

Effect of Red and Blue LED Lights on Morphological and Physiological Characteristics of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.)

F. Esmaeili¹, H. Bayat¹, H. Nastari Nasrabadi^{2*}, M.H. Aminifard¹

1- Department of Horticulture Science and Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Department of Horticulture Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran

(* - Corresponding author's Email: nastari@tjamcaas.ac.ir)

Received: 31 October 2024
Revised: 30 July 2025
Accepted: 17 August 2025
Available Online: 18 August 2025

How to cite this article:

Esmaeili, F., Bayat, H., Nastari Nasrabadi, H., & Aminifard, M.H. (2026). Effect of red and blue LED lights on morphological and physiological characteristics of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 631-646. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90559.1387>

Introduction

Light plays a fundamental role in plant growth and development, significantly influencing photosynthesis and overall plant yield. Various light characteristics, including intensity, quality, and duration, have critical effects on plant biological processes. The light spectrum can significantly impact plant metabolism throughout the growth period. The use of LED light not only provides the necessary wavelengths but also reduces energy loss and allows precise control over the photosynthetic photon flux. LED lighting can be utilized to optimize plant growth and yield in greenhouse and growth chamber environments. Blue and red light are the primary wavelengths involved in carbon dioxide fixation and photosynthesis, exerting a significant influence on plant growth (Cosgrove, 1981; Kasajima *et al.*, 2008). *Hyssopus officinalis*, a perennial plant belonging to the Lamiaceae family, is well known for its antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties. This study evaluates LED light as an alternative to natural sunlight in controlled environments. Previous research has shown that changes in light quality can significantly affect growth parameters such as plant height, stem length, leaf length and width, leaf area, and fresh and dry biomass. Optimizing light conditions can enhance plant production in closed environments, offering economic and scientific potential for the cultivation of medicinal plants. The objective of this research was to investigate the effects of different LED light spectra on the growth, physiological, and morphological characteristics of *Hyssopus officinalis*.

Materials and Methods

To investigate the growth and physiological characteristics of *Hyssopus officinalis*, an experiment was conducted using a completely randomized design with three replications and six LED light treatments. The seeds were sourced from Glass Garden Company. The growing medium consisted of a mixture of 40% cocopeat, 40% perlite, and 20% vermiculite to provide optimal conditions for plant growth. In the growth chamber, the light treatments included white (control), 100% red, 100% blue, red:blue (70:30), red:blue (30:70), and red:blue (50:50). White light served as the control treatment. The LED lamps used in this experiment were 24-watt wall washers with different light spectra, covering wavelengths from 400 to 700 nm. The light intensity was set at $250 \pm 10 \mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. The photoperiod was maintained at 16 hours of light and 8 hours of darkness, with day and night temperatures of 25°C and 20°C, respectively. Following germination, the plants were irrigated daily with a half-strength Hoagland nutrient solution. Once the plants reached the four-leaf stage, they were supplied with a full-strength Hoagland solution every other day (20 g in 10 liters of distilled water) at a rate of 100 cc per pot. After five months, morphological and physiological parameters were evaluated. Measurements included stem, root, and leaf length; leaf width; leaf area; root volume; internode length; number of lateral



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

branches; fresh and dry weight of roots, stems, and leaves; total plant fresh and dry weight; and chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and essential oil yield. Data analysis was performed using SAS statistical software, and mean comparisons were conducted using the LSD test at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that different light spectra had a significant effect on the growth and physiological characteristics of the hyssop plant at the 5% and 1% probability levels. The highest fresh and dry weight of shoot, root, and total plant was recorded under red light. The highest amounts of chlorophyll a (1.11 mg.g^{-1} fresh weight) and chlorophyll b (1.89 mg.g^{-1} fresh weight) were observed in plants grown under red: blue (70:30) and red: blue (30:70) light combinations, respectively. The highest (1.10 mg.g^{-1} fresh weight) and lowest (1.01 mg.g^{-1} fresh weight) of carotenoid content were found under the red: blue (70:30) and the red: blue (30:70) light combinations, respectively. The maximum essential oil (1.71%) recorded under red: blue (30:70) combination. The highest and the lowest antioxidant activity levels were recorded in the red: blue (50:50) and control light treatments, respectively.

Conclusion

The results showed that different light spectra significantly influenced the morphological and physiological characteristics of *Hyssopus officinalis*. Red light increased morphological and growth characteristics properties. These findings suggested that optimizing light spectra can significantly affected the growth and development of *Hyssopus officinalis*, and further studies could explore these mechanisms. The results of this study showed that use of modern agricultural methods with artificial lighting systems improved the growth and physiological indices of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). The application of 100% red light and 30:70 red-blue light combinations is recommended.

Keywords: Growth, Leaf area, Light quality, Total chlorophyll

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص. ۶۴۶-۶۳۱

اثر نورهای مختلف LED قرمز و آبی بر خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)

فاطمه اسماعیلی^۱، حسن بیات^۱، حسین نستری نصر آبادی^{۲*} - محمد حسین امینی فرد^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶

چکیده

نور، منبع اصلی انرژی برای فرآیند فتوسنتز و عامل مهمی برای رشد و نمو گیاه محسوب می‌شود. امروزه با استفاده از لامپ‌های LED، شرایط برای مطالعه طیف‌های مختلف نور و بهبود رشد و تولید انبوه گیاهان در محیط‌های کنترل‌شده فراهم می‌شود. مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در واکنش به تیمارهای مختلف نوری LED شامل سفید، قرمز:آبی (۷۰:۳۰)، قرمز:آبی (۳۰:۷۰)، قرمز:آبی (۵۰:۵۰)، آبی ۱۰۰ درصد و قرمز ۱۰۰ درصد با شدت نوری 10 ± 250 میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه ساطع‌شده از لامپ‌های LED در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه مجتمع آموزش عالی تربت‌جام انجام شد. نتایج نشان داد که طیف‌های مختلف نوری تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا داشتند. در نور قرمز، بیشترین میزان وزن تر و خشک شاخساره، ریشه و کل گیاه ثبت شد، بیشترین میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و اسانس در گیاهان رشدیافته در محیط نوری ترکیب قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به دست آمد. کمترین میزان آنتی‌اکسیدان در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۷۰:۳۰) باعث افزایش ۳۰ درصد کاروتنوئید نسبت به شاهد گردید. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب در تیمارهای نوری قرمز:آبی (۵۰:۵۰) و شاهد ثبت گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش‌های نوین کشاورزی با سیستم‌های نوردهی مصنوعی سبب بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا شده و کاربرد نور قرمز ۱۰۰ درصد و ترکیب قرمز:آبی (۷۰:۳۰) به دلیل افزایش کارایی تولید و حصول حداکثر عملکرد گیاه، از نظر اقتصادی و اجرایی قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: رشد، سطح برگ، کلروفیل کل، کیفیت نور

مقدمه

زوفا گیاهی علفی چندساله با نام علمی *Hyssopus officinalis* L. متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است و همانند سایر گونه‌های این خانواده از جمله آویشن (*Thymus vulgaris* L.) و مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) دارای ترکیبات فعال بیولوژیکی متعددی در اسانس و عصاره می‌باشد که امروزه در صنایع دارویی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد،

ترکیبات فنلی موجود در اسانس و عصاره این گیاهان قادرند با مهار رادیکال آزاد، کاهش التهاب و افزایش ایمنی بدن تأثیرات درمانی قابل توجهی داشته باشد. علاوه بر این، برخی از این ترکیبات اثرات مثبتی بر سلامت سیستم عصبی و کاهش استرس نشان داده‌اند (Fathiazad et al., 2011). با رشد جمعیت و افزایش تقاضا جهت تولید غذا، افزایش راندمان تبدیل انرژی فتوسنتزی به‌عنوان یک راه‌حل اساسی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی پیشنهاد مناسبی است. نور که منبع انرژی فتوسنتز و مهم‌ترین طیف نوری محیط است، نقش اساسی و ویژه‌ای در فعالیت‌های فتوسنتزی، ریخت‌زایی نوری^۲ و تنظیم رشد دارد (Chen et al., 2004). شدت، مدت و کیفیت نور برای گیاهان اهمیت فراوان دارد. کلروفیل‌ها

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران
(Email: nastari@tjamcaas.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

نور قرمز: آبی (۷۵:۲۵) و بیشترین غلظت کلروفیل b را در گیاهان رشد یافته تحت نور آبی گزارش کردند. استفاده از لامپ‌های LED در تولید گیاهان گلخانه‌ای به‌طور فزاینده‌ای رایج شده است. هدف این پژوهش، بررسی پاسخ ریخت‌شناختی و رشدی گیاه زوفا با استفاده از طیف‌های مختلف نور با توجه به امکان تنظیم و کنترل شرایط نوری در این محیط‌ها است. بررسی اثرات طیف‌های نوری مختلف و انتخاب بهترین شرایط نوری برای کشت گیاهان در محیط‌های کنترل شده می‌تواند اطلاعات مفیدی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و شش تیمار نوری در اتاقک رشد^۱ در سال ۱۴۰۲ در مجتمع آموزش عالی تربت جام انجام شد. بذرها از شرکت گلس گاردن تهیه شده و به‌طور مستقیم در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر، حاوی بستر کوکوپیت (۴۰ درصد)، پرلایت (۴۰ درصد) و ورمی‌کلایت (۲۰ درصد) کشت شدند. داخل اتاقک رشد، تیمارهای نوری LED شامل نور سفید (White)، قرمز ۱۰۰ درصد (Red)، آبی ۱۰۰ درصد (Blue)، قرمز ۷۰:آبی ۳۰ (R70:B30)، قرمز ۳۰:آبی ۷۰ (R30:B70) و قرمز ۵۰:آبی ۵۰ (R50:B50) به کار رفت. در این آزمایش، نور سفید به‌عنوان شاهد (کنترل) در نظر گرفته شد. شدت نور برابر با $250 \pm$ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه تنظیم گردید. طول دوره روشنایی در روز ۱۶ ساعت و در تاریکی ۸ ساعت بود و دمای روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. والوشرهای ۲۴ وات LED با طیف‌های مختلف نوری در محفظه‌های به‌طول دو متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع یک متر جهت اعمال تیمارهای نوری به کار برده شد. فاصله لامپ با گیاهان ۲۵ سانتی‌متر انتخاب گردید و برای توزیع یکنواخت نور در سطح گیاهان در مراحل مختلف رشد به‌وسیله گیره‌های فلزی قابل تنظیم بود. برای پخش یکنواخت نور و جلوگیری از ورود نور به تیمار دیگر، از رفکتور (پارچه عایق) در اطراف هر محفظه استفاده شد. پس از جوانه‌زنی، تغذیه روزانه با محلول غذایی هوگلند ۵۰ درصد انجام گردید. بعد از آنکه گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند با محلول غذایی کامل هوگلند به‌مقدار ۱۰۰ سی‌سی به‌صورت روز در میان (۲۰ گرم در ۱۰ لیتر آب مقطر) تغذیه گردید و تیمارها به‌مدت پنج ماه بر روی گیاهان اعمال شدند.

رنگدانه‌های اصلی جذب نور در گیاهان عالی می‌باشند که طول موج بین ۴۰۰-۷۰۰ nm را جذب کرده و در فعالیت فتوسنتزی مصرف می‌کنند (Davis & Burns, 2016). براساس آزمایش‌های انجام‌شده، کیفیت نور می‌تواند بر رشد و نمو گیاه تأثیرگذار باشد (Schuerger et al., 1997; Bantis et al., 2016). بنابراین، یک منبع نوری با بیشترین کارایی در تبدیل انرژی که منجر به تنظیم طیف نوری می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با پیشرفت علم و دست‌ورزی در ویژگی‌های نوری LED، امکان بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور بر بهبود فتوسنتز و تنظیم فرآیندهایی فیزیولوژی گیاهان فراهم شده است (Mitchell et al., 2012; Kim et al., 2019). نور LED با طول موج‌های مشخص می‌تواند نور مورد نیاز گیاهان را تأمین کند، و همچنین باعث هدر رفتن انرژی و طول عمر طولانی، اندازه کوچک و تنظیم دقیق شار فتون فتوسنتزی شود. از LED ها می‌توان به‌عنوان منبع نور برای رشد و عملکرد بهتر گیاه در گلخانه و اتاقک‌های رشد استفاده کرد و هر گیاه در معرض طیف نور خاصی، واکنش‌های متفاوتی از خودشان نشان می‌دهد (Wu et al., 2007).

فلورسانس کلروفیل a به انتشار مجدد انرژی نوری جذب‌شده توسط مولکول‌های کلروفیل a اشاره دارد. اگرچه میزان انرژی از دست‌رفته در فرآیند فتوسنتز از طریق فلورسانس تنها حدود سه تا پنج درصد از کل انرژی جذب‌شده را شامل می‌شود، اما همین مقدار اندک از انرژی اتلافی، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار قرار می‌دهد. بنابراین، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل a در سیستم فتوسنتزی در واقع روشی برای سنجش انرژی کوانتومی نوری است که در فرآیند فتوسنتز مورد استفاده قرار نگرفته و یا به‌صورت گرما دفع شده است (Kalaji et al., 2012; Kalaji et al., 2016). نور آبی و قرمز، طول موج‌های اصلی برای تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز هستند و تأثیر زیادی بر رشد گیاهان دارند (Cosgrove, 1981; Kasajima et al., 2008). بیشترین مقدار فتوسنتز خالص در طیف ترکیبی نور قرمز:آبی و کمترین مقدار در نور آبی و آبی فراقمرز در گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) مشاهده شد (Kim et al., 2004). نور قرمز باعث بهبود ارتفاع گیاه قاصدک (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg) شد (Manivannan et al., 2015). همچنین، هرناندز و کوبوتا (Hernández & Kubota, 2015) دریافتند که استفاده از ترکیب نور قرمز:آبی (۷۵:۲۵) در مقایسه با استفاده از نور قرمز و آبی به‌تنهایی، در گیاهچه خیار (*Cucumis sativus* L) با افزایش بیشتر نور آبی سبب کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه شد. راماکریشنا و همکاران (Ramakrishna et al., 2011) نشان دادند که کیفیت نور تأثیر زیادی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد و بیشترین غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

اندازه‌گیری طول میان‌گره، طول ریشه، ارتفاع گیاه، عرض و طول برگ با استفاده از خط‌کش صورت گرفت. قطر ساقه با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر به وسیله کولیس اندازه‌گیری شد. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج حاوی مقدار مشخصی آب محاسبه گردید، به این صورت که اختلاف بین حجم اولیه و حجم آب پس از قرار گرفتن ریشه تعیین گردید (Clark et al., 1999). برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی، ریشه، برگ و ساقه، پس از خارج کردن بوته از خاک، ریشه‌ها با آب مقطر شست‌وشو داده شدند تا هیچ‌گونه ذرات خاک باقی نماند و سپس ریشه از قسمت طوقه گیاه جدا شد. پس از شمارش تعداد انشعابات جانبی، وزن تر برگ، ریشه، ساقه و شاخساره به وسیله ترازوس دیجیتال اندازه‌گیری گردید. همچنین برای اندازه‌گیری سطح برگ هر گیاه از دستگاه سطح برگ سنج (CI-202 Area Meter) استفاده شد.

سنجش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری کلروفیل ۲۰۰ میلی‌گرم از برگ تازه بالغ با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده، سپس به مدت پنج دقیقه با ۴۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۴-۶۴۵-۴۷۰ نانومتر قرائت شد و میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید طبق معادله‌های ۱ تا ۴ برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه شد (Lichtenthaler & Wellburn, 1988).

$$\text{Chl}_a \text{ (mg/g)} = (12/21 \times A_{664}) - (2/81 \times A_{645}) \quad (1)$$

$$\text{Chl}_b \text{ (mg/g)} = (20/13 \times A_{645}) - (5/03 \times A_{664}) \quad (2)$$

$$\text{Chl}_t \text{ (mg/g)} = (17/32 \times A_{645}) + (7/18 \times A_{664}) \quad (3)$$

$$\text{Carotenoid (mg/g)} = ((100 \times A_{470}) - (3/27 \times \text{Chl}_a) - (104 \times \text{Chl}_b))/229 \quad (4)$$

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در گیاهانی که تحت تیمارها مختلف قرار گرفته، یک یا دو برگ بالغ انتخاب شد و به ۲۰ قطعه به ابعاد ۵×۵ میلی‌لیتر تقسیم گردید و بلافاصله به وسیله ترازوی دیجیتال مقدار وزن آن یادداشت شد، سپس به داخل لوله فالتکون ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال یافت. بعد گذشت ۲۴ ساعت وزن آماس اندازه‌گیری شد. در آخر، نمونه‌ها در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت برای اندازه‌گیری وزن خشک قرار گرفتند. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۵ محاسبه گردید (Gindaba et al., 2004).

(۵)

$$\text{RWC} = (\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})$$

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH استفاده شد. برای این منظور ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه‌شده با ۱/۸ میلی‌لیتر آب مقطر و یک 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 خوانده شد. برای تهیه محلول شاهد نیز تمامی مراحل تهیه محلول نمونه تکرار شد، فقط به جای عصاره از متانول ۸۰ درصد استفاده گردید. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نیز از معادله ۶ به دست آمد (Chen et al., 2013).

(۶)

$$100 \times (\text{جذب شاهد} / \text{جذب نمونه}) - 1 = \text{درصد مهار کنندگی}$$

درصد اسانس

با استفاده از سیستم تقطیر با آب، مقدار اسانس تعیین شد. ۵۰ گرم اندام هوایی خشک‌شده گیاه از هر تکرار وزن شده و اسانس‌گیری به مدت چهار ساعت با دستگاه کلونجر انجام گرفت. میزان اسانس به صورت درصد حجمی وزنی (%v/w) محاسبه شد. عملکرد اسانس نیز از حاصل ضرب درصد اسانس و وزن خشک شاخساره در گلدان به دست آمد (British Pharmacopoeia, 1988).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها به وسیله آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های ریخت‌شناختی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱).

بیشترین (۷۶/۹۳ سانتی‌متر) و کمترین (۳۵/۱۷ سانتی‌متر) مقدار ارتفاع گیاه به ترتیب در تیمارهای نور قرمز و نور سفید به دست آمد، در تیمار نور قرمز، ارتفاع گیاه نسبت به شاهد (نور سفید) ۱۱۸ درصد افزایش یافت و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین داده‌ها مشخص گردید که

کمترین حجم ریشه به ترتیب در تیمار نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) (۲۰/۰ میلی لیتر) و تیمار نور سفید (۲۰/۰ میلی لیتر) به دست آمد، در حالی که بیشترین مقدار (۷۲/۰ میلی لیتر) در تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) ثبت شد (جدول ۳). بیشترین (۳۲/۱۷ سانتی متر) طول ریشه در تیمار نور قرمز به دست آمد که نسبت به شاهد ۳۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کمترین (دو میلی متر) و بیشترین (۴/۶۷ میلی متر) مقدار قطر ساقه در تیمار نور سفید و آبی مشاهده شد (جدول ۳) و در بین سایر تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت. بیشترین (۳/۷۷ سانتی متر) و کمترین (۱/۵۳ سانتی متر) طول میان گره به ترتیب در تیمارهای نور قرمز و ترکیبی نور قرمز:آبی (۵۰:۵۰) به دست آمد (جدول ۳). طول دم برگ بین ۰/۵ تا ۱/۲۳ سانتی متر متغیر بود، به طوری که بیشترین (۱/۲۳ سانتی متر) و کمترین (۰/۵ سانتی متر) طول دم برگ به ترتیب در تیمار نور قرمز و ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) مشاهده شد (جدول ۳). کمترین (۱/۵۰ میلی متر) طول برگ در تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به دست آمد (جدول ۳) که نسبت به شاهد مقدار ۱۸ درصد کاهش داشت. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کمترین (۰/۴۳ میلی متر) عرض برگ در تیمار ترکیب نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و بیشترین مقدار آن (۱/۰۷ میلی متر) در تیمار نور قرمز به دست آمد و بین سایر تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۳). کمترین (۳ عدد) و بیشترین (۱۲/۶۷ عدد) تعداد انشعابات جانبی در گیاهان رشد یافته در محیط تیمارهای ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و نور قرمز ثبت شد (جدول ۳). طبق نتایج به دست آمده، تیمار نور آبی کمترین (۱۲۹/۵۶ سانتی متر مکعب) میزان سطح برگ را داشت (جدول ۳).

سیگنال های نوری باعث تنظیم ساختار و فیزیولوژی گیاه می شوند و رشد، عملکرد و پاسخ اولیه گیاهان به شرایط نور بستگی دارد (Muneer et al., 2014; Raju et al., 2013). فاکتورهای ریخت شناختی و رشدی گیاه در این آزمایش تحت تأثیر طیف های مختلف نور قرار گرفتند. نورهای ترکیبی قرمز و آبی باعث بهبودی شاخص های رشدی نسبت به نورهای قرمز و آبی تک طیف شدند. نور قرمز و آبی حاوی طول موج های اصلی نور برای رشدونمو گیاهان هستند (Kozai et al., 2016). در این پژوهش، افزایش نور آبی منجر به کاهش رشد شد، در حالی که افزایش نور قرمز باعث بهبود و افزایش عامل های رشدی در گیاه زوفا گردید.

ناینا و همکاران (Nanya et al., 2012) گزارش کردند که درصد بالای نور آبی باعث کاهش ارتفاع و زیست توده در گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) شد، در حالی که درصد بالای نور قرمز موجب افزایش ارتفاع و زیست توده در این گیاه گردید. همچنین باتشاور و همکاران (Batschauer et al., 2007) و نیشیمورا و

همکاران (Nishimura et al., 2007) بیان کردند که نور قرمز نسبت به نور آبی تأثیر بیشتری بر افزایش طول گیاه دارد. لو و همکاران (Lu et al., 2012) نیز گزارش کردند که گیاهان گوجه فرنگی تحت تأثیر نور آبی، رشد ضعیف تری نسبت به سایر نورها داشتند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در گیاه گل انگشتانه (*Digitalis purpurea* L.)، صفات رشدی گیاهان رشد یافته تحت تیمار ترکیب نوری قرمز ۸۰ درصد و آبی ۲۰ درصد در مقایسه با گیاهان تیمار شده با نور قرمز حداکثر بودند (Verma et al., 2018). همچنین نور قرمز باعث بهبود ارتفاع گیاه قاصدک شد (Manivannan et al., 2015). در مطالعه حاضر، بیشترین طول و عرض برگ در محیط با ترکیب نوری قرمز:آبی به دست آمد. در مطالعات متعدد گزارش شده است که استفاده ترکیبی از نور قرمز و آبی اثرات هم افزایی ایجاد می کند و باعث بهبود ویژگی های رشدی گیاهان می شود. این یافته ها با نتایج پژوهش های قبلی همخوانی دارد (Hogewoning et al., 2010; Savvides et al., 2012; Stutte et al., 2009) و همکاران (Li et al., 2017) نشان داد که استفاده از نورهای قرمز و ترکیب قرمز:آبی، در مقایسه با نور سفید، به طور معنی داری باعث افزایش ارتفاع گیاه و قطر ساقه در گیاه گوجه فرنگی شد. با این حال، رشد ریشه در نور قرمز کاهش یافت. همچنین هراندز و کوبوتا (Hernández & Kubota, 2015) دریافتند که استفاده از ترکیب نور قرمز:آبی در مقایسه با استفاده از نور قرمز و آبی به تنهایی، در گیاهچه خیار با افزایش بیشتر نور آبی سبب کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه شد. در مورد گیاه *Dracaena fragrans* گزارش شده است که نور سفید باعث افزایش طول ریشه گردید (Vinterhalter et al., 1990). اما در گیاه کنگر فرنگی (*Cynara scolymus* L.)، بیشترین رشد ریشه در نور قرمز مشاهده شد (Rabara et al., 2017).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کیفیت نور بر صفات رویشی گیاه زوفا در سطح یک درصد از نظر آماری معنی دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده ها (شکل ۱-IV) نشان داد که بیشترین (۲۰/۲۱ گرم) وزن تر شاخساره در طیف نور قرمز و کمترین آن (۳۳/۳۴ گرم) در طیف نور سفید ثبت شد. مقایسه میانگین داده ها (شکل ۱-IV) نشان داد که وزن خشک شاخساره بین ۰/۴۵ تا ۳/۱۶ سانتی متر متغیر است. بیشترین (۳/۱۶ سانتی متر) و کمترین (۰/۴۵ سانتی متر) وزن خشک به ترتیب در تیمار نور تک طیف قرمز و سفید گزارش شد. براساس مقایسه میانگین داده ها (شکل ۱-I) بیشترین (۱۰/۴۱ گرم) وزن تر برگ و کمترین (۲/۰۹ گرم) آن به ترتیب در تیمار تک طیف قرمز و سفید مشاهده شد. طبق نتایج به دست آمده مشخص گردید (شکل ۱-I) که گیاهان پرورش یافته در تیمارهای نوری قرمز و آبی، بیشترین وزن خشک برگ را با مقادیر ۱/۶۲ و

افزایش سهم نور آبی، وزن تر و خشک گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (Hernández & Kubota., 2015). هتو و همکاران (Heo et al., 2006) اعلام کردند که استفاده از نور ترکیبی قرمز و آبی در گیاهان گل ابری (*Gypsophila paniculata* L.)، همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) منجر به افزایش وزن خشک شاخساره شد.

شاخص‌های فیزیولوژیکی

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴) اثرات تیمارهای مختلف نوری بر محتوای کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای کلروفیل a و آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند و مشخص گردید که تیمارهای مختلف نوری اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت.

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که کمترین (۰/۶۳ میلی‌گرم) میزان کلروفیل a در محیط نور تک‌طیف قرمز و بیشترین میزان کلروفیل a در ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به دست آمد، اما اختلاف معنی‌داری با شاهد (نور سفید) نشان نداد (شکل ۳-I). کمترین (۰/۹۵ میلی‌گرم) میزان کلروفیل b در تیمار نوری قرمز مشاهده شد. در تیمار نور تک‌طیف نور قرمز، مقدار کلروفیل b گیاه زوفا نسبت به شاهد به‌مقدار ۴۸ درصد کاهش یافت (شکل ۳-II). بیشترین (۲/۹۹ میلی‌گرم) میزان کلروفیل کل در محیط نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و کمترین (۱/۵۷ میلی‌گرم) میزان کلروفیل کل در نور قرمز مشاهده شد (شکل ۳-III). گیاهان رشدیافته در ترکیب نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) و قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به‌ترتیب بیشترین (۱/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان کاروتنوئید را داشتند، تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) نسبت به شاهد به‌مقدار سه درصد افزایش داشت (شکل ۳-IV).

کلروفیل‌ها و کاروتنوئید، رنگدانه‌های اصلی هستند که نور قرمز و آبی را بیشتر جذب کرده و انرژی مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کنند (Suetsugu et al., 2014). ترکیب نور قرمز و آبی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد (Hernandez & Kubota, 2015; Wang et al., 2016; Hogewoning et al., 2010). همکاران (Ramakrishna et al., 2011) نشان دادند که کیفیت نور تأثیر زیادی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی داشت و بیشترین غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار نور قرمز:آبی و بیشترین غلظت کلروفیل b را در گیاهان رشدیافته تحت نور آبی گزارش شد.

۱/۴۱ گرم داشتند، درحالی‌که گیاهان پرورش‌یافته در تیمار نوری سفید کمترین (۰/۲۸ گرم) وزن خشک برگ را نشان دادند. طبق شکل ۱-II بیشترین (۹/۸۰ گرم) وزن تر ساقه گیاه زوفا در تیمار تک طیف قرمز و کمترین (۱/۲۴ گرم) وزن تر ساقه در تیمار نور شاهد (نورسفید) مشاهده شد. کمترین (۰/۱۷ گرم) وزن خشک ساقه متعلق به تیمار نوری شاهد (نور سفید) بود که با تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) اختلاف معنی‌داری نداشت، درحالی‌که بیشترین (۱/۵۴ گرم) مقدار در تیمار نور قرمز به دست آمد (شکل ۱-II). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱-III)، بیشترین (۲/۳۶ گرم) وزن تر ریشه در تیمار نوری قرمز و کمترین (۰/۲۳ گرم) مقدار آن در طیف نوری شاهد (سفید) مشاهده شد. طبق نتایج (شکل ۱-III)، بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در تیمار نوری آبی (۰/۵۲ گرم) و تیمار نوری قرمز (۰/۴۵ گرم) به دست آمد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (شکل ۱-V) که گیاهان تحت طیف نوری قرمز، بیشترین وزن تر کل گیاه را با مقدار ۲۲/۵۷ گرم و طیف نوری سفید کمترین وزن تر را با مقدار ۳/۵۷ گرم داشت. براساس نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۱-V)، بیشترین (۳/۶۱ گرم) مقدار وزن خشک کل گیاه زوفا در تیمار نور قرمز مشاهده شد. بیشترین (۲۱۵/۱۴ سانتی‌مترمکعب) سطح برگ در تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و کمترین (۱۸۵/۱۰ سانتی‌مترمکعب) آن در تیمار نور تک طیف آبی گزارش گردید. همچنین ترکیب نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) نسبت به شاهد ۱۶٪ افزایش داشت (شکل ۲).

نور قرمز باعث افزایش وزن تر و خشک گیاهان می‌شود. همچنین نور آبی تأثیر قابل توجهی بر زیست‌توده دارد (Wang et al., 2009; Johkan et al., 2010; Savvides et al., 2012; Son & Oh, 2013). نور قرمز به بهبود افزایش وزن گیاه چای چینی (*Camellia sinensis*) کمک کرد (Ryu et al., 2012). در چنار شرقی (*Platanus orientalis* L.)، استفاده از نور ترکیبی قرمز: آبی نسبت به نور سفید منجر به افزایش وزن ساقه شد (Arena et al., 2016). همچنین در داوودی نیز نتایج نشان داد که نور قرمز: آبی باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه گردید (Kim et al., 2004). سبزی‌علیان و همکاران (Sabzalain et al., 2014) گزارش کردند که از میان انواع طیف‌های نوری شامل سفید، قرمز، آبی و ترکیبی از قرمز و آبی، نور ترکیبی قرمز و آبی بیشترین تأثیر را در افزایش رشدونمو، تقویت فعالیت‌های فتوسنتزی و افزایش وزن تر گیاهان نعنای (*Mentha spicata* L.)، ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و عدس (*Lens culinaris Medik*) داشت. در یک مطالعه دیگر، زمانی که در گیاهچه‌های خیار از نور ترکیبی قرمز و آبی به‌جای استفاده جداگانه از نور قرمز و آبی بهره گرفته شد، نتایج نشان داد که با

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر برخی از خصوصیات ریخت‌شناسی گیاه زوفا
Table 1- ANOVA for the effect of different LED light treatments on some morphological characteristics of *Hyssopus officinalis*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع گیاه Plant height	حجم ریشه Root volume	ریشه Root length	قطر ساقه Stem diameter	طول میان‌گره Internode length	طول دمبرگ Petiole length	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	انشعابات جانبی Lateral branches	سطح برگ Leaf area
تیمار Treatment	5	575.35**	0.12**	127.15**	2.62**	2.28**	0.21*	0.40**	0.12**	32.19**	2468.45**
خطا آزمایش Experimental error	12	25.71	0.02	12.47	0.04	0.41	0.05	0.07	0.02	1.17	1347.33
ضرب تغییرات CV (%)	-	0.26	0.56	0.32	0.29	0.40	0.35	0.18	0.28	0.45	0.18

ns، ** و * : به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد
ns، ** and * : non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر برخی از خصوصیات رویشی گیاه زوفا
Table 2- ANOVA for the effect of different LED light treatments on the vegetative characteristics of *Hyssopus officinalis*

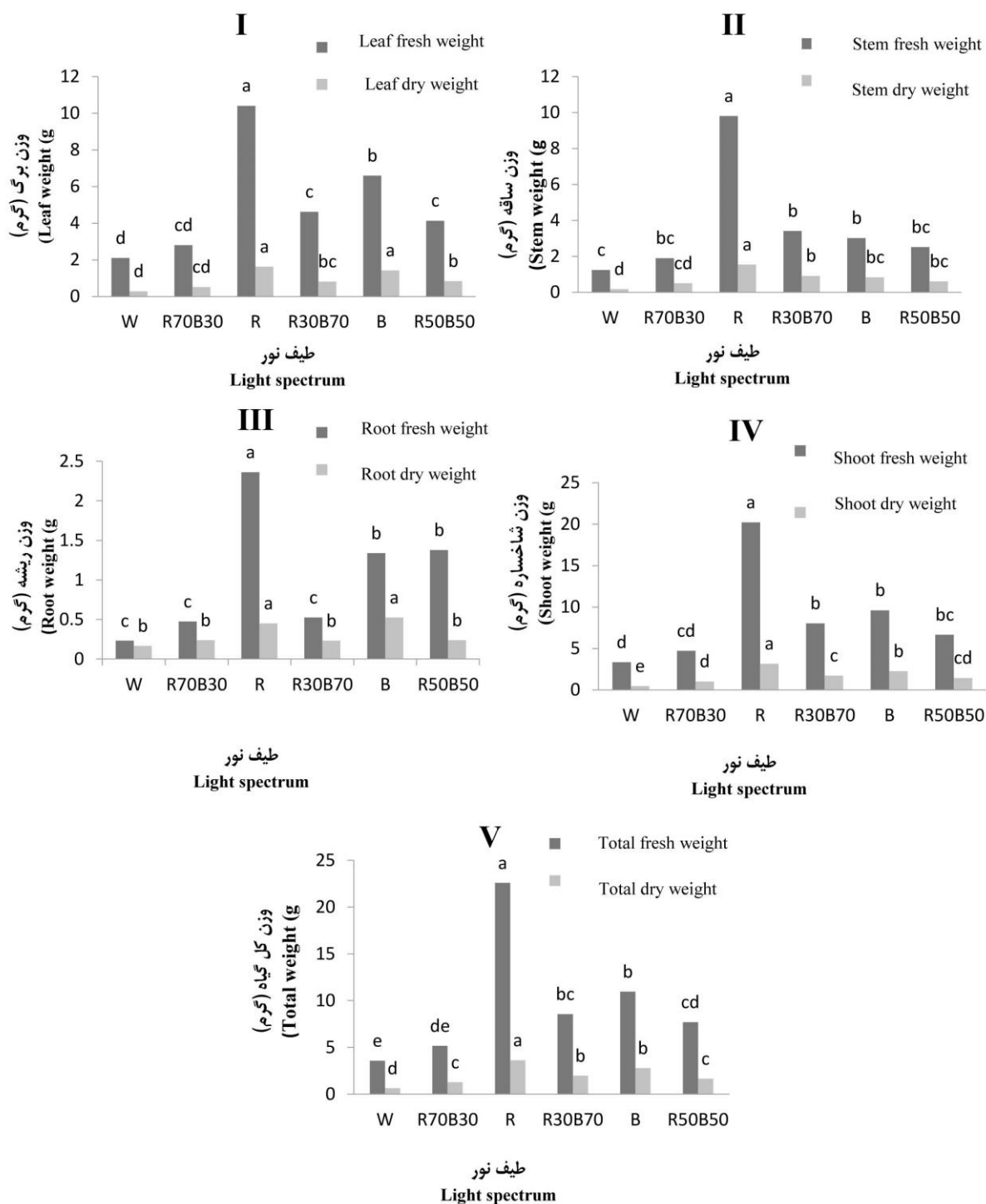
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares									
		وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن تر کل گیاه Total fresh weight	وزن خشک کل گیاه Total dry weight
تیمار Treatment	5	109.58**	2.70**	1.91**	0.06**	27/54**	0.79**	29.05**	0.64**	138.46**	3.46**
خطا آزمایش Experimental error	12	3.18	0.08	0.05	0.003	05.1	03.0	0.78	0.04	2.80	0.08
ضرب تغییرات CV (%)	-	0.55	0.55	0.73	0.46	0.58	0.55	0.82	0.61	0.69	0.46
											15.07 ^{ns}
											7.86
											0.04

ns، ** و * : به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد
ns، ** and * : non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر برخی از خصوصیات ریخت‌شناختی آب گیاه زوفا
Table 3- The effects of different LED light treatments on some morphological characteristics of *Hyssopus officinalis*

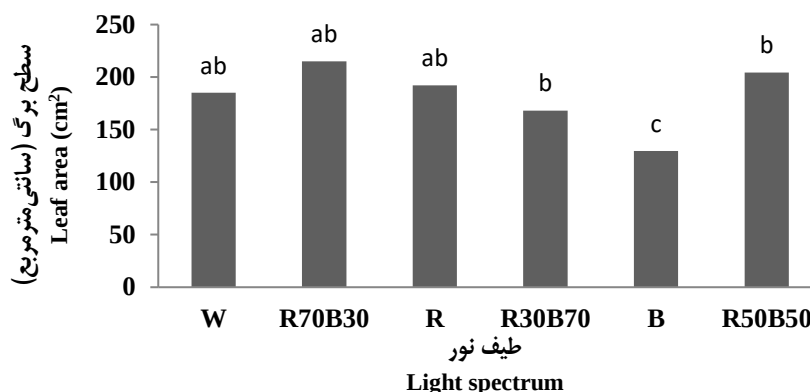
طیف نور Plant height	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)	طول ریشه Root length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	طول میان‌گره Internode length (cm)	طول دم‌برگ Petiole length (cm)	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	تعداد انشعابات The number of branches (number)	سطح برگ Leaf area (cm ²)	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content (%)
سفید White	35.17c*	0.20c	23.50b	2.00c	3.03ab	1.13ab	2.17a	0.83b	5.00c	185.10ab	70.28a
قرمز ۷۰ نانومتر R70B30	52.57b	0.72 a	13.33c	3.00bc	1.63c	0.50c	1.53a	0.43c	3.00d	215.14ab	68.06a
قرمز ۱۰۰ نانومتر R100	76.93a	0.43b	32.17a	3.67ab	3.77a	1.23a	2.33a	1.07a	12.67a	192.04ab	72/09a
قرمز ۲۰۰ نانومتر R30B70	51.83b	0.20c	17.64bc	4.00ab	1.90bc	0.80bc	2.17a	0.77b	7.33b	168.00b	68/64a
آبی ۱۰۰ نانومتر B100	45.90b	0.37bc	18.73bc	4.67a	2.47bc	0.77bc	2.40a	0.80b	8.00b	129.56c	68/62a
قرمز ۵۰ نانومتر R50B50	47.90b	0.33bc	18.40bc	4.00ab	1.57c	0.93ab	2.60a	0.77b	6.33bc	171.00b	65.40a
حدائق اختلاف معنی‌داری LSD	9.02	0.21	62.82	1.15	1.11	0.37	0.43	0.21	1.91	65.30	4.98

* در هر ستون میانگین‌ها دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
* In each column, means with at least one similar letter do not have a significant difference based on LSD test at p≤0.05.



شکل ۱- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر خصوصیات رویشی شامل وزن تر (LSD=1.80) و خشک برگ (I)(LSD=0.30)، وزن تر (LSD=1.56) و خشک ساقه (II)(LSD=0.64)، وزن تر (LSD=0.37) و خشک ریشه (III)(LSD=0.09)، وزن تر (LSD=3.15) و خشک شاخساره (IV) (LSD=0.50)، وزن تر (LSD=2.96) و خشک کل گیاه (V)(LSD=0.50) در گیاه زوفا

Figure 1- The effect of different LED light spectra on the growth characteristics include leaf fresh (LSD=1.80) and dry (LSD=0.30) weights(I), stem fresh (LSD=1.56) and dry (LSD=0.64) weights (II), root fresh (LSD=0.37) and dry (LSD=0.09) weights (III), shoot fresh (LSD=3.15) and dry (LSD=0.50) weights (IV), and total fresh (LSD=2.96) and dry (LSD=0.50) weights of whole plant (V) of *Hyssopus officinalis*



شکل ۲ - تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر سطح برگ (LSD=37/56) گیاه زوفا

 Figure 2- The effect of different LED light spectra on the Leaf area (LSD=37/56) of *Hyssopus officinalis*

ریحان را تحت تأثیر طیف نورهای ترکیبی قرمز و آبی گزارش کردند. براساس این یافته‌ها، در مطالعه حاضر نیز بیشترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل در نورهای ترکیبی قرمز و آبی مشاهده شد. افزایش میزان کلروفیل منجر به افزایش فتوسنتز می‌شود (Evans, 1988). در این مطالعه، گیاهانی که تحت تأثیر نور ترکیبی قرمز:آبی (۳۰:۷۰) قرار گرفتند، بالاترین سطح رنگدانه‌های فتوسنتزی را نشان دادند. این وضعیت باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و بهبود شاخص‌های رشدی آن‌ها شد.

وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) به این نتیجه رسیدند که ترکیب نور قرمز و آبی تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشت. همچنین گزارش شد که طیف آبی باعث تغییر در تراکم، رشد و کاهش سنتز کلروفیل می‌شود (Kinoshita et al., 2001). با استفاده از طیف‌های ترکیبی آبی و قرمز، میزان کلروفیل گیاه افزایش یافت (Wu et al., 2007; Hosseini et al., 2019). حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2019) نیز افزایش تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارایی انتقال الکترون و شاخص‌های رشد واریته‌های سبز و بنفش

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه زوفا

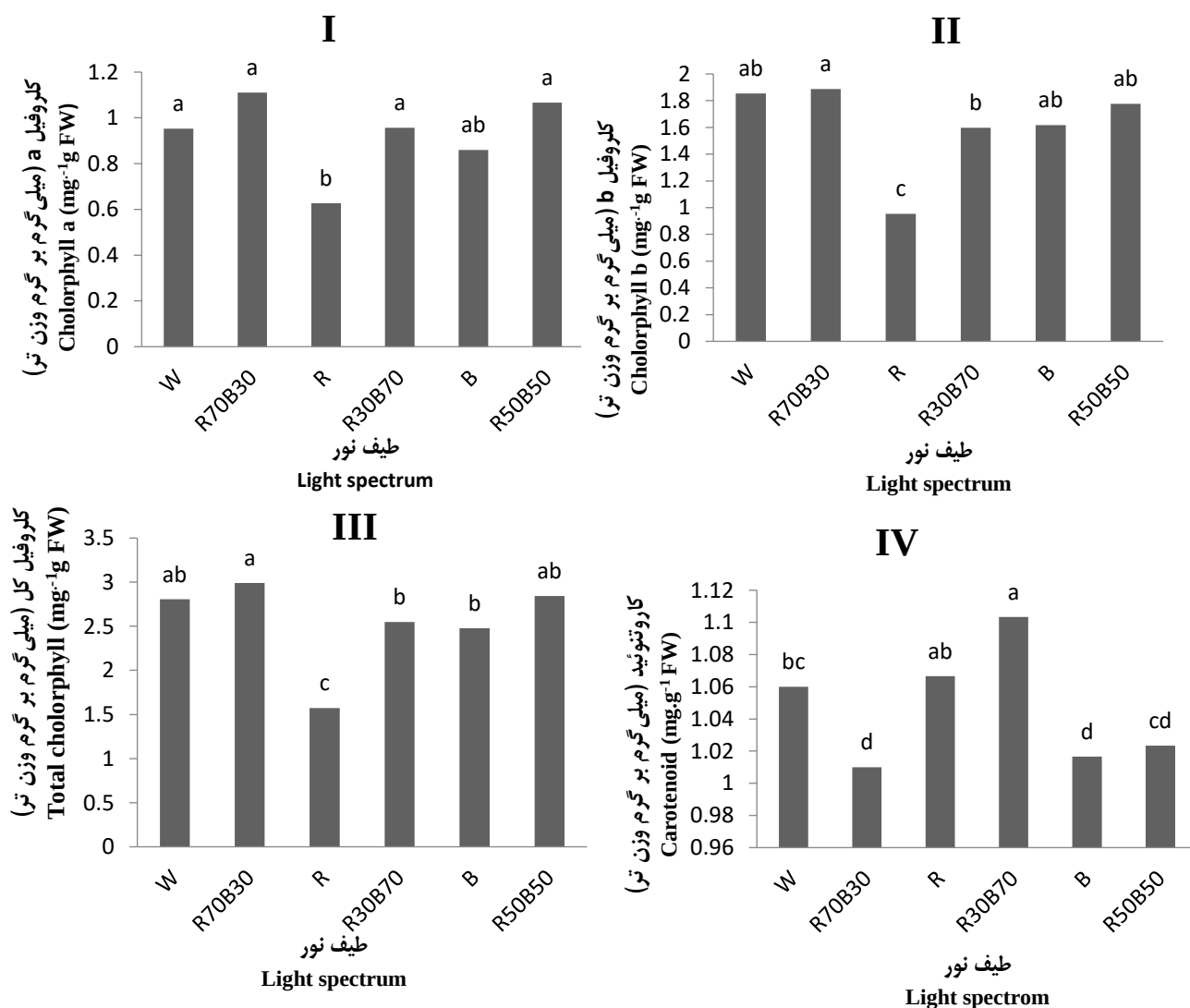
 Table 4- ANOVA for the effect of different LED light treatments on the phytochemical characteristics of *Hyssopus officinalis*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	آنتی‌اکسیدانی Antioxiant activity	درصد اسانس Essential oil
تیمار Treatment	5	0.09*	0.36**	0.78**	0.004**	6.74**	0.57**
خطا آزمایش Experimental error	12	0.03	0.02	0.08	0.001	2.08	0.01
ضریب تغییرات CV (%)	-	0.22	0.21	0.20	0.03	0.02	0.40

ns, ** و *: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد
ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

خود روی تأثیر LED بر گیاه ژینوار (*Gymura bicolor*) نشان دادند که با افزایش ۱۵ درصدی نور آبی به ۳۰ درصد، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تجمع آنتوسیانین و فلاونوئیدها افزایش یافت. همچنین گزارش شده است که تیمار نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) در دو واریته ریحان باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل کل و آنتوسیانین شد (Hosseini et al., 2019).

کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شاهد (نور سفید) (۸۷/۱۶ درصد) و تیمار تک‌طیف آبی (۸۸/۳۲ درصد) ثبت شد، در تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۵۰:۵۰) بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۰/۹۵) به دست آمد که نسبت به شاهد چهار درصد افزایش یافت (شکل ۴). در پژوهش کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2018) بر روی گیاه *Rhodiola imbricate* بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طیف نور سفید گزارش شد. رن و همکاران (Ren et al., 2014) در آزمایش

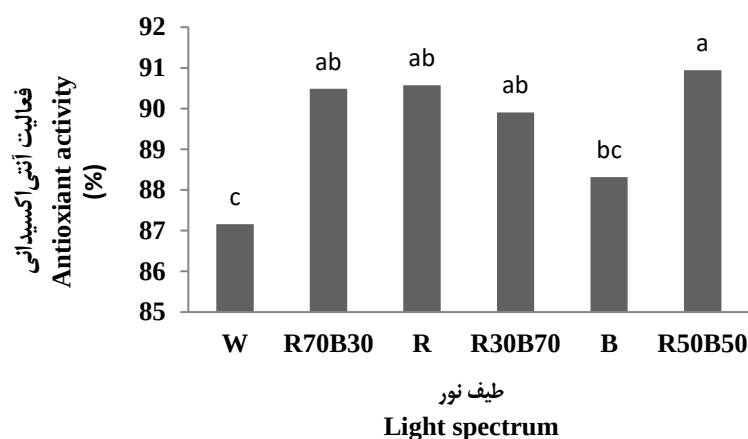


شکل ۳- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a (I)(LSD=0.30)، کلروفیل b (II)(LSD=0.21)، کلروفیل کل (III)(LSD=0.47) و کاروتنوئید (IV)(LSD=0.05) گیاه زوفا

Figure 3- The effect of different LED light spectra on the photosynthetic pigment contents: chlorophyll (LSD=0.30) a (I), chlorophyll (LSD=0.21) b (II), total chlorophyll (LSD=0.47)(III) and carotenoid (LSD=0.05)(IV) of *hyssopus officinalis*

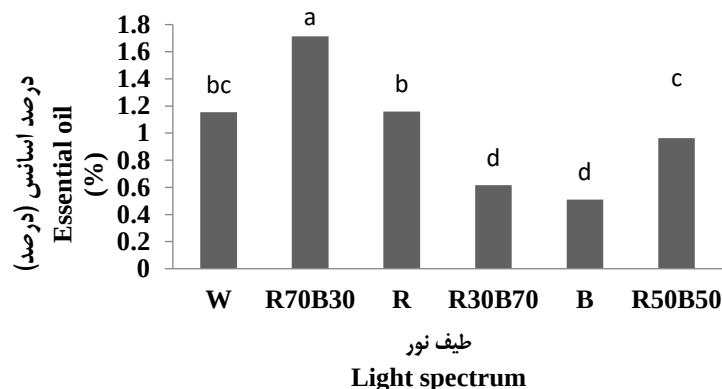
و آبی می‌توانند با تأثیر بر متابولیت‌های اولیه، تجمع این ترکیبات را در بافت گیاه افزایش دهند (Urbonaviciute et al., 2008). نور آبی نیز تولید برخی متابولیت‌ها را افزایش می‌دهد. برای مثال، پارک و همکاران (Park et al., 2013) گزارش کردند که نور آبی در گیاه جینسینگ موجب افزایش ترکیباتی نظیر اسیدوانیلیک، اسیدکوماریک و اسیدفرولیک شد.

بیشترین (۱/۷۱ درصد) مقدار اسانس در گیاهان پرورش‌یافته تحت تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و کمترین مقدار اسانس در تیمارهای نوری آبی (۰/۵۱ درصد) و تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) (۶۲ درصد) ثبت گردید (شکل ۵). اسانس‌های گیاهی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه، نقش مهمی در دفاع گیاهان و جلب حشرات دارند. اگرچه تحقیقات محدودی در مورد تأثیر نورهای LED بر تولید اسانس انجام شده، نتایج اولیه نشان داده‌اند که نورهای قرمز



شکل ۴- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر فعالیت آنتی اکسیدانی (LSD=1/17) گیاه زوفا

Figure 4- The effect of different LED light spectra on the antioxidant activity (LSD=1.17) of *Hyssopus officinalis*



شکل ۵- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر درصد اسانس (LSD=0.17) گیاه زوفا

Figure 5- The effect of different LED light spectra on the essential oil content (LSD=0.17) of *Hyssopus officinalis*

نتیجه‌گیری

باین‌حال، پیش از کاربرد سیستم‌های نوری، لازم است که طیف نوری مناسب برای هر گونه گیاهی به‌طور دقیق مشخص شود. این موضوع می‌تواند به بهینه‌سازی تولید گیاه کمک کند و نیاز به تحقیق بیشتر در این زمینه را ضروری می‌سازد.

نتایج این مطالعه نشان داد که طول موج قرمز در بین طیف‌های مختلف نور، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی و رشدی گیاه دارد. ترکیب نور قرمز و آبی با نسبت ۳۰:۷۰ باعث افزایش محتوای کلروفیل، درصد اسانس و درصد آنتی‌اکسیدان در گیاهان شد.

References

1. Arena, C., Tsonev, T., Doneva, D., De Micco, V., Michelozzi, M., Brunetti, C., Calfapietra, C., & Loreto, F. (2016). The effect of light quality on growth, photosynthesis, leaf anatomy and volatile isoprenoids of a monoterpene-emitting herbaceous species (*Solanum lycopersicum* L.) and an isoprene-emitting tree (*Platanus orientalis* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 130, 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.05.014>
2. Batschauer, A., Banerjee, P., & Pokorny, R. (2007). *Cryptochromes*. Blackwell Publishing, Oxford
3. Bantis, F., Ouzounis, T., & Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, 198, 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.014>
4. *British Pharmacopoeia*. (1988). (Vol. 2). London: H.M.S.O, p. 137-138.

5. Chen, M., Chory, J., & Fankhauser, C. (2004). Light signal transduction in higher plants. *Annual Review of Genetics*, 38, 87-117. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092259>
6. 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079730>
7. Cosgrove, D.J. (1981). Rapid suppression of growth by blue light: Occurrence, time course, and general characteristics. *Plant Physiology*, 67, 584-590. <https://doi.org/10.1104/pp.67.3.584>
8. Clark, L.J., Whalley, W.R., & Barraclough, P.B. (1999). How do roots penetrate strong soli. *Plant and Soli*, 217(1-2), 107-116. <https://doi.org/10.1023/A:1026140122848>
9. Davis, P.A., & Burns, C. (2016). Photobiology in protected horticulture. *Journal of Food and Energy Security*, 5, 223-238. <https://doi.org/10.1002/fes3.97>
10. Evans, J.R. (1988). Acclimation by the thylakoid membranes to growth irradiance and the partitioning of nitrogen between soluble and thylakoid proteins. *Functional Plant Biology*, 15(2), 93-106. <https://doi.org/10.1071/PP9880093>
11. Fathiazad, F., Mazandarani, M., & Hamedeyazdan, S. (2011). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Hyssopus officinalis* L. from Iran. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 1(2), 63. <https://doi.org/10.5681/apb.2011.009>
12. Gindaba, J., Rozanov, A., & Negash, L. (2004). Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. *Forest Ecology and Management*, 201, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.009>
13. Hernandez, R., & Kubota, C. (2015). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, 121(1), 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>
14. Heo, J.W., Lee, C.W., & Paek, K.Y. (2006). Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. *Journal of Plant Biology*, 49, 286-290. <https://doi.org/10.1007/BF03031157>
15. Hosseini, A., Mehrjerdi, M.Z., Aliniaiefard, S., & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25, 741-752. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00647-7>
16. Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Leperen, 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. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3107-3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
17. 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. *Horticultural Science*, 45, 1809-1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
18. Kalaji, H.M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S.I., & Bosa, K. (2012). Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 112, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2012.03.009>
19. Kalaji, H.M., Jajoo, A., Oukarroum, A., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I.A., Cetner, M.D., Łukasik, I., Goltsev, V., & Ladle, R.J. (2016). Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 102-111. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>
20. Kasajima, S.Y., Inoue, N., Mahmud, R., & Kato, M. (2008). Developmental responses of wheat cv. Norin 61 to fluence rate of green light. *Plant Production Science*, 11, 76-81. <https://doi.org/10.1626/pps.11.76>
21. 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. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.018>
22. 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. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 157, 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019>

23. Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., & Paek, K.Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth, and leaf stomata of *Chrysanthemum* plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 101(2), 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.003>
24. 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. <https://doi.org/10.1038/414656a>
25. Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2016). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Amsterdam / Boston: Academic Press. xxvi + 405.
26. 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. *Scientia Horticulturae*, 225, 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.053>
27. Lichtenthaler, H.K., & Rinderle, U. (1988). The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 19, 29-85. <https://doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466>
28. Lu, N., Maruo, T., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Ito, Y., & Shinohara, Y. (2012). Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environmental Control in Biology*, 50(1), 63-74. <https://doi.org/10.2525/ecb.50.63>
29. Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C.H., & Jeong, B.R. (2015). Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured *in vitro*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 56(1), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
30. Mitchell, C., Both, A.J., Bourget, M., Burr, J., Kubota, C., Lopez, R., Morrow, R., & Runkle, E. (2012).
31. LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chronica Horticulturae*, 52, 1-9.
32. 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.). *International Journal of Molecular Sciences*, 15, 4657-4670. <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>
33. Nanya, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S., & Goto, E. (2012). Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, 956, 261-266. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.29>
34. Nishimura, T., Zobayed, S.M.A., Kozai, T., & Goto, E. (2007). Medicinally important secondary metabolites and growth of *Hypericum perforatum* L. plants as affected by light quality and intensity. *Environmental Control in Biology*, 45(2), 113-120. <https://doi.org/10.2525/ecb.45.113>
35. Park, S.Y., Lee, J.G., Cho, H.S., Seong, E.S., Kim, H.Y., Yu, C.Y., & Kim, J.K. (2013). Metabolite profiling approach for assessing the effects of colored light-emitting diode lighting on the adventitious roots of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Mayer). *Plant Omics Journal*, 6, 224-230.
36. Rabara, R.C., Behrman, G., Timbol, T., & Rushton, P.J. (2017). Effect of spectral quality of monochromatic LED lights on the growth of Artichoke seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 8, 190. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00190>
37. 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 Journal of Plant Physiology*, 3, 285-289. <https://doi.org/10.1007/s40502-013-0038-7>
38. Ramakrishna, A., Dayananda, C., Giridhar, P., Rajasekaran, T., & Ravishankar, G.A. (2011). Photoperiod influences endogenous indoleamines in cultured green alga *Dunaliella bardawil*. *Indian Journal of Experimental Biology*, 49, 234-240.
39. 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. *Advances in Space Research*, 53(2), 353-361. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.11.019>
40. Ryu, J.H., Seo, K.S., Choi, G.L., Rha, E.S., Lee, S.C., Choi, S.K., Kong, S.Y., & Bae, C.H. (2012). Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion

- (*Taraxacum officinale*). *The Korean Journal of Plant Resources*, 25(6), 731-738. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2012.25.6.731>
41. Sabzalain, M.R., Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Boroomand, A., Agharokh, M., Sahba, M.R., & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 879-886 <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0209-6>
 42. Savvides, A., Fanourakis, D., & Van Ieperen, W. (2012). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135-1143. <https://doi.org/10.1093/jxb/err348>
 43. Schuerger, A.C., Brown, C.S., & Stryjewski, E.C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, 79, 273-282. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0341>
 44. 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 light-emitting diodes. *Horticultural Science*, 48, 988-995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>
 45. Stutte, G.W., Endey, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *Journal of HortiScience*, 44, 79-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
 46. Suetsugu, N., Takami, T., Ebisu, Y., Watanabe, H., Iiboshi, C., Doi, M., & Shimazaki, K. (2014). Guard cell chloroplasts are essential for blue light-dependent stomatal opening in *Arabidopsis*. *Plos One*, 9, e108374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108374>
 47. Urbonaviciute, A., Samuoliene, G., Brazaityte, A., Ulinskaite, R., Jankauskiene, J., Duchovskis, P., & Zukauskas, A. (2008). The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. *Sodininkyste ir Darzininkyste*, 27, 83-92.
 48. 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. *Scientific Reports*, 8, 18009. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36113-9>
 49. Vinterhalter, D., Grubišić, D., Vinterhalter, B., & Konjević, R. (1990). Light-controlled root elongation in *in vitro* cultures of *Dracaena fragrans* Ker-Gawl. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 22, 1-6. <https://doi.org/10.1007/BF00043691>
 50. Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>
 51. 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. *Frontiers in Plant Science*, 7, 250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00250>
 52. Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H., & Chang, H.M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101, 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>