

# Investigation of Seed Germination Parameters and Morphophysiological Traits of *Tagetes erecta* (*Tagetes erecta* Antigua orange) in Response to Different LED Light Qualities

Rasoul Abaszadeh Farouji<sup>1</sup>, Abdoallah Hatamzadeh<sup>2\*</sup>, Ahmad Sharifi<sup>3</sup>, Mahdiyeh Kharrazi<sup>4</sup>

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89366.1370>

## Introduction

Light is recognized as a vital factor for plant growth and development. Plants convert light energy into chemical energy through photosynthesis, which is then used for growth and development. Quality, intensity, and photoperiod are among the factors that directly affect plant growth and development processes. In recent years, Light-Emitting Diode (LED) technology has gained significant popularity in agriculture due to its numerous advantages over traditional light sources. These advantages include the ability to produce various light spectra, low energy consumption, long lifespan, and reduced heat emission. These characteristics have made LEDs an ideal light source for cultivating plants in controlled environments such as greenhouses and growth chambers. The primary objective of this study was to investigate the effects of different LED light qualities on the morphological, physiological, and germination traits of marigold (*Tagetes erecta*) seeds. Given the importance of light in plant growth and the benefits of LED technology, this study can provide valuable insights for improving crop cultivation and production.

## Materials and Methods

This experiment was conducted in the Biotechnology Laboratory of Horticultural Plants in the Academic Center for Education, Culture and Research of Khorasan Razavi. F1 hybrid seeds were used in this study. The experimental treatments consisted of five light qualities: white light (100%), blue light (100%), red light (100%), 30% blue light + 70% red light, and 70% blue light + 30% red light. All treatments were subjected to a 16-hour light and 8-hour dark photoperiod using LED grow lights. The photosynthetic photon flux density (PPFD) was maintained at a constant  $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  for all light treatments. Seed germination parameters (Seed Germination percentage, Mean germination Time, Germination rate, Radicle length, Plumule length, lateral roots number, Plumule fresh weight, Radicle fresh weight, Plumule dry weight and Radicle dry) were initially measured in Petri dishes under the growth panels. Subsequently, seeds were sown and grown under the growth panels, and physiological and morphological parameters including plant height, first internode length, stem diameter, node number, leaf area, leaf length, leaf number, lateral shoot number, shoot fresh weight, shoot dry weight, shoot fresh/ dry weight ratio, root fresh weight, root dry weight, root fresh/ dry weight ratio, dry matter, root length, electrolyte leakage, relative leaf water content and chlorophyll content were measured every 15 days for a total of four measurements.

## Results and Discussion

Seed germination indices showed that the lowest mean germination time, highest germination rate, longest radicle length, hypocotyl length, number of lateral roots, and fresh weight of radicles were observed under 100% red light treatment, followed by the 70% red + 30% blue light treatment. The application of 100% red light improved germination rate, radicle length, hypocotyl length, number of lateral roots, and fresh weight of radicles by approximately 14%, 29%, 48%, 100%, and 67%, respectively, compared to the control. Plants grown under 100% red light exhibited the greatest plant height at both the beginning and end of the growth

period. At the end of the growth stage (75 days after sowing), plants under 100% red light showed increases of approximately 37%, 6%, 33%, and 31% in stem diameter, length of the largest compound leaf, number of leaves, and number of branches, respectively, compared to the white light treatment at the same growth stage. Additionally, the fresh and dry weights of plants increased by approximately 56% and 9%, respectively, compared to the control at the same growth stage. A study of the fresh and dry weights of roots showed that the application of 100% red light increased these two indices by nearly 3 times compared to the control. The lowest fresh and dry root weights were observed under 100% blue light treatment, followed by the 30% red + 70% blue light treatment. Furthermore, plants grown under 100% red light exhibited higher relative water content and lower electrolyte leakage in leaves compared to plants grown under other light treatments.

### **Conclusions**

The research findings indicated that the application of light-emitting diodes (LEDs) with various light qualities enhanced the growth conditions of *Tagetes erecta Antigua orange*. Comparisons among the light treatments showed that the use of 100% red light resulted in increased germination percentage and rate in marigold seeds. Furthermore, the application of red light under controlled conditions led to an increase in plant growth indices compared to other experimental treatments. Therefore, the use of red light at different growth stages of marigold under controlled conditions is recommended

**Keywords:** Artificial light, Blue light, Germination, Red light

## مطالعه شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و صفات مورفوفیزیولوژیک گل جعفری (*Tagetes erecta* Antigua orange) در کیفیت‌های مختلف نور LED

رسول عباس زاده فاروجی<sup>۱</sup>، عبدالله حاتم زاده<sup>۲\*</sup>، احمد شریفی<sup>۳</sup>، مهدیه خرازی<sup>۴</sup>

۱ دانشجوی دکتری، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\* ۲ استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. آدرس ایمیل نویسنده مسئول :

hatamzadeh@guilan.ac.ir

۳ استادیار گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغی، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، مرکز آموزش، فرهنگ و تحقیقات

دانشگاهی ایران (ACECR)، واحد خراسان رضوی، مشهد، ایران

۴ استادیار، گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، مرکز آموزش، فرهنگ و تحقیقات

دانشگاهی ایران (ACECR)، واحد خراسان رضوی، مشهد، ایران

### چکیده

به منظور مطالعه شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک و جوانه‌زنی بذر گل جعفری (*Tagetes erecta* Antigua orange) در پاسخ به کیفیت‌های مختلف نور LED تحقیق حاضر در گروه بیوتکنولوژی علوم باغبانی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج کیفیت نور سفید (۱۰۰٪)، نور آبی (۱۰۰٪)، نور قرمز (۱۰۰٪)، نور آبی + ۳۰٪ نور قرمز (۳۰٪ + ۷۰٪ نور قرمز) و ۷۰٪ نور آبی + ۳۰٪ نور قرمز بود. در ابتدا شاخص‌های جوانه‌زنی بذر در ظروف پتری دیش در زیر پل‌های نوری اندازه‌گیری گردید و پس از کاشت بذر در زیر پل‌های نوری، شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه در فاصله زمانی ۱۵ روز یکبار در چهار مرحله اندازه‌گیری گردید. مطالعه شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی، بیشترین سرعت جوانه‌زنی، بیشترین طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، تعداد ریشه‌جانبی و وزن تر ریشه‌چه در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) و پس از آن در تیمار نور قرمز (۷۰٪) + نور آبی (۳۰٪) مشاهده شد. استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، تعداد ریشه‌جانبی و وزن تر ریشه‌چه را به ترتیب تقریباً ۱۴٪، ۲۹٪، ۴۸٪، ۱۰۰٪ و ۶۷٪ در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشید. بیشترین ارتفاع گیاه در ابتدا و انتهای رشد مربوط به گیاهان رشد یافته در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) بود. در انتهای مرحله رشدی (۷۵ روز پس از کشت بذر) گیاهان تحت تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) از لحاظ قطر ساقه، طول بزرگترین برگ مرکب، تعداد برگ و تعداد شاخه‌جانبی به ترتیب تقریباً ۳۷٪، ۶٪، ۳۳٪ و ۳۱٪ در مقایسه با تیمار نور سفید در همان مرحله رشدی افزایش داد. علاوه بر این، وزن تر و خشک گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد در همان مرحله رشدی به ترتیب تقریباً ۵۶٪ و ۹٪ افزایش یافت. مطالعه وزن تر و خشک ریشه نشان داد که اعمال تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) این دو شاخص را تقریباً نزدیک به ۳ برابر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. کمترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار نور آبی (۱۰۰٪) و پس از آن تیمار نور قرمز (۳۰٪) + نور آبی (۷۰٪) مشاهده شد. همچنین، گیاهان رشد یافته در شرایط نور قرمز (۱۰۰٪) در مقایسه با گیاهان رشد یافته در سایر تیمارهای نوری دارای محتوی نسبی آب برگ بیشتر و نشت الکتروولت کمتری بودند. به طور کلی بر اساس نتایج پژوهش مشخص گردید که استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) منجر به افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گل جعفری گردید. علاوه بر این، استفاده از نور قرمز

در شرایط کنترل شده منجر به افزایش شاخص‌های رشدی گیاه در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش گردید. از این رو، استفاده از نور قرمز در مراحل مختلف رشدی گل جعفری در شرایط کنترل شده قابل توصیه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** جوانه‌زنی، نور آبی، نور قرمز، نور مصنوعی.

نسخه پیش انتشار

رشد و نمو گیاه در پی تامین انرژی به منظور تولید مواد آلی و به عنوان محرک مورفوژنتیک به نور وابسته است (Goto, 2003). نور از سه جنبه کیفیت، شدت و فتوپریود بر فرآیند رشد و نمو گیاه موثر است (Yang et al., 2018). این فاکتورها در شرایط کنترل شده، با استفاده از نور مصنوعی قابل کنترل می‌باشد (Goto, 2003). در حال حاضر، تکنولوژی دیودهای ساطع کننده نور (LED) به دلیل توانایی تولید طیف‌های مختلف نوری از محبوبیت بالایی در محیط‌های کنترل شده برخوردار است (Bantis et al., 2018). این منابع نور مصنوعی به دلیل تولید طیف‌های با طول موج مشخص، هزینه استفاده کمتر، کاهش گرمای تابشی و طول عمر بیشتر، کاربرد بیشتری در مقایسه با سایر منابع نوری دارند (Bantis et al., 2018; Wang et al., 2021). از این رو، استفاده از آن‌ها در اتاقک‌های رشد، گلخانه، سیستم کشت عمودی گیاهان و حتی پس از برداشت گیاه در مرحله ذخیره‌سازی نیز افزایش یافته است (Bantis et al., 2018) و از آن‌ها با اهداف مختلفی همچون کنترل گلدهی در گیاهان، افزایش رشد، بهبود عملکرد و توزیع یکنواخت نور در تاج پوششی گیاه در کشت‌های گلخانه‌ای استفاده می‌شود (Akbarian et al., 2016). کیفیت نور نقش مهمی در ظاهر گیاه و بهره‌وری گیاهان زینتی و سایر محصولات دارد (Ryu et al., 2012). به منظور استفاده بهینه از نور، گیاهان مسیرهای سیگنالی مختلفی را در پاسخ به طول موج‌های مختلف نور ایجاد کرده‌اند (Rosado et al., 2022). در حقیقت، تغییر در طول موج نور بر شاخص‌هایی مورفولوژیکی، آناتومی و فیزیولوژیکی گیاه موثر است (Cheng et al., 2022). به عنوان مثال، نور فرورسرخ بر گلدهی در گیاهان روزبلند و افزایش طول میانگره، نور آبی در نورگرایی، باز شدن روزنه‌ها و ممانعت از رشد گیاهچه موثر می‌باشند (Ryu et al., 2012). همچنین، نور قرمز یکی از موثرترین طیف‌های نوری در رشد گیاهان می‌باشد و بیشترین کارایی را در هدایت فتوسنتز با توجه به عملکرد کوانتومی دارد (Park & Runkle, 2018). طیف نوری قرمز و آبی بیشترین کارایی را به لحاظ فتون‌های فتوسنتزی انتشار یافته در هر وات الکتروسیته (یا کارایی فتون فتوسنتزی در هر میکرومول) دارند (Hogewoning et al., 2010; Esmaeili et al., 2022). بنابراین، بسیاری از LEDهای تجاری به منظور استفاده در محیط کشت گیاهان دارای LEDهای قرمز و آبی می‌باشند (Park & Runkle, 2018). جوانه‌زنی بذر به عنوان یکی از فرآیندهای حیاتی و آسیب‌پذیر در توسعه گیاهان به شدت تحت تاثیر نور قرار می‌گیرد (Goto, 2003; Fenner & Thopson, 2005; Kitajima & Fenner, 2000; Khayyat et al., 2014). گزارش شده است که بذر و گیاهچه رشد یافته از آن قابلیت پاسخ به شدت و کیفیت‌های مختلف نور را دارا می‌باشند (Simlat et al., 2016). استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) منجر به افزایش درصد سبز شدن بذر در چهار گیاه اطلسی، حنا، آهار و شاه‌پسند شد. علاوه بر این، مشخص گردید که اضافه شدن ۲۵٪ نور آبی به نور قرمز کیفیت رشد دانه‌ها را در پی داشت (Akbarian et al., 2016). در پژوهش صورت گرفته در گیاه *Taraxacum officinale*، استفاده از LED در مقایسه با نور فلئورسنت جوانه‌زنی بذر را به تعویق انداخت. استفاده از نور قرمز شاخص‌های رشدی در گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشید (Ryu et al., 2012). نور آبی افزایش درصد جوانه‌زنی بذر، تعداد برگ در گیاه، تعداد ریشه و فراوانی روزنه و محتوای رنگدانه در گیاه *Stevia rebaudiana* Bertonی را در پی داشت (Simlat et al., 2016). در گیاه *Brassica napus*، نور قرمز درصد جوانه‌زنی بذر را افزایش و در مقابل نور آبی درصد جوانه‌زنی بذر را کاهش داد. با این حال، در شرایط گلخانه استفاده از نور آبی، طول ساقه، بیومس گیاه و قطر ساقه را به طور معنی‌داری بهبود بخشید (Farrokh Tehrani et al., 2016). استفاده از LED، امکان مطالعه فرآیندهای القا شده توسط نور به خصوص فرآیندهای مورفوفیزیولوژیکی در گیاه را فراهم می‌کند (Loi et al., 2021). پژوهش‌های مختلفی در این زمینه با هدف بهینه‌سازی شرایط نوری گیاه صورت گرفته است (Jian-Fei et al., 2023; Ye et al., 2017; Zare Mehrjerdi et al., 2024). در پژوهش Akbarian و همکاران (۲۰۱۶) مشخص شد که استفاده از

LED در بهبود کیفیت *Verbena aubletia* و *Petunia × hybrid*, *Zinnia elegans* *Impatiens balsamina* موثر بوده است. ارتفاع گیاه در *Salvia miltiorrhiza* Bunge و *Tagetes erecta* L. به هنگام کاربرد نور آبی در مقایسه با نور قرمز و نور سفید فلوئورسنت بیشتر بود (Heo et al., 2002). با این حال، در گیاه *Rehmannia glutinosa* DC (Gaertn.) نور قرمز منجر به افزایش وزن و ارتفاع در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش شد (Manivannan et al., 2015). گل جعفری (*Tagetes erecta* L.) متعلق به خانواده Asteraceae و گیاهی یکساله است. از این گیاه به صورت زینتی، دارویی و صنعتی استفاده می‌شود. رنگدانه‌های موجود در این گل از اهمیت بالایی برخوردار است و در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود (Jafari and Daneshvar, 2017). هدف از پژوهش صورت گرفته، مطالعه چگونگی تاثیر نور آبی و قرمز بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و پس از آن شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در طی رشد بود.

## مواد و روش

این پژوهش در آزمایشگاه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی در مرکز جهاد دانشگاهی خراسان رضوی اجرا شد.

## تیمارهای LED

در این پژوهش تنها از لامپ LED ساخت شرکت Chanzon در کیفیت‌های مختلف به عنوان منبع نوری جهت رشد گیاه استفاده گردید. تیمارها در هر دو آزمایش شامل نور سفید (۱۰۰٪)، نور آبی (۱۰۰٪)، نور قرمز (۱۰۰٪)، نور آبی + ۷۰٪ نور قرمز و ۷۰٪ نور آبی + ۳۰٪ نور قرمز حاصل از لامپ LED بود. میزان شار فوتون فتوسنتزی در تمام تیمارها معادل ۱۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه حفظ شد. در این آزمایش از دیودهای نور قرمز با طول موج در محدوده ۶۲۰ تا ۶۲۵ نانومتر، توان ۱ وات و ولتاژ ۲/۲ و طول موج نور آبی در محدوده ۴۶۰ تا ۴۷۰ نانومتر، توان ۱ وات و ولتاژ ۳/۲ استفاده گردید.



شکل ۱. تیمارهای مختلف نور LED در پژوهش

Fig 1. Different treatments of LED light quality in the experiment

## مطالعه شاخص‌های جوانه‌زنی بذر

به منظور مطالعه اثر کیفیت نور بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر آزمایشی کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. بدین منظور تعداد ۲۵ عدد بذر نسل F<sub>1</sub> گل جعفری در داخل هر پتری‌دیش در دمای ۲۵°C و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در زیر پتل نوری تعبیه شده جهت اعمال تیمارها قرار داده شد. ده روز پس از کشت بذر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری گردید. تعداد ریشه جانبی در دانه‌ها شمارش شد. وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن

خشک آن‌ها پس از قرارگیری در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای °C ۷۰ با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، شاخص‌های درصد جوانه‌زنی (Khosh-Khui, 2005)، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی (Falcinelli et al., 2022)، سرعت جوانه‌زنی (Walker, 1990) نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$\text{میانگین زمان جوانه‌زنی (فرمول شماره ۳)} = \frac{\sum(n_i \times D_i)}{N}$$

$$\text{درصد جوانه‌زنی (فرمول شماره ۱)} = \frac{G}{N} \times 100$$

$$\text{سرعت جوانه‌زنی (فرمول شماره ۲)} = \sum(F_i \times n_i)N$$

در فرمول شماره ۱: G: تعداد بذر جوانه‌زده، N: تعداد کل بذر؛ در فرمول شماره ۲: F<sub>i</sub>: روز شمارش، n<sub>i</sub>: تعداد بذر جوانه‌زده در همان روز، N: کل بذرهای جوانه‌زده بر اساس بذر/روز و در فرمول شماره ۳: n<sub>i</sub>: تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز، D<sub>i</sub>: روز مربوط از شروع جوانه‌زنی بذر، N: تعداد بذر جوانه‌زده می‌باشد.

## مطالعه شاخص‌های رشدی گیاه

### مواد گیاهی و نحوه کشت

به منظور مطالعه شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک گل جعفری (*Tagetes erecta Antigua orange*) به هنگام قرارگیری در کیفیت‌های مختلف نور آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول کیفیت‌های مختلف نور و عامل دوم تعداد روز پس از کشت بذر بود. در تهیه بستر کشت نیز از ترکیب کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۲ استفاده شد. آبیاری گیاه با استفاده از محلول غذایی هوگلدن در تمام مراحل رشد در بستر کوکوپیت پرلیت با توجه به نیاز تغذیه‌ای گیاه انجام شد. ۲۳ روز پس از کشت، گیاهچه‌ها (مرحله ۴ برگ حقیقی) به بستر کشت حاوی خاک باغچه، سبوس برنج، ماسه شسته شده و کود دامی پوسیده به نسبت ۵:۱:۱:۱ انتقال داده شدند. گیاهان در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. در هر گل‌دان یه گیاه کشت شد. یک ماه پس از کاشت بذرهای، شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه در فاصله زمانی ۱۵ روز یکبار در چهار مرحله اندازه‌گیری گردید.

### صفات مورد مطالعه

ارتفاع گیاه، طول میانگره اول، طول بزرگترین برگ و طول ریشه با استفاده از خط‌کش و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. سطح برگ با کمک نرم افزار ImageJ 1.51w محاسبه گردید. تعداد گره، تعداد برگ و تعداد ریشه جانبی نیز در هر مرحله رشدی شمارش شد. نسبت وزن تر به خشک اندام هوایی و ریشه و درصد ماده خشک نیز محاسبه گردید. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج و با توجه به افزایش حجم آب نسبت به حجم اولیه بر حس سانی متر مکعب اندازه‌گیری شد (Abaszadeh Faruji et al., 2018). وزن تر و خشک (دمای °C ۷۰ به مدت ۴۸ ساعت) اندام هوایی، ریشه و گل نیز توسط ترازو توزین و ثبت گردید. صفات فیزیولوژیک شامل: نشت الکتروولیت، محتوای نسبی آب برگ (Abbaszadeh Faruji et al., 2020) و محتوای کلروفیل برگ (Lichtenthaler and Buschmann, 2001) نیز در مراحل رشدی مختلف اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از برگ‌های تازه و پهن گیاه انتخاب و ابتدا وزن تر (FW)، پس از غوطه‌وری در آب به مدت ۲۴ ساعت وزن آماس (TW) و بعد از قرارگیری در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت وزن خشک (DW) اندازه‌گیری گردید. در انتها با استفاده از فرمول زیر محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد.

$$RWC (\%) = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times 100$$

برای اندازه‌گیری نشت الکتروولیت در گیاه نیز پس از پانچ سه قطعه برگ و قرار دادن آن‌ها در داخل لوله فالكون به نمونه‌های برگ ۱۰ سی‌سی آب مقطر اضافه شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت قرارگیری در شیکر مقدار رسانایی الکتریکی اولیه (E<sub>1</sub>) محلول اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد محلول حاصل به اتوکلاو منتقل و اتوکلاو گردید. پس از سرد شدن

نمونه، رسانایی الکتریکی ثانویه ( $E_2$ ) اندازه‌گیری شد. در انتها نشت الکترولیت توسط رابطه زیر محاسبه شد (Abbaszadeh Faruji et al., 2020).

$$EL (\%) = (E_1 / E_2) \times 100$$

به منظور اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ ابتدا سه قطعه از برگ پانچ شده و توسط اتانول ۹۶٪ کاملاً کوبیده شد. پس از آن عصاره بدست آمده به حجم ۱ سی سی رسانده شد و میکروتیوپ با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در انتها محلول شفاف بالایی توسط سه طول موج مختلف ۶۶۴، ۶۴۸ و ۴۷۰ نانومتر خوانش گردید. با استفاده از روابط زیر محتوای کلروفیل در گیاه محاسبه شد.

$$Cl_a = 13.36 A_{664.1} - 519 A_{648.6}$$

$$Cl_b = 27.43 A_{648.6} - 8.12 A_{664.1}$$

$$C_{x+c} = (1000 A_{470} - 2.13 Cl_a - 97.64 Cl_b) / 209$$

## آنالیز آماری

آنالیز آماری طرح توسط نرم افزار JMP-8 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح اطمینان ۵٪ صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### شاخص‌های جوانه‌زنی بذر

نتایج پژوهش نشان داد که تیمارهای مختلف کیفیت نور LED بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر به طور معنی‌داری موثر بود ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۱). مطالعه شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که کمترین میانگین زمان جوانه، بیشترین سرعت جوانه‌زنی، بیشترین طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، تعداد ریشه جانبی و وزن تر ریشه‌چه در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) مشاهده شد. استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، تعداد ریشه جانبی و وزن تر ریشه‌چه را به ترتیب ۱۴٪، ۲۹٪، ۴۸٪، ۱۰۰٪ و ۶۷٪ در مقایسه با تیمار شاهد (نور سفید) بهبود بخشید (جدول ۲). در مراحل رشد و نمو گیاهی، جوانه‌زنی بذر مهمترین و حیاتی‌ترین مرحله رشد می‌باشد (Safari et al., 2022). تغییر در کیفیت و کمیت نور بر جوانه‌زنی بذر گیاهان موثر است (Anjah et al., 2013; Lone et al., 2014). یکتواختی جوانه‌زنی بذر یکی از شاخص‌های تاثیرگذار در تولید محصول با عملکرد و کیفیت بالا می‌باشد (Nonogaki et al., 2010). فیتوکروم‌ها عامل حس کردن شرایط نوری محیط در بذرها بوده و در پاسخ بذر به نور آبی و قرمز نقش دارند (Akbarian et al., 2016). به هنگام استفاده از نور آبی، شاخص‌های جوانه‌زنی بذر به دنبال تاثیر نور آبی بر عملکرد و شکل ساختاری فرم فعال فیتوکروم، تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Rashidi et al., 2021). کاهش درصد جوانه‌زنی بذر به هنگام استفاده از نور آبی به دنبال غیرفعال بودن رنگدانه فیتوکروم A می‌باشد (Byun et al., 2013). تاثیر منفی نور آبی در فرایند جوانه‌زنی بذر در پژوهش‌های صورت گرفته توسط Jacobsen و همکاران (۲۰۱۳) و Tanno و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش گردیده است. تاثیر مثبت نور قرمز در جوانه‌زنی بذر به دلیل تحریک تولید فرم فعال فیتوکروم به عنوان جزء ضروری در فرایند جوانه‌زنی بذر می‌باشد (Ortega-Base and Arechiga, 2007). رنگدانه فیتوکروم A که به منظور جوانه‌زنی بذر لازم و ضروری است در طول موج ۵۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر فعال می‌شود. به هنگام کاربرد نور قرمز و متعاقب آن طول موج مناسب، به منظور فعال شدن فیتوکروم A درصد جوانه‌زنی بذر نیز افزایش می‌یابد (Byun et al., 2013). علاوه بر این، بیان شده است که نور قرمز منجر به بهبود و تسریع فرایند جذب آب در بذر می‌شود (Zaghdoud et al., 2023). در پژوهش حاضر نیز عملکرد نور قرمز در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و تسریع این فرایند در مقایسه با سایر تیمارهای نوری به طور معنی‌داری موثرتر بود. هم‌راستا با نتایج این پژوهش بهبود جوانه‌زنی و شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی بذر تحت تاثیر نور قرمز در پژوهش رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2021) نیز تایید شده است.



جدول ۱. تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی بذر گل جعفری در کیفیت‌های مختلف نور LED

Table 1. Analysis of variance of seed germination traits of marigold in different LED light quality

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	جوانه‌زنی بذر Seed Germination	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination Time	سرعت جوانه‌زنی روزانه Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length
کیفیت نور Light quality	4	13.6 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>**</sup>	0.02 <sup>**</sup>	0.85 <sup>**</sup>	0.20 <sup>**</sup>
خطا Error	10	5.60	0.011	0.002	0.097	0.006
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد ریشه جانبی lateral roots number	وزن تر ساقه‌چه Plumule fresh weight	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight
کیفیت نور Light quality	4	10.3 <sup>**</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>**</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.00000 <sup>ns</sup>
خطا Error	10	0.84	0.003	0.0005	0.00001	0.00000

ns: عدم تفاوت معنی‌دار، \*: تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪؛ \*\*: تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪

ns: no significant difference, \*: significant difference at the 5% level; \*\*: significant difference at the 1% level

جدول ۲. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر

Table 2. Effect of different LED light quality on seed germination traits

تیمار treatment	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination Time	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	تعداد ریشه جانبی lateral roots number	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight (gr)
سفید (شاهد) White (control)	1.44 <sup>bc</sup>	0.69 <sup>b</sup>	3.06 <sup>bc</sup>	1.16 <sup>c</sup>	4.65 <sup>c</sup>	0.21 <sup>c</sup>
قرمز (۱۰۰٪) Red (100%)	1.25 <sup>cd</sup>	0.79 <sup>a</sup>	3.95 <sup>a</sup>	1.72 <sup>a</sup>	9.40 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>
آبی (۱۰۰٪) Blue (100%)	1.46 <sup>b</sup>	0.68 <sup>b</sup>	2.60 <sup>c</sup>	1.45 <sup>b</sup>	4.75 <sup>bc</sup>	0.29 <sup>b</sup>
قرمز (۷۰٪) + آبی (۳۰٪) Red (70%) + Blue (30%)	1.25 <sup>d</sup>	0.80 <sup>a</sup>	3.56 <sup>ab</sup>	1.16 <sup>c</sup>	6.58 <sup>b</sup>	0.32 <sup>ab</sup>
قرمز (۷۰٪) + آبی (۳۰٪) Red (30%) + Blue (70%)	1.68 <sup>a</sup>	0.59 <sup>b</sup>	3.66 <sup>a</sup>	1.11 <sup>c</sup>	5.24 <sup>bc</sup>	0.28 <sup>b</sup>

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD test, P≤0.05)

Similar letters in each column indicate no significant difference (P≤0.05; LSD test)

### شاخص‌های مورفولوژیک

مطالعه شاخص‌های مورفولوژیک در گل جعفری نشان داد که تیمارهای مختلف نوری در طی رشد بر شاخص‌های مورد مطالعه در گیاه به طور معنی‌داری موثر بوده است (P≤0.01) (جدول ۳). نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در ابتدا و انتهای رشد مربوط به گیاهان رشد یافته در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) بوده است. به طوریکه بیشترین ارتفاع گیاه در انتهای آزمایش در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) مشاهده شد (۲۱/۳ سانتیمتر) (شکل ۲). تفاوت ارتفاع و سایر شاخص‌های مورفولوژیک گیاهان در شکل ۴ نشان داده شده است. طول میانگین اول در گیاهان رشد یافته در تیمار نوری ۱۰۰٪ قرمز به طور قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد و سایر تیمارهای آزمایش بیشتر بود (شکل ۴).

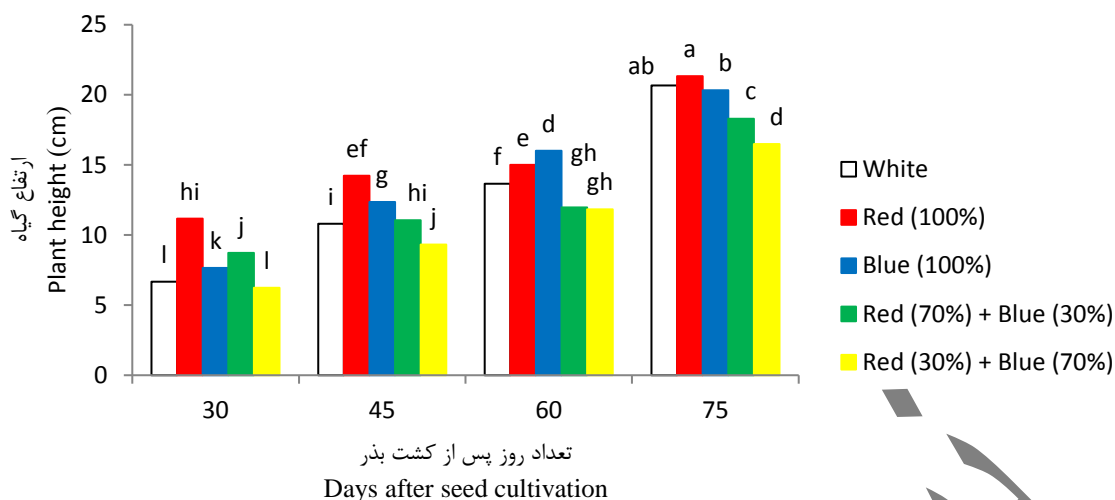
جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک گل جعفری تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED

Table 3. Analysis of variance of morphological traits of marigold in response to different qualities of LED

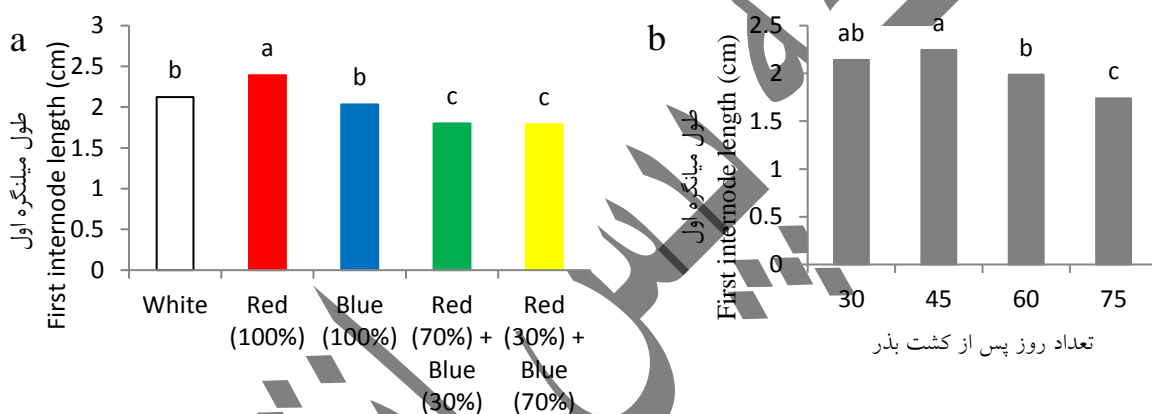
منبع تغییرات S.O.V	درجه ازادی df	ارتفاع گیاه Plant height	طول میانگره			تعداد گره Node number	سطح برگ Leaf area	طول برگ Leaf length	تعداد برگ Leaf number	تعداد ساقه جانبی Lateral shoot number
			اول First internode length	قطر ساقه Stem diameter	نسبت وزن تر به خشک اندام هوایی Shoot fresh/ dry weight ratio					
کیفیت نور Light quality(L) تعداد روز پس از کشت	4	33.7**	0.74**	1.92**	5.19**	133064**	29.6**	58.4**	2.60**	
Days after cultivation(D) کیفیت نور× تعداد روز پس از کشت	3	338**	0.72**	16.8**	224**	18589**	37.7**	3153**	76.6**	
L×D	12	3.33**	0.09 <sup>ns</sup>	0.14**	0.84*	1557**	1.46**	48.8**	1.18**	
Error	40	0.345	0.05	0.06	0.36	65.7	0.14	1.75	0.18	
منبع تغییرات S.O.V	درجه ازادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	نسبت وزن تر به خشک اندام هوایی		وزن خشک ریشه Root dry weight	نسبت وزن تر به خشک ریشه		درصد ماده خشک Dry matter	طول ریشه Root length
				Shoot fresh/ dry weight ratio	Root fresh weight		Root fresh/ dry weight ratio			
کیفیت نور Light quality (L) تعداد روز پس از کشت	4	134**	0.88**	0.90 <sup>ns</sup>	17.5**	0.38**	16.74**	0.90 <sup>ns</sup>	27.3**	
Days after cultivation(D) کیفیت نور× تعداد روز پس از کشت	3	544**	5.07**	0.76 <sup>ns</sup>	24.5**	1.73**	437**	0.76 <sup>ns</sup>	130**	
L×D	12	15.3**	0.13**	1.11*	1.39**	0.08**	15.60**	1.11*	3.79**	
Error	40	0.62	0.02	0.45	0.09	0.003	2.87	0.45	0.73	

ns: عدم تفاوت معنی دار، \*: تفاوت معنی دار در سطح 5٪، \*\*: تفاوت معنی دار در سطح 1٪

ns: no significant difference, \*: significant difference at the 5% level; \*\*: significant difference at the 1% level



شکل ۲. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED بر ارتفاع گیاه در طی رشد  
 Fig 2. Effect of LED light quality on plant height during the plant growth



شکل ۳. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED (a) و تعداد روز پس از کشت (b) بر طول میانگره اول  
 Fig 3. Effect of LED light quality (a) and days after planting (b) on the first internode length

استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) در گیاه منجر به افزایش معنی‌دار شاخص‌های قطر ساقه، طول بزرگ‌ترین برگ مرکب، تعداد برگ، سطح برگ و تعداد شاخه جانبی در انتهای پژوهش در مقایسه با تیمار شاهد (نور سفید) شد (جدول ۴). نتایج پژوهش نشان داد که قطر ساقه در تمامی مراحل رشد گیاه در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) در مقایسه با تیمار شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافته است. در انتهای پژوهش (۷۵ روز پس از کشت بذر) قطر ساقه در نور قرمز (۱۰۰٪) در مقایسه با تیمار نور سفید در همان مرحله رشدی بیشتر از ۳۷٪ افزایش یافت و منجر به ثبت بیشترین قطر ساقه در گیاه شد. (جدول ۴). اعمال نور ترکیبی در درصدهای مختلف، در تمامی مراحل رشدی منجر به کاهش تعداد گره در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در انتهای مرحله رشدی گیاه، بیشترین تعداد گره در تیمار شاهد و پس از آن در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) مشاهده گردید. در انتهای مرحله رشدی (۷۵ روز پس از کشت بذر) اعمال نور قرمز (۱۰۰٪) در گل جعفری طول بزرگ‌ترین برگ مرکب، تعداد برگ و تعداد شاخه جانبی را در مقایسه با تیمار شاهد در همان مرحله رشدی به ترتیب تقریباً ۶٪، ۳۳٪ و ۳۱٪ افزایش داد (جدول ۴). بیشترین درصد ماده خشک نیز در تیمار ۱۰۰٪ نور قرمز ۶۰ روز بعد از کشت بذر مشاهده شد. با رشد گیاه و افزایش تعداد روز از زمان کشت بذر درصد ماده خشک گیاه در نور قرمز ۱۰۰٪ کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۴. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED در طی رشد بر برخی از صفات مورفولوژیک گیاه

Table 4. Effect of different LED light quality on some plant morphological traits

کیفیت نور Light quality	تعداد روز پس از کشت Days after planting	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد گره Node number	طول بزرگترین برگ Leaf length (cm)	تعداد برگ Leaf number	تعداد شاخه جانبی Shoot lateral number	سطح برگ Leaf area (cm <sup>2</sup> )	درصد ماده خشک Dry matter(%)
سفید (control) (White)	30	2.24 <sup>gh</sup>	4.00 <sup>k</sup>	6.96 <sup>l</sup>	5.66 <sup>l</sup>	0.00 <sup>g</sup>	57.0 <sup>k</sup>	9.33 <sup>bcd</sup>
قرمز (100%) (Red)		3.04 <sup>ef</sup>	5.33 <sup>i</sup>	10.76 <sup>de</sup>	8.00 <sup>k</sup>	0.00 <sup>g</sup>	108 <sup>hi</sup>	9.08 <sup>bcd</sup>
آبی (100%) (Blue)		2.39 <sup>gh</sup>	5.33 <sup>i</sup>	6.93 <sup>j</sup>	7.66 <sup>kl</sup>	0.00 <sup>g</sup>	55.1 <sup>k</sup>	9.30 <sup>bcd</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%)+Blue (30%))		2.50 <sup>g</sup>	5.00 <sup>ij</sup>	8.63 <sup>i</sup>	8.33 <sup>k</sup>	0.00 <sup>g</sup>	92.8 <sup>j</sup>	9.99 <sup>abc</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		2.06 <sup>h</sup>	4.33 <sup>jk</sup>	6.93 <sup>i</sup>	8.00 <sup>k</sup>	0.00 <sup>g</sup>	103 <sup>ij</sup>	8.98 <sup>cde</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (Red (30%) + Blue (70%))								
سفید (control) (White)	45	2.97 <sup>f</sup>	8.00 <sup>g</sup>	11.00 <sup>d</sup>	14.00 <sup>ij</sup>	0.00 <sup>g</sup>	98.7 <sup>ij</sup>	8.81 <sup>de</sup>
قرمز (100%) (Red)		3.66 <sup>d</sup>	8.00 <sup>g</sup>	12.83 <sup>bc</sup>	15.66 <sup>hi</sup>	0.00 <sup>g</sup>	183 <sup>f</sup>	10.08 <sup>abc</sup>
آبی (100%) (Blue)		3.42 <sup>de</sup>	8.00 <sup>g</sup>	9.23 <sup>ghi</sup>	16.66 <sup>gh</sup>	0.33 <sup>g</sup>	104 <sup>ij</sup>	9.98 <sup>abc</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		3.30 <sup>def</sup>	6.33 <sup>h</sup>	9.26 <sup>gh</sup>	13.66 <sup>ij</sup>	0.00 <sup>g</sup>	120 <sup>h</sup>	9.53 <sup>a-d</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		3.26 <sup>def</sup>	6.33 <sup>h</sup>	9.73 <sup>hi</sup>	13.00 <sup>j</sup>	0.00 <sup>g</sup>	45.2 <sup>k</sup>	9.20 <sup>bcd</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (Red (30%) + Blue (70%))								
سفید (control) (White)	60	4.13 <sup>c</sup>	12.6 <sup>bcd</sup>	12.43 <sup>c</sup>	20.66 <sup>e</sup>	3.33 <sup>ef</sup>	226 <sup>d</sup>	9.82 <sup>a-d</sup>
قرمز (100%) (Red)		5.01 <sup>b</sup>	13.0 <sup>bc</sup>	12.23 <sup>ab</sup>	19.33 <sup>ef</sup>	5.33 <sup>ab</sup>	284 <sup>b</sup>	9.80 <sup>a-d</sup>
آبی (100%) (Blue)		4.15 <sup>c</sup>	12.3 <sup>cd</sup>	9.73 <sup>fg</sup>	19.33 <sup>ef</sup>	3.33 <sup>ef</sup>	161 <sup>g</sup>	10.56 <sup>a</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		4.45 <sup>c</sup>	11.3 <sup>ef</sup>	10.70 <sup>de</sup>	18.66 <sup>efg</sup>	2.66 <sup>f</sup>	210 <sup>e</sup>	9.62 <sup>a-d</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		4.09 <sup>c</sup>	11.0 <sup>f</sup>	9.56 <sup>fg</sup>	17.33 <sup>fgh</sup>	2.66 <sup>f</sup>	157 <sup>g</sup>	9.53 <sup>a-d</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (Red (30%) + Blue (70%))								
سفید (control) (White)	75	4.21 <sup>c</sup>	14.0 <sup>a</sup>	13.03 <sup>bc</sup>	41.00 <sup>b</sup>	4.33 <sup>cd</sup>	276 <sup>b</sup>	9.74 <sup>a-d</sup>
قرمز (100%) (Red)		5.78 <sup>a</sup>	13.3 <sup>ab</sup>	13.83 <sup>a</sup>	54.33 <sup>a</sup>	5.66 <sup>a</sup>	345 <sup>a</sup>	7.91 <sup>e</sup>
آبی (100%) (Blue)		4.47 <sup>c</sup>	13.0 <sup>bc</sup>	10.16 <sup>ef</sup>	33.66 <sup>d</sup>	3.66 <sup>de</sup>	210 <sup>e</sup>	9.90 <sup>a-d</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		5.18 <sup>a</sup>	12.3 <sup>cd</sup>	11.06 <sup>d</sup>	40.33 <sup>b</sup>	4.66 <sup>bc</sup>	332 <sup>a</sup>	9.62 <sup>a-d</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (Red (70%) + Blue (30%))		4.37 <sup>c</sup>	12.0 <sup>d</sup>	10.06 <sup>f</sup>	36.33 <sup>c</sup>	3.33 <sup>ef</sup>	260 <sup>c</sup>	10.18 <sup>ab</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (Red (30%) + Blue (70%))								

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی دار می باشد (LSD test,  $P \leq 0.05$ ).

Similar letters in each column indicate no significant difference ( $P \leq 0.05$ ; LSD test)

در گل جعفری، اعمال نور قرمز به تنهایی منجر به افزایش معنی دار وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه در تمامی مراحل رشد در مقایسه با تیمار شاهد و سایر تیمارهای پژوهش گردید (جدول ۵) (شکل ۳). در انتهای مرحله رشدی گیاه، استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪)، وزن تر و خشک گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد در همان مرحله رشدی به ترتیب تقریباً ۵۶٪ و ۹٪ افزایش داد (جدول ۵). طول ریشه، در گیاه نیز در انتهای مرحله رشدی ۳۹٪ در مقایسه با تیمار شاهد در همان مرحله رشدی افزایش یافت. قابل ذکر است که در دو دوره انتهایی مرحله رشدی (۶۰ و ۷۵ روز پس از کشت بذر) تمامی تیمارهای نوری منجر به افزایش معنی دار رشد ریشه در مقایسه با تیمار شاهد در همان مرحله رشدی شدند (جدول ۵). در مرحله رشدی ۷۵ روز پس از کشت بذر، مطالعه وزن تر و خشک ریشه نشان داد که اعمال تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) این دو شاخص را تقریباً نزدیک به ۳ برابر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. کمترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار نور آبی (۱۰۰٪) و پس از آن تیمار نور قرمز (۳۰٪) + نور آبی (۷۰٪) مشاهده شد (جدول ۵). استفاده

از نور قرمز ۱۰۰٪ منجر به افزایش نسبت وزن تر به خشک اندام هوایی و کاهش نسبت وزن تر به خشک ریشه گردید (جدول ۵).

جدول ۵. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED در طی رشد بر وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه  
Fig 5. Effect of different LED light quality on shoot fresh and dry weight, root length and root fresh and dry weight

کیفیت نور Light quality	تعداد روز پس از کشت Days after planting	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	طول ریشه Root length (cm)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	نسبت وزن تر به خشک اندام هوایی Shoot fresh/ dry weight ratio	نسبت وزن تر به خشک ریشه Root fresh/ dry weight ratio	
								وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
سفید (White(control))	30	2.70 <sup>k</sup>	0.25 <sup>hi</sup>	7.86 <sup>k</sup>	1.18 <sup>lm</sup>	0.12 <sup>kl</sup>	90.66 <sup>bcd</sup>	89.73 <sup>a-d</sup>
قرمز (100%) (100%)		5.25 <sup>ij</sup>	0.47 <sup>gh</sup>	9.36 <sup>j</sup>	2.36 <sup>ij</sup>	0.24 <sup>hij</sup>	90.91 <sup>bcd</sup>	89.40 <sup>bcd</sup>
آبی (100%) (100%)		2.59 <sup>k</sup>	0.24 <sup>hi</sup>	6.40 <sup>l</sup>	0.96 <sup>m</sup>	0.075 <sup>l</sup>	90.79 <sup>bcd</sup>	92.15 <sup>ab</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (70%) + (30%)		4.38 <sup>j</sup>	0.44 <sup>ghi</sup>	7.06 <sup>kl</sup>	1.91 <sup>jk</sup>	0.17 <sup>jk</sup>	90.00 <sup>cde</sup>	90.62 <sup>a-d</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (30%) + (70%)		2.40 <sup>k</sup>	0.21 <sup>i</sup>	7.00 <sup>kl</sup>	0.91 <sup>m</sup>	0.068 <sup>l</sup>	91.01 <sup>abc</sup>	92.46 <sup>a</sup>
سفید (White(control))	45	5.06 <sup>ij</sup>	0.44 <sup>ghi</sup>	10.83 <sup>ht</sup>	1.55 <sup>kl</sup>	0.16 <sup>ijkl</sup>	91.18 <sup>ab</sup>	89.73 <sup>a-d</sup>
قرمز (100%) (100%)		9.70 <sup>g</sup>	0.97 <sup>de</sup>	13.73 <sup>def</sup>	3.96 <sup>d</sup>	0.42 <sup>f</sup>	89.91 <sup>cde</sup>	89.33 <sup>cd</sup>
آبی (100%) (100%)		4.55 <sup>ij</sup>	0.52 <sup>fg</sup>	13.26 <sup>ef</sup>	2.38 <sup>hij</sup>	0.33 <sup>fgh</sup>	90.01 <sup>cde</sup>	88.04 <sup>d</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (70%) + (30%)		5.78 <sup>i</sup>	0.55 <sup>fg</sup>	9.63 <sup>ij</sup>	2.54 <sup>ghi</sup>	0.25 <sup>ghi</sup>	90.46 <sup>b-e</sup>	89.83 <sup>a-d</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (30%) + (70%)		5.15 <sup>ij</sup>	0.47 <sup>gh</sup>	9.63 <sup>ij</sup>	1.92 <sup>jk</sup>	0.16 <sup>ijkl</sup>	90.79 <sup>bcd</sup>	91.62 <sup>abc</sup>
سفید (White(control))	60	12.15 <sup>e</sup>	1.19 <sup>cd</sup>	10.90 <sup>hi</sup>	2.68 <sup>ghi</sup>	0.28 <sup>hi</sup>	90.17 <sup>b-e</sup>	89.30 <sup>cd</sup>
قرمز (100%) (100%)		20.19 <sup>b</sup>	1.98 <sup>a</sup>	15.33 <sup>abc</sup>	6.40 <sup>b</sup>	0.66 <sup>d</sup>	90.19 <sup>b-e</sup>	89.70 <sup>a-d</sup>
آبی (100%) (100%)		9.46 <sup>g</sup>	1.00 <sup>d</sup>	14.83 <sup>bc</sup>	3.22 <sup>ef</sup>	0.39 <sup>fg</sup>	89.43 <sup>e</sup>	87.86 <sup>d</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (70%) + (30%)		10.57 <sup>fg</sup>	1.02 <sup>cd</sup>	11.76 <sup>gh</sup>	2.89 <sup>fgh</sup>	0.31 <sup>gh</sup>	90.37 <sup>b-e</sup>	89.25 <sup>cd</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (30%) + (70%)		7.73 <sup>h</sup>	0.73 <sup>ef</sup>	12.83 <sup>fg</sup>	2.18 <sup>ij</sup>	0.19 <sup>ijk</sup>	90.46 <sup>b-e</sup>	91.17 <sup>abc</sup>
سفید (White(control))	75	16.44 <sup>d</sup>	1.87 <sup>ab</sup>	11.76 <sup>gh</sup>	2.92 <sup>fg</sup>	0.76 <sup>c</sup>	90.25 <sup>b-e</sup>	73.77 <sup>g</sup>
قرمز (100%) (100%)		25.67 <sup>a</sup>	2.03 <sup>a</sup>	16.33 <sup>a</sup>	7.20 <sup>a</sup>	1.55 <sup>a</sup>	92.08 <sup>a</sup>	78.46 <sup>f</sup>
آبی (100%) (100%)		11.86 <sup>ef</sup>	1.17 <sup>cd</sup>	16.16 <sup>ab</sup>	3.57 <sup>de</sup>	0.53 <sup>e</sup>	90.09 <sup>b-e</sup>	85.02 <sup>e</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%) (70%) + (30%)		17.88 <sup>c</sup>	1.72 <sup>b</sup>	12.83 <sup>fg</sup>	5.23 <sup>c</sup>	1.04 <sup>b</sup>	90.37 <sup>b-e</sup>	80.14 <sup>f</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%) (30%) + (70%)		12.46 <sup>e</sup>	1.26 <sup>c</sup>	14.43 <sup>cde</sup>	3.24 <sup>ef</sup>	0.66 <sup>d</sup>	89.81 <sup>de</sup>	79.08 <sup>f</sup>

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD test, P≤0.05).

Similar letters in each column indicate no significant difference (P≤0.05; LSD test)



شکل ۴. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED بر *Tagetes erecta* Antigua orange  
 Fig 4. Effect of LED light quality on *Tagetes erecta* Antigua orange

نور نقش قابل توجهی در مراحل مختلف رشد گیاهی دارد. از این رو، اخیراً، پژوهش‌های متفاوتی در ارتباط با تاثیر کیفیت‌های مختلف نور بر رشد و نمو گیاه صورت گرفته است (Ye et al., 2017). مطالعات مختلفی نشان داده است که گونه‌های گیاهی پاسخ‌های متفاوتی به هنگام قرارگیری در شرایط نور LED نشان می‌دهند و دامنه‌ی وسیعی از تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در آن‌ها دیده شده است (Manivannan et al., 2015; Dong et al., 2014). در پژوهش صورت گرفته مشخص گردید که استفاده از نور قرمز در گیاه *Tagetes erecta* Antigua orange منجر به بهبود شاخص‌های رشدی در مقایسه با نور سفید، آبی و ترکیب نور آبی و قرمز شده است. استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) ارتفاع و طول میانگیره اول گیاه را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. هم‌راستا با نتایج این پژوهش افزایش ارتفاع گیاه تحت تاثیر نور قرمز در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش گردیده است (Ryu et al., 2012; Manivannan et al., 2015). استفاده از نور قرمز منجر به افزایش محتوای فیتوکروم برگ شده که در پی آن تقسیم سلولی و توسعه سلول نیز افزایش می‌یابد. (Neff et al., 2000). این فرآیند در افزایش طول و سطح برگ گیاه موثر است. همچنین، اندازه برگ بر سرعت فرآیند فتوسنتز در گیاه موثر می‌باشد. چراکه برگ‌های بزرگتر منجر به جذب نور بیشتر و در نهایت تسهیل فرآیند فتوسنتز و تولید انرژی بیشتر می‌شوند. علاوه بر این، تبادلات گازی در برگ‌ها با سطح برگ بیشتر تسهیل می‌شود که این موضوع در افزایش جذب کربن دی اکسید که عامل اصلی در فرآیند فتوسنتز می‌باشد، موثر است (Lin et al., 2013). بهبود فرآیند فتوسنتز و تولید ترکیبات فتوسنتزی بیشتر، بهبود شاخص‌های رشدی و در نهایت بهبود رشد گیاه را در پی دارد. قطر ساقه پس از انتقال گیاهچه یکی از عوامل مهم و تاثیر گذار در حفظ بقای گیاه می‌باشد (Akbarian et al., 2016). در پژوهش حاضر اعمال نور قرمز (۱۰۰٪) منجر به افزایش معنی‌دار قطر ساقه در گیاه شد. از این رو گیاه شرایط استقرار اولیه مناسب‌تری را تجربه کرده که این موضوع خود در افزایش رشد گیاه موثر می‌باشد. علاوه بر این، مشخص گردید که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نیز در نور قرمز (۱۰۰٪) بیشترین مقدار را داشته است. افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تاثیر نور قرمز، به دنبال بهبود سایر شاخص‌های رشدی در گیاه و تولید گیاهان بزرگتر ارتباط دارد. نتایج مشابهی در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش گردیده است (Akbarian et al., 2016; Wollaeger and Runkle, 2014). در پژوهش Sadat Seyedi و همکاران نیز مشخص گردید که استفاده از نور قرمز در مقایسه با نور سفید منجر به افزایش معنی‌دار سطح برگ، تعداد ساقه جانبی و وزن خشک گیاه *Thymus vulgaris* L. شده است (Sadat Seyedi et al., 2023). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش شاخص‌های رشدی همچون زیست توده گیاهی، ارتفاع

گیاه، تعداد برگ و قطر ساقه تحت تاثیر استفاده از نور قرمز در گیاه *Boehmeria nivea* L. مشاهده شد (Rehman *et al.*, 2020). در سایر پژوهش‌ها نیز بهبود شاخص‌های رشدی گیاه تحت تاثیر نور قرمز گزارش شده است (Saleem *et al.*, 2014; Dong *et al.*, 2019). محققان بیان داشته‌اند که نور قرمز به واسطه فیتوکروم‌ها در بهبود مورفوزن برگ، توسعه سیستم فتوسنتزی (Kurepin *et al.*, 2007) و تجمع کربوهیدرات محلول نقش دارد (Kurepin *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008).

### صفات فیزیولوژیک

مطالعه صفات فیزیولوژیک در گیاه نشان داد که اعمال تیمارهای نوری بر نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل برگ در طی رشد گیاه موثر بود ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۶). بدین صورت که اعمال تنش نوری قرمز (۱۰۰٪) منجر به کاهش نشت الکترولیت در مقایسه با تیمار شاهد در هر مرحله از رشد گردید (جدول ۷). محتوای نسبی آب برگ در گیاه نشان داد که گیاهان رشد یافته در تیمارهای نوری مختلف محتوای نسبی آب برگ در گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد در تمامی مراحل رشد افزایش داد. در انتهای پژوهش (۷۵ روز پس از کشت بذر) اعمال تیمار نور قرمز (۱۰۰٪) محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد ۱۲٪ افزایش داد (جدول ۷). مطالعه محتوای کلروفیل a در گیاه نشان داد که در انتهای رشد گیاه، محتوای کلروفیل a در تمامی تیمارهای آزمایش به غیر از نور قرمز کاهش یافت. محتوای کلروفیل a در برگ گیاهان رشد یافته در نور قرمز تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول ۷). نتایج پژوهش نشان داد که در مرحله انتهایی رشد (۷۵ روز پس از کشت بذر) محتوای کلروفیل b در تیمار نور قرمز (۱۰۰٪)، نور قرمز (۷۰٪) + نور آبی (۳۰٪) و نور قرمز (۳۰٪) + نور آبی (۷۰٪) در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب تقریباً ۵۰٪، ۷۹٪، ۴۱٪ و ۱۴۶٪ افزایش یافت (جدول ۷). نتایج مشابهی در ارتباط با محتوای کاروتنوئید برگ مشاهده گردید. بدین صورت که بیشترین مقدار آن در تیمار نور قرمز (۳۰٪) + نور آبی (۷۰٪) ثبت گردید (جدول ۷). بیشترین محتوای کلروفیل کل برگ نیز در تیمار نور قرمز (۳۰٪) + نور آبی (۷۰٪) بود (جدول ۷). کلروفیل مهم‌ترین رنگدانه گیاهی در گیاهان عالی می‌باشد. این رنگدانه در به دام انداختن نور به منظور فتوسنتز و تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی نقش دارد. کیفیت نور به توجه به تاثیر بر محتوای کلروفیل و ترکیب آن به طور مستقیم بر میزان فتوسنتز در گیاه نقش دارد (Ye *et al.*, 2017). گزارش گردیده است که نور قرمز و آبی در القای باز شدن روزنه‌های برگ گیاه و افزایش جذب کربن دی اکسید توسط برگ موثر می‌باشند (Wang *et al.*, 2021). در پژوهش حاضر محتوای کلروفیل در ابتدای رشد در تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای نوری بیشتر بود. نتایج مشابهی توسط Davarzani و همکاران (۲۰۲۳) در گل رز مشاهده شد. علاوه بر این، نتایج پژوهش نشان داد که نور آبی در افزایش محتوای کلروفیل برگ در مقایسه با نور قرمز عملکرد بهتری در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش نشان داد. نور آبی منجر به تحریک کریپتوکروم که در افزایش بیان ژن در سنتز کلروفیل موثر است، می‌شود (Li & Kubota., 2009). افزایش محتوای کلروفیل برگ تحت تاثیر نور آبی در انگور، پنبه و نخودفرنگی نیز گزارش گردیده است (Wu *et al.*, 2007; poudel *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2010). در گیاه کاهو، محتوای کلروفیل برگ در گیاهان رشد یافته در شرایط نور آبی، ۱۱٪ از محتوای کلروفیل برگ در گیاهان نور قرمز بیشتر بود (Johkan *et al.*, 2010). علاوه بر این در گیاه خیار نیز افزایش درصد نور آبی در مقایسه با نور قرمز منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاه شد (Hogewoning *et al.*, 2010). در پژوهش دیگری گزارش شده است که در گیاه کاهو (Kobayashi *et al.*, 2013) و ماهون چینی (*Toona sinensis* (Juss.)) (Zhang *et al.*, 2010) محتوای کلروفیل برگ در گیاهان رشد یافته در شرایط نور آبی از گیاهان رشد یافته در شرایط نور قرمز بیشتر بود.

جدول ۶ تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک گل جعفری تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED

Table 3. Analysis of variance physiological traits of marigold in response to different qualities of LED

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نشت الکترولیت EL	محتوای آب نسبی برگ RWC	کلروفیل a Cl a	کلروفیل b Cl b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
کیفیت نور (L)	4	202**	36.9**	28.5**	8.82**	56.6**	1.30**
تعداد روز پس از کشت	3	565**	54.8**	202**	98.0**	530**	22.3**
Days after cultivation (D)	12	46.8**	16.7**	22.5**	15.4**	54.5**	2.74**
L×D	40	11.7	2.87	1.09	1.51	2.31	0.31

ns: عدم تفاوت معنی دار، \*: تفاوت معنی دار در سطح 5٪؛ \*\*: تفاوت معنی دار در سطح 1٪

ns: no significant difference, \*: significant difference at the 5% level; \*\*: significant difference at the 1% level

جدول ۷. تاثیر کیفیت‌های مختلف نور LED در طی رشد بر نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب برگ

Table 6. Effect of different LED light quality on EL and RWC

کیفیت نور Light quality	تعداد روز پس از کشت Days after planting	نشت الکترولیت EL (%)	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)	کلروفیل a Cl a (mg.g <sup>-1</sup> FW)	کلروفیل b Cl b (mg.g <sup>-1</sup> FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g <sup>-1</sup> FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g <sup>-1</sup> FW)
سفید (شاهد)	30	24.38 <sup>ghi</sup>	78.33 <sup>ghi</sup>	14.98 <sup>f</sup>	4.84 <sup>gh-k</sup>	3.63 <sup>ghi</sup>	19.82 <sup>jk</sup>
قرمز (100%) (100%)		18.62 <sup>j</sup>	79.56 <sup>fgh</sup>	13.18 <sup>gh</sup>	4.24 <sup>ijk</sup>	3.41 <sup>hi</sup>	17.43 <sup>kl</sup>
آبی (100%) (100%)		24.96 <sup>f-i</sup>	71.97 <sup>k</sup>	9.44 <sup>j</sup>	3.02 <sup>k</sup>	2.33 <sup>j</sup>	12.46 <sup>n</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%)		26.39 <sup>e-f</sup>	69.82 <sup>k</sup>	13.37 <sup>fg</sup>	4.12 <sup>ijk</sup>	3.36 <sup>hi</sup>	17.49 <sup>kl</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%)		24.55 <sup>f-i</sup>	78.28 <sup>ghi</sup>	11.53 <sup>hi</sup>	3.71 <sup>jk</sup>	2.98 <sup>ij</sup>	15.25 <sup>lm</sup>
سفید (شاهد)		45	32.32 <sup>bcd</sup>	76.99 <sup>hij</sup>	17.56 <sup>de</sup>	5.61 <sup>f-j</sup>	5.24 <sup>de</sup>
قرمز (100%) (100%)	20.74 <sup>ij</sup>		92.84 <sup>a</sup>	17.13 <sup>e</sup>	3.19 <sup>k</sup>	3.67 <sup>ghi</sup>	14.32 <sup>mn</sup>
آبی (100%) (100%)	26.25 <sup>e-i</sup>		80.30 <sup>efg</sup>	11.13 <sup>b</sup>	4.66 <sup>h-k</sup>	4.46 <sup>efg</sup>	21.80 <sup>ij</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%)	28.43 <sup>d-g</sup>		86.98 <sup>b</sup>	21.82 <sup>b</sup>	6.73 <sup>efg</sup>	5.35 <sup>de</sup>	28.55 <sup>cde</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%)	30.20 <sup>def</sup>		79.70 <sup>e-h</sup>	18.26 <sup>de</sup>	5.73 <sup>f-j</sup>	5.03 <sup>def</sup>	24.00 <sup>ghi</sup>
سفید (شاهد)	60		25.25 <sup>f-i</sup>	82.42 <sup>cde</sup>	25.89 <sup>a</sup>	11.64 <sup>b</sup>	4.87 <sup>def</sup>
قرمز (100%) (100%)		24.41 <sup>ghi</sup>	84.69 <sup>bc</sup>	17.91 <sup>de</sup>	5.87 <sup>f-i</sup>	3.74 <sup>ghi</sup>	23.78 <sup>ghi</sup>
آبی (100%) (100%)		22.55 <sup>hig</sup>	81.33 <sup>def</sup>	20.35 <sup>bc</sup>	6.32 <sup>fgh</sup>	4.25 <sup>fgh</sup>	26.68 <sup>ef</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%)		31.24 <sup>cde</sup>	79.39 <sup>fgh</sup>	18.63 <sup>cde</sup>	6.63 <sup>e-h</sup>	3.77 <sup>ghi</sup>	25.27 <sup>fgh</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%)		37.08 <sup>b</sup>	76.00 <sup>ij</sup>	21.63 <sup>b</sup>	7.09 <sup>def</sup>	4.18 <sup>fgh</sup>	28.73 <sup>cde</sup>
سفید (شاهد)		75	44.98 <sup>a</sup>	74.99 <sup>j</sup>	21.09 <sup>b</sup>	5.97 <sup>f-i</sup>	5.55 <sup>bcd</sup>
قرمز (100%) (100%)	27.87 <sup>d-h</sup>		83.93 <sup>cd</sup>	21.32 <sup>b</sup>	8.96 <sup>cd</sup>	5.38 <sup>cde</sup>	30.29 <sup>c</sup>
آبی (100%) (100%)	37.23 <sup>b</sup>		81.70 <sup>def</sup>	18.78 <sup>cde</sup>	10.68 <sup>bc</sup>	6.28 <sup>abc</sup>	29.46 <sup>cd</sup>
قرمز (70%) + آبی (30%)	44.67 <sup>a</sup>		81.80 <sup>def</sup>	17.33 <sup>de</sup>	8.40 <sup>de</sup>	6.32 <sup>ab</sup>	25.74 <sup>fg</sup>
قرمز (30%) + آبی (70%)	36.00 <sup>bc</sup>		79.48 <sup>fgh</sup>	19.02 <sup>cd</sup>	14.75 <sup>a</sup>	6.78 <sup>a</sup>	33.78 <sup>b</sup>

ns: عدم تفاوت معنی دار، \*: تفاوت معنی دار در سطح 5٪؛ \*\*: تفاوت معنی دار در سطح 1٪

ns: no significant difference, \*: significant difference at the 5% level; \*\*: significant difference at the 1% level



## نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از دیودهای ساطع کننده نور با کیفیت‌های مختلف نور در گیاه *Tagetes erecta* Antigua orange منجر به بهبود شرایط رشدی گیاه شده است. مقایسه بین تیمارهای نوری نشان داد که استفاده از نور قرمز (۱۰۰٪) منجر به افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گل جعفری گردید. علاوه بر این، استفاده از نور قرمز در شرایط کنترل شده منجر به افزایش شاخص‌های رشدی گیاه در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش گردید. از این رو، استفاده از نور قرمز در مراحل مختلف رشدی گل جعفری در شرایط کنترل شده قابل توصیه می‌باشد.

سازمان انتشارات  
پایس

- Abaszadeh Faruji, R., Shoor, M., Tehrani Far, A., Abedy, B., & Safari, N. (2018) Effects of Humic Acid and Fulvic Acid on some Morphological Characteristics of Geranium. *Journal Of Horticultural Science*. 32(1): 35-50. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v3i1i3.57849>
- Abaszadeh Faruji, R., Shoor, M., TehraniFar, A., & Abedi, B. (2020) Effects of Humic and Fulvic Acids on Some Physiological Characteristics of Two Ornamental Plants of Granium (*Plargonium* spp.) and Scindapsus (*Scindapsus* spp.). *Journal of Soil and Plant Interactions (Isfahan University of Technology)*. 11(1): 45-58. <https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.18081> (In Persian).
- Akbarian, B., Matloobi, M., & Mahna, N. (2016) Effects of LED Light on Seed Emergence and Seedling Quality of Four Bedding Flowers. *Journal of ornamental plants*. 6(2): 115-123. [URL:http://jornamental.iurasht.ac.ir/article\\_523303\\_8d31800750be3ad79e266905880f2f8.pdf](http://jornamental.iurasht.ac.ir/article_523303_8d31800750be3ad79e266905880f2f8.pdf). (in Persian)
- Anjah, G.M., Focho, A.D., & Dondjang, J.P. (2013) The effects of sowing depth and light intensity on 1 the germination and early growth of *Ricinodendron heudelotii*. *African Journal of Agricultural 2 Research*, 8(46): 5854-5858. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.066>
- Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., & Radoglou, K. (2018) Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*. 235: 437-451.
- Byun, A., Mao, M., & Sidhu, R. (2013) The effect of different wavelengths on the germination time of *Arabidopsis thaliana* wild type and mutant type seeds. *The Expedition*.
- Cheng, X., Wang, R., Liu, X., Zhou, L., Dong, M., Rehman, M., Fahad, S., Liu, L., & Deng, G. (2022) Effects of Light Spectra on Morphology, Gaseous Exchange, and Antioxidant Capacity of Industrial Hemp. *Frontiers in Plant Science*. 13: 937436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.937436>
- Costa, A., Dias, A.S., Grenho, M.G., & Dias, L.S. (2016) Effects of dark or of red, blue or white light on germination of subterranean clover seeds. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2016. 28(12): 853-864. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-06-774>
- Davarzani, M., Aliniaiefard, S., Zare Mehrjerdi, M., Roozban, M.R., Saeedi, S.A., & Gruda, N.S. (2023) Optimizing supplemental light spectrum improves growth and yield of cut roses. *Scientific Reports*. (2023) 13:21381. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48266-3>
- Dong C., Fu Y., Liu G., & Liu H. (2014) Growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to LED light sources with different spectra combinations. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200: 219-230, 2014. <https://doi.org/10.1111/jac.12059>
- Esmaeili, S. et al. (2022) Elevated light intensity compensates for nitrogen deficiency during chrysanthemum growth by improving water and nitrogen use efficiency. *Scientific Reports*. 12(1), 10002 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14163-4>
- Falcinelli, B., Galieni, A., Tosti, G., Stagnari, F., Trasmundi, F., Oliva, E., & Benincasa, P. (2022) Effect of wheat crop nitrogen fertilization schedule on the phenolic content and antioxidant activity of sprouts and wheatgrass obtained from offspring grains. *Plants*. 11 (15), 2042. <https://doi.org/10.3390/plants11152042>.
- Farrokh Tehrani, P., Majd, A., Mahmoodzadeh, H., & Najad Satari, T. (2016) Effect of Red and Blue Light-Emitting Diodes on Germination, Morphological and Anatomical Features of *Brassica napus*. *Advanced Studies in Biology*. 8(4): 173-180. <https://doi.org/10.12988/asb.2016.6832>.
- Fenner, M. & K. Thompson. 2005. *The Ecology of Seeds*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Goto, E. (2003) Effect of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environmental Control in Biology*. 41(2): 121-132. <https://doi.org/10.2525/ecb1963.41.121>
- Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D., & Paek, K. (2002) Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromatic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). *Plant Growth Regulation*. 38: 225-230. <https://doi.org/10.1023/A:1021523832488>
- Hogewoning, S.W., Douwstra, P., Trouwborst, G., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010) An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of Experimental Botany*. 61: 1267 - 1276. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq005> PMID: 20202994
- Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010) Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*. 61:3107-3117.
- Jacobsen, J., Barrero, J.M., Hughes, T., Julkowska, Taylor, J.M., Xu, Q. & Gubler, F. (2013) Roles for blue light, jasmonate and nitric oxide in the regulation of dormancy and germination in wheat grain (*Triticum aestivum* L.). *Planta*. 238(1):121-138. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1878-0>

- Jafari, M., & Daneshvar, M.H. (2017) Indirect Organogenesis of *Tagetes erecta* L. via Hypocotyl Explant. *Flower and Ornamental Plants*.1(2): 34-43. URL: <http://flowerjournal.ir/article-1-111-en.html>.
- Jian-Fei, S., Meng-hui, S., Xiao-nan, Z. 2023. Response surface optimization of light conditions for organic matter accumulation in two different shapes of *Arthrospira platensis*. *Frontiers in Nutrition*. 9:1047685. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1047685>.
- 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. *HortScience* 45:1809–1814.
- Khayyat M., Moradinezhad F., Safari N., Nazari S.F., Saeb H., & Samadzadeh A. (2014) Seed Germination of Basil and Cress Under NaCl and Boron Stress. *Journal of Plant Nutrition*. 37(14): 2281-2290, <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920388>
- Khosh-Khui, M. (2005) Plant propagation: Principle and practices (translated in Persian). Shiraz university. Press, 983pp. (In Persian).
- Kitajima, K. & Fenner, M. (2000) Ecology of seedling regeneration. In: M. Fenner, (Ed.), *Seeds The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd ed. CABI Publishing, Wallingford, pp. 331-359. <https://doi.org/10.1079/9780851994321.0331>
- Kobayashi, K., Amore, T., & Lazaro, M. (2013). Light-emitting diodes (LEDs) for miniature hydroponic lettuce. *International Journal of Optics and Photonics*. 3: 74–77. <https://doi.org/10.4236/opj.2013.31012>
- Kurepin L.V., Walton L.J., & Reid D.M. (2007) Interaction of red to far red light ratio and ethylene in regulating stem elongation of *Helianthus annuus*. *Plant Growth Regulation*. 51: 53-61. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9147-x>
- Li H.M., Xu Z.G., & Tang C.M. (2010) Effects of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 103: 155- 163, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9763-z>
- Li, Q. & Kubota, C. (2009) Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*. 67: 59–64.
- Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-vis spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F4.3.1-F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>.
- Lin, K.H., Huang M.Y., Huang, W.D., Hsu, M.H., Yang, Z.W., & Yang, C.M. (2013) The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*. 150 (2013) 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>
- Loi, M., Villani, A., Paciolla, F., Mule, G., & Paciolla, C. (2021) Challenges and Opportunities of Light-Emitting Diode (LED) as Key to Modulate Antioxidant Compounds in Plants. A Review. *Antioxidants*, 10, 42. <https://doi.org/10.3390/antiox10010042>.
- Lone, B.A., Unemoto, L.K., Ferrari, E.A.P., Sadayo, L.T., Takahashi, A. & Faria, R. T. (2014) The effects of light wavelength and intensity on the germination of pitaya seed genotypes. *Australian 13 Journal of Crop Science*. 8(11): 1475-1480.
- Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C.H., and Jeong, B.R. (2015) Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 56: 105–113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
- Neff, M.M., Fankhauser, C., & Chory, J. (2000) Light: an indicator of time and place. *Genes & Development*. 14: 257-271. <https://doi.org/10.1101/gad.14.3.257>
- Nonogaki, H., Bassel, G.W., & Bewley, J.D. (2010) Germination-Still a mystery. *Plant Science*. 179: 574–581.
- Ortega-Base, P. & Arechiga, M. (2007) Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): Light, temperature and gibberellic acid effects. *Journal of Arid Environments*. 69(1): 169-179. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.09.009>
- Park, Y., & Runkle, E.S. (2018) Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation. *PLoS ONE*. 13 (8): e0202386. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202386>.
- Poudel, P.R., Kataoka, I., & Mochioka, R. (2008) Effects of red- and bluelight- emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 92: 147-153. <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9317-1>
- Rashidi, A., Narimani, R. & Moghaddam, M. (2021) The effect of light quality on germination and some physicochemical characteristics of valerian (*Valeriana officinalis*) seedlings. *Iranian Journal of Seed Science and Research*. 7(4): 317-341. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/JMS.2020.4640>

- Rehman, M., Fahad, S., Saleem, M.H., Hafezz, M., UR Rahman, M.H., Liu, F., & Deng, G. (2020) Red light optimized physiological traits and enhanced the growth of ramie (*Boehmeria nivea* L.). *Photosynthetica*. 58 (4): 922-931. <https://doi.org/10.32615/ps.2020.040>
- Rosado, D., Ackermann, A., Spassibojko, O., Rossi, M., & Pedmale, U.V. (2022) WRKY transcription factors and ethylene signaling modify root growth during the shade-avoidance response. *Plant Physiology*. 188 (2), 1294–1311. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab493>
- Ryu, J.H., Seo, K.S., Choi, g.L., Rha, E.S., Lee, S.C., Choi, S.K., Kamg, S., & Bae, Ch. (2012) Effects of LED Light Illumination on Germination, Growth and Anthocyanin Content of Dandelion (*Taraxacum officinale*). *Korean Journal of Plant Resources*. 25(6):731-738. <http://dx.doi.org/10.7732/kjpr.2012.25.6.731>
- Sadat Seyedi, F., Ghasemi Nafchi, M., & Reezi, S. (2023) Effects of light spectra on morphological characteristics, primary and specialized metabolites of *Thymus vulgaris* L. *Heliyon*. 10 (2024) e23032. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23032>
- Safari, N., Tehranifar, A., Kharrazi, M., & Shoor, M. (2022) Evaluation of the characteristics of Iris ferdowsii seed germination, a new species, in danger of extinction and native to Iran. *Flower and Ornamental Plants*. 7(1): 27-40. URL: <http://flowerjournal.ir/article-1-219-en.html>
- Saleem, M.H., Rehman, M., & Zahid M. *et al.* (2019) Morphological changes and antioxidative capacity of jute (*Corchorus capsularis*, Malvaceae) under different color light-emitting diodes. *Brazilian Journal of Botany*. 42: 581-590, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00565-8>
- Simlat, M., Ślęzak, P., Mos, M., Warchoń, M., Skrzypek, E., & Ptak, A. (2016) The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Scientia Horticulturae*. 211: 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.009>
- Tanno, N. (2006) Blue light induced inhibition of seed germination: The necessity of the fruit coats for 34 the blue light response. *Physiologia Plantarum*. 58(1): 18-20.
- Walker, M.K. & Sesing, J. (1990) Temperature effect on embryonic abscisic acid levels during development of wheat grain dormancy. *Journal of Plant Regulation*. 9: 51-56. <https://doi.org/10.1007/BF02041941>
- Wang, S., Fang, H., Xie, J., Wu, Y., Tang, Z., Liu, Z., Lv, J., & Yu, J. (2021) Physiological Responses of Cucumber Seedlings to Different Supplemental Light Duration of Red and Blue LED. *Frontiers in Plant Science*. 12:709313. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.709313>
- Wollaeger, H.M. & Runkle, E.S. (2014) Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. *HortScience*. 49: 734-740. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.734>
- Wu, M.C., Hou, C.Y., & Jiang, C.M. *et al.* (2007) A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant of pea seedlings. *Food Chemistry*. 101: 1753 - 1758. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.02.010>
- Yang, F., Feng, L., Liu, Q., Wu, X., Fan, Y., Raza, M.A., Cheng, Y., Chen, J., Wang, X., & Yong, T. *et al.* (2018) Effect of interactions between light intensity and red-to- far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environ. Journal of Experimental Botany*. 150: 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.008>
- Ye, S., Shao, Q., Xu, M., Li, S., Wu, M., Tan, X., & Su, L. (2017) Effects of Light Quality on Morphology, Enzyme Activities, and Bioactive Compound Contents in *Anoectochilus roxburghii*. *Frontiers in Plant Science*. 8: 857. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00857>
- Zaghdoud, C., Ollio, I., Solano, C.J., Ochoa, J., Suardiaz, J., Fernández, J.A., & Martínez Ballesta, M.d.C. (2023) Red LED Light Improves Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seed Radicle Emergence and Growth through the Modulation of Aquaporins, Hormone Homeostasis, and Metabolite Remobilization. *International Journal of Molecular Sciences*. 24: 4779. <https://doi.org/10.3390/ijms24054779>
- Zare Mehrjerdi, M., Safari, N., Kharrazi, M., Khadem, A., & Sharifi, A. (2024) The Effect of Different Qualities of LED Light on the Morphophysiological Indicators of *Cucumis sativus* L. var. Officer. *Journal of Horticultural Science*. 37(4): 1029-1041. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80257.1222>
- Zhang, L., Liu, S., Zhang, Z., Yang, R., & Yang, X. (2010). Dynamic of different qualities on growth of *Toona sinensis* seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 19, 115–119.
- Zhang, R.H., Xu, K. & Dong, C.X. (2008) Effect of Light Quality on Photosynthetic Characteristics of Ginger Leaves. *Scientia Agricultura Sinica*. 41: 3722-3727.

# نسخہ پبلش انٹرنیشنل