir

۵. دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مشهد؛ مجتمع آموزش عالی تربت جام، ایران. رایانامه: k.ghasemi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۸/۱۰
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۹/۱۲

واژه‌های کلیدی:
رشد،
فتوسنتز،
کیفیت نور،
مریم گلی،
LED

چکیده

سابقه و هدف: طیف نور محیط رشد یک عامل تعیین‌کننده برای فتوسنتز و رشد گیاه می‌باشد. امروزه، با استفاده از فناوری لامپ‌های LED (Light Emitting Diode)، امکان مطالعه تأثیر فیزیولوژیکی طیف‌های مختلف نور، بهینه‌سازی شرایط رشد و افزایش تولید گیاهان در محیط‌های کنترل شده فراهم شده است. لامپ‌های LED به عنوان منبع نور مصنوعی می‌توانند به رشد بهتر و سریع‌تر محصولات باغبانی در محیط‌های کنترل شده کمک کنند. با توجه به اهمیت اقتصادی و دارویی گیاه مریم گلی، تولیدکنندگان همواره در پی به‌کارگیری شیوه‌های نوین برای افزایش تولید این گیاه هستند. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های ریخت‌شناسی، رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه دارویی مریم گلی به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نوری بر خصوصیات ریخت‌شناسی، رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه مریم گلی، آزمایشی گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در اتاق رشد گیاه (Growth Chamber Plant) در کشت بدون خاک اجرا شد. در این آزمایش گیاه مریم گلی تحت شش محیط دارای طیف‌های نوری: سفید، قرمز، آبی، قرمز: آبی به ترتیب با نسبت‌های (۷۰:۳۰، ۵۰:۵۰ و ۳۰:۷۰) ساطع شده از لامپ‌های LED با شدت نوری ۱۰±۲۵۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه و با تناوب نوری ۱٤ ساعت

روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی پرورش داده شدند. در این مطالعه خصوصیات ریخت‌شناسی از جمله (ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول میانگره، تعداد گره، طول و حجم ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، سطح ویژه برگ، طول و عرض برگ، تعداد انشعابات جانبی)، رویشی (وزن تر و خشک کل اندام هوایی، ساقه، ریشه و برگ)، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، مجموع کلروفیل a و b و کاروتنوئید) و خصوصیات زیست‌شیمیایی (کربوهیدرات محلول، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد شاخص‌های ریخت‌شناسی، رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه مریم گلی تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار گرفت. ارتفاع گیاهان رشد یافته در تیمار نور قرمز نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین مقدار بود. بالاترین وزن تر و وزن خشک اندام هوایی در طیف نور قرمز: آبی (۷۰: ۳۰) و کم‌ترین میزان آن در طیف نور آبی مشاهده شد. در مطالعه حاضر افزایش نسبت نور آبی منجر به کاهش رشد شد. در حالی‌که افزایش نسبت نور قرمز منجر به بهبود شاخص‌های رشدی شد. بیش‌ترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل، مقدار فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و قند محلول در گیاهان رشدیافته در محیط‌های نوری ترکیبی قرمز و آبی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد نور ترکیبی قرمز: آبی (۷۰: ۳۰) با القا تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی منجر به تحریک رشد و بهبود شاخص‌های رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه مریم گلی می‌شود. بنابراین جهت تولید اقتصادی این گیاه در محیط‌های کنترل شده و هم‌چنین روش‌های نوین کشاورزی و کشت طبقاتی، کاربرد این محیط نوری پیشنهاد می‌شود.

استناد: مرادی، مهدی، آروئی، حسین، عابدی، بهرام، علی‌نیایی‌فرد، ساسان، قاسمی بزدی، کمال (۱۴۰۲). القای تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی در گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) توسط دست‌ورزی طیف نور. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۳)، ۱۲۱-۱۰۱.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20733.2977

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

نور یکی از عامل‌های اصلی تنظیم‌کننده رشد و نمو گیاه است، هم‌چنین یک منبع انرژی برای فتوسنتز و یک سیگنال مهمی است که نقش عمده‌ای در رشد گیاه، ویژگی‌های ریخت‌شناسی، تولید متابولیت‌های ثانویه، بیوسنتز مولکولی سلول و بیان ژن در طول دوره رشد گیاهان ایفا می‌کند (۱، ۲). کیفیت، شدت و مدت زمان تابش نور باعث واکنش در سطوح بیوشیمیایی، آناتومیکی و فیزیولوژیکی گیاهان می‌شود و بنابراین بر مرفولوژی و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد (۳). گیرنده‌های نور این سیگنال‌ها را دریافت می‌کنند و اطلاعات مورد استفاده برای تنظیم رشد گیاه را فراهم می‌کنند. گیرنده‌های نور شناخته شده به سه گروه عمده شامل فیتوکروم‌ها، حساس به نور قرمز و قرمز دور، کریپتوکروم‌ها، حساس به UV-A و نور آبی و فتوتروپین‌ها، حساس به نور آبی طبقه‌بندی می‌شوند (٤، ٥). مشخص شده است که ترکیب طیفی نور هر دو ویژگی فتوسنتزی و مورفوژنز گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات اخیر نشان داده است که مهم‌ترین طول موج‌ها برای فتوسنتز، طول موج‌های نور آبی و قرمز است که عمدتاً مربوط به طیف جذبی کلروفیل a و b می‌باشد (٦). منابع نوری زیادی هم‌چون لامپ‌های فلورسنت، متال هالید، لامپ‌های فشار بالای سدیمی و لامپ‌های رشته‌ای به‌صورت عمومی در گلخانه‌ها به منظور افزایش سطح شار فوتون فتوسنتزی[1] برای رشد گیاه استفاده می‌شوند، اما این منابع نوری دارای مشکلاتی هستند، به عنوان مثال دارای کارایی انرژی پایینی هستند و در بعضی موارد، قسمتی از طیف آن‌ها در محدوده تابش فعال فتوسنتزی[2] نیست و برای القای رشد گیاهان مناسب نیستند (۷). توسعه فناوری LED با دستکاری در ویژگی‌های (طیف‌های) نور امکان بهینه‌سازی فتوسنتز و تنظیم فیزیولوژی گیاه را فراهم می‌کند (۸). علاوه بر این، استفاده از لامپ LED به عنوان یک راه‌حل در صرفه‌جویی مصرف انرژی و جایگزینی با لامپ‌های سنتی، چشم‌اندازهای جدیدی را برای بهینه‌سازی شرایط روشنایی برای کشت و کار گیاهان در محیط‌های کنترل شده فراهم می‌کند (۹، ۱۰). برای این منظور، توسعه LEDها برای بهینه‌سازی راندمان استفاده از طیف‌های مختلف نور در محصولات پیشنهاد شده است (۱۱). در تولید سبزیجاتی مانند کاهو، تربچه و اسفناج ترکیب نورهای قرمز و آبی برای تجمع زیست‌توده مفید بود (۱۲). کایزر و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای تأثیر نور تکمیلی با نسبت‌های مختلف نور آبی (۰، ٦، ۱۲ و ٢٤ درصد همراه با نور قرمز) بر گوجه‌فرنگی را بررسی نمودند، نتایج نشان داد با افزایش درصد نور آبی تا حد بهینه (۱۲ درصد) میزان زیست‌توده و تعداد میوه‌ها افزایش یافت. اگرچه ضرورت نور آبی برای رشد گیاه معمولاً پذیرفته شده است، اما نسبت بهینه نور قرمز: آبی به نوع گونه و ژنوتیپ وابسته است (۱۳). نازنین و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف نور قرمز: آبی بر کاهو، اسفناج، کلم، ریحان و فلفل نتیجه گرفتند که افزایش نسبت نور آبی برای تقویت رشد، تولید رنگدانه و محتوای آنتی‌اکسیدانی این گیاهان ضروری است، اگرچه نسبت بهینه وابسته به گونه است (١٤). تأثیر کیفیت و شدت نور روی گیاهان و دسترسی آسان به طیف‌های مختلف نوری، فرصتی برای استفاده از این دانش در جهت ارزیابی طیف‌های مختلف نوری و معرفی بهترین رژیم نوری برای گیاه مطابق با نیازهای بازار می‌باشد. مطالعات انجام شده روی گونه‌های مختلف گیاهی نشان داد که ترکیب طیفی نور یکسان اثرات متفاوتی در پارامترهای فتوسنتزی، ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی در گونه‌های

1- Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD)
2- Photosynthetically Active Radiation (PAR)

مختلف گیاهی دارد (۱۵). بنابراین، مطالعات گسترده‌تری در مورد گونه‌ها و پاسخ‌های اختصاصی آن‌ها به ترکیبات مختلف طیف نور مورد نیاز است.

گیاهان خانواده نعناع (Lamiaceae) به‌دلیل داشتن ماده مؤثره اسانس از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. مریم گلی (Sage) با نام علمی *Salvia officinalis* L. گیاهی چندساله و متعلق به این خانواده می‌باشد. اسانس این گیاه خاصیت ضد باکتریایی دارد و از آن در صنایع داروسازی، غذایی و هم‌چنین در صنایع بهداشتی و آرایشی استفاده می‌شود. اندام‌های هوایی گیاه به‌خصوص برگ‌ها محتوای اسانس (۱ تا ۲/۵ درصد) هستند. ترکیبات اصلی اسانس شامل تویون (۳۰ تا ۵۰ درصد)، سینئول (۱۰ تا ۱۵ درصد)، کامفور (٦ تا ۱۰ درصد) و بورنئول (٦ تا ١٤ درصد) می‌باشد (١٦). به دلیل اهمیت گیاه مریم گلی در صنایع دارویی و غذایی و هم‌چنین مصرف گسترده این گیاه، اخیراً علاوه بر کشت در فضای آزاد توجه به سمت تولید این گیاه در گلخانه و محیط‌های کنترل‌شده نیز افزایش یافته است. از آن‌جایی‌که شرایط نوری در این مکان‌ها قابل تنظیم و کنترل است، بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی مریم گلی می‌تواند برای انتخاب شرایط مناسب کشت این گیاه بسیار آگاهی‌بخش باشد. از این‌رو، در این مطالعه تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های ریخت‌شناسی، رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه مریم گلی در محیط کنترل‌شده جهت معرفی حالت بهینه روشنایی برای این گیاه مورد مطالعه قرار گرفت.

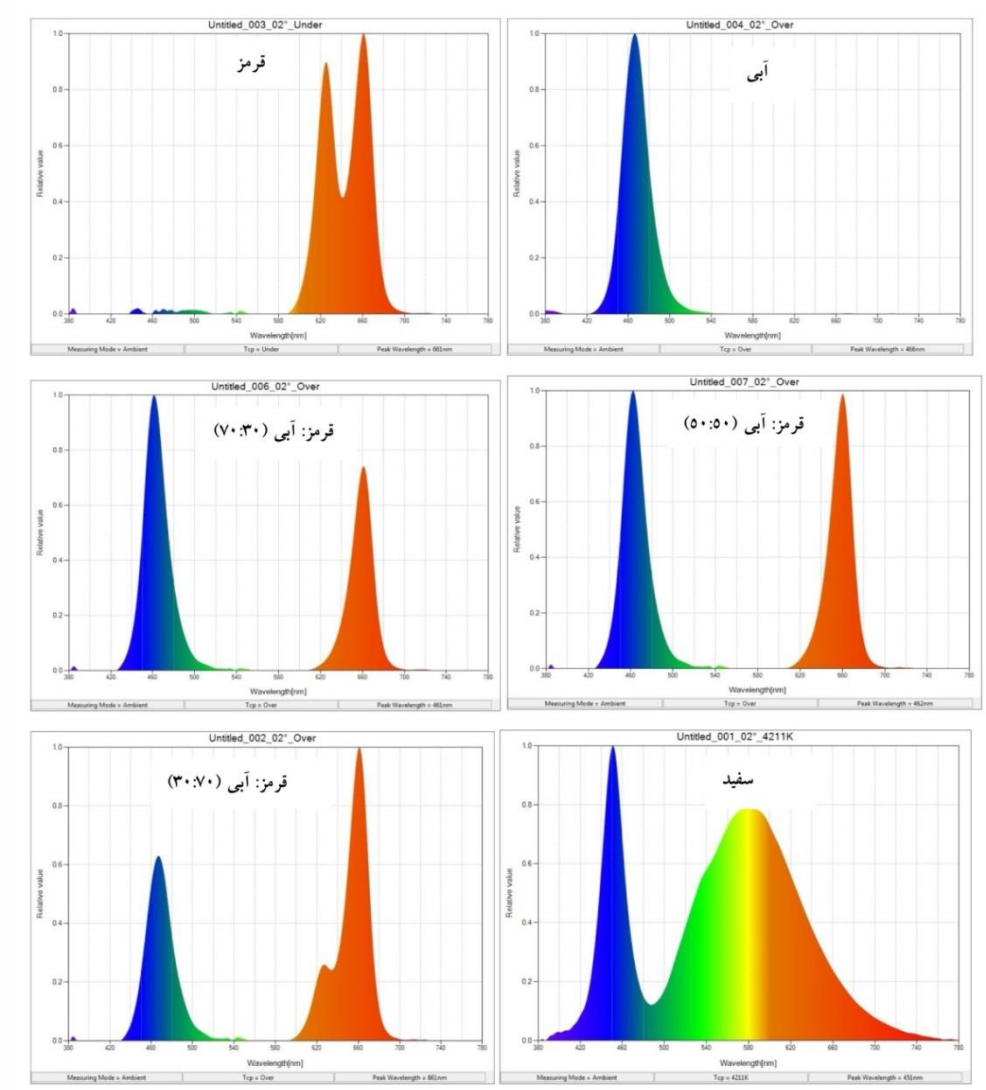
مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشدی: به‌منظور بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نوری بر خصوصیات ریخت‌شناسی، رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه مریم گلی، آزمایشی گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٦ تیمار و ۳ تکرار در اتاق رشد گیاه (Growth Chamber Plant) آزمایشگاه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی مجتمع آموزش عالی تربت جام در سال ۱۴۰۰ به‌صورت کشت بدون خاک اجرا شد. بذرهای گیاه مریم (*Salvia officinalis* L.) در سینی‌های کشت حاوی بستر مخلوط پرلیت و کوکوپیت کشت شدند. برای تهیه نشا، در داخل هر حفره از سینی نشا یک عدد بذر کشت شد. سپس سینی‌های کشت در شش محفظه طراحی شده در داخل اتاق رشد تحت تیمارهای نوری تعیین شده، قرار داده شدند. دمای روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. علی‌رغم این‌که رطوبت نسبی در اتاق رشد قابل تنظیم نبود، ولی میزان آن بین ٤٠ تا ٥٥ درصد متغیر بود. تا زمان جوانه‌زنی و خروج گیاهچه‌ها آبیاری به صورت روزانه انجام شد و پس از ظهور گیاهچه‌ها، تغذیه با محلول غذایی نیم هوگلند به‌صورت روزانه صورت گرفت. پس از این‌که گیاهچه‌ها به مرحله ٤ برگی رسیدند، گیاهچه‌هایی که از نظر رویشی قوی‌تر و تقریباً هم اندازه بودند انتخاب و به گلدان‌های اصلی با ارتفاع ۲۰ و قطر ١٤ سانتی‌متر منتقل شدند. پس از انتقال، گیاهان تا پایان آزمایش تحت طیف‌های مختلف نوری پرورش یافتند. بستر کشت گلدان‌های اصلی، مخلوط پرلایت (٤٠ درصد)، کوکوپیت (٤٠ درصد) و ورمی‌کولایت (۲۰ درصد) بود. پس از انتقال گیاهان اصلی به گلدان، تغذیه با استفاده از محلول غذایی کامل هوگلند و به‌صورت روز در میان انجام شد.

تیمارهای نوری: تیمارهای نوری شامل نور سفید، قرمز، آبی، قرمز: آبی به ترتیب با نسبت‌های (۷۰:۳۰، ۵۰:۵۰ و ۳۰:۷۰) در نظر گرفته شد. شدت نور ۱۰±۲۵۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه (PPFD[1]) و با

1- Photosynthetic Photon Flux Density

تناوب نوری ۱٤ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی تنظیم گردید. برای اعمال تیمارهای نوری، محفظه‌هایی با ابعاد ۲ متر طول، ۱/۵ متر عرض و یک متر ارتفاع مجهز به والواشرهای ۲٤ وات LED با طیف‌های مختلف نوری ساخته شد. به‌منظور جلوگیری از ورود نور از سایر تیمارها و هم‌چنین پراکندگی یکنواخت نور در داخل محفظه‌ها، از پارچه‌های عایق نور (رفلکتور) در اطراف محفظه‌ها استفاده شد. شدت چگالی شار فوتون فتوسنتزی و طیف نور با استفاده از دستگاه نورسنج (Sekonic C-7000, Japan) در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از سطح گیاه اندازه‌گیری شد. طول موج تیمارهای مختلف نوری در شکل ۱ نشان داده شده است. فاصله بین لامپ‌ها و گیاهان در مراحل مختلف رشد از طریق گیره‌های فلزی قابل تنظیم بود. متناسب با رشد گیاه، به‌منظور توزیع یکنواخت نور در سطح گیاه گیره‌های فلزی به طوری که فاصله لامپ‌ها از گیاه حدود ۲۵ سانتی‌متر حفظ شود تغییر یافت.



شکل ۱- طول موج‌های تیمارهای نوری اعمال شده در طول دوره رشد گیاه مریم گلی (قرمز، آبی، قرمز: آبی (۷۰:۳۰)، قرمز: آبی (۵۰:۵۰)، قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و سفید با شدت نور یکسان.

Fig. 1. Relative distribution of different spectral LEDs (monochromatic red, monochromatic blue, red: blue (30:70), red: blue (50:50), red: blue (70:30) and white used during plant growth of sage plant with same intensity.

سنجش شاخص‌های ریخت‌شناسی و رشدی: اندازه‌گیری‌ها شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول میانگره، تعداد گره، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، سطح ویژه برگ، طول و عرض برگ، تعداد انشعابات جانبی بود. ارتفاع گیاه، طول ریشه و طول میانگره با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. قطر ساقه با استفاده از کولیس ساده با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های گیاهی به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و سپس توزین گردیدند. هم‌چنین برای اندازه‌گیری طول، عرض و سطح برگ هر گیاه از دستگاه سطح برگ‌سنج (CI-202 Area Meter) استفاده شد. سطح ویژه برگ (SLA[1]) بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (۱۷).

$$SLA = \frac{LA}{W_L}$$

که در آن، LA برابر با سطح کل برگ‌های گیاه و WL وزن خشک کل برگ‌ها است.

سنجش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید ۱۲۵ میلی‌گرم از بافت تازه برگ بالغ و توسعه یافته با ۲/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد، سپس به مدت ٦ دقیقه با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول رویی در طول موج‌های ٤۷۰، ٦٤٦ و ٦٦٣ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis array Spectrophotometer, Photonix-Ar2017, Iran) خوانده شد و براساس رابطه‌های زیر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی براساس میلی‌گرم در گرم وزن تازه محاسبه شد (۱۸).

$$\text{Chl}_a\,(mg/g) = (۱۲/۲۱\times A_{٦٦٣}) - (۲/۸۱\times A_{٦٤٦})$$

$$\text{Chl}_b\,(mg/g) = (۲۰/۱۳\times A_{٦٤٦}) - (۵/۰۳\times A_{٦٦٣})$$

$$\text{Chl}_{a+b}\,(mg/g) = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

$$\text{Carotenoid}\,(mg/g) = ((۱۰۰۰\times A_{٤٧٠}) - (۳/۲۷\times \text{Chl}_a) - (۱۰٤\times \text{Chl}_b))/۲۲۹$$

اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول: به‌منظور ارزیابی کربوهیدرات محلول، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ بالغ و توسعه یافته با استفاده از ازت مایع پودر گردید و به آن ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹٦ درصد اضافه شد؛ سپس فالکون‌های حاوی اتانول و نمونه برگی به مدت ۱۰ دقیقه با دور ٦۰۰۰ سانتریفیوژ شدند، پس از اتمام سانتریفیوژ محلول حاصل جدا شد و به یک فالکون دیگر انتقال داده شد. به رسوب باقی مانده مجدداً ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه گردید و پس از این‌که خوب مخلوط شد، مجدداً با دور ٦۰۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول به‌دست آمده به محلول قبلی اضافه شد. به‌منظور تعیین کربوهیدرات کل ۵۰ میکرولیتر از عصاره حاصل به سه میلی‌لیتر محلول آنترون (شامل ۱۵۰ میلی‌گرم آنترون خالص در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) تازه تهیه

1- Specific Leaf Area

شده اضافه گردید و سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ٦٢٥ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis array Spectrophotometer, Photonix-Ar2017, Iran) ثبت شد. مقدار کربوهیدرات محلول بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان گردید. برای رسم منحنی استاندارد از گلوکز خالص با غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گلوکز استفاده شد (۱۹).

اندازه‌گیری فنل کل: برای تعیین میزان فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از نمونه‌ها عصاره‌گیری شد. برای این منظور یک گرم از بافت تازه برگ بالغ و توسعه یافته با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد مخلوط و به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق روی شیکر انکوباتور قرار داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند.

ارزیابی فنول کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو[1] و روش چن و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. برای این منظور ۲۵۰ میکرولیتر عصاره، با ۱/۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر فولین سیوکالتیو مخلوط شد و پس از گذشت دو دقیقه یک میلی‌لیتر سدیم کربنات (Na_2CO_3) ۲۰ درصد به آن اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای اتاق و در تاریکی قرار داده شدند و در نهایت جذب آن‌ها در طول موج ۷۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis array Spectrophotometer, Photonix-Ar2017, Iran) اندازه‌گیری شد. مقدار ترکیبات فنلی کل بر اساس معادل میکروگرم گالیک اسید بر گرم وزن تر بیان گردید. برای رسم نمودار استاندارد از غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤٠٠ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر گالیک اسید استفاده گردید (۲۰).

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: برای تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH[2] استفاده شد. برای این منظور ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده با ۱/۸ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر محلول DPPH ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی قرار گرفتند و در نهایت جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis array Spectrophotometer, Photonix-Ar2017, Iran) خوانده شد. برای تهیه محلول کنترل نیز تمامی مراحل تهیه محلول نمونه تکرار شد، فقط به جای عصاره گیاه از متانول ۸۰ درصد (حلال عصاره) استفاده گردید. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نیز از رابطه زیر به‌دست آمد (۲۰).

درصد مهارکنندگی = (۱- (جذب نمونه / جذب کنترل)×۱۰۰

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۱ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

شاخص‌های ریخت‌شناسی و رشدی گیاه: نتایج نشان داد شاخص‌های ریخت‌شناسی و رشدی گیاه مریم گلی تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار گرفت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول‌های ۱ و ۲) بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار نور قرمز و کم‌ترین آن در نور قرمز: آبی (۵۰:۵۰) مشاهده شد. بیش‌ترین وزن تر و وزن خشک اندام هوایی در

1- Folin-Ciocalteu

2- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

طیف نور قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و کم‌ترین مقدار آن در طیف نور آبی مشاهده شد. از طرفی، وزن تر و خشک ریشه در تیمارهای نور قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و قرمز: آبی (۵۰:۵۰) در مقایسه با گیاهان رشد یافته در تیمار نور سفید افزایش و در نور قرمز کاهش یافت. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد برگ‌ها در بوته به ترتیب در طیف‌های نور قرمز و آبی، بیش‌ترین حجم ریشه در تیمار قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و قرمز: آبی (۵۰:۵۰) و کم‌ترین حجم ریشه در طیف نور قرمز به‌دست آمد. طول ریشه نیز تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار گرفت به‌طوری‌که بلندترین طول ریشه در طیف‌های نوری قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و قرمز: آبی (۷۰:۳۰) و کوتاه‌ترین طول ریشه در طیف نوری قرمز مشاهده شد. طیف نور قرمز بیش‌ترین شاخص سطح ویژه برگ و طیف نور قرمز: آبی (۵۰:۵۰) کم‌ترین آن را به خود اختصاص داد. نتایج حاصله نشان داد در طیف‌های نوری قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و قرمز: آبی (۵۰:۵۰) بیش‌ترین مقدار قطر ساقه و در طیف‌های نور سفید و قرمز کم‌ترین مقدار آن مشاهده شد. بلندترین طول میانگره در نور قرمز و سفید و کم‌ترین طول میانگره در نورهای ترکیبی قرمز و آبی مشاهده شد و در بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین طول برگ در نور قرمز مشاهده شد و در بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین تعداد انشعابات جانبی در نور آبی مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد گره در نور قرمز: آبی (۳۰:۷۰) مشاهده شد و در بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

راجو و همکاران (۲۰۱۳) و منیر و همکاران (۲۰۱٤) بیان کردند که ساختار و فیزیولوژی گیاهان توسط سیگنال‌های نوری تنظیم می‌شود و پاسخ‌های اولیه گیاهان برای فتوسنتز، رشد و عملکرد به شرایط نور بستگی دارد (۲۱، ۲۲). در این مطالعه شاخص‌های ریخت‌شناسی و رشدی گیاه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار گرفت. نورهای ترکیبی قرمز و آبی در مقایسه با نورهای قرمز و آبی تک طیف باعث بهبود شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه شد. نور قرمز و آبی، حاوی طول موج‌های اصلی نور برای رشد و نمو گیاهان هستند (۲۳). تأثیر نور قرمز و آبی عمدتاً مربوط به طیف جذبی کلروفیل a و b است که طول موج‌های محدوده نورهای قرمز و آبی را به‌طور مؤثرتری جذب می‌کنند (۲، ٢٤). نشان داده شده است که نور قرمز به‌طورکلی رشد گیاه را با افزایش وزن تر و خشک، ارتفاع و سطح برگ گیاهان افزایش می‌دهد. در حالی‌که نور آبی به جای تأثیر مستقیم بر زیست‌توده، بر عملکرد فتوسنتزی، تشکیل کلروفیل و توسعه کلروپلاست‌ها تأثیر می‌گذارد (۲۵، ۲٦، ۲۷). در مطالعه حاضر افزایش نسبت نور آبی منجر به کاهش رشد و برعکس افزایش نسبت نور قرمز منجر به بهبود شاخص‌های رشدی در گیاه مریم گلی شد. نانیا و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که نرخ بالای نور آبی باعث کاهش ارتفاع و زیست‌توده و نرخ بالای نور قرمز باعث افزایش ارتفاع و زیست‌توده می‌گردد (۲۸). هم‌چنین در مطالعات متعددی نشان داده شده است که نور قرمز در مقایسه با سایر نورها باعث افزایش ارتفاع گیاه شده است و نور آبی با تنظیم بیان ژن‌ها از رشد سلولی جلوگیری می‌کند و نسبت بالاتر نور آبی کاهش وزن خشک را در پی خواهد داشت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۲۹). علت افزایش ارتفاع گیاه با نور قرمز به تغییر در سطوح هورمون‌های رشد بر می‌گردد. نور قرمز و آبی با تغییر در سطح جیبرلین در گیاه بر طویل شدن ساقه تأثیر می‌گذارند. در مطالعه حاضر کم‌ترین تعداد و

بزرگ‌ترین برگ‌ها (بیش‌ترین طول و عرض برگ) در محیط نوری آبی به دست آمد، مطالعات مشابه نشان داد که طیف نور آبی باعث گسترش برگ و افزایش سطح برگ می‌شود (۲۶، ۳۰، ۳۱). در مطالعات متعددی گزارش شده است که کاربرد ترکیبی نور قرمز و آبی باعث اثرات سینرژیکی آن‌ها شده و خصوصیات رشدی و عملکردی گیاهان افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش مطابق دارد (۲۷، ۳۲، ۳۳). در این مطالعه اگرچه افزایش نسبت نور قرمز باعث افزایش رشد گیاه شد، اما در گیاهان رشد یافته در زیر نور قرمز تک رنگ، علائم سندروم نور قرمز (اپی‌ناستی برگ) مشاهده شد که باعث اختلال در سیستم انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود. از طرفی، در نورهای ترکیبی قرمز و آبی این اختلالات مشاهده نشد. در پژوهش‌های متعددی نیز تغییر شکل برگ‌ها در زیر نور قرمز گزارش شده است (۳٤، ۳۵، ۳٦). طبق پژوهش‌های انجام شده طیف نور آبی ضخامت اپیدرم و سلول‌های مزوفیل را افزایش می‌دهد، درحالی‌که طیف نور قرمز ضخامت برگ و بافت اسفنجی را کاهش می‌دهد (۳۷، ۳۸). مطابق با این یافته‌ها، در این پژوهش بیش‌ترین سطح ویژه برگ در نور قرمز مشاهده شد و نشان‌دهنده ضخامت پایین برگ در این محیط نوری می‌باشد.

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر محیط‌های مختلف نوری بر خصوصیات رویشی گیاه مریم گلی.

Table 1. Mean comparison of the effect of different light environments on growth characteristics of sage plant.

طیف نور Light spectrum	وزن تر کل اندام هوایی (g) Biomass Fresh weight	وزن تر ریشه (g) Root fresh weight	وزن تر برگ (g) Leaf fresh weight	وزن تر ساقه (g) Stem fresh weight	وزن خشک کل اندام هوایی (g) Biomass dry weight	وزن خشک ریشه (mg) Root dry weight	وزن خشک برگ (g) Leaf dry weight	وزن خشک ساقه (g) Stem dry weight
سفید White	15.79^{c}	0.71^{d}	6.47^{bc}	9.04^{b}	2.67^{b}	71.18^{c}	0.93^{cd}	1.7^{b}
قرمز ۷۰:آبی ۳۰ R70B30	20.32^{a}	1.34^{ab}	8.93^{a}	10.45^{a}	3.65^{a}	140.68^{a}	1.46^{a}	2.2^{a}
قرمز Red	17.87^{b}	0.31^{e}	6.6^{bc}	10.59^{a}	2.31^{cd}	30.44^{d}	0.79^{d}	1.52^{bc}
قرمز ۳۰:آبی ۷۰ R30B70	14.73^{cd}	1.12^{bc}	6.94^{bc}	7.3^{c}	2.47^{c}	112.4^{b}	1.05^{bc}	1.43^{bc}
آبی Blue	11.59^{e}	0.89^{cd}	5.47^{c}	5.58^{d}	2.16^{d}	94.78^{b}	0.94^{cd}	1.25^{c}
قرمز ۵۰:آبی ۵۰ R50B50	14.16^{d}	1.48^{a}	7.31^{b}	6.65^{cd}	2.7^{b}	156.08^{a}	1.2^{b}	1.51^{bc}

جدول ۲- خصوصیات ریخت‌شناسی گیاه مریم گلی تحت تیمارهای مختلف نوری.

Table 2. Morphological characteristics of sage plant under different light treatments.

قطر ساقه (mm) Stem diameter	تعداد برگ در بوته Number of leaves.Plant^{-1}	طول برگ (mm) Leaf length	عرض برگ (mm) Leaf width	سطح برگ (cm^2) Leaf area	تعداد گره‌ها Number of nodes	ارتفاع گیاه (cm) Plant height	طول ریشه (cm) Root length	حجم ریشه (ml) Root volume	طول میانگره (cm) Internode length	تعداد شاخه‌های جانبی Number of branches	سطح ویژه برگ (cm^2/mg) Specific leaf area	طیف نور Light spectrum
2.16^{d}	76.4^{c}	40.03^{ab}	12.41^{bc}	301.76^{bc}	11.1^{bc}	71^{b}	34.66^{b}	0.75^{c}	6.41^{a}	5.83^{b}	326.08^{b}	سفید White
3.5^{a}	95.8^{b}	38.85^{ab}	13.37^{b}	402.14^{a}	12.76^{ab}	54.83^{c}	43.16^{a}	1.33^{a}	4.3^{c}	7.83^{a}	276.51^{bc}	قرمز:۷۰:آبی ۳۰ R70B30
2.3^{cd}	103.4^{a}	33.8^{b}	10.57^{c}	307/71^{bc}	13.23^{a}	75.6^{a}	22.3^{c}	0.5^{d}	5.72^{ab}	6.4^{ab}	386.32^{a}	قرمز Red
2.91^{b}	74.2^{c}	41.2^{a}	14.05^{ab}	325^{b}	11.06^{bc}	49^{d}	40^{a}	1.05^{b}	4.48^{c}	6.83^{ab}	312.13^{bc}	قرمز:۳۰:آبی ۷۰ R30B70
2.78^{bc}	48.6^{e}	45.01^{a}	15.86^{a}	258.56^{c}	9.73^{c}	51.5^{d}	35^{b}	0.98^{bc}	5.28^{b}	3.66^{c}	275.25^{bc}	آبی Blue
3.45^{a}	57.4^{d}	44.73^{a}	15.41^{a}	316.33^{bc}	9.93^{c}	39.16^{e}	34.5^{b}	1.35^{a}	4^{c}	6^{b}	263.82^{c}	قرمز:۵۰:آبی ۵۰ R50B50

میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ: نتایج نشان داد میزان کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل a و b، نسبت کلروفیل a/b و کاروتنوئید در گیاه مریم گلی تحت طیف‌های مختلف نوری متفاوت بود. مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a در محیط‌های نوری قرمز: آبی (۵۰:۵۰) و قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و کم‌ترین میزان کلروفیل a در محیط نوری سفید و آبی به دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل b به ترتیب در محیط‌های نوری قرمز: آبی (۵۰:۵۰) و سفید مشاهده شد. نسبت کلروفیل a/b در گیاهان رشد یافته در محیط نوری سفید بیش‌ترین مقدار بود و تفاوت معنی‌داری در نسبت کلروفیل a/b گیاهان در سایر تیمارها مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان مجموع کلروفیل a و b در محیط نوری قرمز: آبی (۵۰:۵۰) و قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و کم‌ترین میزان مجموع کلروفیل a و b در نور سفید مشاهده شد. گیاهان رشدیافته در محیط‌های نوری سفید و قرمز: آبی (۵۰:۵۰) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کاروتنوئید را نشان دادند (شکل ۲).

کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها که به‌عنوان رنگدانه‌های اصلی فتوسنتزی در نظر گرفته می‌شوند، بیش‌تر مسئول جذب نورهای قرمز و آبی هستند که برای تامین انرژی مورد نیاز برای رشد گیاه ضروری می‌باشند (۳۹). ثابت شده است که ترکیب نور قرمز و

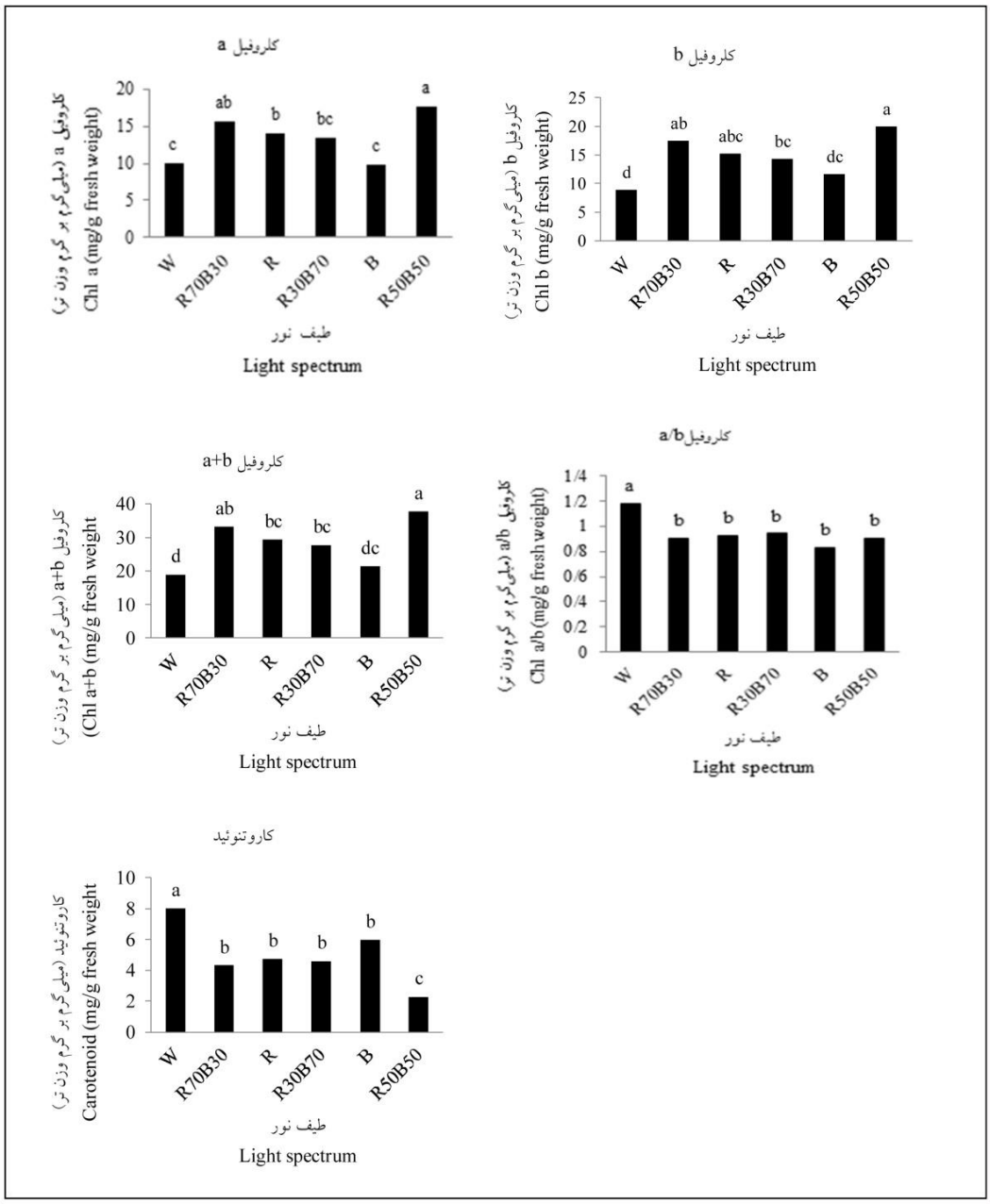
آبی می‌تواند بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر بگذارد (۳۳، ٤۰، ٤۱). لفسرود (۲۰۰۸) و راماکریشنا و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کیفیت نور تأثیر زیادی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد و بیش‌ترین غلظت کلروفیل α و کلروفیل کل در تیمار نور قرمز: آبی و بیش‌ترین غلظت کلروفیل b و کاروتنوئیدها را در گیاهان رشدیافته تحت نور آبی گزارش نمودند (٤۲، ٤۳). مطابق با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، وانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که طیف نور آبی و قرمز ترکیبی اثرات مثبتی بر رنگدانه‌ها داشته و در نتیجه رشد و عملکرد گیاهان نیز بهبود خواهد یافت (۲۵). علاوه بر این، گزارش شده است که نور آبی باعث ایجاد تغییرات در رشد، تراکم، باز و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سنتز کلروفیل می‌شود در حالی که نور قرمز سنتز کلروفیل را القا می‌کند و باعث افزایش میزان رونویسی mRNAهای کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور در PSII می‌شود (٤٤). کاربرد ترکیبی نورهای قرمز و آبی باعث افزایش میزان کلروفیل گیاه می‌شود (٤۵). هم‌چنین حسینی و همکاران (۲۰۱۹) افزایش تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارایی انتقال الکترون و شاخص‌های رشد واریته‌های سبز و بنفش ریحان را تحت طیف نورهای ترکیبی قرمز و آبی گزارش کردند (۳۵). مطابق با این یافته‌ها، در این مطالعه نیز بیش‌ترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل در نورهای ترکیبی قرمز و آبی مشاهده شد.

میزان کلروفیل بیش‌تر نشان‌دهنده بالاترین ظرفیت جذب نور و در نتیجه ظرفیت بالاتری برای آنزیم‌های چرخه کالوین و انتقال الکترون بر اساس کلروفیل ایجاد می‌شود و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد (٤٦). در مطالعه حاضر، گیاهانی که تحت تیمارهای نور ترکیبی قرمز و آبی (۳۰:۷۰) پروش یافتند، دارای بیش‌ترین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی بودند که منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و بهبود شاخص‌های رشدی شد.

میزان فنل کل: طیف‌های نوری مختلف تفاوت معنی‌داری بر میزان فنل کل داشتند (شکل ۳). بیش‌ترین میزان فنول مربوط به محیط‌های نوری قرمز: آبی (۵۰:۵۰) و قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و کم‌ترین فنول کل در تیمارهای نور قرمز و قرمز: آبی (۷۰:۳۰) مشاهده شد.

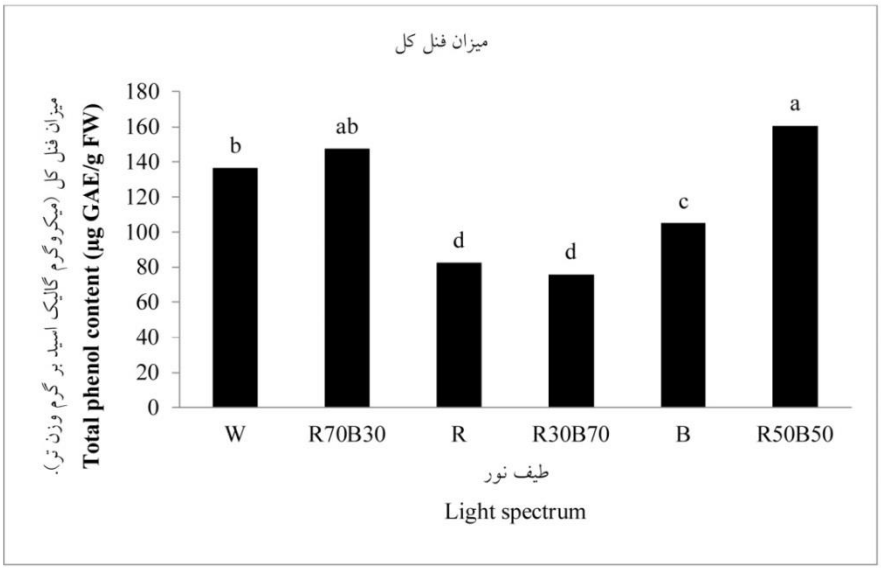
طیف‌های مختلف نور با تأثیر بر بیان ژن‌های برخی آنزیم‌های درگیر در مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه منجر به تغییر در صفات زیست شیمیایی گیاه می‌گردند. افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در گیاهان ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های مربوط به سنتز این ترکیبات باشد که منجر به بهبود سنتز و تولید ترکیبات مذکور می‌شود (٤۷). هم‌چنین، افزایش سطوح این ترکیبات توسط نور ممکن است با افزایش تولید Coumaroyl-CoA و Malonyl-CoA مرتبط باشد که برای بیوسنتز ترکیبات فنلی به عنوان سوبسترا عمل می‌کنند (٤۸). در پژوهش‌های متعددی نشان داده شده است که استفاده از نور آبی تک طیف یا به‌صورت ترکیبی (قرمز: آبی) باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه همانند فنول‌ها می‌گردد (٤۹). نور آبی از طریق افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (آنزیم کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید) باعث افزایش ترکیبات فنلی می‌شود (۵۰). مطابق با یافته‌های این پژوهش، در ریحان سبز، گل استکانی، گل رز و گل داودی بیش‌ترین میزان ترکیبات فنلی در نور ترکیبی قرمز: آبی مشاهده شد (۵۱، ۵۲).

در گیاهان رشدیافته تحت نور ترکیبی قرمز و آبی (قرمز: آبی (۵۰:۵۰) و قرمز: آبی (۳۰:۷۰) نسبت به گیاهان پرورش‌یافته تحت نورهای تک طیف (قرمز و آبی) به‌دلیل افزایش سرعت فتوسنتز، متابولیت‌های اولیه کافی جهت بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مانند ترپن‌ها و فنل‌ها (متابولیت‌های ثانویه) در دسترس می‌باشد.



شکل ۲- میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه مریم گلی رشدیافته تحت طیف‌های مختلف نوری با شدت نور یکسان.

Fig. 2. Photosynthetic pigments content in the sage plants grown under different light spectra with same intensity.



شکل ۳- میزان فنل کل گیاه مریم گلی رشد یافته تحت طیف‌های مختلف نوری با شدت نور یکسان.

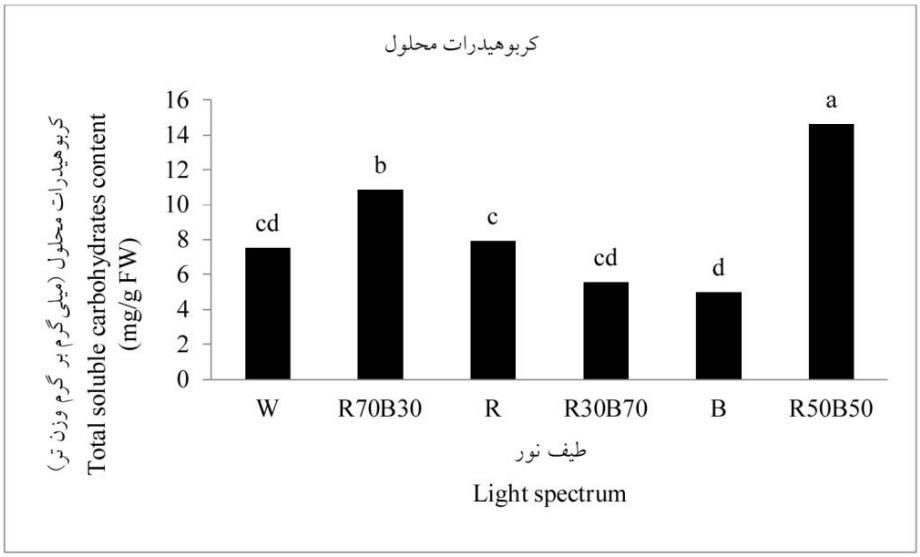
Fig. 3. Total phenolic content in the sage plants grown under different light spectra with same intensity.

کربوهیدرات محلول: نتایج مقایسه میانگین اثر طیف‌های مختلف نوری بر میزان کربوهیدرات محلول در شکل ٤ ارائه شده است. نتایج بیانگر آن است که میزان کربوهیدرات محلول تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار گرفت. در این مطالعه، افزایش قابل‌توجهی در میزان کربوهیدرات محلول تحت نورهای ترکیبی قرمز و آبی در مقایسه با نور سفید وجود داشت. کربوهیدرات‌های محلول مانند ساکارز، گلوکز و فروکتوز با تنظیم ورود کربن به گیاهان در رویدادهای مختلف رشدی و فیزیوژیک نقش مهمی را ایفا می‌کنند. تابت شده است که کیفیت نور می‌تواند متابولیسم کربوهیدرات را در گیاهان تنظیم کند و از این طریق بر رشد گیاهان تأثیرگذار باشد. مطالعات قبلی نشان داد که نور قرمز می‌تواند تجمع محصولات فتوسنتزی را در گیاهان تقویت کند. به این ترتیب، نور ترکیبی قرمز با آبی منجر به تجمع بیش‌تر این ترکیبات شد (۵۳).

در مطالعه لی و همکاران (۲۰۱۷) مشخص گردید که افزایش نسبت نور قرمز از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های ساکارز سینتاز و ساکارز فسفات سینتاز بهترین اثر را در تجمع فروکتوز برگ و غلظت گلوکز در گوجه‌فرنگی در بین تیمارهای نوری مختلف دارد (٥٤). در پژوهش بلیزنیکاس و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش نسبت نور قرمز باعث افزایش میزان کربوهیدرات، به خصوص ساکارز در شوید و جعفری شد (۵۵). در سه گیاه گل ابری، همیشه بهار و گل جعفری نور ترکیبی قرمز: آبی (۵۰:۵۰) نسبت به نورهای تک رنگ آبی و قرمز سبب افزایش نشاسته و ساکارز گردید (٥٦). نور قرمز تکمیل شده با نور آبی می‌تواند عملکرد فتوسنتز گیاه را افزایش داده و تولید متابولیت‌های اولیه و وزن خشک را بهبود بخشد، اما ثابت شده است که در این ترکیب نوری، اگر شدت نور آبی از حد آستانه‌ای بیش‌تر شود وزن گیاه کاهش می‌یابد که این حد آستانه بین گونه‌ها متفاوت است (۵۷، ۵۸). در گیاهانی که تحت نورهای تک‌طیف قرمز و آبی قرار پرورش یافته‌اند، یکسری ناهنجاری‌هایی مشاهده شده است. برای مثال در گیاهان پرورش یافته خیار (*Cucumis sativus*) تحت نور قرمز تک‌طیف، سندرم کمبود طیف[1] مشاهده شد که همین موضوع

1- Spectral Deficiency Syndrome

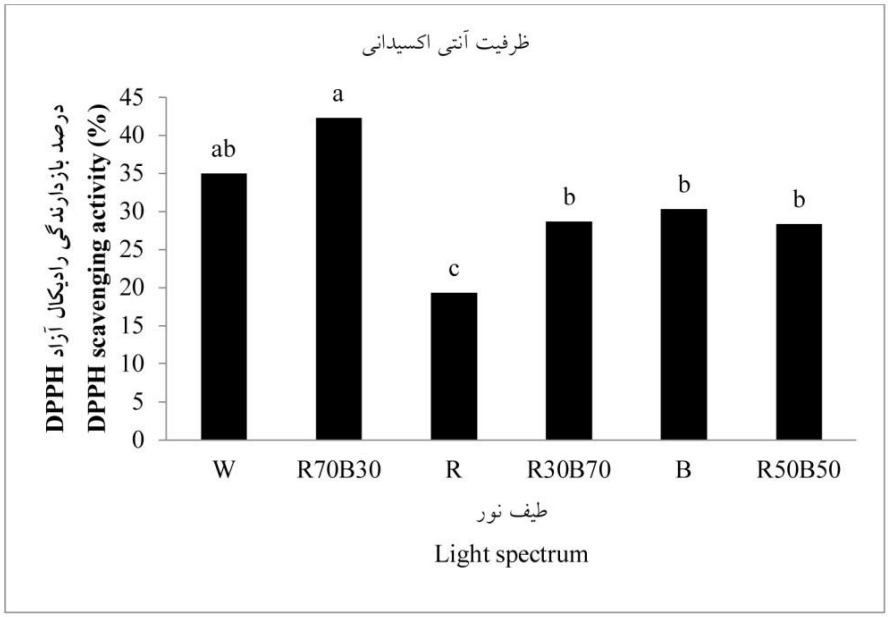
باعث عملکرد غیرطبیعی دستگاه فتوسنتزی و کاهش متابولیت‌های اولیه (کربوهیدرات) و در نهایت منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه گردید (۳۳، ۵۹). بنابراین، وقتی از هر دو نور آبی و قرمز با نسبت بهینه استفاده می‌شود، اثرات سینرژیک آن‌ها قابل مشاهده است و سرعت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها افزایش پیدا می‌کند.



شکل ٤- میزان کربوهیدرات محلول گیاه مریم گلی رشدیافته تحت طیف‌های مختلف نوری با شدت نور یکسان.

Fig. 4. Total soluble carbohydrates content in the sage plants grown under different light spectra with same intensity.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تفاوت معنی‌داری را در گیاهان رشدیافته تحت طیف‌های مختلف نور نشان داد. بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تیمار نور قرمز: آبی (۳۰:۷۰) و سفید (به ترتیب ٤۲/۳۳ و ۳۵ درصد) و کم‌ترین آن در نور قرمز (۱۹/۳۳) مشاهده شد (شکل ۵). گیاهان با تولید ترکیباتی همانند فنول‌ها و ترپنوئیدها که فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند، در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن از خود محافظت می‌کنند (٦۰). به‌طورکلی، بالا بودن مقدار ترکیبات فنولی باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از آسیب‌های اکسیداتیو در گیاه می‌شود (٦۱). مطابق با این یافته‌ها، نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده بالابودن فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نورهای قرمز: آبی به‌ویژه قرمز: آبی (۳۰:۷۰) که دارای بیش‌ترین میزان ترکیبات فنولی بودند، می‌باشد. در مطالعه کاپور و همکاران (۲۰۱۸) بیش‌ترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه *Rhodiola imbricata* در طیف نور سفید گزارش شد (٦۲). رن و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف نور LED روی گیاه ژینورا (*Gynura bicolor*) نشان دادند که افزایش میزان نور آبی از ۱۵ درصد به ۳۰ درصد منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در عصاره و تجمع آنتوسیانین و فلاونوئیدها شده است (٦۳). هم‌چنین بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل کل و آنتوسیانین در دو واریته ریحان تحت تیمار نوری قرمز: آبی (۳۰:۷۰) مشاهده شد (٦٤) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.



شکل ۵- ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه مریم گلی رشدیافته تحت طیف‌های مختلف نوری با شدت نور یکسان.

Fig. 5. Antioxidant activity in the sage plants grown under different light spectra with same intensity.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، خصوصیات ریخت‌شناسی، رشدی و زیست‌شیمیایی گیاه مریم گلی تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نوری قرار گرفتند. طبق نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین وزن تر و وزن خشک اندام هوایی در طیف نور ترکیبی قرمز: آبی (۷۰: ۳۰) و کم‌ترین میزان آن در طیف نور آبی به‌دست آمد. از طرفی در نور قرمز تک‌طیف به دلیل اختلال در توزیع هورمون اکسین در برگ علائم سندروم نور قرمز (اپی‌ناستی برگ) در گیاهان رشد یافته در این تیمار نوری مشاهده شد. بیش‌ترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل، مقدار فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و قند محلول در گیاهان رشدیافته در محیط‌های نوری ترکیبی قرمز و آبی (به ویژه قرمز: آبی ۷۰:۳۰) به‌دست آمد. نور قرمز و آبی ترکیبی بیش‌ترین تأثیر را بر رشد گیاه و بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه دارند، زیرا آن‌ها منابع اصلی انرژی برای جذب CO_2 فتوسنتزی در گیاهان هستند. بر اساس نتایج این پژوهش، نورهای تک‌طیف قرمز و آبی برای رشد و تولید متابولیت‌های ثانویه مناسب نیستند. در حالی که در محیط‌های نوری ترکیبی قرمز: آبی به ویژه نور قرمز: آبی (۷۰:۳۰) بیش‌ترین شاخص‌های بیوشیمیایی، رشدی و عملکردی مشاهده شد. در نتیجه جهت تولید اقتصادی این گیاه در محیط‌های کنترل شده و هم‌چنین روش‌های نوین کشاورزی و کشت طبقاتی، کاربرد این محیط نوری پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Aliniaeifard, S., Seif, M., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Li, T. & Lastochkina, O. (2018). Growth and photosynthetic performance of *Calendula officinalis* under monochromatic red light. *Int. J. Hort. Sci. Technol*. 5, 123-132.
2. Son, K. H. & Oh, M. M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red lights emitting diodes. *Hort. Sci*. 48, 988-995.
3. Haliapas, S., Yupsanis, T. A., Syros, T. D., Kofidis, G. & Economou, A. S. (2008). *Petunia* × *hybrid* during transition to flowering as affected by light intensity and quality treatments. Acta Physiol. *Plant*. 30, 807-815.
4. Cashmore, A. R., Jarillo, J. A., Wu, Y. J. & Liu, D. (1999). Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals. *Science*. 284, 760-765.
5. Briggs, W. R. & Huala, E. (1999). Blue light photoreceptors in higher plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol*. 15(1), 33-62.
6. Franklin, K. A. & Whitelam, G. C. (2005). Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot*. 96(2), 169-175.
7. Kim, H. J., Lin, M. Y. & Mitchell, C. A. (2019). Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes. *Environ. Exp. Bot*. 157, 228-240.
8. Mitchell, C., Both, A. J., Bourget, M., Burr, J., Kubota, C., Lopez, R., Morrow, R. & Runkle, E. (2012). LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chron Hort*. 52, 1-9.
9. Goto, E. (2012). Plant production in a closed plant factory with artificial lighting. *Acta Hort*. 956, 37-49.
10. Nelson, J. A. & Bugbee, B. (2014). Economic analysis of greenhouse lighting: Light emitting diodes vs. high intensity discharge fixtures. *PLoS One*. 9 (6), 99010.
11. Gruda, N. & Tanny, J. (2014). Protected crops. In Dixon, G.R. and Aldous, D.E. (eds). Horticulture Plants for people and places. Vol. 1: Production horticulture, Springer Science and Business Media, *Dordrech*. Pp. 327-405.
12. Yorio, N. C., Goins, G. D., Kagie, H. R., Wheeler, R. M. & Sager, J. C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*. 36, 380-383.
13. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E. & Marcelis, L. F. M. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse grown tomatoes, but only to an optimum. *Front. J. Plant Sci*. 9, 1-11.
14. Naznin, M., Lefsrud, M., Gravel, V. & Aza, M. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*. 8, 93.
15. Zotov, V. S., Bolychevtseva, Yu. V., Khapchaeva, S. A., Terekhova, I. V., Shubin, V. V., Yurina, N. P. & Kulchin, Yu. N. (2020). Effect of Light Quality on the Biomass Yield, Photosystem 2 Fluorescence, and the Total Essential Oil Content of *Ocimum basilicum*. *Appl. Biochem. Microbiol*. 56(3), 336-343.
16. Omidbeigi, R. (2009). production and processing of medicinal plants, Astan Quds Razavi Publication, Mashhad. 290p. [In Persian]
17. Zuk-Gołaszewska, K., Upadhyaya, M. K. & Gołaszewski, J. (2003). The effect of UV-B radiation on plant growth and development. *Plant Soil Environ*. 49, 135-140.
18. Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans*. 603, 591-592.
19. Irigoyen, J., Einerich, D. & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plant*. 84, 55-60.

20.Chen, S., Shen, X., Cheng, S., Li, P., Du, J., Chang, Y. & Meng, H. (2013). Evaluation of garlic cultivars for polyphenolic content and antioxidant properties. *PLoS One*. 8 (11), 1-12.
21.Raju, S., Shah, S. & Gajbhiye, N. (2013). Effect of light intensity on photosynthesis and accumulation of sennosides in plant parts of senna (*Cassia angustifolia* Vahl.). *Indian J. Plant Physiol*. 3, 285-289.
22.Muneer, S., Kim, E. J., Park, J. S. & Lee, J. H. (2014). Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci*. 15, 4657-4670.
23.Kozai, T. (2016). LED lighting for urban agriculture. In: Kozai T (ed) LED lighting for urban agriculture. Springer, Singapore. 4-10.
24.Hopkins, W. G. (1999). Introduction to plant physiology. Wiley, Hoboken. 512p.
25.Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y. & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO_2 assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *J. Photochem. Photobiol. B, Biol*. 96, 30-37.
26.Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. N. & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seed quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *Hort. Sci*. 45, 1809-1814.
27.Savvides, A., Fanourakis, D. & Van Ieperen, W. (2011). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *J. Exp. Bot*. 63, 1135-1143.
28.Nanya, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S. & Goto, E. (2012). Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. *Acta Hort*. 956, 261-266.
29.Banerjee, R. & Batschauer, A. (2005). Plant blue-light receptors. *Planta*. 220 (3), 498-502.
30.Li, H. M., Xu, Z. G. & Tang, C. M. (2010). Effect of light emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tiss Organ Cult*. 103, 155-163.
31.Wang, X., Xu, X. & Cui, J. (2015). The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. *Photosyn*. 53, 213-222.
32.Stutte, G. W., Edney, S. & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *Hort. Sci*. 44, 79-82.
33.Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., Van Ieperen, W. & Harbinson, J. (2010). Blue light dose responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *J. Exp. Bot*. 61, 3107-3117.
34.Seif, M., Aliniaeifard S., Arab, M., Mehrjerdi, M. Z., Shomali, A., Fanourakis, D., Li, T. & Woltering, E. (2021). Monochromatic red light during plant growth decreases the size and improves the functionality of stomata in *chrysanthemum*. *Funct. Plant Biol*. 48, 515-528.
35.Hosseini, A., Zare Mehrjerdi, M., Aliniaeifar, S. & Seifi, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 25 (3), 741-752.
36.Bayat, L., Arab, M., Aliniaeifard, S., Seif, M., Li, T. & Lastochkina, O. (2018). Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. *AoB Plants*. 10, 52.
37.Saeboe, A., Krekling, T. & Appelgren, M. (1995). Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tiss Organ Cult*. 41 (2), 177-185.
38.Macedo, A. F., Leal-Costa, M. V., Tavares, E. S., Lage, C. L. S. & Esquibel, M. A. (2011). The effect of

light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze. *Environ. Exp. Bot*. 70 (1), 43-50.
39. 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 Regul*. 73 (13), 227-235.
40. Hernandez, R. & Kubota, C. (2015). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot*. 121 (1), 66-74.
41. Wang, J., Lu, W., Tong, Y. & Yang, Q. (2016). Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. Front. *Plant Sci*. 7, 250.
42. Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A. & Sams, C. E. (2008). Irradiance from distinct wavelength light emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *Hort. Sci*. 43, 2243-2244.
43. Ramakrishna, A., Dayananda, C., Giridhar, P., Rajasekaran, T. & Ravishankar, G. A. (2011). Photoperiod influences endogenous indoleamines in cultured green alga *Dunaliella bardawil*. *Indian J. Exp. Biol*. 49, 234-240.
44. Kinoshita, T., Doi, M., Suetsugu, N., Kagawa, T., Wada, M. & Shimazaki, K. I. (2001). Phot1 and Phot2 mediate blue light regulation of stomatal opening. *Nature*. 414, 656-660.
45. Wu, M. C., Hou, C. Y., Jiang, C. M., Wang, Y. T., Wang, C. Y., Chen, H. H. and Chang, H. M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chem*. 101, 1753-1758.
46. Evans, J. R. (1988). Acclimation by the thylakoid membranes to growth irradiance and the partitioning of nitrogen between soluble and thylakoid proteins. *Funct. Plant Biol*. 15 (2), 93-106.
47. Meng, X., Xing, T. & Wang, X. (2004). The role of light in the regulation of anthocyanin aaccumulation in *Gerbera hybrida*. *Plant Growth Regul*. 44 (3), 243-250.
48. Kim, E. H., Kim, S. H., Chung, J. I., Chi, H. Y., Kim, J. A. & Chung, I. M. (2006). Analysis of phenolic compounds and isoflavones in soybean seeds (*Glycine max* L.) and sprouts grown under different conditions. *Eur. Food Res. Technol*. 222(2), 201-208.
49. Verma, R. S., Padalia, R. C. & Chauhan, A. (2012). Variation in the volatile terpenoids of two industrially important basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars during plant ontogeny in two different cropping seasons from India. *J. Sci. Food Agric*. 92 (3), 626-631.
50. Connor, A. M., Finn, C. E. & Alspach, P.A. (2005). Genotypic and environmental variation in antioxidant activity and total phenolic content among blackberry and hybrid berry cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci*. 130(4), 527-533.
51. Iwai, M., Ohta, M., Tsuchiya, H. & Suzuki, T. (2010). Enhanced accumulation of caffeic acid, rosmarinic acid and luteolin-glucoside in red perilla cultivated under red diode laser and blue LED illumination followed by UV-A irradiation. *J. Funct. Foods*. 2(1), 66-70.
52. Ouzounis, T., Fretté, X., Rosenqvist, E. & Ottosen, C. O. (2014). Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *J. Plant Physiol*. 171, 1491-1499.
53. Zheng, J., Hu, M. J. & Guo, Y. P. (2008). Regulation of photosynthesis by light quality and its mechanism in plant. *Chin. J. Appl. Ecol*. 19, 1619-1624.
54. Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F. & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Sci. Hort*. 225, 490-497.
55. Bliznikas, Z., Arturas, Z., Samuoliene, G., Viršilė, A., Brazaitytė, A. J. J. & Duchovskis, P. A. N. (2012). Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of green vegetables. *Acta Hort*. 939, 85-91.

56.Heo, J. W., Lee, C. W. & Paek, K. Y. (2006). Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. *J. Plant Biol*. 49, 286-290.
57.Naznin, M., Lefsrud, M., Gravel, V. & Hao, X. (2016). Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. *Acta Hort*. 1134(30), 223-230.
58.Verma, S. K., Gantait, S., Jeong, B. R. & Hwang, S. J. (2018). Enhanced growth and cardenolides production in *Digitalis purpurea* under the influence of different LED exposures in the plant factory. *Sci. Rep*. 8, 18009.
59.Trouwborst, G., Hogewoning, S. W., van-Kooten, O., Harbinson, J. & van-Ieperen, W. (2016). Plasticity of photosynthesis after the red light syndrome in cucumber. *J. Exp. Bot*. 121 (1), 75-82.
60.Grassmann, J., Hippeli, S. & Elstre, E. F. (2002). Plants defense mechanism and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress. *Plant Physiol. Biochem*. 40, 471-478.
61.Reddy, N. S., Navanesan, S., Sinniah, S. K., Wahab, N. A. & Sim, K. S. (2012). Phenolic content, antioxidant effect and cytotoxic activity of *Leea indica* leaves. *BMC Complement Altern Med*. 12 (128), 1472-6882.
62.Kapoor, S., Raghuvanshi, R., Bhardwaj, P., Sood, H., Saxena, S. & Chaurasia, O. P. (2018). Influence of light quality on growth, secondary metabolites production and antioxidant activity in callus culture of *Rhodiola imbricata* Edgew. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol*. 183, 258-265.
63.Ren, J., Guo, S., Xu, C., Yang, C., Ai, W., Tang, Y. & Qin, L. (2014). Effects of different carbon dioxide and LED lighting levels on the anti-oxidative capabilities of *Gynura bicolor* DC. *Adv. Space Res*. 53 (2), 353-361.
64.Hosseini, A., Zare Mehrjerdi, M. & Aliniaeifar, S. (2019). Alteration of Bioactive Compounds in Two Varieties of Basil (*Ocimum basilicum*) Grown Under Different Light Spectra. *J. Essent. Oil-Bear*. 21 (4), 913-923.