

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(3), 369-380  
<http://plantproduction.scu.ac.ir/>


ISSN (P): 2588-543X  
ISSN (E): 2588-5979

## Effect of Artificial (LEDs) and Natural Lighting on Quantitative and Qualitative Traits of Petunia, Geranium and Solenostemon Transplants

Parya Dehkhodaei<sup>1</sup>, Saeed Reezi<sup>2\*</sup> , Masoud Ghasemi Ghehsareh<sup>3</sup>

- 1- M.Sc. Graduate of Horticulture, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Sahrekord, Iran
- 2- **\*Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Sahrekord, Iran (sreezi57@yahoo.com)
- 3- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Sahrekord, Iran

**Citation:** Dehkhodaei, P., Reezi, S., & Ghasemi Ghehsareh, M. (2021). Effect of artificial (LEDs) and natural lighting on quantitative and qualitative traits of Petunia, Geranium and Solenostemon transplants. *Plant Productions*, 44(3), 369-380.

 10.22055/ppd.2020.32166.1865

Received: 7 January, 2020

Accepted: 20 July, 2020

### Abstract

#### Introduction

According to the researches, plants behave differently under different light levels. Recent studies have demonstrated that proper light adjustment is critical for bedding plants transplant production. Transplant production under proper light and environmental conditions can increase their quality compared to traditional greenhouse production conditions.

#### Materials and Methods

In order to compare the effects of different LED light intensities in a growth chamber (a combination of white+ blue+ red LEDs equally in  $60\pm 5$  and  $120\pm 5$   $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  levels) with sunlight during winter and spring cultivation at  $9.6\pm 5$  and  $14\pm 5$   $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  DLI, respectively, a completely randomized design was established with 10 replications. Morphological and physiological traits of *Pelargonium hortorum* 'Maverik Star', *Solenostemon* (*Solenostemon escutellariodes* 'Wizard Scarlet') and *Petunia* (*Petunia*  $\times$  *hybrida* 'Scarlet eye') transplants were evaluated during the treatment period. Transplants were evaluated in terms of morphological traits such as shoot fresh and dry weight, root fresh and dry weight, leaf area and plant height and root height. To determine dry weight, shoots and roots were dried in a drying oven at  $72^{\circ}\text{C}$  for 24 hours. Chlorophyll efficiency (Fv/Fm), anthocyanin and carotenoid contents also were measured during the experiment.



## Results and Discussion

Eight weeks after seeding, leaf area, root length, shoot and root fresh and dry weight, leaf number, leaf surface temperature, carotenoid and chlorophyll contents, and photosynthetic efficiency were measured in transplants. Solenostemon and Geranium transplants were also evaluated for height, internode length, stem diameter and leaf anthocyanin content. Results showed that leaf area, leaf number, internode length, stem diameter, photosynthetic efficiency, shoot and root fresh and dry weight in Geranium and Solenostemon and chlorophyll content and leaf number in Petunia at  $60 \pm 5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  were significantly higher than the other treatments. The leaf surface temperature of transplants in both spring and winter cultivation treatments was higher than that of LEDs. The results showed that there was a significant difference between LED treated plants and sun light treatments. The LED treatments resulted in more compararison with the sun light treatment.

## Conclusion

Transplants grown under identical proportion of white, blue and red LEDs manifested better morphological and physiological characteristics which led to better morphological features. According to the results, use of alternative or complementary light for the production of high-quality seedlings is beneficial. It is especially recommended in winter cultivation for production of proper transplants of Geranium, Solenostemon and Petunia.

**Keywords:** Alternative light, Bedding plant, Photosynthetic efficiency, Vegetative growth

## اثر نورهای مصنوعی (LEDs) و طبیعی بر کمیت و کیفیت نشای اطلسی، شمعدانی و حسن یوسف

پریا دهخدايي<sup>۱</sup>، سعید ریزی<sup>۲\*</sup> , مسعود قاسمی قهساره<sup>۳</sup>

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران  
 ۲- \*نویسنده مسئول: استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران (sreezi57@yahoo.com)  
 ۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷

### چکیده

گیاهان تحت سطوح گوناگون روشنایی رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند. به منظور مقایسه تأثیر شدت نورهای ۱۲۰±۵ و ۵±۶۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه ال ای دی (نور مصنوعی) در اتاقک رشد داخل اتاقی در گلخانه (ترکیبی از رنگ‌های سفید+آبی+قرمز به نسبت مساوی) با نور خورشید (نور طبیعی) طی کشت زمستانه و بهار به ترتیب با انگرال نور روزانه ۹/۶±۵ و ۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز، آزمایشی در قالب طرح کامل تصادفی با ۱۰ تکرار روی صفات مورفوفیزیولوژی نشاءهای شمعدانی (*Pelargonium hortorum* 'Maverik Star')، حسن یوسف (*Solenostemon* 'Wizard Scarlet' *escutellarioides*) و اطلسی (*Petunia ×hybrida* 'Scarlet Eye') صورت گرفت. پس از ۸ هفته سطح برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد برگ، دمای سطح برگ، میزان کلروفیل، کاروتنوئید و کارایی فتوسنتز در تیمارها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد صفات سطح برگ، تعداد برگ، طول میانگوه، قطر ساقه، کارایی فتوسنتز، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در شمعدانی و حسن یوسف و میزان کلروفیل و تعداد برگ در اطلسی، در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته است. دمای سطح برگ هر سه نشاء در دو تیمار کشت بهار و زمستانه (۹/۶±۵ و ۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) نسبت به تیمارهای لامپ‌های ال ای دی بیشتر بود. شدت‌های مختلف نور بر طول ریشه هر سه نشاء تأثیرگذار نبود. با توجه به نتایج بدست آمده کاربرد نور جایگزین با شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه تولید نشاءهای مورد آزمایش سودمند است. استفاده از آن به‌ویژه در کشت زمستانه (۹/۶±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) جهت تولید نشاء مطلوب ارقام شمعدانی، حسن یوسف و اطلسی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: رشد رویشی، کارایی فتوسنتز، گل فصلی، نور جایگزین

### مقدمه

ارقام زینتی و عرضه آن در سطح بازارهای بین‌المللی می‌باشد که این امر اهمیت اجرای پژوهش‌های مرتبط و مؤثر در این زمینه را مضاعف می‌نماید (Chehrizi et al., 2018). امروزه در صنعت گلکاری تولید نشاء به یک تجارت مهم در

کشور ایران به دلیل گستره تنوع اقلیمی، شرایط اکوسیستمی ویژه، فلور غنی از منابع گیاهی و حتی نیروی انسانی کارآمد و خیره؛ حائز شرایط ارزشمندی جهت تولید

کمتر از ۱۰) می‌باشد. در اغلب موارد از نورهایی با ترکیب ۸۰-۷۰ درصد قرمز و بقیه از نورهای آبی و سفید و در مواردی از قرمز دور استفاده می‌شود (Runkle, 2016). برای فتوسنتز گیاهان طیف آبی با شدت نور کم آن ضروری است، بنابراین در سیستم‌های کشت عمودی و گلخانه از نور آبی استفاده می‌شود (Runkle, 2017). ارتفاع و طول میانگره داودی در هنگام استفاده از نور آبی به‌ویژه با شدت نور کم کاهش می‌یابد (Khattak and Pearson, 2006). طی پژوهشی گزارش شده در گونه زینتی لیسینتوس شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نظیر ارتفاع و قطر بوته، محتوی ماده تر و خشک بوته و میزان کلروفیل تحت تأثیر مثبت شدت نور قرار می‌گیرند (Rahnemoonfar et al., 2014). طبق نتایج پژوهشی وزن تر گونه‌ای کوردیلین (*Cordyline. australis*) در نور سفید زیاد شد اما در نورهای آبی و آبی+قرمز به طور قابل توجهی کم شد. وزن خشک این گیاه نیز در نور سفید زیاد و در نور قرمز کم شده است و کارایی فتوسنتز آن در نور قرمز حداقل و در نور آبی حداکثر مقدار را داشته است. زیست‌توده و کارایی فتوسنتز در گیاهان فیکوس (*Ficus. benjamina*) و گلوکسینیا (*Sinningia. peciosa*) در نور قرمز نسبت به سایر کیفیت‌های نور کاهش یافته است (Zhen et al., 2017). هدف این پژوهش بررسی کیفیت نشاءهای تولیدی شمعدانی، حسن یوسف و اطلسی در فصول بهار و زمستان با شرایط طبیعی در مقایسه با شرایط کنترل شده (اتاقک رشد) با نور مصنوعی ال‌ای‌دی است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک اتاقک رشد طبقاتی (با منبع نوری ال‌ای‌دی-نور مصنوعی) و گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد (با پوشش شیشه و سیستم فن و پد با منبع نور خورشید-نور طبیعی) طی فصول زمستان ۱۳۹۵ و بهار ۱۳۹۶ روی نشاءهای شمعدانی، حسن یوسف و اطلسی در قالب طرح کامل صادفی با ۴ تیمار و ۱۰ تکرار اجرا شد. بذرها  $F_1$  شمعدانی (*Pelargonium hortorum* 'Maverik Star'—Goldsmith) (Seed, 2016) در سینی نشاء ۴۵ سلولی و حسن یوسف

زمینه گلکاری تبدیل شده است. در این روش بذر یا قلمه در سینی‌های مخصوصی که در آن برای هر گیاه یک سلول یا حجره تعبیه شده است، کشت می‌شود (Dole and Wilkins, 2005). گیاه شمعدانی با نام علمی *Pelargonium spp.* از تیره Geraniaceae و بومی آفریقای جنوبی بوده و دورگه‌هایی از آن به عنوان گیاه آپارتمانی استفاده می‌شوند (Ghasemei, 2015). گل آغازی در شمعدانی معمولی به شدت نور دریافت شده توسط گیاه بستگی دارد، بنابراین استفاده از نور مکمل در زمستان به دلیل نور کم، باعث تسریع گلدهی می‌شود (Dole and Wilkins, 2005). گل حسن یوسف با نام علمی *Solenostemon scutellarioides* از خانواده Lamiaceae گیاهی همیشه سبز بسیار پر رشد، چندساله یا دایمی است. اطلسی با نام علمی *Petunia hybrida* متعلق به خانواده Solanaceae دارای ارقام یک‌ساله و دایمی با رنگ‌های متنوع و انواع کم‌پر و پرپر می‌باشد. بذر گل اطلسی برای جوانه‌زنی نیاز به نور دارد (Edward et al., 1991; Dole and Wilkins, 2005). حسن یوسف یک گیاه همیشه سبز و چند ساله است. خوشه گل آن در شرایط روز کوتاه به سرعت رشد می‌کند (Ghasemei Ghehsare and kafi, 2015). طی فرایند رشد گیاهان، وجود منبع نور خورشید یا نورهای مصنوعی ضروری است (Kim et al., 2004). سنتز ترکیبات آلی، تجمع ماده خشک و زیست‌توده کل با نور دریافتی و راندمان مصرفی نور در چرخه استقرار، رشد و بلوغ گیاه رابطه مستقیم داشته؛ به نحوی که به موازات افزایش جذب نور، عملکرد و ذخیره این مواد نیز افزایش می‌یابد (Ghafari and Tadayon, 2019). به‌طور متوسط شدت نور مناسب لامپ ال‌ای‌دی (LED) به‌عنوان نور تکمیلی برای گیاهان زینتی ۷۵-۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) و برای سبزی‌ها ۲۰۰-۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه است تا رشد گیاه، رشد ریشه، شاخه‌دهی، گلدهی و میوه‌دهی را بیشتر و ساقه ضخیم‌تر تولید کند (Runkle, 2016). معمولاً زمان کاربرد نور تکمیلی برای گیاهان زینتی در فصل زمستان و اوایل بهار (مجموع نور روزانه (DLI)

(Lichtenthaler and Wellburn, 1983) در طول موج ۴۷۰ نانومتر و فلورسانس کلروفیل برگ (Fv/Fm: Variable Photosynthetic Efficiency) (دستگاه فلورومتر) (Hansatech Instruments (Modulated Fluorometers) اندازه گیری شدند. هم چنین شاخص ارتفاع، طول میانگره، قطر ساقه و آنتوسیانین برگ (Wagner, 1979) برای نشاءهای حسن یوسف و شمعدانی بررسی شد. برای اندازه گیری میزان آنتوسیانین، ۰/۱ گرم برگ بالغ و تازه را با ۱۰ میلی لیتر متانول ۹۹ درصد (محلول حاوی ۹۹ میلی لیتر متانول خالص با ۱ میلی لیتر اسید کلریدریک) به تدریج در هاون چینی ساییده تا زمانی که آنتوسیانین استخراج شده در متانول ۹۹ درصد حل شد. محلول به دست آمده را در فالدون مدرج انتقال داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۴-۲۵ درجه سانتیگراد و در مکان تاریک گذاشته شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد (۵ دقیقه ورتکس شد). در نهایت جذب نوری محلول رویی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه گیری شد. به علت ساختار رزت نشاء اطلسی، اندازه گیری صفات ارتفاع، طول میانگره و قطر ساقه مقدور نگردید. در انتها داده‌ها توسط نرم افزار SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد مقایسه شد.

### نتایج و بحث

**شمعدانی:** بر اساس جدول مقایسه میانگین (جدول ۱)، صفات سطح برگ (۸/۳۱۶ سانتی مترمربع)، تعداد برگ (۱۱/۳)، طول میانگره (۶/۴۴۱ میلی متر)، ارتفاع گیاه (۶/۹۴۰ سانتی متر)، وزن تر اندام هوایی (۳/۴۱۳ گرم)، وزن خشک اندام هوایی (۰/۸۴۸ گرم)، وزن تر ریشه (۰/۴۵۶ گرم) و وزن خشک ریشه (۰/۱۶۰ گرم) در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و قطر ساقه (۵/۷۰۷ میلی متر) در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه با اختلاف معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بودند. سطح برگ، تعداد برگ، طول میانگره، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و

*Solenostemon escutellarioides* 'Wizard Scarlet'—) (PanAmerican Seed, 2016) و اطلسی (*Petunia hybrida*) (Golland, 2016) در سینی کشت با ۱۰۸ سلولی در بستر حاوی ۷۰ درصد پیت ماس+۳۰ درصد پرلایت کشت شدند و در ادامه در اتاقک رشد با دمای ۲۳±۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی محیط ۵۰±۵ درصد (اندازه گیری توسط دماسنج و رطوبت سنج دیجیتالی) (Datalogger 8808 temp+RH)، تحت سه طیف ترکیبی لامپ ال ای دی به رنگ‌های آبی (۴۵۵-۴۵۰ نانومتر)، قرمز (۶۶۵-۶۵۵ نانومتر) و سفید (۳۰۰۰ کلومین) که به تعداد مساوی قرار داده شدند. با توجه به نیاز نوری پیشنهاد شده برای شمعدانی (Bethke and Carlson, 1985)، حسن یوسف (Verkbert et al., 2004) و اطلسی شدت نورهای ال ای دی ۶۰±۵ و ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه (به ترتیب با مجموع نور روزانه ۴/۰۵ و ۷/۹۳ میکرومول بر مترمربع بر روز) توسط دستگاه پارمتر (Apogee, MQ500, USA) اندازه گیری و تنظیم شد. کشت زمستانه (۹/۶±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) در سال ۱۳۹۵ داخل گلخانه با مجموع نور روزانه ۹/۶±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز، میانگین دمای روزانه ۲۱±۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی محیط ۵۰±۵ درصد صورت گرفت. کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) در سال ۱۳۹۶ درون گلخانه با مجموع نور روزانه ۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز، میانگین دمای روزانه ۲۱±۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰±۵ درصد انجام شد. اولین کوددهی در هر چهار تیمار در مرحله چهار برگی نشاءها با فرمول ۳+۲۰+۶-۱۹ Mgo+TE (Yramilla) با غلظت ۱۰۰ پی پی ام کود آبیاری شدند. مرحله دوم دو هفته پس از اولین کوددهی با همان کود اولیه و با مقدار ۱۵۰ پی پی ام انجام شد. پس از طی ۸ هفته و تکمیل مراحل رشد و نمو نشاءها، صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی هر سه نشاء شامل سطح برگ (نرم افزار تجزیه و تحلیل تصویر) (Digimizer 4 Image Analysis Software)، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد برگ، دمای سطح برگ، میزان کلروفیل، میزان کاروتنوئید

نور  $60 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، تعداد برگ (۲۳/۴)، وزن تر ( $1/495$  گرم) و خشک ( $0/177$  گرم) اندام هوایی و وزن خشک ریشه ( $0/076$  گرم) در شدت نور  $120 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و وزن تر ریشه ( $0/629$  گرم) در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) بیشتر با اختلاف معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بوده است. کمترین تعداد برگ، طول میانگره، ارتفاع، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) و کمترین وزن تر ریشه در کشت زمستانه ( $9/6 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) مشاهده شد. سطح برگ و طول ریشه در تمام تیمارها با تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در سنجش صفات فیزیولوژیکی حسن یوسف، دمای سطح برگ ( $28/66$  درجه سلسیوس) در کشت زمستانه ( $0/804$  میکرومول بر مترمربع بر روز)، کلروفیل ( $2/299$  میلی گرم بر گرم وزن تر) و میزان کاروتنوئید ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز)، میزان آنتوسیانین ( $0/17 \times 10^{-3}$  مول بر سانتی متر) و فلورسانس کلروفیل برگ ( $0/804$ ) در شدت نور  $60 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع در ثانیه مشاهده شد. دمای سطح برگ در شدت نور  $60 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع در ثانیه، میزان کلروفیل و کاروتنوئید در شدت نور  $120 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع در ثانیه، آنتوسیانین و فلورسانس کلروفیل برگ در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۴).

خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه شمعدانی در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) کمتر از سایر تیمارها و کمترین وزن خشک در کشت زمستانه ( $9/6 \pm 5$  و میکرومول بر مترمربع بر روز) مشاهده شد. طول ریشه در تمام تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشت. دمای سطح برگ ( $26$  درجه سلسیوس) و کلروفیل کل ( $0/808$  میلی گرم بر گرم وزن تر) شمعدانی در کشت زمستانه ( $9/6 \pm 5$  و میکرومول بر مترمربع بر روز)، میزان کاروتنوئید ( $1/621$  میلی گرم بر گرم وزن تر) و فلورسانس کلروفیل برگ ( $0/816$ ) در شدت نور  $120 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و مقدار آنتوسیانین ( $0/38 \times 10^{-3}$  مول بر سانتی متر) در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) با اختلاف معنی داری بیشتر از سایر تیمارها شده است. کمترین دمای سطح برگ، میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین در شدت نور  $60 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، کمترین میزان کلروفیل در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) و حداقل فلورسانس کلروفیل برگ در کشت زمستانه ( $9/5 \pm 6$  و میکرومول بر مترمربع بر روز) وجود داشت (جدول ۲) احتمالاً به علت وجود نور بهتر در کشت بهاره، میزان کلروفیل کمتری لازم بوده تا گیاه غذای مورد نیاز خود را در مقایسه با کشت زمستانه تولید کند، این فرضیه در مورد میزان فلورسانس پایین تر در کشت زمستانه نیز صادق است. **حسن یوسف:** نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۳) در حسن یوسف طول میانگره ( $10/262$  میلی متر)، ارتفاع ( $3/310$  سانتی متر) و قطر ساقه ( $2/335$  میلی متر) در شدت

Table 1. Comparison mean of geranium morphological traits under controlled conditions, winter and spring cultivation

Light treatment	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf number	Internode length (mm)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Root length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
$60 \pm 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	8.316 <sup>a</sup>	11.3 <sup>a</sup>	6.441 <sup>a</sup>	6.940 <sup>a</sup>	5.682 <sup>a</sup>	13.760 <sup>a</sup>	3.413 <sup>a</sup>	0.848 <sup>a</sup>	0.456 <sup>a</sup>	0.160 <sup>a</sup>
$120 \pm 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	5.611 <sup>c</sup>	10.5 <sup>ab</sup>	4.207 <sup>b</sup>	5.330 <sup>b</sup>	5.707 <sup>a</sup>	10.350 <sup>b</sup>	2.888 <sup>b</sup>	0.812 <sup>a</sup>	0.431 <sup>ab</sup>	0.150 <sup>a</sup>
$9.6 \pm 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	6.524 <sup>b</sup>	9.7 <sup>b</sup>	4.046 <sup>b</sup>	4.610 <sup>c</sup>	5.305 <sup>a</sup>	11.860 <sup>ab</sup>	2.241 <sup>c</sup>	0.455 <sup>b</sup>	0.193 <sup>c</sup>	0.119 <sup>b</sup>
$14 \pm 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	4.042 <sup>d</sup>	8.1 <sup>c</sup>	3.380 <sup>b</sup>	1.760 <sup>d</sup>	4.728 <sup>b</sup>	12.740 <sup>ab</sup>	1.113 <sup>d</sup>	0.272 <sup>c</sup>	0.365 <sup>b</sup>	0.072 <sup>c</sup>

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences among treatments at 0.05 level by LSD.

**Table 2. Comparison mean of geranium physiological traits under controlled conditions, winter and spring cultivation**

Light treatment	Leaf temperature (c)	Chlorophyll (mg g <sup>-1</sup> fw)	Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> fw)	Anthocyanin (M/cm)	Fv/Fm
60±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	22.91 <sup>b</sup>	0.612 <sup>b</sup>	1.597 <sup>a</sup>	0.010×10 <sup>-3b</sup>	0.808 <sup>a</sup>
120±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	22.83 <sup>b</sup>	0.547 <sup>b</sup>	1.621 <sup>a</sup>	0.006×10 <sup>-3c</sup>	0.816 <sup>a</sup>
9.6±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	26.00 <sup>a</sup>	0.808 <sup>a</sup>	1.151 <sup>b</sup>	0.011×10 <sup>-3b</sup>	0.754 <sup>c</sup>
14±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	25.95 <sup>a</sup>	0.033 <sup>c</sup>	1.237 <sup>b</sup>	0.038×10 <sup>-3a</sup>	0.782 <sup>b</sup>

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences among treatments at 0.05 level by LSD.

**Table 3. Comparison mean of Solenostemon morphological traits under controlled conditions, winter and spring cultivation**

Light treatment	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf number	Internode length (mm)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Root length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
60±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	2.565 <sup>a</sup>	20.4 <sup>b</sup>	10.262 <sup>a</sup>	3.310 <sup>a</sup>	2.335 <sup>a</sup>	12.890 <sup>a</sup>	1.316 <sup>a</sup>	0.153 <sup>a</sup>	0.112 <sup>b</sup>	0.070 <sup>a</sup>
120±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	2.011 <sup>b</sup>	23.4 <sup>a</sup>	6.118 <sup>b</sup>	2.700 <sup>b</sup>	2.186 <sup>ab</sup>	10.740 <sup>ab</sup>	1.465 <sup>a</sup>	0.177 <sup>a</sup>	0.133 <sup>b</sup>	0.076 <sup>a</sup>
9.6±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	2.224 <sup>ab</sup>	19.7 <sup>b</sup>	4.710 <sup>c</sup>	1.790 <sup>c</sup>	1.903 <sup>b</sup>	9.770 <sup>b</sup>	0.839 <sup>b</sup>	0.054 <sup>b</sup>	0.121 <sup>b</sup>	0.062 <sup>ab</sup>
14±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	1.886 <sup>b</sup>	12.4 <sup>c</sup>	4.235 <sup>c</sup>	1.530 <sup>c</sup>	1.577 <sup>c</sup>	11.730 <sup>ab</sup>	0.373 <sup>c</sup>	0.037 <sup>b</sup>	0.629 <sup>a</sup>	0.052 <sup>b</sup>

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences among treatments at 0.05 level by LSD.

**Table 4. Comparison mean of Solenostemon physiological traits under controlled conditions, winter and spring cultivation**

Light treatment	Leaf temperature (c)	Chlorophyll (mg g <sup>-1</sup> fw)	Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> fw)	Anthocyanin (M/cm)	Fv/Fm
60±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	20.75 <sup>b</sup>	0.005 <sup>b</sup>	1.535 <sup>b</sup>	0.017×10 <sup>-3a</sup>	0.809 <sup>a</sup>
120±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	21.66 <sup>b</sup>	0.003 <sup>b</sup>	1.170 <sup>c</sup>	0.016×10 <sup>-3a</sup>	0.804 <sup>a</sup>
9.6±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	28.66 <sup>a</sup>	0.008 <sup>b</sup>	1.844 <sup>b</sup>	0.013×10 <sup>-3b</sup>	0.787 <sup>a</sup>
14±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	27.41 <sup>a</sup>	0.804 <sup>a</sup>	2.299 <sup>a</sup>	0.05×10 <sup>-3c</sup>	0.730 <sup>b</sup>

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences among treatments at 0.05 level by LSD.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی اطلسی، دمای سطح برگ (۲۶) درجه سلسیوس) در تیمار کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز)، کلروفیل (۰/۰۳۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۲/۸۸۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و فلورسانس کلروفیل برگ (۰/۷۶۱) در شدت نور ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه با اختلاف معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بوده است. دمای سطح برگ در تیمارهای شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه میزان کلروفیل در کشت زمستانه و بهاره (۵±۱۴ میکرومول بر مترمربع بر روز)، کاروتنوئید در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) و فلورسانس کلروفیل برگ در تیمار کشت زمستانه (۹/۶±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) و بهار با اختلاف معنی داری کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۶).

**اطلسی:** طبق نتایج مقایسه میانگین در اطلسی، سطح برگ (۲/۷۱۴ سانتی مترمربع) و تعداد برگ (۱۹/۴) در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، وزن تر (۰/۸۳۳ گرم) و خشک (۰/۱۰۱ گرم) اندام هوایی و وزن خشک ریشه (۰/۰۶۰ گرم) در کشت زمستانه (۹/۶±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) و وزن تر ریشه (۰/۴۳۵ گرم) در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) با اختلاف معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بوده است (جدول ۵). کمترین سطح برگ (۱/۴۸۳ سانتی متر مربع)، تعداد برگ (۱۲/۶)، وزن خشک ریشه (۰/۰۲۰ گرم)، وزن تر (۰/۲۸۸ گرم) و خشک (۰/۰۳۹ گرم) اندام هوایی در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز)، طول میانگره (۱۰/۳۵۰ میلی متر) در شدت نور ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و وزن تر ریشه (۰/۰۳۸ گرم) در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه مشاهده شد. در ارزیابی

**Table 5. Comparison mean of Petunia morphological traits under controlled conditions, winter and spring cultivation**

Light treatment	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf number	Root length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
60±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	2.714 <sup>a</sup>	18.2 <sup>a</sup>	13.760 <sup>a</sup>	0.427 <sup>b</sup>	0.064 <sup>c</sup>	0.038 <sup>c</sup>	0.031 <sup>c</sup>
120±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	1.394 <sup>c</sup>	18.4 <sup>a</sup>	10.350 <sup>b</sup>	0.499 <sup>b</sup>	0.082 <sup>b</sup>	0.064 <sup>c</sup>	0.044 <sup>b</sup>
9.6±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	1.899 <sup>b</sup>	19.4 <sup>a</sup>	11.860 <sup>ab</sup>	0.883 <sup>a</sup>	0.101 <sup>a</sup>	0.293 <sup>b</sup>	0.060 <sup>a</sup>
14±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	1.483 <sup>c</sup>	12.6 <sup>b</sup>	12.740 <sup>ab</sup>	0.288 <sup>c</sup>	0.039 <sup>d</sup>	0.435 <sup>a</sup>	0.020 <sup>d</sup>

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences among treatments at 0.05 level by LSD.

**Table 6. Comparison mean of Petunia physiological traits under controlled conditions, winter and spring cultivations**

Light treatment	Leaf temperature (c)	Chlorophyll (mg g <sup>-1</sup> fw)	Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> fw)	Fv/Fm
60±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	19.75 <sup>c</sup>	0.350 <sup>a</sup>	2.885 <sup>a</sup>	0.706 <sup>b</sup>
120±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	20.25 <sup>c</sup>	0.267 <sup>b</sup>	2.395 <sup>b</sup>	0.761 <sup>a</sup>
9.6±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	24.58 <sup>b</sup>	0.249 <sup>bc</sup>	1.979 <sup>c</sup>	0.651 <sup>c</sup>
14±5 μmol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	26.00 <sup>a</sup>	0.239 <sup>c</sup>	1.024 <sup>d</sup>	0.651 <sup>c</sup>

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences among treatments at 0.05 level by LSD.

از طرفی، نور آبی ال ای دی (۴۰۰-۵۰۰ نانومتر) باعث کوتاه شدن گیاه (Kim et al., 2004; Ouzounis et al., 2015) و کوچک شدن برگ های گیاه می شود. به همین دلیل برای گیاهان نور آبی با درصد کمتری (حدوداً ۱۰-۲۰ درصد) لازم است. نتایج این آزمایش آشکار ساخت که بیشترین قطر ساقه شمعدانی و حسن یوسف در اتاقک کشت تحت لامپ های ال ای دی (حداقل انتگرال نور روزانه) و کمترین قطر ساقه آن ها در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز - حداکثر انتگرال نور روزانه) به دست می آید. در این رابطه (Kafi et al., 2012) نیز بیان کردند که شدت نور کم باعث ضعیف ماندن و قطر کم ساقه در دیفن باخیا، میخک، ژربرا و رز می شود. شدت نور زیاد بر رشد رویشی گیاهان اثر منفی گذاشته و باعث تشکیل برگ های کوچک و با تعداد کم می شود (Rhie et al., 2014)، در این آزمایش نیز کمترین سطح برگ هر سه نشاء در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز - بیشترین انتگرال نور روزانه) مشاهده شد. با توجه به نیاز نوری هر سه گیاه و بیشتر بودن مقدار نور تیمار بهاره نسبت به سایر تیمارها، این تیمار احتمالاً باعث کاهش سطح برگ گیاهان مورد آزمایش شده است. در سه نشاء تحت بررسی در آزمایش حاضر، بیشترین سطح برگ در شدت نور ۵±۶۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه (کمترین انتگرال نور روزانه) مشاهده شد. در واقع هر گاه گیاهان در نور کم رشد می کنند،

ارتفاع گیاه به طول دوره رشد رویشی و فتوپریود بستگی دارد (Kafi et al., 2012). در این رابطه و در Calibrachoa تیمار ۱۰۰ درصد نور آبی با شدت ۸۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه نسبت به تیمارهایی با شدت نور ۴۰ و ۸۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به رنگ های ۱۰۰ درصد قرمز، ۱۰۰ درصد سفید و تیمار ۱۰۰ درصد نور آبی با شدت ۴۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه افزایش طول ساقه را در پی داشته است (Olschowski et al., 2016). بر اساس نتایج آزمایشی گیاهانی که در معرض شدت نور زیادی قرار گرفته بودند در مقایسه با گیاهان رشد یافته در شدت نور کمتر دارای اندازه کوچک تر و ارتفاع کوتاه تر بودند (Cerdan and Chory, 2003). همسو با نتایج آزمایش فوق، در این پژوهش نیز بیشترین ارتفاع و طول میانگرمه نشاء های شمعدانی و حسن یوسف در شدت نور ۵±۶۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه (کمترین شدت نور و انتگرال نور روزانه) و حداقل این صفات در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز - نور خورشید و بیشترین انتگرال نور روزانه) مشاهده شد. شدت نور زیاد موجب ضخیم شدن برگ ها، متراکم و کوتاه شدن گیاه می شود. در شدت نور کم نتیجه کاملاً برعکس است؛ ساقه ها دارای رشد سریع با میانگرمه های طویل می باشد، زیرا در این شرایط تقسیم میتوز به دلیل مقدار زیاد اکسین، سریعاً انجام می شود (Abbasnezhad et al., 2017; Jalili Marandi, 2010).



ذخیره کربوهیدرات و نهایتاً کاهش رشد را به دنبال دارد. شدت نور، تراکم گیاهی، رقم و غلظت عناصر غذایی (به ویژه نیتروژن)، از مهم ترین عوامل مؤثر بر محتوی کلروفیل هستند (Darko et al., 2014). نتایج برخی پژوهش ها مبنی بر این است که تغییر در میزان نور از طریق تغییر در آرایش کلروپلاست درون سلول های گیاهی، می تواند مقدار کلروفیل برگ را تحت تأثیر قرار دهد؛ به طوری که در شدت نور کم میزان کلروفیل کلروفیل در برخی گیاهان کاهش می یابد و سبزیگی برگ ها کم می شود. در این شرایط کلروپلاست ها عمود بر زاویه تابش و موازی دیواره سلولی قرار می گیرند که موجب تغییر در مقدار کلروفیل می شود (Dana and Guiamet, 2004, Jalili marandi, 2010). در این آزمایش بیشترین مقدار کلروفیل نشاءها در شرایط مختلفی ایجاد شد که می تواند به دلیل نیاز نوری متفاوت آنها برای سنتز کلروفیل باشد. شمععدانی در کشت زمستانه ( $9/6 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز)، حسن یوسف در کشت بهاره ( $14 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع بر روز) و اطلسی در شدت نور  $60 \pm 5$  میکرومول بر مترمربع در ثانیه دارای بیشترین میزان کلروفیل بودند بر اساس تحقیقات، کاروتنوئید گلبرگ های جعفری '*Tagetes patula* 'Safari Orange' در نور ال ای دی در مقایسه با لامپ های فلورسنت و رشته ای افزایش یافته است (Sams et al., 2016). اگرچه سنتز کاروتنوئید ارتباط مستقیمی با تابش نور خورشید ندارد، اما برای تأمین انرژی لازم جهت سنتز آن به طور غیر مستقیم، به نور نیاز می باشد (Jalili Marandi, 2010). کاروتنوئیدها وظیفه حفاظت از کلروفیل در برابر اکسیداسیون نوری را بر عهده دارند (Devlin and Withman, 2002). در سلول گیاهان سبز، کاروتنوئید نقش گیرنده نور را ایفا می کند که سبب استفاده سلول از طول موج های مختلف نور می شود. هم چنین کاروتنوئید از سلول های محتوی رنگیزه کلروفیل در برابر صدمات اکسیداسیون نوری حاصل از تشعشعات بالا حفاظت می کند (Inez and

سطح برگ را افزایش می دهند تا انرژی بیشتری برای فتوسنتز کسب کنند (Johkan et al., 2010; Li et al., 2010). در این پژوهش در اغلب موارد، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه هر سه نشاء در کشت بهاره (نور خورشید - بیشترین انتگرال نور روزانه) کمتر از سایر تیمارها بود. همسو با این نتایج، در پژوهشی با افزایش شدت نور، وزن تر و خشک اندام هوایی در گل شب بو رقم (*Matthiola incana* L.) کاهش یافت (Abbasnezhad et al., 2017). از آنجا که در این پژوهش میزان نور در کشت بهاره بیشتر از سایر تیمارها بوده است، بنابراین کاهش وزن گیاهان را در پی داشته است. براساس نتایج این آزمایش لامپ های ال ای دی در مقایسه با سایر تیمارها باعث افزایش وزن شمععدانی و حسن یوسف شدند. نور آبی توأم با نور قرمز بر افزایش وزن گیاه مؤثر هستند (Li et al., 2010; Johkan et al., 2010). لذا می توان اظهار داشت افزایش وزن نشاءها تحت ال ای دی به دلیل وجود نور آبی و قرمز متمرکز در این لامپ ها است. ال ای دی ها گرمای کمی تولید می کنند، لذا می توانند در نزدیکی گیاهان با شدت نور بالا قرار گیرند (Barta et al., 1994; Tennessen et al., 1992). بر این اساس دمای سطح برگ زیر نور ال ای دی در مقایسه با نور خورشید (سایر تیمارها) کمتر بود و دارای اختلاف کمی با دمای هوای محیط پرورش نشاء داشت. در شرایط گلخانه یا هوای آزاد، تابش شدید نور خورشید و رطوبت نسبی بالا، معمولاً موجب بیشتر شدن دمای برگ ها تا حدود ۱۵ درجه سلسیوس نسبت به دمای هوا می شود، اما هنگامی که دمای هوا بالا و رطوبت نسبی کم باشد، این اختلاف دما کمتر خواهد شد (Ardakani et al., 2004; Kochaki and Nasiri mahallati, 1992).

بالاتر بودن دمای برگ در نشاءهای کشت شده در گلخانه (کشت زمستانه  $9/5 \pm 6$  میکرومول بر مترمربع بر روز) و بهاره ( $5 \pm 14$  میکرومول بر مترمربع بر روز) می تواند دلیل عمده کمتر بودن شاخص های رشد نسبت به گیاهان پرورش یافته در اتاقک رشد (لامپ های ال ای دی) باشد. افزایش دما، افزایش تنفس و کاهش

میکرومول بر مترمربع بر روز) وجود نداشت. در اطلسی بیشترین مقدار این شاخص (معادل ۰/۷۶۱) در شدت نور ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه مشاهده شد. با توجه به نتایج حاصله، می توان اظهار داشت لامپ‌های ال‌ای‌دی در مقایسه با نور خورشید سبب بهبود کارایی فتوسنتز گیاهان مورد آزمایش به‌ویژه شمعدانی و حسن یوسف شده‌اند.

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در مکان‌هایی که تحت عواملی نور کافی برای رشد گیاه وجود ندارد، با استفاده از نورهای جایگزین نظیر ال‌ای‌دی می‌توان محیطی مشابه با شرایط طبیعی جهت تولید نشاء با کیفیت ایجاد کرد. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که، شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، طول و قطر ساقه و سطح برگ شمعدانی و حسن یوسف شده است. شدت نور ذکر شده، طول ریشه، سطح برگ و میزان کلروفیل اطلسی را افزایش داده است. بنابراین جهت تولید نشاءهای مطلوب شمعدانی، حسن یوسف و اطلسی در خارج از فصل تولید، می‌توان از لامپ‌های ال‌ای‌دی با طیف‌های ترکیبی سفید، آبی و قرمز با شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه استفاده کرد. البته تأکید بر این مهم ضروری است که کیفیت و شدت نور ال‌ای‌دی مورد نیاز جهت تولید نشاء بسته به نوع گونه و حتی ارقام متفاوت است.

### سپاس‌گزاری

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق را هم ساخت تا این مقاله را به پایان برسانم. این مقاله را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم. از اساتید اندیشمندم کمال تشکر را دارم.

### References

Abbasnezhad, R., Jabbarzadeh, Z., & Razavi, M. (2017). The effect of different levels of light intensity on some physical and Physical properties of *Matthiola*. *Journal of Plant Research (Iranian Biology)*, 3(2), 1-12. [In Farsi]

(Montagu, 2000). در این پژوهش شمعدانی در شدت نورهای ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، حسن یوسف در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) و اطلسی در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بیشترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص دادند. میزان کاروتنوئید همانند کلروفیل با افزایش شدت نور بیشتر می‌شود (Jalili marandi, 2010). پایداری آنتوسیانین در شدت نورهای خیلی زیاد کمتر می‌باشد و معمولاً در شدت نور ۴۵۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، مقدار آن کم می‌شود. به نظر می‌رسد این مسئله به دلیل افزایش اکسیداسیون نوری و دمای برگ‌ها در شدت نورهای خیلی زیاد باشد که بر سنتز آنتوسیانین تأثیر منفی می‌گذارد (Faust et al., 2005). گزارش شده است که شدت نور کم باعث کاهش دسترسی به قندها می‌شود و هنگامی که این شرایط در زمان حداکثر تولید رنگیزه‌ها روی دهد، افت سطح رنگیزه را به وجود می‌آورد (Hatamiyan et al., 2014). در این آزمایش بیشترین میزان آنتوسیانین شمعدانی در کشت بهاره (۱۴±۵ میکرومول بر مترمربع بر روز) و حسن یوسف در اتاقک کشت تحت لامپ‌های ال‌ای‌دی مشاهده شد. معمولاً شدت نور مطلوب باعث افزایش تشکیل آنتوسیانین می‌شود (Rezanezhad and Tarahi, 2013). در شرایط مطلوب رشد، میزان فلورسانس کلروفیل برگ در گیاهان  $C_3$  در محدوده ۰/۸۰-۰/۸۴ است (Weiguo et al., 2012). هرچند بیشترین مقدار فلورسانس کلروفیل برگ شمعدانی (۰/۸۰۸) و حسن یوسف (۰/۸۰۹) در شدت نور ۶۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به دست آمد، اما تفاوت معنی‌داری با تیمارهای شدت نورهای ۱۲۰±۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و کشت زمستانه (۹/۶±۵)

- Ardakani, M., Haj, S. H. M., & Notghi Taheri, H. (2004). *Introduction to agricultural meteorology*. (2nd ed). (pp: 50-59). *Karaj*: Islamic Azad University of Karaj Branch. [In Farsi]
- Barta, D. J., Tibbits, T. W., Bula, R. J., & Morrow, R. C. (1992). Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. *Advances in Space Research*, 12, 141-149.
- Bethke, C. L., & Carlson, W. H. (1985). Seed geraniums-18 year of research. *Grower Talks*, 49(6), 64-66.
- Cerdan, P. D., & Chory, J. (2003). Regulation of flowering time by light quality. *Nature*, 423, 881-885.
- Chehrizi, M., Pourghasemi, D., & Khoshbakht, M. (2018). The effect of planting methods and calcium nanoparticles spray on quality, quantity and vase life of *Gladiolus hybrida* cv. Magma. *Plant Productions*, 41(2), 55-67. [In Farsi]
- Dana, E., & Guiamet, M. J. (2004). Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomy Journal*, 24(2), 41-46.
- Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., & Sabzalian, M. R. (2014). Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1640), 30-43.
- Devlin, M. R., & Withman, F. H. (2002). *Plant physiology*. New Delhi, India: CBs publishers and distributors.
- Dole, J. M., & Wilkins, H. F. (2005). Floriculture: Principles and species. *North American Colleges and Teachers of Agriculture*, 4(4), 70-75.
- Edward, R. E., Carroll, L., & Shry, J. (1991). *Introductory horticulture* (4th ed). (pp: 13-16). England: Delmar Publisher.
- Faust, J. E., Holcombe, V., Rajapakse, N. C., & Layne, D. R. (2005). The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering. *Horticultural Science*, 40(3), 645-649.
- Ghafari, H., & Tadayon, M. R. (2019). Impact of jasmonic acid on radiation use efficiency and dry biomasses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under water deficit conditions. *Plant Productions*, 41(4), 11-124. [In Farsi]
- Ghasemei Ghehsare, M., & Kafi, M. (2015). *Scientific and practical floriculture* (2nd ed). (pp: 40-42.). Tehran: Publishers Moalef. [In Farsi]
- Hatamiyan, M., Arab, M., & Rozban, M. R. (2014). The effect of different light intensities on photosynthetic and non-photosynthetic pigments of two rose cultivars. *Journal of Behzeraei Agriculture*, 16(2), 281-289. [In Farsi]
- Inez, D., & Montagu, M. V. (2000). *Oxidative stress in plants*. *ScienceDirect*, 6(2), 153-158.
- Jalili Marandi, R. (2010). *Physiology of environmental stresses and mechanisms of resistance in horticultural plants*. (2nd ed). (pp: 20-30). Urmia: Jahad Publications Urmia. [In Farsi]
- 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. *Horticultural Science*, 45(12), 1809-1814.
- Kafi, M., Sharifi, H., Zand, A., & Damghani, M. (2012). *Plant physiology* (Vol. 1, 4th ed). Mashhad: Mashhad Academic Publications. [In Farsi]
- Khattak, A. M., & Pearson, S. (2006). Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. *Plant Growth Regulators*, 49(1), 61-68.
- 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. *Science Horticulture*, 101(1-2), 143-151.
- Kochaki, A., & Nasiri Mahalati, M. (1992). *Ecology of crop plants*. Mashhad: University of Mashhad Publications. [In Farsi]

- Li, H., Xu, Z., & Tang, C. (2010). Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 103(2), 155-163.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
- Olschowski, S., Geiger, E. M., Herrmann, J. V., Sander, G., & Gruneberg, H. (2016). Effects of red, blue, and white LED irradiation on root and shoot development of *Calibrachoa* cuttings in comparison to high pressure sodium lamps. *Acta Horticulturae*, 1134(10), 245-250.
- Ouzounis, T., Razi Parjkolaei, B., Frette, X., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. (2015). Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments in *Lactuca sativa*. *Front Plant Science*, 6, 1-19.
- Rahnemoonfar, M., Etemadi, N., Nikbakht, A., Gheisari, M., & Sabzalian, M. R. (2014). Effect of shade, organic matter and planting time on morphological and physiological characteristics of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) (Raf.) Shinn. *Plant Productions*, 37(3), 1-11. [In Farsi]
- Rezanezhad, F., & Tarahi, R. (2013). The effect of light and plant growth regulators on callus formation and anthocyanin accumulation in calli obtained from different cultures in rose galica (*Rosa gallica* L.). *Journal of Plant Research. Iranian Journal of Biology*, 26(2), 184-195. [In Farsi]
- Rhie, Y. H., Lee, S. Y., Jung, H. H., & Kim, K. S. (2014). Light intensity influences photosynthesis and crop characteristics of (*Jeffersonia dubia*). *Horticultural Science and Biotechnology*, 32(5), 584-589.
- Runkle, E. (2016). *LED lighting applications for plants*. Retrieved from <http://www.gpnmag.com>.
- Runkle, E. (2017). *Effects of blue light on plants*. Retrieved from <http://www.gpnmag.com>.
- Sams, C. E., Kopsell, D., & Morrow, R. C. (2016). Light quality impacts on growth, flowering, mineral uptake and petal pigmentation of marigold. *Acta Horticulturae*, 56(1), 50-59.
- Tennessen, D. J., Singaas, E. L., & Sharkey, T. D. (1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynthesis Research*, 39(1), 85-92
- Verkbert, H., Heins, R., & Blom, T. (2004). Supplemental lighting on potted plants. In: P.R. Fisher and E. Runkle (Eds.), *Lighting up profits: Understanding greenhouse lighting* (2nd ed). (pp: 10-13.). Willoughby, OH: Meister Media Worldwide.
- Wagner G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1), 88-93.
- Weiguo, F., Pingping, L., & Yanyou, W. (2012). Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 135, 45-51.
- Zhen, L., & Labeke, M. C. V. (2017). Long term effects of red and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 917.