

Supplementary LED Light Impact (type and duration) on Some Physiological Traits and Hypericine content of *Hypericum perforatum*

E. Ghafourian Hozouri Esfahan^{1,2}, M. Azizi^{1,2*}

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Research Institute of Medicinal Plants, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: azizi@um.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 24 June 2019

Revised: 15 February 2023

Accepted: 10 March 2021

Available Online: 10 March 2021

Ghafourian Hozouri Esfahan, E., & Azizi, M. (2026). Supplementary LED light impact (type and duration) on some physiological traits and hypericine content of *Hypericum perforatum*. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 611-629. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

Introduction

Medicinal plants are very important in modern healthcare, and the demand for them continues to grow. However, greenhouse production of medicinal plant transplants faces several challenges, including limited light availability. LED lighting has been introduced as a solution to this problem. An LED lamp, or LED light bulb, is an electric light used in fixtures that produces illumination through one or more light-emitting diodes (LEDs). LED lamps have a lifespan many times longer than equivalent incandescent lamps, and are significantly more efficient than most fluorescent lamps. Experiments revealed surprising performance and production of vegetables and ornamental plants under LED light sources. Many plant species have been assessed in greenhouse trials to make sure that the quality of biomass and biochemical ingredients of such plants is at least comparable with those grown in field conditions. Plant performance of mint, basil, lentil, lettuce, cabbage, parsley, and carrot was evaluated by assessing overall plant health, vigor, and the effectiveness of LED lighting in promoting growth. Profuse flowering was also observed in selected ornamental species, including primula, marigold, and stock.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of supplementary LED light on the growth parameters and the amount of active ingredient in *Hypericum perforatum* L. "Topaz" cultivar, a research was conducted as two independent experiments. The research was set up in a completely randomized design with three replications. The first experiment experienced the extended of day length with 4 hours at the end of the day (started from sunrise to sunset). LED treatments were started at 10 cm height of the transplants. The second experiment examined the light types. In this order the considered treatments consisted of four levels of red light (L_1), blue light (L_2), combination of 67% red light and 33% blue light (L_3), white (L_4), 100% natural light (L_5), with an intensity equal to (200 fc). Measurement of traits in the first experiment was carried out at flowering stage. Shoots fresh and dry weights, number of black nodes, days to flowering, leaf area, total chlorophyll, antioxidant activity, total phenol, plant height and hypericine percentage were determined within both experiments.

Results and Discussion

The results showed that the simple effect of supplementary combination red and blue light (started from sunrise to sunset) on growth, morphological, physiological and biochemical traits was significant at 1% probability level. The highest plant dry weight was detected in L_3 in the first and second harvests respectively (8.63 g, 66.29 g). Also, the highest percentage of Hypericine in the first harvest was obtained for L_3 (0.17%). Measurement of the traits in the second experiment was carried out at the seedling stage. Results showed that the



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

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

simple effect of supplementary combination light (sun exposure and day length increased for 4 hours) had a significant effect ($p \leq 0.01$) on growth rate, physiological, morphological and biochemical properties. So that the lowest number of days to flowering (early flowering) was obtained from L₃ treatment (101 day), and the highest percentage of Hypericin was related to L₃ treatment (0.156%). Black node numbers and total phenol content were increased by 27 and 53 % with supplementary light treatments respectively. Antioxidant activity was also raised and enhanced from 33 % to 75 % with LED light application. Plant height and total chlorophyll content were enhanced from 13 to 23 cm and 12 to 22 mg/g FW as well. Regarding studied traits and the obtained results of the both experiments, the positive effect of applying LED light, red and blue on the growth and biochemical properties, especially the Hypericine percentage and yield of St. John's wort is quite evident. Different reactions were observed in response to supplementary light treatments for St. John's wort. Most of the enhancements observed were mainly due to optimized photosynthesis activities and more metabolic production processes.

Conclusion

Regarding studied traits and the obtained results of the both experiments, the positive effect of applying LED light, red and blue on the growth and biochemical properties, especially the Hypericine percentage and yield of St. John's wort is quite evident. It seems that a combination of red and blue light could be suggested for solving the light limitations and increasing the medicinal plant production for future.

Keywords: Supplementry light, light quality, *Hypericum perforatum*, Hypericine

اثر نور تکمیلی (طیف و طول دوره نوردهی) LED بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و میزان هایپریرسین در گل راعی (*Hypericum perforatum* L.)

الهه غفوریان حضوری اصفهان^{۱،۲} - مجید عزیزی^{۱،۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نور مکمل LED، بر خصوصیات رشدی و میزان ماده مؤثره در گیاه دارویی گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) رقم توپاز، تحقیقی در قالب دو آزمایش مستقل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی اجرا شد. در هر دو آزمایش، تأثیر چهار طیف نوری توأم با نور خورشید شامل نور قرمز (L₁)، آبی (L₂)، ۶۷ درصد نور قرمز و ۳۳ درصد نور آبی (L₃)، سفید (L₄)، ۱۰۰ درصد نور طبیعی (L₅)، با شدت مساوی به میزان ۲۰۰ فوت شمع با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر نور مکمل (از طلوع تا غروب خورشید) بر صفات رشدی و بیوشیمیایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیشترین وزن خشک بوته به ترتیب در برداشت اول و دوم مربوط به تیمار L₃ (۸/۶۳۸ گرم و ۶۶/۹۲۳ گرم) بود. همچنین بیشترین درصد هایپریرسین در برداشت اول مربوط به نور ترکیبی (تیمار L₃) و برابر ۰/۱۷ درصد براساس وزن خشک به دست آمد. در آزمایش دوم، نور تکمیلی پس از غروب خورشید به منظور افزایش طول روشنایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر طیف های نور مکمل (به مدت چهار ساعت افزایش طول روز) تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر صفات رشدی و بیوشیمیایی داشت. کمترین تعداد روز تا گل دهی مربوط به تیمار L₃ (۱۰۱ روز) به دست آمد که در مقایسه با شاهد شش روز زودتر بود. همچنین بیشترین میزان هایپریرسین مربوط به تیمار L₃ (۰/۲۶ درصد) بود. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، تأثیر مثبت نور LED به ویژه طیف ترکیبی نور قرمز و آبی بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی و میزان هایپریرسین در گیاه دارویی گل راعی کاملاً مشهود بود و بنابراین می توان از این تیمار برای بهبود کیفیت این گیاه مورد استفاده در صنایع داروسازی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: طول روز، کیفیت نور، گل راعی، مواد مؤثره، LED

مقدمه

گیاهان دارویی طی قرون متمادی تنها منبع قابل دسترس بشر جهت درمان بوده و تا چند دهه اخیر به عنوان منبع اصلی تأمین دارو در نظر گرفته می شدند (Arrieta et al., 2001). در حال حاضر نیز در برخی از کشورها، بخش پراهمیت سیستم درمانی به شمار آمده و مصرف آن ها نیز در مقایسه با سایر داروهای شیمیایی رونق افزون تری دارد (Word Health Organization Review, 1998). تنوع اقلیمی و شرایط اکولوژیک مختلف باعث تنوع و غنای گیاهان دارویی در سراسر ایران شده است. از سویی، مصرف گیاهان دارویی یکی از شاخص های مهم بهداشتی کشورهای پیشرفته نیز محسوب

می گردد. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، امروزه بیش از ۸۰ درصد مردم جهان، برای درمان بیماری ها از داروهای گیاهی استفاده می کنند و تقریباً یک چهارم داروهای تهیه شده دنیا دارای منشأ گیاهی هستند (Omid Beigi, 1999).

گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) متعلق به تیره گل راعی^۳ می باشد. این خانواده گیاهی شامل ۵۰ جنس و ۱۲۰۰ گونه است. جنس *Hypericum*، بزرگ ترین جنس متعلق به این خانواده است (Azizi & Omid Beigi, 2000a). به طور کلی، گونه های موجود در ایران به پنج جنس *Androsaemum*، *Campylosporus*، *Hypericum*، *Taeniocarpium* و *Hirtella* تعلق دارند (Iran Flora, 2000) و تنها گونه باارزش آن گونه *perforatum* می باشد (Azizi & Omid Beigi, 2000b). از این گیاه در طب سنتی به عنوان ضدالتهاب و ورم برونش ها، درمان آسیب مجاری صفراوی،

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- پژوهشکده گیاهان دارویی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(Email: azizi@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

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

سرمایه‌گذاری معمولی، میگردن، سردرد، سیاتیک، زخم معده، اگزما، یرقان، مالاریا، به‌طور موضعی جهت بریدگی و سوختگی، عفونت‌های میکروبی و ویروسی و نیز به‌عنوان ضدافسردگی، ادرارآور، ضد درد و ضد عفونی و ترمیم‌کننده زخم استفاده می‌شود (Zargari, 1993; Salehi Sourmaghi, 2007; Bruneton, 1995; Singh & Pal, 2006; Dias, 2003).

ارتباط نزدیکی بین ویژگی‌های نور و تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی وجود دارد و نقش آن در تولید فرآورده‌های مذکور، در تحقیقات اثبات شده است. فعالیت گیاهان در سنتز متابولیت‌های دارویی، تحت تأثیر وضعیت‌های مختلف نوری تغییر می‌کند. طیف، شدت و مدت روشنایی، هریک به‌تنهایی می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر وضعیت متابولیت‌های ثانویه بر جای بگذارد (Omid Beigi, 1999). نور یکی از عوامل مهم در فتوسنتز است، شدت و طیف‌های نوری اثرات مهمی در کیفیت و کمیت، عملکرد و سرعت رشد محصولات کشاورزی دارد (Shakeri & Farzane, 2010). تراکم بالای گیاه در واحد سطح باعث کمبود نور شده و در نتیجه، جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ضعیف خواهد بود (Currey & Lopez, 2013). نور و درجه حرارت مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رویش گیاهان دارویی هستند که تأثیر عمده‌ای بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن‌ها می‌گذارد (Hoenecke et al., 1992). در سال‌های اخیر، لامپ‌های LED

به‌عنوان منابع جدید نور برای تولید گیاه در محیط‌های کنترل‌شده و همچنین تحقیقات فیزیولوژی گیاهی مورد توجه قرار گرفته‌اند. از مزیت‌های این لامپ‌ها نسبت به دیگر منابع نوری مرسوم می‌توان به بهره‌وری بالا، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، حجم کم، عمر طولانی، تولید پایین انرژی حرارتی، شدت و کیفیت نوری قابل تنظیم و عاری بودن از اشعه مضر فرابنفش اشاره نمود (Li et al., 2013). کاربرد نور مکمل در فصل زمستان و اوایل بهار موجب افزایش کیفیت محصول می‌شود (Currey & Lopez, 2013). اخیراً پژوهشگران سعی داشته‌اند تا با کاربرد طیف‌های نور LED به‌شکل تک طیف و یا ترکیبی به نتایج خوبی در زمینه پرورش گیاهان دست پیدا کنند. کاهش نور در طول رویش گیاه استاکیس (*Stachys byzantine* K.Koch) سبب کاهش اندازه گل‌ها و در نهایت مقدار اسانس موجود در آن‌ها شده است (Aalipoor et al., 2015). نتایج تحقیقات برنث (Bernath, 2000) نیز نشان داد که فعالیت گیاهان در سنتز متابولیت‌های دارویی تحت تأثیر وضعیت‌های مختلف نوری تغییر می‌کند، به‌طوری‌که در بسیاری از گیاهان افزایش زمان نوردهی باعث افزایش ترکیبات و تغییر در ساختار اسانس می‌شود. در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر نور بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی و تعداد گرهک‌های حاوی هاپیرسین در برگ‌های گیاه گل راغی مشخص گردید که نور به‌عنوان یک عامل محیطی، نقش بسزایی بر این

صفات دارد (Donald & Gawienowski, 2001). همچنین این نوع لامپ‌ها در سیستم‌های عمودی نسبت به سایر لامپ‌ها گزینه بسیار مناسب‌تری می‌باشند (Al-Chalabi, Malek, 2015).

با توجه به رشد روزافزون استفاده از گیاهان دارویی و داروهای گیاهی، ضرورت تولید نشاء گیاهان دارویی با کیفیت و دارای درصد بالایی از مواد مؤثره در شرایط کنترل‌شده احساس می‌شود. به این منظور، تحقیق حاضر با بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور LED و نیز طول مدت تابش آن‌ها همزمان با نور خورشید و یا بعد از غروب خورشید بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی به‌ویژه میزان مواد مؤثره گیاه دارویی گل راغی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای طرح

این پژوهش در قالب دو آزمایش مستقل به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار نوری و سه تکرار اجرا گردید. آزمایش‌ها به‌صورت گلدانی و انتقال به زمین اصلی جهت بررسی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه دارویی گل راغی (*Hypericum perforatum* L. در سال ۱۳۹۶ در گلخانه و زمین تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. متوسط دما ۲۵- ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۵ درصد، عرض جغرافیایی منطقه ۳۶/۲ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹/۴ درجه شرقی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا بود. ترکیب خاک گلدان‌ها مخلوطی از خاک باغچه، ماسه، خاک برگ و کوکوپیت به نسبت مساوی بود. گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شدند. تیمارهای نوری شامل نور قرمز، نور آبی، ۳۳ درصد نور آبی و ۶۷ درصد نور قرمز، نور سفید و نور طبیعی (شاهد) بود. شدت نور در تمامی مراحل در سطح گیاهان مساوی و برابر با ۲۰۰ فوت شمع بود. صفحات نوری توسط لامپ‌های ال ای دی با قدرت بالا ۱ آماده و بر روی پایه فلزی مستقر گردید. شدت نور با استفاده از دستگاه نورسنج ساخت شرکت MarMonix اندازه‌گیری شد. طول دوره نوردهی در این آزمایش، به‌وسیله یک تایمر (فتوسل) که با طلوع خورشید روشن و با غروب خورشید خاموش شدند، کنترل گردید.

آزمایش اول

جهت بهبود سرعت و درصد جوانه‌زنی، ابتدا بذور گل راغی رقم توپاز به‌مدت ۲۴ ساعت شست‌وشو شدند. سپس بذور با کمی ماسه بادی مخلوط و به‌صورت سطحی در گلدان‌ها کشت و بلافاصله آبیاری شدند. پس از ۱۲ روز جوانه‌زنی صورت گرفت و سپس در

بوته در هر دو برداشت به صورت کرت خردشده در زمان مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

آزمایش دوم

جهت بهبود سرعت و درصد جوانه زنی، ابتدا بذور گل راعی به مدت ۲۴ ساعت شست و شو شدند. سپس بذور با کمی ماسه بادی مخلوط و به صورت سطحی در گلدان‌ها کشت و بلافاصله آبیاری گردید. تیمارهای نوری پس از رسیدن ارتفاع گیاهچه به ۱۰ سانتی متر، اعمال شدند. در این آزمایش با غروب خورشید، لامپ‌ها روشن و طول روز به مدت چهار ساعت افزایش پیدا کرد. این گیاهان بعد از سه ماه به زمین اصلی منتقل شدند. در هر کرت به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ سانتی متر، چهار گیاهچه کشت شد.

سطح برگ با استفاده از نرم افزار Image اندازه گیری شد. برای اندازه گیری صفات ریخت‌شناختی در مرحله تمام گل، گیاهان از فاصله ۱۰ سانتی متر از سطح زمین برداشت شده و سپس به آزمایشگاه منتقل گردید. برای اندازه گیری وزن تر، بلافاصله نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. نمونه‌های بخش هوایی در اتاق خشک‌کن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بعد از خشک شدن کامل با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند.

مرحله چهار برگی نشاها به تعداد چهار گیاه در هر گلدان تنک شدند. اعمال تیمارهای نوری پس از رسیدن ارتفاع گیاهچه‌ها به ۱۰ سانتی‌متر آغاز شدند. اعمال تیمار نوردهی به مدت ۹۰ روز ادامه یافت و در نهایت در مرحله قبل از گل‌دهی به زمین اصلی منتقل شدند. قبل از انتقال نشاها به زمین اصلی، نمونه‌های برگ برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، کاروتنوئید، ترکیبات فنلی و فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی نیز جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. در زمین اصلی برای هر تیمار سه کرت به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر آماده گردید و در هر کرت تعداد چهار نشاء کشت شد. آبیاری و مهار علف‌های هرز به‌طور معمول در زمین اصلی اعمال شد. اندازه‌گیری سایر صفات در مرحله گل‌دهی کامل صورت گرفت. قبل از برداشت، صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد ساقه گل‌دهنده در بوته و فاصله میان‌گره اندازه‌گیری شد. سپس برداشت در مرحله تمام گل و از فاصله ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین صورت گرفت و بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن تر و سطح برگ آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در هوای آزاد و دور از نور خورشید خشک شدند و وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. نمونه‌های خشک‌شده در محلی تاریک و خنک تا زمان اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی نگهداری شدند. لازم به ذکر است که با توجه به رشد مجدد گیاهان، برداشت در دو مرحله (چین اول و دوم) صورت گرفت و داده‌های صفات وزن تر، وزن خشک و ارتفاع



شکل ۱- ترکیبات نوری مورد استفاده در آزمایش

Figure 1- Light combination treatments used in this experiment

۶۶۶ و ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از معادله‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ گزارش شد (Dere et al., 1998).

$$\text{Chl a} = 15 \text{ Chl a} = 15.65 A_{666} - 7.340 A_{653} \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = 27.05 A_{653} - 11.21 A_{666} \quad (2)$$

$$\text{Chl total} = C_a + C_b \quad (3)$$

$$C_{x+c} = 1000A_{470} - 2.860 C_a - 129.2 C_b / 245 \quad (4)$$

که در آن‌ها، Chl a، Chl b، Chl total، C_{x+c} و به ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید می‌باشد.

اندازه‌گیری‌های فیتوشیمیایی

محتوای کلروفیل: یک گرم نمونه تازه برگ وزن گردید و سپس درون هاون چینی همراه با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶ درصد کوبیده شد و به درون لوله فالکون منتقل گردید. بعد از سانتریفیوژ نمونه در دور ۲۰۰۰، محلول رویی آن جدا شد و کلروفیل a، b و کاروتنوئید با استفاده از اسپکتروفتومتر به ترتیب در طول موج ۶۵۳،

ترکیبات فنلی: برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی از روش فولین سیکالتو استفاده شد (Gao et al., 2000). بدین منظور، ابتدا از نمونه‌های خشک عصاره‌گیری گردید. جذب نمونه‌های عصاره‌گیری‌شده در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. میزان ترکیبات فنلی براساس منحنی استاندارد اسیدگالیک و به‌صورت میلی‌گرم هم‌ارز اسیدگالیک^۱ در هر گرم وزن تر نمونه بیان شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌روش خنثی شدن DPPH تعیین شد. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش بورتیس و بوکر (Burits & Bucar, 2000) استفاده گردید. قرائت اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر صورت گرفت.

میزان هاپیریسین: جهت تعیین میزان هاپیریسین از روش ارائه‌شده توسط عزیزی و امیدبیگی (Azizi & Omid Beigi, 2000b) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری‌شده با استفاده از نرم‌افزار JMP8 صورت گرفت. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD استفاده شد. نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

آزمایش اول

وزن تر بخش هوایی

طیف نور اثر معنی‌داری بر وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد در برداشت اول و دوم داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر طیف نور نشان داد که تیمار نوری L₃ (قرمز- آبی) در هر دو برداشت بیشترین و تیمار نوری L₁ (قرمز) کمترین میزان وزن تر بخش هوایی را داشتند (شکل ۲). اثر متقابل طیف نور و زمان برداشت بر میزان وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین طیف نور زمان برداشت بر میزان وزن تر بخش هوایی نشان داد که وزن تر (بخش هوایی) برداشت دوم (T₂) نسبت به برداشت اول (T₁) با اختلاف معنی‌دار بیشتر مشاهده شد (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور در زمان برداشت نیز نشان داد که بیشترین میزان وزن تر بخش هوایی با اختلاف معنی‌دار در تیمار L₃T₂ (۱۶۸/۷۲ گرم) به دست آمد (شکل ۲).

کمترین میزان وزن تر بخش هوایی با اختلاف معنی‌دار در تیمار L₁T₁ (۱۵/۴۵ گرم) مشاهده شد (شکل ۲). استفاده از ترکیب نور قرمز

و آبی موجب رشد بهتر گیاه از نظر وزن تر بخش هوایی در مقایسه با کاربرد نور قرمز به‌تنهایی گردید که مشابه نتایج راندال و لوپز (Randall & Lopez, 2014) در گیاه اطلسی (Petunia) بود. بیشترین وزن تر گیاه در ترکیب نور LED قرمز و آبی در گیاه داوودی گزارش شد (Kim et al., 2004). در پژوهشی دیگر نیز بیشترین وزن تر کاهو (Lactuca sativa L.) رشدیافته تحت تیمار ترکیب نور قرمز و آبی به دست آمد (Johkan et al., 2010).

وزن خشک بخش هوایی

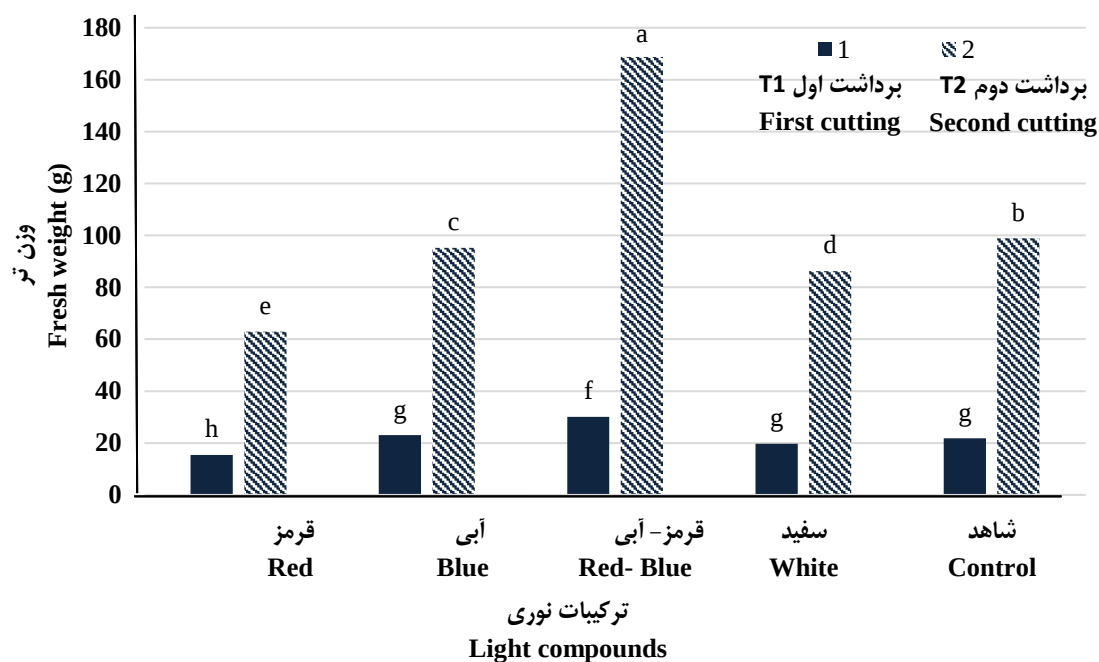
اثر طیف نور بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد در برداشت اول و دوم معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین طیف نور طیف نور در برداشت اول و دوم نشان داد که بیشترین وزن خشک بخش هوایی در تیمار L₃ (قرمز- آبی) و کمترین میزان وزن خشک بخش هوایی در تیمار L₁ (قرمز) مشاهده شد (شکل ۳). زمان برداشت نیز اثر معنی‌دار بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت، به‌طوری‌که مقایسه میانگین طیف نور زمان برداشت بر میزان وزن خشک بخش هوایی نشان داد که وزن خشک (بخش هوایی) برداشت دوم (T₂) نسبت به برداشت اول (T₁) با اختلاف معنی‌دار بیشتر مشاهده شد (شکل ۳).

اثر متقابل طیف نور و زمان برداشت بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و زمان برداشت نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی با اختلاف معنی‌دار در تیمار L₃T₂ (۶۶/۹۲ گرم) و کمترین میزان وزن خشک در تیمار L₁T₁ (۵/۶۹ گرم) مشاهده شد (شکل ۳).

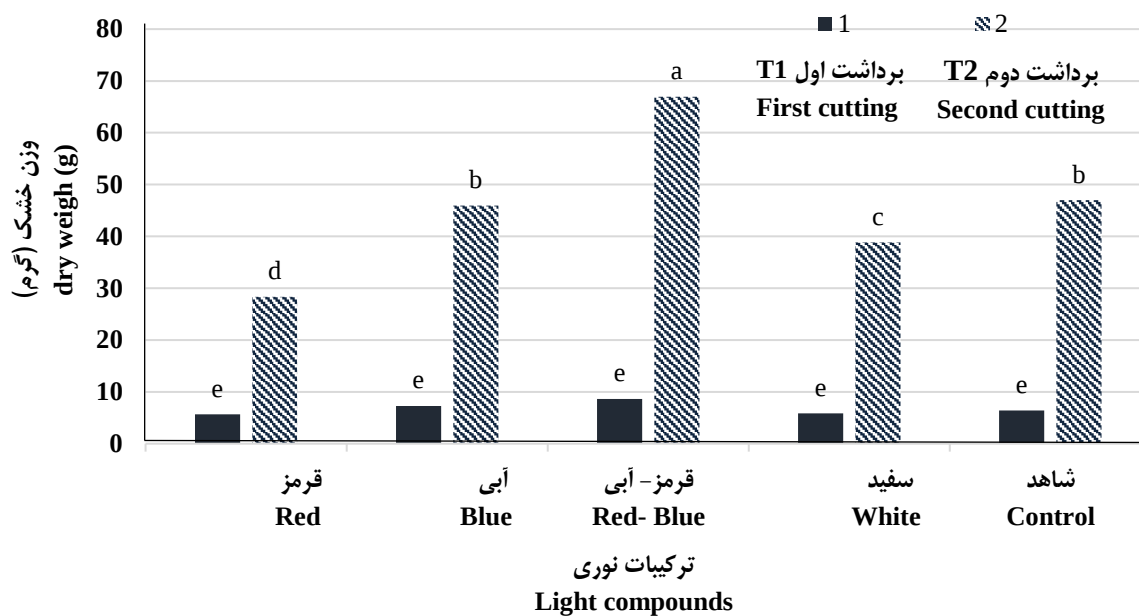
سطح برگ

طیف نور سبب تغییر معنی‌دار سطح برگ در آزمایش اول در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۱). مقایسه میانگین طیف نور بر میزان سطح برگ نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ در تیمار نوری L₃ (قرمز- آبی) و کمترین سطح برگ مربوط به تیمار L₁ (قرمز) بود (شکل ۴). افزایش سطح برگ در کاربرد ترکیب نور قرمز و آبی در برگ‌های کاهو، تربچه، سویا، گندم و گیاه رز مطرح شده است (Stutte et al., 2009; Samuoliene et al., 2011; Terfa et al., 2013). از مسائل قابل توجه در این آزمایش، بدشکلی برگ‌های گل راعی رشدکرده تحت تیمار نور قرمز (L₁) بود که برگ‌ها ریز و کوچک مانده و رشد گیاه محدود شد، این امر در نتایج مربوط به کمترین میزان سطح برگ کاملاً مشهود است.

1- Galic Acid Equivalent (GAE)



شکل ۲- اثر متقابل طیف نور × زمان برداشت (اول و دوم) در وزن تر بخش هوایی گل راعی در سطح بوته
Figure 2- the interaction effects of light quality ×harvest time on *Hypericum* fresh weigh (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل طیف نور × زمان برداشت بر وزن خشک بخش هوایی گل راعی
Figure 3- The interaction effects of light spectrum ×harvest time on *Hypericum* dry herb weight (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مربوط به تأثیر نور مکمل بر گل راعی در آزمایش اول
Table 1- ANOVA for the *Hypericum perforatum* traits under supplementary light in the first experiment

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل کل Total chlorophyll	سطح برگ Leaf area	تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	تعداد گرهک سیاه Black node number	هایپریسین Hypericine
تکرار Replication	2	0.986	0.003	1.86	9.276	0.00032
نور Light	4	41.849**	0.055**	204.86**	92.67**	0.0035**
خطای آزمایش Error	8	0.98	0.003	7.27	3.014	0.00036

** و *: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می باشد.

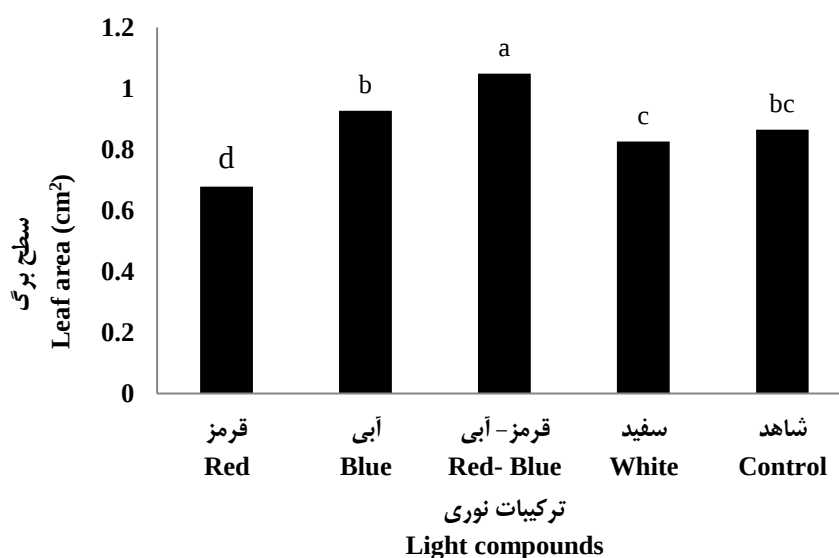
** and *: significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به تأثیر نور مکمل بر وزن تر و خشک گل راعی در آزمایش اول
Table 2- ANOVA for the fresh and dry weight of *Hypericum perforatum* under supplementary light in first experiment

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک Dry weight	وزن تر Fresh weight
نور Light	4	350.79**	3020.17**
خطای عامل اصلی Main plot error	10	5.88	6.21
زمان Time	1	1191.88**	48420.2**
اثر متقابل نور × زمان Light × time	4	254.18**	1780.15**
خطای عامل فرعی Sub plot error	10	6.17	3.98

** و *: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می باشد.

** and *: significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively.



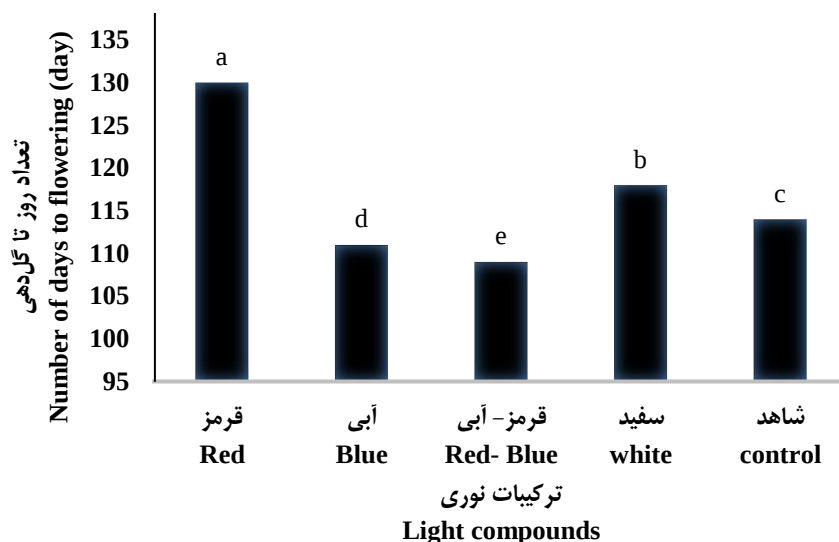
شکل ۴- اثر طیف نور بر متوسط سطح هر برگ گل راعی

Figure 4- Light quality effect on the mean leaf area of *Hypericum perforatum* (LSD, $p \leq 0.05$)

تعداد روز تا گلدهی

L₃ (۱۰۹ روز) بود. از نتایج فوق چنین برآورد می‌شود که وجود تیمار نور قرمز سبب افزایش معنی‌دار تعداد روز تا گلدهی می‌شود و در نتیجه زمان برداشت را افزایش داده و حتی می‌تواند روی تعداد چین‌های برداشتی تأثیر معنی‌داری داشته باشد (شکل ۵).

طیف نور اثر معنی‌دار بر گلدهی آزمایش اول در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین طیف نور نیز نشان داد که بیشترین مدت زمان از اعمال تیمار نوری تا گلدهی مربوط به تیمار نور L₁ (۱۳۰ روز) و کمترین مدت زمان گلدهی مربوط به تیمار



شکل ۵- اثر طیف نور بر تعداد روز تا گلدهی در گل راعی

Figure 5- Light quality effect on the days to flowering of *Hypericum perforatum* (LSD, $p \leq 0.05$)

درصد هایپریرسین

درصد هایپریرسین به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر طیف نور LED قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر طیف نور نشان داد که تیمار نوری L₃ با اختلاف معنی‌دار بیشترین میزان درصد هایپریرسین را به خود اختصاص داد. کمترین میزان درصد هایپریرسین نیز در تیمار L₄ مشاهده شد (شکل ۹). بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، تیمار ترکیب نور LED قرمز و آبی نه‌تنها باعث بهبود شاخص‌های رشدی گیاه گل راعی می‌شود، بلکه بر میزان درصد ماده مؤثره این گیاه نیز مؤثر است. جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که طیف‌های نور LED بر میزان هایپریرسین معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین میزان هایپریرسین در گیاهان تیمار شده با نور ترکیبی قرمز-آبی (۰/۱۷ درصد) به دست آمد.

این نتایج نشان می‌دهد که از نظر میزان هایپریرسین بین تیمار ترکیبی قرمز و آبی با نور قرمز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. کمترین میزان هایپریرسین برابر (۰/۰۹ درصد) در گیاهان تیمار شده با نور سفید به دست آمد. همچنین بین شاهد و گیاهان تیمار شده با نور سفید از نظر میزان هایپریرسین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

تعداد گرهک سیاه در برگ

تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر تعداد گرهک سیاه در برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر طیف نور بر این صفت نشان داد که بیشترین تعداد گرهک سیاه مربوط به تیمار L₃ و L₂ (به‌ترتیب ۳۳ و ۳۱ گره در هر برگ) بود و کمترین میزان گرهک سیاه در تیمار L₄ (۱۹ گره در هر برگ) مشاهده شد (شکل ۶). با توجه به نتایج آزمایش‌ها چنین برمی‌آید که حضور ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان گرهک‌های سیاه مملو از هایپریرسین مؤثر است، اما تفاوت در نحوه و مدت زمان اعمال نور می‌تواند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد.

کلروفیل کل

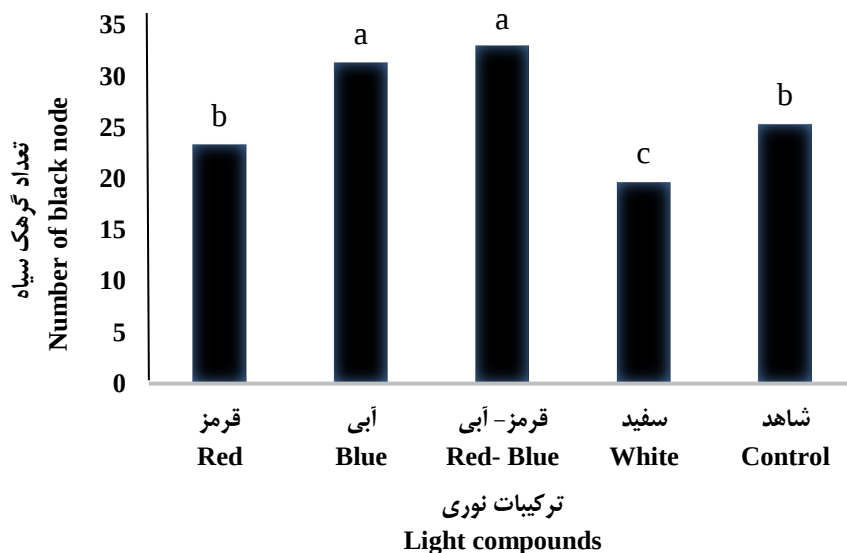
طیف نور اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر طیف نور نشان داد که تیمار نوری L₃ منجر به بیشترین میزان کلروفیل کل گردید، درحالی‌که گیاهان تیمار شده با نور قرمز (L₁) کمترین میزان کلروفیل کل را به خود اختصاص داد (شکل ۸).

آزمایش دوم

وزن تر بخش هوایی

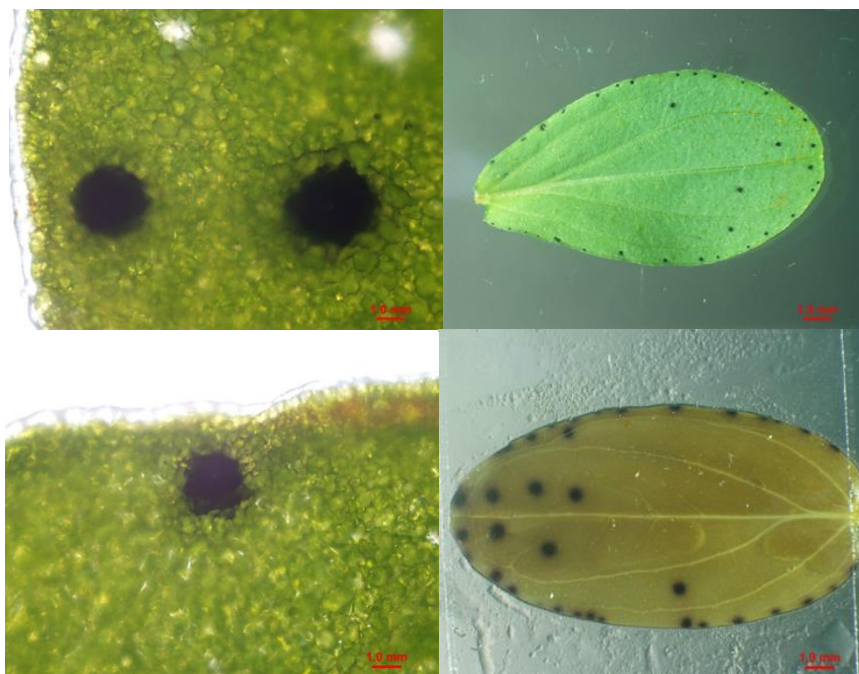
طیف نور اثر معنی داری بر وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که بیشترین وزن تر بخش هوایی در تیمار L₃ و کمترین وزن تر بخش

هوایی در تیمارهای L₄ و L₅ مشاهده شد (شکل ۱۰). افزایش میزان حضور نور و در نتیجه افزایش انتگرال نور روزانه می تواند منجر به افزایش خصوصیات رشد رویشی در گیاهان گردد (Oh et al., 2010).



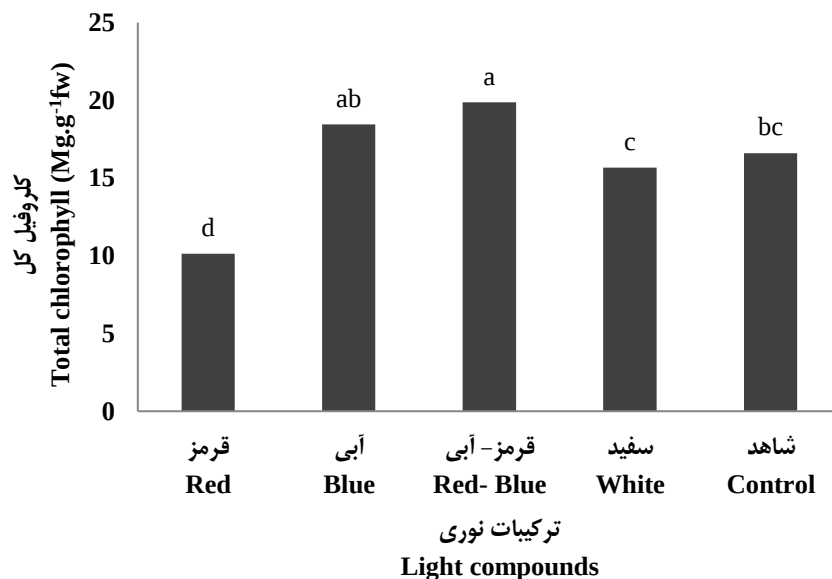
شکل ۶- اثر طیف نور بر تعداد گرهک سیاه در هر برگ گل راعی در سطح بوته

Figure 6- Light quality effect on the leaf black nodes number per plant of *Hypericum perforatum* (LSD, $p \leq 0.05$)



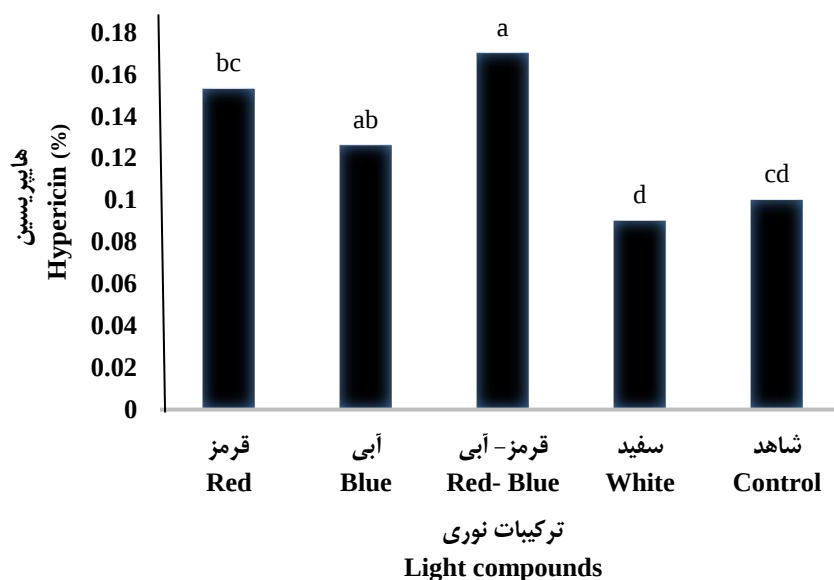
شکل ۷- گرهک های سیاه در برگ گل راعی

Figure 7- Black nodes in *Hypericum perforatum* leaf



شکل ۸- اثر طیف نور بر محتوی کلروفیل کل برگ گل راعی

Figure 8- Light quality effect on the total chlorophyll content of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۹- اثر طیف نور بر میزان هایپریسین برگ گل راعی

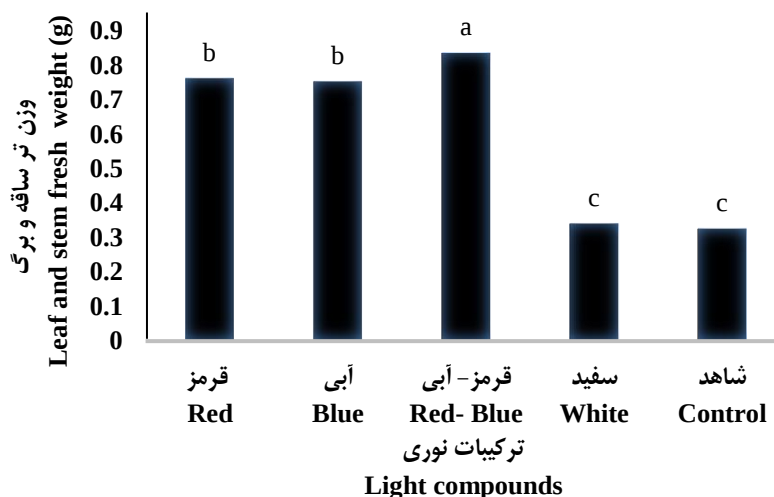
Figure 9- Light quality effect on the hypericin content of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

طول ساقه

طیف نور سبب تغییر معنی‌دار طول ساقه در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، صفت ارتفاع گیاه تحت تأثیر ترکیبات نور قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین طول ساقه مربوط به تیمار نوری L_3 و کمترین ارتفاع مربوط به تیمار L_1 بود (شکل ۱۲).

وزن خشک بخش هوایی

طیف نور اثر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که بیشترین وزن خشک بخش هوایی در تیمار L_3 و کمترین وزن خشک بخش هوایی در تیمار L_4 و L_5 مشاهده شد و دو تیمار دیگر شامل تیمار L_1 ، L_2 تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک بخش هوایی نداشتند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- اثر طیف نور بر وزن تر بخش هوایی در سطح نشاء گل راعی
Figure 10- Light quality effect on the transplant fresh aerial weight of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای نوری بر صفات رویشی و ریخت‌شناختی گل راعی
Table 3- Analysis of variance from light impact on some growth and morphological traits of *Hypericum perforatum*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	هایپریرسین Hypericine	فنل کل Total phenol	آنتی‌اکسیدان Antioxidant	تعداد گرهک سیاه Black node number	طول ساقه Plant height	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight	وزن تر بخش هوایی Shoot fresh weight
تکرار Replication	2	0.000046	1.083	9.386	1.27	0.221	0.000217	0.0002
نور Light	4	0.010**	13.601**	528.966**	52.01**	44.171**	0.0067**	0.186**
خطای آزمایش Error	8	0.0002	0.852	15.798	0.765	1.449	0.00012	0.00115

** و * به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.
** and *: significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively.

تعداد گرهک سیاه در برگ

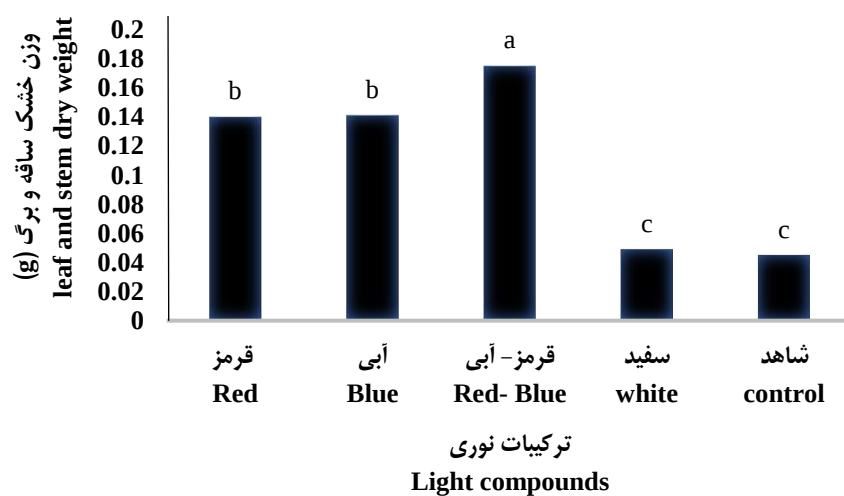
تعداد گرهک سیاه در برگ در سطح احتمال یک درصد در آزمایش دوم (افزایش طول روز به مدت چهار ساعت) معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که بیشترین تعداد گرهک سیاه در تیمار قرمز - آبی (L_3)، و آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با بکدیگر نداشتند و کمترین میزان گرهک سیاه نیز در تیمار قرمز (L_1) و شاهد (L_5) به دست آمد (شکل ۱۳). با توجه به نتایج آزمایش‌ها چنین بر می‌آید که حضور ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان گرهک‌های سیاه مملو از هایپریرسین مؤثر است، اما تفاوت در نحوه و مدت زمان اعمال نور می‌تواند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد. حضور نور مکمل همراه نور LED سفید کمترین میزان گرهک سیاه را در آزمایش اول در بر دارد، درحالی‌که با توجه به نتایج آزمایش دوم، افزایش طول روز به مدت چهار ساعت به وسیله نور LED سفید باعث افزایش میزان گرهک‌های سیاه می‌شود.

میزان ترکیبات فنلی

طیف نور اثر معنی‌دار بر میزان ترکیبات فنلی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که تیمار L_3 بالاترین میزان ترکیبات فنلی و تیمار L_5 پایین‌ترین میزان را دارا بود (شکل ۱۴). در گیاه توت فرنگی نیز نور قرمز، میزان ترکیبات فنلی را افزایش داد (Choi et al., 2015).

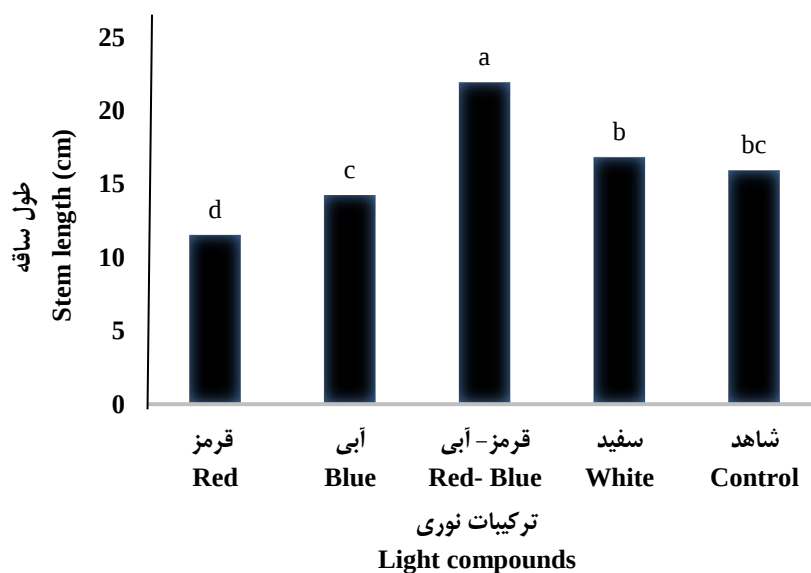
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

طیف نور اثر معنی‌داری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار L_3 و کمترین مربوط به تیمار L_4 مشاهده شد (شکل ۱۵).



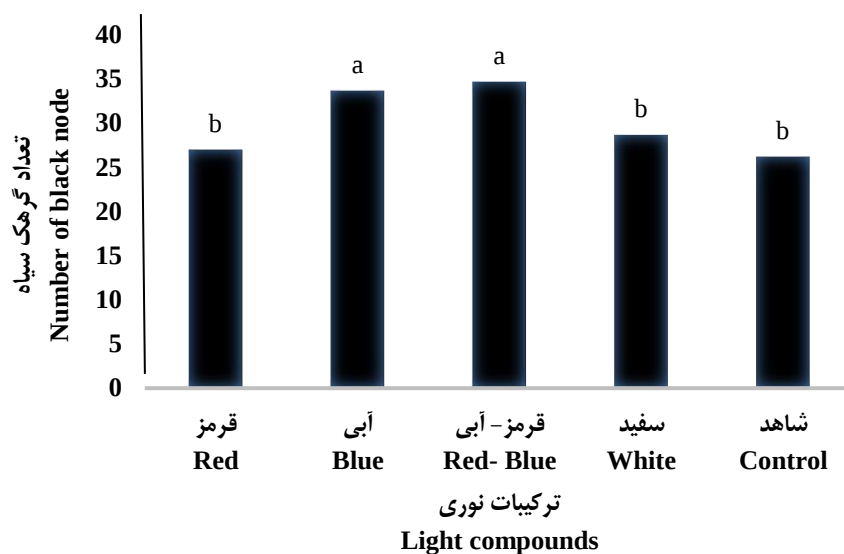
شکل ۱۱- اثر طیف نور بر وزن خشک بخش هوایی در سطح نشاء گل راعی

Figure 11- Light quality effect on the transplant stem and leaf dry weight of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

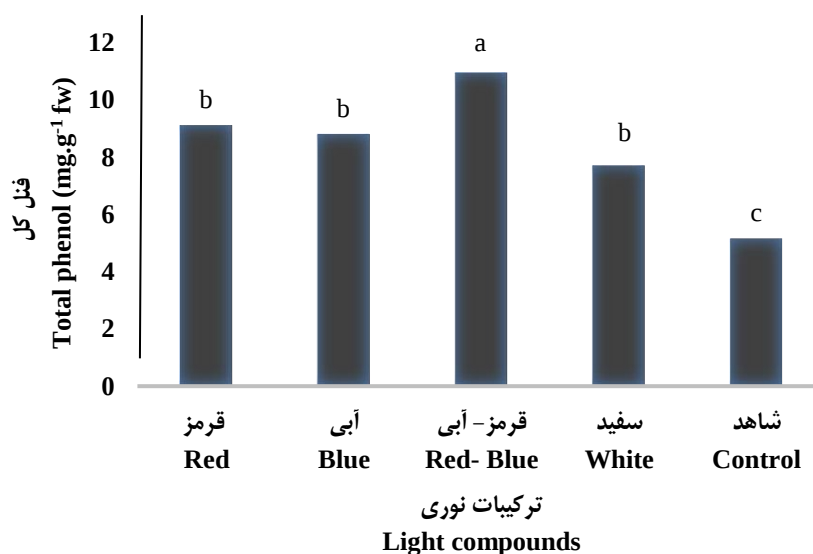


شکل ۱۲- اثر طیف نور بر طول ساقه در مرحله نشاء گل راعی

Figure 12- Light quality effect on the transplant height of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۳- اثر طیف نور بر متوسط تعداد گرهک سیاه در هر برگ گل راعی
Figure 13- Light quality effect on the number of leaf black nodes of *Hypericum* transplant (LSD, $p \leq 0.05$)

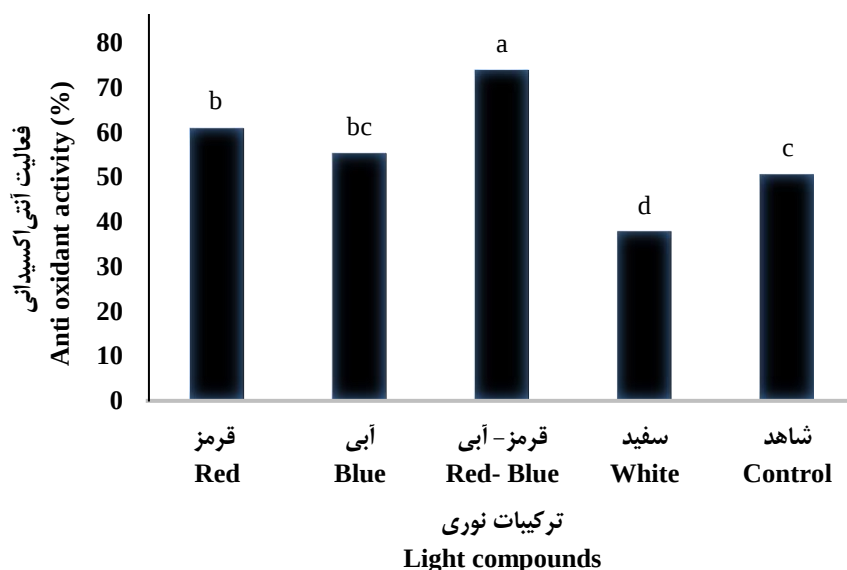


شکل ۱۴- اثر طیف نور بر میزان ترکیبات فنلی کل در نشاء گل راعی
Figure 14- Light quality effect on the transplant total phenolic compounds (mg GAE.g⁻¹FW) of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

درصد هایپرپیرسین

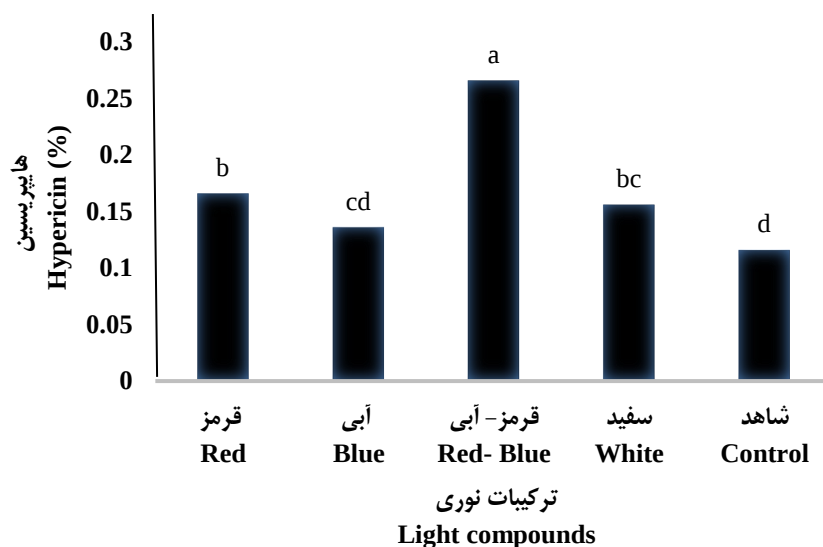
در این آزمایش، درصد هایپرپیرسین به طور معنی داری تنها تحت تأثیر نور LED ترکیبی قرمز و آبی (L_3) با اختلاف نسبت به تیمارهای دیگر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که تیمار نوری L_3 با اختلاف معنی دار بیشترین میزان درصد هایپرپیرسین را به خود اختصاص داد.

کمترین میزان درصد هایپرپیرسین نیز در تیمار L_5 مشاهده شد (شکل ۱۶). بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، تیمار ترکیب نور LED قرمز و آبی نه تنها باعث بهبود شاخص های رشدی گیاه گل راعی می شود، بلکه بر میزان درصد ماده مؤثره این گیاه نیز مؤثر است.



شکل ۱۵- اثر طیف نور بر فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح نشاء گل راعی

Figure 15- Light quality effect on the transplant antioxidant activity of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۶- اثر طیف نور بر درصد هایپرئیسین در سطح نشاء گل راعی

Figure 16- Light quality effect on the transplant hypericin percentage of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

شده است (Goins *et al.*, 1998). به نظر می‌رسد که نور آبی، تحریک‌کننده ژن‌هایی است که بیان آن باعث تمایز یابی مریستم به سرآغازهای گل می‌شوند (Hoenecke *et al.*, 1992). نور قرمز عامل تبدیل فیتوکروم Pr به شکل فعال فیتوکروم Pfr است (Baba-Kasai *et al.*, 2014). فعالیت فیتوکروم‌ها همراه با کریپتوکروم‌ها در رشد رویشی و گل‌انگیزی گیاهان نقش دارند (Takemiya *et al.*, 2005). در این آزمایش، به‌کارگیری نور قرمز به‌تنهایی به‌عنوان نور مکمل منجر به دیرگل‌دهی گیاهان در مقایسه با سایر تیمارهای نوری گردید. محققانی همچون کنت (Kenneth,

به‌کارگیری نور قرمز در کنار نور آبی در مقایسه با کاربرد هر یک از این تیمارها به‌تنهایی نتیجه بهتری در افزایش وزن خشک برگ-های سوزنی گیاهچه‌های کاج نروژی *H. Picea abies* (L.) Karst. و کاج اسکاتلندی *(Pinus sylvestris L.)* به همراه داشت (Riikonen *et al.*, 2016). همچنین در گیاه مریم‌گلی، کاهو، تربچه و اسفناج ترکیب نور قرمز و آبی باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی شد (Heo *et al.*, 2002; Yorio *et al.*, 2001). در گیاه آرابیدوپسیس *(Arabidopsis thaliana L.)* Heynh نیز بدشکلی برگ‌های نمونه‌هایی که تحت نور تمام قرمز رشد کرده بودند، گزارش

آبی موجب رشد بهتر گیاه از نظر وزن تر بخش هوایی در مقایسه با کاربرد نور قرمز به تنهایی گردید که مشابه نتایج راندال و لوپز (Randall & Lopez 2014) در گیاه اطلسی بود. بیشترین وزن تر گیاه در ترکیب نور LED قرمز و آبی در گیاه داوودی گزارش شد (Kim et al., 2004). در کاهو نیز بیشترین وزن تر از کاهوی رشد یافته تحت تیمار ترکیب نور قرمز و آبی به دست آمد (Johkan et al., 2010). در گیاه اسطوخودوس، وزن خشک شاخه‌های این گیاه با افزایش انتگرال نور روزانه دو برابر شد (Fausey et al., 2005). وجود نور آبی و قرمز در ترکیبات نوری در مطالعات روی گیاه گل جعفری (*Tagetes L.*)، کاهو، بادمجان (*Solanum melongena L.*) و گیاه داوودی (*Chrysanthemum*) سبب افزایش ارتفاع شد (Heo et al., 2002; Kim et al., 2004; Hirai et al., 2006; Jeong et al., 2014). در این آزمایش، کاربرد نور قرمز باعث کاهش ارتفاع گل راعی شد که با نتایج فوکودا و اولسن (Fukuda & Olsen, 2011) در رابطه با گیاه اطلسی همخوانی دارد. اثر نور آبی و قرمز بر تغییر ارتفاع گیاه اطلسی ناشی از اثر نور آبی تحریک کریپتوکروم‌ها است که این تأثیر منجر به تولید پیام‌هایی می‌گردد که تولید جیبرلین و در نتیجه افزایش ارتفاع ساقه را تحریک می‌کند و باعث تغییر در میزان حضور نور آبی در محیط و افزایش یا کاهش آن منجر به بروز تغییر در ترشح جیبرلین و در نتیجه تغییر ارتفاع گیاه می‌گردد (Fukuda & Olsen, 2011).

در مطالعه باتیس و همکاران و اوزونیس و همکاران (Bantis et al., 2015; Ouzounis et al., 2016)، اضافه کردن نور LED آبی همراه با نور طبیعی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه ریحان شد. ترکیب نور قرمز و نور LED آبی باعث افزایش میزان فنل کل در گیاه ریحان شد (Bantis et al., 2016). ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش آنتوسیانین برگ کاهوی قرمز مؤثر بود (Stutte et al., 2009). فان و همکاران (Fan et al., 2013) نشان دادند که گوجه‌فرنگی می‌تواند تحت ترکیب نور قرمز و آبی، میوه کامل با محتوای متابولیکی بالایی نسبت به شرایط نور طبیعی تولید کند. نور LED قرمز میزان آنتی‌اکسیدان‌های گیاه نخودفرنگی را به صورت معنی‌دار تا دو برابر افزایش می‌دهد (Wu et al., 2007). ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان آنتوسیانین مؤثر بود (Choi et al., 2015). همچنین در کلم (Lefsrud et al., 2008) گزارش کردند که میزان ترکیبات آنتوسیانین گیاه که از انواع آنتی‌اکسیدان‌ها محسوب می‌شوند تحت نور قرمز LED افزایش یافت. مطالعه حیدرزاده و همکاران (Heydarizade et al., 2013) روی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha × piperita L.*) نشان داد که از نظر درصد و

(1992)، فوکودا و اولسن (Fukuda & Olsen, 2011) و کوتام (Gautam et al., 2015) اظهار کردند که کاهش میزان نور قرمز دور در محیط و نور قرمز به تنهایی، منجر به تأخیر و یا جلوگیری از گل‌دهی می‌شود که مطابق با نتایج به دست آمده در این آزمایش بود. نتایج این آزمایش نشان داد که نور آبی به همراه قرمز، گل‌دهی را سرعت می‌بخشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نور آبی در تحریک گل‌دهی این گیاه نقش مؤثری دارد. تأثیر نور آبی و قرمز بر گل‌دهی به دلیل اثر آن‌ها بر عملکرد رنگدانه‌های فیتوکروم B و کریپتوکروم‌ها است (Fukuda & Olsen, 2011). نسبت نور قرمز به آبی بسیار مهم است و نسبت ۳ به ۱ در ترکیب قرمز و آبی رشد قابل قبولی را در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa Duchesne*) نسبت به هر کدام به تنهایی تضمین کرد (Folta & Childers, 2008). طیف‌های مختلف نور LED بر رشد و تکامل گیاهان تأثیر می‌گذارد (Whitelam & Halliday, 2007). نور آبی LED سبب افزایش میزان کلروفیل در گیاه نخود فرنگی (*Lathyrus oleraceus*) Lam. شد (Wu et al., 2007). ترکیب نور LED قرمز و آبی در افزایش میزان کلروفیل گیاه توت‌فرنگی مؤثر واقع شد و عملکرد میوه را افزایش داد (Choi et al., 2015).

اخیراً مشخص شده است که هر دو نور قرمز و آبی می‌توانند با تأثیر بر تولید سایر متابولیت‌های ثانویه، تجمع آن‌ها را در بافت‌های مختلف گیاهان افزایش دهند (Urbanaviciute et al., 2008). تحقیقات لفسرود و همکاران (Lefsrud et al., 2008) نشان داد که کلم‌هایی (*Brassica oleracea*) که تحت نورهای LED پرورش یافته بود، نور قرمز منجر به افزایش معنی‌دار لوتئین و گلیکوزینولات در برگ گردید.

گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد نور آبی نیز می‌تواند تولید برخی از متابولیت‌های گیاه را افزایش دهد. به عنوان مثال، پارک و همکاران (Park et al., 2013) در گیاه جینسینگ (*Panax ginseng C.A.Mey.*) گزارش کردند که نور آبی منجر به افزایش ترکیبات اسید وانیلیک، اسیدکوماریک و اسیدفرولیک گردید. برخی از متابولیت‌ها که در اثر نورهای تک موج افزایش پیدا می‌کنند، ممکن است ارزش‌های اقتصادی خاصی نیز داشته باشند. در جلبک (*Haematococcus pluvialis*) (Katsuda et al., 2006) نیز با استفاده از نور آبی LED توانستند ترکیبی به نام آستاگزانتین را افزایش دهند. آستاگزانتین یکی از ترکیبات مؤثر علیه سرطان محسوب می‌شود که به عنوان افزودنی غذایی (رنگ) نیز قابل مصرف است. اضافه کردن نور LED آبی همراه با نور طبیعی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) شد (Bantis et al., 2015; Ouzounis et al., 2016). استفاده از ترکیب نور قرمز و

عملکرد اسانس، تیمار ترکیب نور قرمز و آبی نسبت به شرایط مزرعه-ای برتری داشت.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج صفات مشترک، در هر دو آزمایش، تأثیر مثبت اعمال نور LED ترکیب قرمز و آبی بر خصوصیات رشدی به‌ویژه درصد هاپیریسین گیاه دارویی گل راعی کاملاً مشهود بود. بنابراین اعمال نور مکمل قرمز - آبی در سطح نشاء به‌صورت افزایش طول

روز، با توجه به صرف انرژی کمتر و اثرات مشابه در مقایسه با آزمایش اول (افزایش خصوصیات رشدی و درصد ماده مؤثره) قابل توصیه می‌باشد. در آزمایش دوم، مقایسه گیاهان شاهد با گیاهان تحت تیمار نوری نشان داد که افزایش مدت زمان حضور نور (افزایش طول روز) منجر به افزایش معنی‌دار صفات رویشی و بیوشیمیایی گیاه دارویی گل راعی گردید و بهترین نتایج مربوط به کاربرد ترکیب نور قرمز و آبی به‌مدت چهار ساعت بعد از غروب خورشید در مقایسه با سایر تیمارهای نوری با اختلافی معنی‌دار حاصل شد.

References

- Aalipoor, N., Mahdavi, N., Mahmoodi, M., & Ghelichnia, H. (2015). Environmental conditions effect on essential oil quality and quantity of *Stachys laxa*. *Plant Research*, 28(3), 213–219.
- Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 18, 74–77. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003>
- Arrieta, J., Reyes, B., Calzada, F., Cedillo-Rivera, R., & Navarrete, A. (2001). Amoebicidal and giardicidal compounds from the leaves of *Zanthoxylum liebmannianum*. *Fitoterapia*, 72(3), 295–297. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(00\)00297-5](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(00)00297-5)
- Azizi, M., & Omid Beigi, R. (2000a). Study of some environmental and physiological factors on yield and amount of active ingredients of *Hypericum* in field and *in vitro* conditions. PhD Thesis. pp. 180. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Baba-Kasai, A., Hara, N., & Takano, M. (2014). Tissue-specific and light-dependent regulation of phytochrome gene expression in rice. *Plant, Cell and Environment*, 37, 2654–2666. <https://doi.org/10.1111/pce.12354>
- 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>
- Bernath, J. (2000). *Medicinal and aromatic plants*. Budapest: Mezo Publishing. pp. 667
- Bruneton, J. (1995). *Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants*. Lavoisier Publ. Londres, New York, pp. 405–466.
- Burits, M., & Bucar, F. (2000). Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14(5), 323–328. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200008\)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200008)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q)
- Choi, H.G., Moon, B.Y., & Kang, N.J. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*, 189, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.022>
- Currey, J., & Lopez, R.G. (2013). Cutting of impatient, *Pelargonium* and *Petunia* propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamp have comparable growth morphology, gas exchange and post transplant performance. *HortScience*, 48(4), 428–434. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.428>
- Dere, S., Gunes, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Journal of Botany*, 22, 13–17.
- Dias, A.C. (2003). The potential of *in vitro* cultures of *Hypericum perforatum* and of *Hypericum androsaemum* to produce interesting pharmaceutical compounds. In *Hypericum: The genus Hypericum*. p. 137. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
- Donald, P.B., & Gawienowski, M.C. (2001). Differential effects of light and nitrogen on production of hypericins and leaf glands in *Hypericum perforatum*. *Plant physiology and Biochemistry*, 39(12), 1075–1081. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(01\)01326-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(01)01326-2)
- Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>
- Fausey, B.A., Heins, R.D., & Cameron, A.C. (2005). Daily light integral affects flowering and quality of greenhouse-grown *Achillea*, *Gaura*, and *Lavandula*. *HortScience*, 40(1), 114–118. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.114>
- Folta, K.M., & Childers, K.S. (2008). Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow band width solid-state lighting systems. *HortScience*, 43, 1957–1964. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1957>

18. Fukuda, N., & Olsen, J.E. (2011). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in *Petunia*. *Acta Horticulturae*, 907, 361–366. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.59>
19. Gao, X., Bjork, L., Trajkovski, V., & Uggl, M. (2000). Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 80, 2021–2027. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14%3C2021::AID-JSFA745%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14%3C2021::AID-JSFA745%3E3.0.CO;2-2)
20. Gautam, P., Terfa, M.T., Olsen, J.E., & Torre, S. (2015). Red and blue light effects on morphology and flowering of *Petunia* × *hybrida*. *Scientia Horticulturae*, 184, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.004>
21. Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo-Lewandowski, M.M., & Brown, C.S. (1998). Life cycle experiments with *Arabidopsis* grown under red light-emitting diodes (LEDs). *Life Support and Biosphere Science: International Journal of Space Science and Engineering*, 5, 143–149.
22. Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D., & Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38(3), 225–230. <https://doi.org/10.1023/A:1021523832488>
23. Heydarizade, P., Zahedi, M., & Sabzalian, M. (2013). LED light effects on yield, essential oil percentage and antioxidant enzymes activity in peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Agricultural Sciences*, 25(4), 13–24. (In Persian)
24. Hirai, T., Amaki, W., & Watanabe, H. (2006). Action of blue or red monochromatic light on stem internodal growth depends on plant species. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture, 711. pp. 345–350. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711>
25. Hoenecke, M.E., Bula, R.J., & Tibbitts, T.W. (1992). Importance of blue photon levels for lettuce seedling grown under red-light-emitting diodes. *HortScience*, 27(5), 427–430. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.5.427>
26. Iran Flora. (2000). Hypericaceae Family (Guttiferae), No. 27, Research Institute of Forests and Rangelands. (In Persian)
27. Jeong, S.W., Hogewoning, S.H., & Ieperen, W.V. (2014). Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut *Chrysanthemum*. *Scientia Horticulture*, 165, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.006>
28. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45, 1809–1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
29. Katsuda, T., Shimahara, K., Shiraishi, H., Yamagami, K., Ranjbar, R., & Katoh, S. (2006). Effect of flashing light from blue light emitting diodes on cell growth and a staxanthin production of *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 102, 442–446. <https://doi.org/10.1263/jbb.102.442>
30. Kenneth, E. (1992). Light-quality effects on *Arabidopsis* development. Red, blue and far-red regulation of flowering and morphology. *Physiologia Plantarum*, 86(3), 439–444. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb01341.x>
31. Kim, H.H., Goins, G.D., Wheeler, R.M., & Sager, J.C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617–1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
32. Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., & Sams, C. (2008). Irradiance from distinct wave-length light emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43, 2243–2244. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2243>
33. Li, H., Tang, C., & Xu, Z., (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 150, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>
34. Lopez, R.G., & Runkle, E.R. (2008). Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea impatiens and petunia. *HortScience*, 43, 2052–2059. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2052>
35. Oh, W., Runkel, E.S., & Warner, R.M. (2010). Timing and duration of supplemental lighting during the seedling stage influence quality and flowering in petunia and pansy. *Hort Science*, 45(9), 1332–1337. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.9.1332>
36. Omid Beigi, R. (1999). Production and Processing of Medicinal Plants. 4th Ed. Astan Qods Razavi Press, Mashhad, Iran. In Persian.
37. Ouzounis, T., Fretté, X., Ottosen, C.O., & Rosenqvist, E. (2015). Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* ‘Vivien’ and ‘Purple Star’. *Physiologia plantarum*, 154(2), 314–327. <https://doi.org/10.1111/ppl.12300>

38. 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*'CA Mayer). *Plant Omics*, 6(3), 224.
39. Randall, W.C., & Lopez, R.G. (2014). Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during Bedding plant seedling production. *HortScience*, 49(5), 589-595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.589>
40. Riikonen, J., Kettunen, N., Gritsevich, M., Hakala, T., Sarkka, L., & Tahvonen, R. (2016). Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra. *Environmental and Experimental*, 121, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.006>
41. Salehi Sourmaghi, M.H. (2007). Medicinal herbs and plants therapy. Tehran: Donyayeh Taghzyeh.
42. Samuoliene, G., Sirtautas, R., Brazaityte, A., Sakalauskaite, J., Sakalauskiene, S., & Duchovskis, P. (2011). The impact of red and blue light emitting diode illumination on radish physiological indices. *Central European Journal of Biology*, 6(5), 821-828. <https://doi.org/10.2478/s11535-011-0059-z>
43. Shakeri, M., & Farzane, A. (2010). *The effects of light quality and quantity (light management) on growth and yield of greenhouse plants*. The Preocceeding of the First National Hydroponic and Greenhouse Productions. Isfahan Industrial University, Isfahan, Iran.
44. Singh, A., & Pal, A. (2006). Hypericin-A naphthodianthrone from *Hypericum perforatum*. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 62, 225-33.
45. Stutte, G.W., Edney, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience*, 44(1), 79-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
46. Takemiya, A., Inoue, S.I., Doi, M., Kinoshita, T., & Shimazaki, K.I. (2005). Phototropins promote plant growth in response to blue light in low light environments. *The Plant Cell*, 17(4), 1120-1127. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.030049>
47. Terfa, M.T., Solhaug, K.A., Gislerod, H.R., Olsen, J.E., & Torre, S. (2013). A high proportion of blue light increases the photosynthesis capacity and leaf formation rate of *Rose × hybrida* but does not affect time to flower opening. *Physiologia Plantarum*, 148, 146-159. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01698.x>
48. 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.
49. Whitelam, G., & Halliday, K. (2007). *Light and Plant Development*. Blackwell Publishing, Oxford, p. 313.
50. World Health Organization. (1998). *Regulatory situation of herbal medicines*. Geneva: World Health Organization.
51. 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(4), 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>
52. 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(2), 380-383. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.2.380>
53. Zargari A. (1993). *Medical Plants*. 6th ed. Tehran: Tehran University of Medical Sciences. 440 p.