

Improvement of Seed Germination and Growth Indices of *Satureja khuzistanica* Jamzad Seedlings under the Influence of Different Light Spectrums

Ghasem Eghlima^{*1}, Meisam Mohammadi²

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Institute of Medicinal Plants and Raw Materials, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

*Corresponding Author: gh_eghlma@sbu.ac.ir

(Received: 14 December 2022

Revised: 19 December 2022

Accepted: 01 January 2023)

Extended Abstract

1. Introduction: *Satureja khuzistanica* is a native plant of Iran, which is used as a vegetable, spice, decoction, painkiller and disinfectant in traditional medicine, food and pharmaceutical industries, and has antifungal, antimicrobial and antibacterial properties. It is pain-relieving, anti-diabetic, antioxidant, anti-inflammatory, reduces blood fat and triglycerides. One of the problems of mass production of plants through seeds and seed production industries is the low germination percentage of wild plant seeds due to the lack of ecological compatibility with domestic environment conditions. The quality of light is one of the most important environmental factors for the growth and development of plants, so the use of different light spectrums is one of the stimulating methods to increase the indicators of seed germination of different plants and their seedling growth.

2. Materials and Methods: In order to investigate the effects of light quality on the germination indices and biochemical characteristics of *S. khuzistanica*, an experiment was conducted in the form of a completely randomized design in three replications in 2022, in the Medicinal Plants and Drugs Research Institute of Shahid Beheshti University, Tehran. The experimental treatments included the combination of light at four levels (red light, 30% blue + 70% red, blue, fluorescent). *S. khuzistanica* seeds were obtained from the collection of medicinal plants of Shahid Beheshti University's Medicinal Plants and Drugs Research Institute and were washed for 30 seconds with a five percent sodium hypochlorite solution and then washed four times with sterile distilled water and 40 seeds were selected in each petri dish and in four Rows are arranged randomly. Germination indices (germination percentage and speed), growth indices (shoot and root length, shoot and root dry weight) and biochemical characteristics (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, total phenol, peroxidase, and super oxidase dismutase and catalase enzyme activity) were evaluated.

3. Results and Discussion: The highest percentage of germination (84.33%) and germination speed (45.87%) were achieved with the use of red light. Also, the highest length of radicle (3.53 cm), the highest dry weight of radicle (0.51 mg/seedling) and the dry weight of plumule (0.45 mg/seedling) in the treatment of 30% blue + 70% red and the highest length of plumule (1.68 cm) were obtained in the red treatment, respectively. The highest chlorophyll a (0.58 mg.g⁻¹ FW) and chlorophyll b (0.49 mg.g⁻¹ FW) were observed in red light treatment and the highest carotenoid content (0.48 mg.g⁻¹ FW) was observed in blue light treatment. With the use of blue light, the activity of catalase and peroxidase enzymes increased and the activity of superoxide dismutase decreased.

4. Conclusion: The results of this research showed that the germination indices, growth and biochemical characteristics of *S. khuzistanica* seedlings were affected by different light spectrums. In general, the results indicated the possibility of improving the germination indices, growth and biochemical characteristics of *S. khuzistanica* seedlings using a combination of blue and red lights compared to fluorescent light.

Keywords: Antioxidant enzymes, Total phenol, Dry weight, Light.

Citation: Eghlima, Gh. & Mohammadi, M. (2022). Improvement of seed germination and growth indices of *Satureja khuzistanica* Jamzad seedlings under the influence of different light spectrums. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 109-122. doi: 10.22034/iuvs.2023.1982859.1257.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica*) تحت تأثیر طیف‌های مختلف نوری (Jamzad)

قاسم اقلیما^{*}، میثم محمدی^۲

۱- استادیار گروه کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*نویسنده مسئول: gh_eghlima@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳

چکیده

مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica*) از خانواده نعناعیان، از گیاهان بومی ایران است که به عنوان سبزی، ادویه، دمنوش و داروهای ضد درد و ضد عفونی کننده در طب سنتی، صنایع غذایی و دارویی استفاده می شود. به منظور بررسی اثرات کیفیت نور بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات بیوشیمیایی مرزه خوزستانی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۱، در پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهران اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل ترکیب نور در چهار سطح (نور قرمز، ۳۰ در صد آبی + ۷۰ در صد قرمز، آبی، فلور سنت) بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۴/۳۳ در صد) و سرعت جوانه‌زنی (۴۵/۸۷ جوانه/روز) با کاربرد نور قرمز حاصل شد. همچنین بالاترین طول ریشه (۳/۵۳ سانتی‌متر)، بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۵۱ میلی‌گرم بر گیاهچه) و وزن خشک ساقچه (۰/۴۵ میلی‌گرم بر گیاهچه) در تیمار ۳۰ در صد آبی + ۷۰ در صد قرمز و بالاترین طول ساقچه (۱/۶۸ سانتی‌متر) به ترتیب در تیمار نور قرمز به دست آمد. بیشترین کلروفیل a (۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار نور قرمز و بیشترین محتوای کارتنوئید (۰/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار نور آبی مشاهده شد. با کاربرد نور آبی، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزایش و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کاهش یافت. نتایج این پژوهش بیانگر امکان بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی با کاربرد ترکیب نورهای آبی و قرمز در مقایسه با نور فلورسنت بود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فنول کل، وزن خشک، نور.

استناد: اقلیما، ق. و محمدی، م. (۱۴۰۱). بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica*) تحت تأثیر طیف‌های مختلف نوری. علوم سبزی‌ها، ۶ (۲)، ۱۰۹-۱۲۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

یافته است. کنترل ترکیب دلخواه طیف نوری، طول عمر نسبتاً طولانی، طول موج‌های ویژه و دلخواه، سطوح نسبتاً خنک تابشی و اندازه کوچک از مهم‌ترین مزیت‌های منحصر به فرد این سیستم‌های نوری است (Massa et al., 2008; Rashidi et al., 2021). مطالعات نشان می‌دهد که بذرها و گیاهچه‌ها به شدت نور و همچنین کیفیت آن پاسخ می‌دهند (Yamazaki, 2010). بنابراین تحت طول موج‌های مختلف گیاهان دارای واکنش‌های متفاوتی هستند (Daud et al., 2013). طیف‌های مختلف نوری در گیاهان توسط رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌ها، کارتنوئیدها و فیکوبیلین‌ها) و رنگدانه‌های گیرنده نوری (فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها) دریافت می‌شوند و میزان فعالیت آن‌ها متأثر از حضور طیف‌های مختلف نور می‌باشد (Dong et al., 2014). نور قرمز اثر مثبتی در تحریک و شکل‌گیری نوع فعال فیتوکروم‌ها (Pfr) در بذرها حساس به نور دارد و تبدیل نور به سینگال‌های بیوشیمیایی داخلی توسط رنگدانه‌ها صورت می‌گیرد (Daud et al., 2013).

علاوه بر رنگدانه‌های گیرنده نور قرمز، سازوکار تأثیر رنگدانه‌های گیرنده طیف نور آبی نیز بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Simlat et al., 2016). نتایج آزمایش‌های مختلف بیانگر اثر مثبت نور آبی در افزایش آنزیم‌نیترات ردوکتاز و در نتیجه افزایش جذب نیترات توسط جنین و افزایش متابولیسم آن و افزایش کیفیت و کمیت جوانه‌زنی بوده است (Lara et al., 2014). عملکرد گیرنده‌های فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها تحت شرایط متفاوت حضور کیفیت نور قرار می‌گیرد، احتمالاً به همین دلیل کاربرد طیف‌های مختلف نور مانند آبی و قرمز می‌تواند نتایج متفاوتی را در تغییر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف به همراه داشته باشد (Castillon et al., 2009).

تغییرات اکسیداتیو متأثر از نور در گیاهان که منجر به تولید اشکال مختلف گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) می‌شود، می‌تواند تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نوری متفاوت باشد. با توجه به اینکه کلروپلاست‌ها منابع اصلی دریافت‌کننده نور در گیاهان

مرزه خوزستانی از خانواده نعناعیان، از گیاهان بومی ایران است که به طور گسترده در مناطق جنوبی ایران و جنوب غربی پراکنده شده است. این گیاه چندساله و معطر دارای بوته کوچک است که ارتفاع آن به ۱۵ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد (Jamzad, 2011; Khani et al., 2019). *S. khuzistanica* از گیاهان محبوب برای مردم محلی است که با توجه به خواص فراوان به عنوان سبزی، ادویه، دمنوش و داروهای ضد درد و ضد عفونی کننده در طب سنتی، صنایع غذایی و صنایع دارویی و سایر فرآورده‌های غذایی استفاده می‌شود (Nooshkam et al., 2017) و دارای خواص ضدقارچی، ضد میکروبی، ضد باکتریایی، ضد درد، ضد دیابت، آنتی‌اکسیدان، ضد التهاب، کاهنده چربی خون و تری‌گلیسیرید می‌باشد (Hadain et al., 2011).

یکی از مشکلات تولید انبوه گیاهان از طریق بذر و صنایع تولید بذر، پایین بودن درصد جوانه‌زنی بذرها گیاهان وحشی به علت عدم سازگاری اکولوژیک با شرایط محیط اهلی است (Dini Torkamani et al., 2013). استفاده از تیمارهای پرایمینگ از جمله اسموپرایمینگ، هیدروپرایمینگ، پرایمینگ ماتریکس و هورمون پرایمینگ تاکنون یکی از روش‌های معمول جهت افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف و رشد گیاهچه آنان بوده است که این روش‌ها اگرچه باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در بذرها مسأله‌دار شده‌اند ولی مشکلات این بذرها را به طور کامل برطرف نکرده‌اند (Chen et al., 2013; Rashidi et al., 2021). بنابراین کماکان بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی گیاهچه‌ها از اولویت‌های تحقیقاتی پژوهشگران حوزه بذر است. نور در برخی گونه‌های گیاهی به‌عنوان محرک جوانه‌زنی بذر استفاده می‌شود (Chen et al., 2013). همچنین کمیت و کیفیت نور یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی برای رشد و نمو گیاهان است (Bian et al., 2015). در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی و گسترش تحقیقات استفاده از ال‌ای‌دی‌ها (LED: light-emitting diodes) به‌عنوان منبع جایگزین بالقوه نور آفتاب جهت رشد گیاهان به‌طور شایان توجهی افزایش

جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه‌ها و فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی مزره خوزستانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی طیف نورهای مختلف بر شاخص‌های جوانه‌زنی، بیوشیمیایی و رویشی گیاهچه مزره خوزستانی، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهران در سال ۱۴۰۱ طراحی و اجرا شد. بذرهای مزره خوزستانی از کلکسیون گیاهان دارویی پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهیه شد و به مدت ۳۰ ثانیه با محلول ضدعفونی کننده هیپوکلریت سدیم پنج درصد و سپس چهار مرتبه با آب مقطر استریل شستشو و در پتری‌دیش‌های (قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متری) قرار داده شد. درون هر پتری‌دیش یک ورقه کاغذ واتمن شماره یک قرار داده شد و هر کاغذ با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شد. در هر پتری‌دیش ۴۰ عدد بذر انتخاب و در چهار ردیف به‌طور تصادفی چیده شد. جهت رفع خواب احتمالی بذرهای از روش سرمادهی مرطوب به مدت چهار هفته در دمای چهار درجه سانتی‌گراد استفاده شد. به منظور ساخت ترکیب‌های نوری مورد نیاز (قرمز، ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز و آبی) از لامپ‌های ال.ای.دی با طیف قرمز ۶۳۸ نانومتر و طیف آبی ۴۴۵ نانومتر استفاده گردید. برای ایجاد اختلات مناسب دو طیف نوری قرمز و آبی، تعداد ۲۰۰ لامپ (۱۴۰ لامپ قرمز و ۶۰ لامپ آبی) بر روی صفحات مسطح پلی‌گلاسی نصب و جهت تهیه نور فلورسنت سفید از دو عدد لامپ ۲۰ وات استفاده شد. به‌منظور افزایش دقت در نحوه بررسی عملکرد طیف‌های مختلف نوری مورد مطالعه، این تیمارها در محفظه‌های بسته و فاقد هرگونه نور اضافی و به‌عنوان تنها منبع نور در طی آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. شدت نور تابشی در سطح نمونه‌ها یکسان و برابر ۲۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود. برای تنظیم و بررسی شدت نور در این آزمایش از دستگاه نورسنج سکونیک (Sekonic مدل L-308-S-U) استفاده گردید. خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر، معیار جوانه‌زنی بذر در نظر گرفته شد و

محسوب می‌شوند، بنابراین منبع اصلی تولید ROS گیاهان نیز محسوب می‌شوند. این رادیکال‌های آزاد از مهمترین منابع آسیب اکسیداتیو سلولی می‌باشند. آن‌ها قادر به آغاز طیف وسیعی از تغییرات متابولیک درون سلولی مانند کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش فعالیت آنزیمی و کاهش سرعت فتوسنتز و تنفس هستند (Kim et al., 2013). گونه‌های اکسیژن فعال در بسیاری از فرآیندهای سلولی در پاسخ به انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی از قبیل تنش نور، دما و حمله پاتوژن‌ها تشکیل می‌شود. عدم حذف گونه‌های اکسیژن فعال، می‌تواند باعث آسیب اکسیداتیو در سطح سلولی و مولکولی شود و فعل و انفعالات سلولی را تحت تأثیر قرار دهد. برای به حداقل رساندن اثرات گونه‌های اکسیژن فعال، گیاهان مکانیسم‌های سم‌زدایی متشکل از مواد با وزن مولکولی کم، آنتی‌اکسیدان‌ها و چندین آنزیم آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و سوپراکسیددیسموتاز (SOD) را تکامل داده‌اند که نقش مهمی در کاهش و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال ایفا می‌کنند (Dong et al., 2014). مطالعات نشان داده است که محتوای آنتی‌اکسیدان کل و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی تحت تابش LED می‌تواند افزایش یابد (Manivannan et al., 2015). در کلم گزارش کردند که تحت نور قرمز LED، میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاه افزایش یافته است (Lefsrud et al., 2008). در نخود هم افزایش میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی تحت نور قرمز مشاهده گردید (Wu et al., 2007). با توجه به بررسی پژوهش‌های انجام شده تاکنون اطلاعاتی مبنی بر مطالعه اثر کیفیت نور بر جوانه‌زنی، خصوصیات بیوشیمیایی و رشدی گیاهچه‌های مزره خوزستانی گزارش نشده است، با این وجود طیف‌های مختلف LED موجب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی بسیاری از گیاهان شده است (Bewley & Black, 2012; Heo et al., 2002; Su et al., 2014; Poudel et al., 2008; Ryu et al., 201). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ترکیب‌های نوری مختلف با استفاده از طیف‌های آبی و قرمز، بر شاخص‌های

محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید طبق روابط زیر محاسبه شد. در این روابط V حجم نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه است (Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (mg.g FW}^{-1}) &= 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \times V/1000W \\ \text{Chlorophyll b (mg.g FW}^{-1}) &= 22.9(A_{645}) - 2.69(A_{663}) \times V/1000W \\ \text{Carotenoids (mg.g FW}^{-1}) &= 7.6(A_{480}) - 14.9(A_{510}) \times V/1000W \end{aligned}$$

آمریکا و سیستم پردازش اطلاعات کامپیوتری با نرم‌افزار جن دیتا آنالایزر (Gene data analysis) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های گیاهی (۱/۰ گرم) جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی با یک میلی‌لیتر بافر فسفات سرد ۵۰ میلی‌مولار (pH = 7.8) مخلوط شدند. مخلوط بدست آمده به مدت ۲۰ دقیقه، در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. به منظور محاسبه فعالیت آنزیم کاتالاز از روش ابی (Aebi, 1984)، فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش استاندارد ژانگ (Zhang, 1992)، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD) طبق روش بیوشامپ و فریدوویچ (Beachamp & Fridovich, 1971) تعیین گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده گردید.

شاخص‌های درصد و جوانه‌زنی بذرها در این پژوهش با استفاده از رابطه‌های جدول ۱ محاسبه گردید. اندازه‌گیری وزن تر و خشک گیاهچه‌ها بعد از سه هفته به وسیله ترازو دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ ±) انجام گردید. خشک کردن گیاهچه‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری فنول کل ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی با ۵ میلی‌لیتر فولین سیوکالتیو (۱ به ۱۰ رقیق شده با آب مقطر) مخلوط و سپس به آن چهار میلی‌لیتر کربنات سدیم یک مولار اضافه شد. برای نمونه شاهد بجای عصاره، تنها از متانول استفاده شد و بعد فولین سیوکالچو و کربنات سدیم اضافه گردید. جذب محلول به دست آمده بعد از قرار گرفتن در تاریکی و حمام آب گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه، در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد (Slinkard & Singleton, 1977). برای رسم منحنی کالیبراسیون از غلظت‌های متفاوت استاندارد اسید گالیک (y = 0.01x + 0.0075, R² = 0.998) استفاده شد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با استفاده از دستگاه پاورویو اچ تی میکروپلیت اسپکتروفتومتر (Power Spectrophotometer Wave HT microplate) مدل ایکس اس ۲ ساخت شرکت بیوتک (BioTeks)

جدول ۱- روابط محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

Table 1- Equation of germination indices

شاخص Index	رابطه Equation	منابع References
درصد جوانه زنی Germination percentage	$GP = \frac{n}{N}$	Panwar & Bhardwaj, 2005
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	$GR = \sum \frac{d_i}{n_i}$	Kulkarni et al., 2007

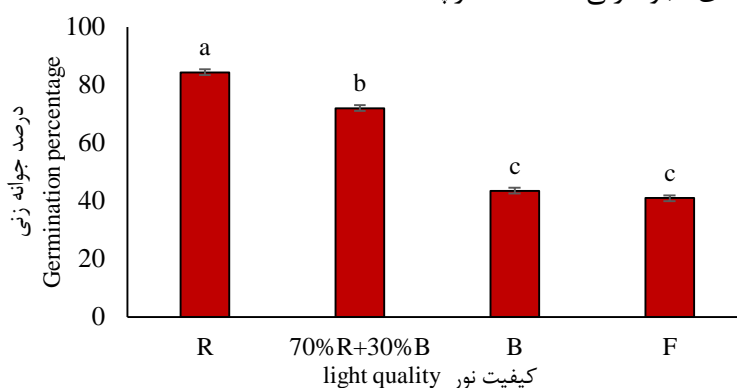
n = تعداد کل بذرهای جوانه‌زده در طی دوره، N = تعداد بذرهای کاشته شده، di = تعداد روز از آغاز آزمایش، ni = تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز.
n=Total of germinated seeds during period, N=Number of sowed seeds, di = Number of days since the start of the experiment, ni= Number of germinated seeds per day.

نتایج و بحث

شاخص‌های جوانه‌زنی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۴/۳۳ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۴۵/۸۷ جوانه/روز) با کاربرد نور قرمز بدست آمد (شکل ۱ و شکل ۲). شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاهان تحت تأثیر کیفیت و کمیت نور قرار می‌گیرد (Anjah, et al., 2014; Lone, et al., 2013). تأثیر مؤثر نور قرمز در بهبود وضعیت جوانه‌زنی بذرهای حساس به نور امری اثبات شده است. حضور طیف نور قرمز منجر به ساخت فرم فعال فیتوکروم (Pfr) می‌گردد که حضور آن برای جوانه‌زنی بذرهای لازم است (Ortega-Base and Arechiga, 2007). بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن بود که کاربرد نور آبی و افزایش میزان حضور آن در ترکیب‌های نوری مورد مطالعه، اثر منفی معنی‌داری بر شاخص‌های جوانه‌زنی داشت. اگرچه

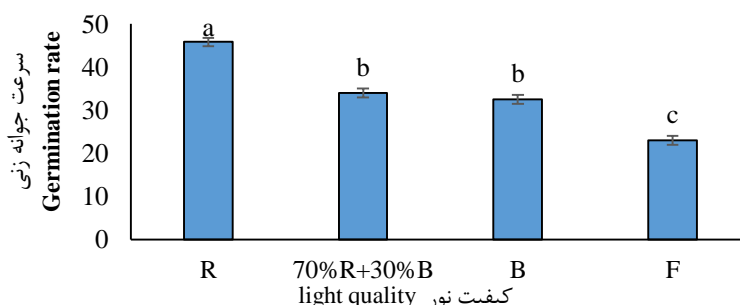
گیرنده اصلی طیف آبی در گیاهان کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها معرفی شده‌اند (Jeong et al., 2014)، اما شدت‌های پایین نور آبی می‌تواند فعالیت فیتوکروم‌ها و ساخت فرم فعال فیتوکروم (Pfr) را تغییر داده و در نتیجه شاخص‌های جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار دهد (Castillon, et al., 2009). نور آبی می‌تواند اثرات متفاوتی بر فرم‌های فعال و غیرفعال فیتوکروم A و فیتوکروم B داشته باشد که نتیجه آن واکنش متفاوت بذر گیاهان مختلف در مبحث جوانه‌زنی آن‌ها است (Castillon et al., 2009). مطالعه جوانه‌زنی بذر گیاهان نموفیلا (Malcoste et al., 1972)، گندم (Jacobsen et al., 2013)، نپتتیس (Jala, 2011) و لاپورتی (Tanno, 2006) نشان داد که در اثر افزایش میزان حضور نور آبی میزان جوانه‌زنی کاهش یافته است.



شکل ۱- اثر ترکیبات نوری بر درصد جوانه‌زنی بذرهای مرزه خوزستانی (R: نور قرمز، B: نور آبی، F: فلورسنت) (در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند).

Figure 1- Light combination effects on germination percentage of *Satureja khuzistanica* seeds (R: Red light, B: Blue light and F: Fluorescent light)

(In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level).



شکل ۲- اثر ترکیبات نوری بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای مرزه خوزستانی (R: نور قرمز، B: نور آبی، F: فلورسنت) (در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند).

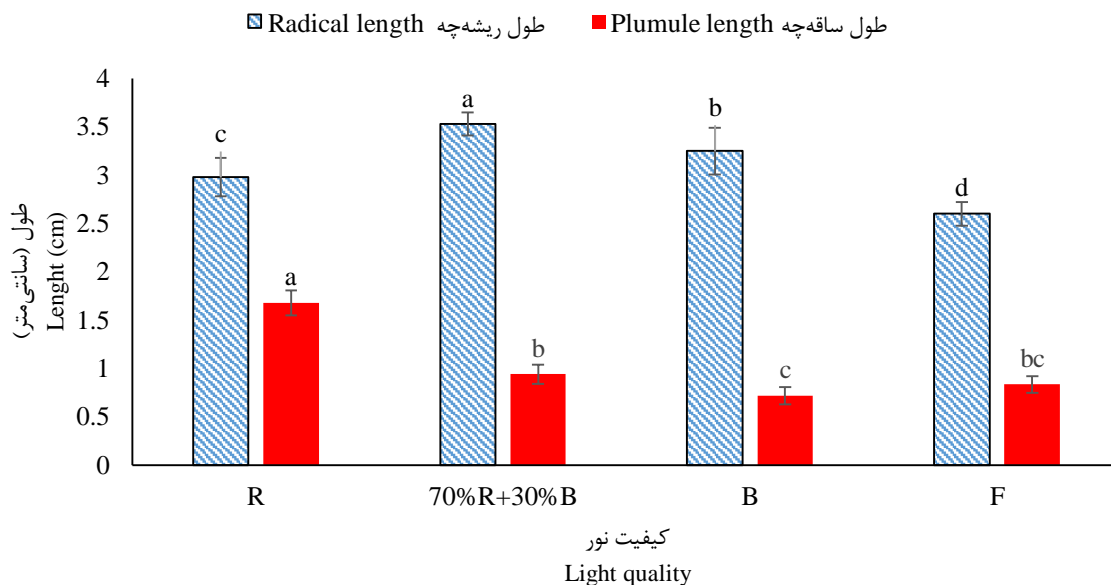
Figure 2- Light combination effects on germination percentage rate of *Satureja khuzistanica* seeds (R: Red light, B: Blue light and F: Fluorescent light)

(In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه (۳/۵۳ سانتی‌متر) در ترکیب ۳۰ درصد آبی+۷۰ درصد قرمز و کمترین (۲/۶۰ سانتی‌متر) آن در نور فلورسنت به دست آمد. افزایش نور آبی منجر به کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه در مقایسه با ترکیب ۳۰ درصد آبی+۷۰ درصد قرمز شد (شکل ۳). نور آبی به‌خصوص در نواحی ماورابنفش از طریق تحریک فعالیت فتوتروپین‌ها منجر به رشد عمودی ریشه‌ها می‌شود تا از سطح خاک به عمق بروند و از خشکی سطح دور شوند. بیشترین طول ساقه‌چه (۱/۶۸

سانتی‌متر) از تیمار تور قرمز حاصل شد که نسبت به سایر تیمارها از مقادیر بالاتری برخوردار بود. طول ساقه‌چه به طور معنی‌داری در کاربرد نور آبی و افزایش سطح آن، کاهش نشان داد (شکل ۳). کاهش طول ساقه‌چه در گیاهان خیار و کاهو (Shinkle & Jones, 1988)، آرابیدوپسیس (Folta & Spalding, 2001)، داودی (Shimizu *et al.*, 2006) و بنت القنسلول (Islam *et al.*, 2011) و افزایش ساقه‌چه بادمجان (Hirai *et al.*, 2006) و اطلسی (Fukuda & Olsen, 2011) در اثر نور آبی گزارش شده است.



شکل ۳- اثر ترکیبات نوری بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (R: نور قرمز، B: نور آبی، F: فلورسنت) (در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند).

Figure 3- Light combination effects on radical and plumule length of *Satureja khuzistanica* seedlings (R: Red light, B: Blue light and F: Fluorescent light)

(In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level).

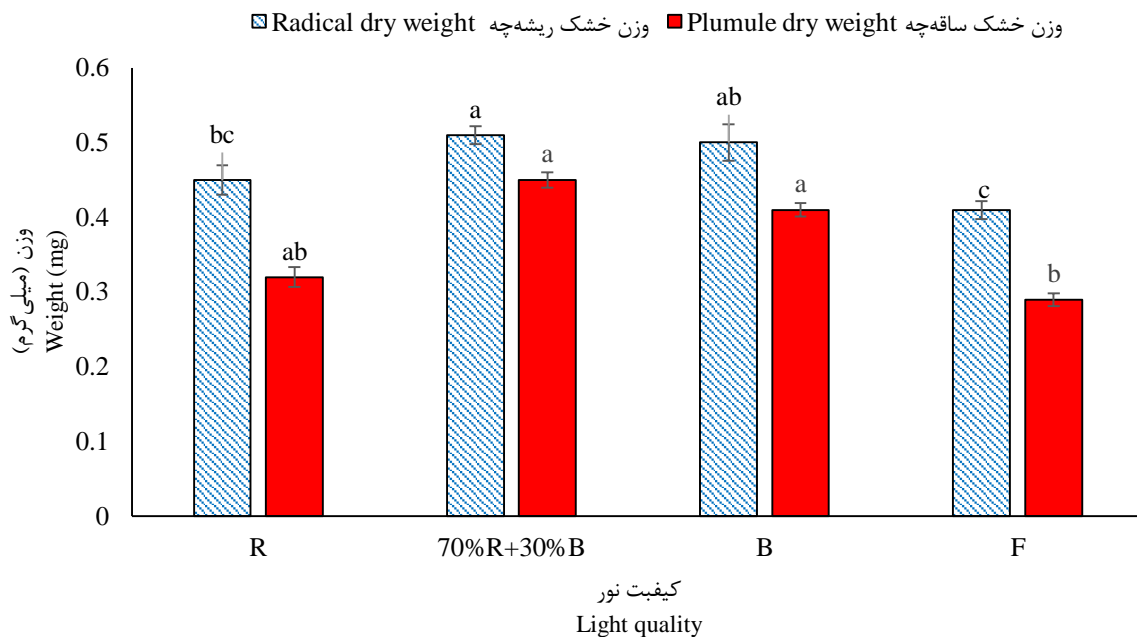
وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک ساقه‌چه (۰/۴۵ میلی‌گرم در گیاهچه) و ریشه‌چه (۰/۵۱ میلی‌گرم در گیاهچه) در کاربرد ترکیب نوری ۳۰ درصد آبی+۷۰ درصد قرمز بدست آمد، هر چند که اختلاف معنی‌داری با کاربرد نور آبی نداشت (شکل ۴). کمترین وزن خشک ساقه‌چه (۰/۲۹ میلی‌گرم در گیاهچه) و کمترین وزن خشک ریشه‌چه

(۰/۴۱ میلی‌گرم در گیاهچه) در تیمار نور فلورسنت مشاهده شد (شکل ۴). نتایج مطالعات مختلف بر روی گیاهان تربچه، کاهو، فلفل دلمه‌ای و اسفناج نشان‌دهنده تأثیر مثبت نورهای آبی و قرمز در افزایش وزن خشک شده‌اند (Pinho *et al.*, 2004; Yorio *et al.*, 2001). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که فیزیولوژی و توسعه ریشه گیاهان تحت تأثیر کیفیت نور قرار می‌گیرد (Van Gelderen *et al.*, 2018).

ریشه‌ها هنوز مکانیزم دقیق نور آبی در این میان به خوبی مشخص نشده است (Kumar & Panigrahi, 2019).

کیفیت نور به‌عنوان سیگنال در ساخت و انتقال هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین تأثیرگذار می‌باشد. با وجود اثبات شدن نقش نور قرمز و سفید در توسعه



شکل ۴- اثر ترکیبات نوری بر وزن ساقچه و ریشه‌چه گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (R: نور قرمز، B: نور آبی و F: فلورسنت) (در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند).

Figure 4- Light combination effects on radical and plumule weight of *Satureja khuzistanica* seedlings (R: Red light, B: Blue light and F: Fluorescent light) (In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level).

میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در کاربرد نور آبی مشاهده شد. کمترین مقادیر کلروفیل a (۰/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کارتنوئید (۰/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار نور فلورسنت حاصل شد (جدول ۲). مطالعات انجام شده توسط Dong و همکاران (۲۰۱۴) و Manivanna و همکاران (۲۰۱۵) به ترتیب روی گندم و گیاه رهمانیا (*Rehmannia glutinosa*) نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل در تیمار نور قرمز بود. نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت نور بر سنتز کارتنوئید موثر بوده است. بیشترین مقادیر کارتنوئید با کاربرد نور آبی حاصل شد و کمترین میزان آن در فلورسنت مشاهده شد. Johkan و همکاران (۲۰۱۰) اثر مثبت نور آبی را بر تجمع کارتنوئید در زعفران گزارش کردند. همچنین مطالعات انجام شده توسط Wu و

محتوای فنول کل، کلروفیل و کارتنوئید

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد نور آبی منجر به افزایش میزان محتوای فنول کل شد، به طوریکه بیشترین میزان فنول کل (۹/۷ میلی‌گرم گالیک‌اسید بر گرم وزن تر) در تیمار کاربرد نور آبی بدست آمد (جدول ۲). در گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی نیز بیشترین مقدار فنول کل با کاربرد نور آبی بدست آمده است (Kim et al., 2014). نتایج این پژوهش با مطالعه انجام شده بر روی گیاهچه‌های ارقام مختلف کاهو که در آن بیشترین میزان فنول کل در کاربرد نور آبی بدست می‌آید، مطابقت داشت (Son et al., 2012).

بیشترین کلروفیل a (۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در کاربرد نور قرمز و بیشترین محتوای کارتنوئید (۰/۴۸

(۲۰۰۶) گزارش کردند که فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های چاودار در تیمار با نور آبی نسبت به نور قرمز بسیار افزایش یافته است. نتایج مشابهی هم در مطالعه Manivannan و همکاران (۲۰۱۵) به دست آمد. همچنین نتایج پژوهش Kim و همکاران (۲۰۱۳) بیانگر افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های گوجه‌فرنگی در معرض نور آبی نسبت به شاهد بود. همچنین نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز توسط نور آبی افزایش یافت ولی در مورد فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برخلاف مشاهدات فوق، نور قرمز باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و نور آبی منجر به کاهش فعالیت آن شد که نتایج کاملاً متفاوت از نتایج مطالعه انجام شده توسط Manivannan و همکاران (۲۰۱۵) بود. کاربرد طیف‌های قرمز و آبی نسبت به فلوروسنت به طور قابل توجهی میزان فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش داد. Kim و همکاران (۲۰۱۳) روی گوجه‌فرنگی و Simalt و همکاران (۲۰۱۶) روی استویا در بررسی طیف‌های مختلف نوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نتیجه گرفتند که افزایش چشمگیر فعالیت این آنزیم‌ها با طیف‌های نور قرمز و آبی ارتباط داشته است.

همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاهچه‌های نخود و Cu و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی نشان داد که غلظت کاروتنوئید با کاربرد نور قرمز افزایش می‌یابد. فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها و فیکوبلین‌ها در افزایش وزن توده گیاهی مؤثر است و فعالیت این رنگدانه‌ها در طیف‌های مختلف نور، متفاوت از یکدیگر می‌باشند (Hirai et al., 2006). با توجه به اینکه حداکثر جذب و فعالیت رنگدانه‌های کلروفیل a و کلروفیل b در حضور نورهای قرمز و آبی انجام می‌گیرد (Nhut et al., 2003)، بنابراین حضور طیف‌های آبی، قرمز و قرمز دور منجر به تحریک و افزایش فعالیت دیگر رنگدانه‌های گیاهی و افزایش عمل فتوسنتز و توسعه و رشد گیاهان می‌شوند (Fan et al., 2013; Islam et al., 2012).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قرار گرفتن در معرض طیف‌های مختلف نور می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد (جدول ۳). با کاربرد نور آبی، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نیز افزایش یافت به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار نور آبی بدست آمد (جدول ۳). Schmidt و همکاران

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی

Table 2- Mean comparison of light combinations effects on biochemical traits of *Satureja khuzistanica* seedling

تیمار Treatment	فنول کل Total phenol (mg GEA. g ⁻¹ FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کارتنوئید Carotenoids (mg.g ⁻¹ FW)
R	8.12 ^b	0.58 ^a	0.49 ^a	0.37 ^c
80%R+20%B	9.1 ^a	0.35 ^c	0.31 ^c	0.42 ^b
60%R+40%B	9.7 ^a	0.44 ^b	0.38 ^b	0.48 ^a
F	7.32 ^c	0.18 ^d	0.16 ^d	0.19 ^d

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال $p < 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند. Means with the similar letter (s) in each column show insignificant difference according to LSD test, $p < 0.05$.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های مرزه خوزستانی

Table 3- Mean comparison of light combinations effects on Activity of antioxidant enzymes in *Satureja khuzistanica* seedling

تیمار Treatment	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT activity (U/μg of proteins)	فعالیت آنزیم پراکسیداز peroxidase (U/μg of proteins)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز superoxide dismutase (U/μg of proteins)
R	8.12 ^b	0.35 ^c	0.49 ^a
80%R+20%B	9.1 ^a	0.44 ^b	0.31 ^c
60%R+40%B	9.7 ^a	0.48 ^a	0.38 ^b
F	7.32 ^c	0.18 ^d	0.16 ^d

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال $p < 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means with the similar letter(s) in each column show insignificant difference according to LSD test, $p < 0.05$.

مقایسه با لامپ‌های فلورسنت که امروزه به‌عنوان منابع نور مصنوعی متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد، گیاهچه‌هایی با خصوصیات رویشی مناسب‌تر و کیفیت بالاتر تولید کرد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است که نویسندگان مقاله، کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌نمایند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد نورهای قرمز و آبی بر شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشد رویشی و برخی صفات فیتوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی مؤثر بود. کمیت و کیفیت جوانه‌زنی بذرها و عملکرد گیاهچه‌ها در صفاتی چون طول ساقچه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقچه و ریشه‌چه، محتوای فنول کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به نسبت ترکیبی نور قرمز و آبی بستگی داشت. به طور کلی کاربرد نورهای قرمز و آبی در

References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121–126.
- Anjah, G.M., Focho, A.D. & Dondjang, J.P. (2013). The effects of sowing depth and light intensity on the germination and early growth of *Ricinodendron heudelotii*. *African Journal of Agricultural Research*, 8(46), 5854-5858.
- Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, 276–287.
- Bewley, J.D. & Black, M. (2012). *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination: Volume 2: Viability Dormancy, and Environmental Control* (pp. 155.). Springer Science & Business Media.
- Bian, Z.H., Yang, Q.C. & Liu, W.K. (2015). Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 869–877.
- Castillon, A., Shen, H. & Huq, E. (2009). Blue light induces degradation of the negative regulator 19 phytochrome interacting factor 1 to promote photomorphogenic development of 20 Arabidopsis seedlings. *Genetics*, 182, 161–171.
- Chen, H., Cao, M., Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (2013). Temperature

- regulates positively photoblastic seed germination in four *Ficus* (Moraceae) tree species from contrasting habitats in a seasonal tropical rainforest. *American Journal of Botany*, 100, 1683–1687.
- Cui, J., Ma, Z.H., Xu, Z.G., Zgang, H., Chang, T.T. & Liu, H.J. (2009). Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and physiological characteristics of cucumber, pepper and tomato seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 5, 663–670.
 - Daud, N., Faizal, A. & Geelen, D. (2013). Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 49, 183–190.
 - Dini Torkamani, M.R., Abbaspour, N. & Samadi, A. (2013). Study of two treatments on the germination of *Valeriana officinalis* L. seeds in two growth media. *African Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), 232–236.
 - 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.
 - Folta, K.M., Koss, L.L., McMorrow, R., Kim, H., Kenitz, J.D., Wheeler, R. & Sager, J. (2005). Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC Plant Biology*, 5, 17–28.
 - Fukuda, N. & Olsen, J.E. (2011). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. *Acta Horticulturae*, 907, 361–366.
 - Hadian, J., Mirjalili, M.H., Kanani, M.R., Salehnia, A. & Ganjipoor, P. (2011). Phytochemical and morphological characterization of *Satureja khuzistanica* Jamzad populations from Iran. *Chemistry & Biodiversity*, 8, 902–915.
 - Heo, J., Lee, Ch., Chakrabarty, D. & Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38, 225–230.
 - Hirai, T., Amaki, W. & Watanabe, H. (2006). Action of blue or red monochromatic light on stem internodal growth depends on plant species. *Acta Horticulture*, 711, 345–349.
 - Hopkins, W.G. & Huner, N.P.A. (2004). *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey.
 - Islam, M.A., Kuwar, G., Clarke, J., Blystad, D.R., Gislerod, H.R., Olsen, J.E. & Torre, S. (2012). Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. *Scientia Horticulturae*, 147:136–143.
 - 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.
 - Jala, A. (2011). Effect of different light

- treatment on the germination of nepenthes mirabilis. *International Tranaction Journal of Engineering Management and Applied Science and Technologied*, 2(1), 83-91.
- Jamzad, Z. (2011). *Thyme and Savory Iran* (pp. 172). Publishing Research Institute of Forests and Rangelands. (In Farsi)
 - Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S.N. & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45, 1809–1814.
 - Khani, S., Seyedjavadi, S.S., Zare-Zardini, H., Mahmoodzadeh Hosseini, H., Goudarzi, M., Khatami, S., Amani, J., Imani Fooladi, A.A. & RazzaghiAbyaneh, M. (2019). Isolation and functional characterization of an antifungal hydrophilic peptide, Skh-AMP1, derived from *Satureja khuzistanica* leaves. *Phytochemisry*, 164, 136-143.
 - Kim, E., Park, S., Park, B., Lee, Y. & Oh, M. (2014). Growth and antioxidant phenolic compound in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light emitting diodes. *Horticulture Environmental Biotechnology*, 55(6), 506-513.
 - Kim, K., Kook, H.-S., Jang, Y.-J., Lee, W.-H., Kamala-Kannan, S., Chae, J.-Ch. & Lee, K.J. (2013). The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 4, 203.
 - Kumar, S. & Panigrahi, K.C.S. (2019). Light and auxin signaling cross-talk programme root development in plants. *Journal of Biosciences*, 44, 26.
 - Lara, T.S., Lira, J.M. S., Rodrigues, A.C., Rakocevic, M. & Alvarenga, A.A. (2014). Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *Journal of Agricultural Science*, 6(2), 72-80.
 - Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A. & Sams, C. (2008). Irradiance from distinct wave-length light emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43, 2243–2244.
 - Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophyllsaandbof leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591–592.
 - 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 Journal of Crop Science*, 8(11), 1475-1480.
 - Malcoste, R., Tzanni, H., Jacques, R. & Rollin, P. (1972). The influence of blue light on dark germinating seeds of *Nemophila insignis*. *Planta*, 103, 24-34.
 - Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C.H. & Jeong, B.R. (2015). Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56, 105–113.
 - Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M. & Mitchell, C.A. (2008). Plant productivity in response to LED

- lighting. *HortScience*, 43, 1951–1956.
- Nhut, D.T., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K. & Tanaka, M. (2003). Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 73, 43-52.
 - Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A. & Morshedloo, M.R. (2017). Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of *Satureja* (*S. khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6, 126-130.
 - Ohadi, H., Rahimian Mashhadi, H., Tavakkol Afshari, R. & Baheshtian, M. (2009). Modelling the effect of light intensity and duration of exposure on seed germination of *Phalaris minor* and *Poa annua*. *European Weed Research Society Weed Research*, 50, 209–217.
 - Ortega-Base, P. & Arechiga, M. (2007). Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): Light, temperature and gibberellic acid effects. *Journal of Aird Encironments*, 69(1), 169-179.
 - Pinho, P., Oskari, M., Eino, T. & Lisa, H. (2004). *Photobiological aspects of crop plants grown under light emitting diodes. Proc CIE Expert Symposium. LED Light Sources* (pp. 71-74). Tokyo, Japan. 7-8 June.
 - Rashidi, A., Narimani, R. & Moghaddam, M. (2021). The effect quality on germination and some physicochemical characteristics of valerian (*Valeriana officinalis*) seedling. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 7(4), 317-341. (In Farsi)
 - Ryu, J.H., Seo, K.S., Choi, G.L., Rha, E.S., Lee, S. Ch., Choi, S.K., Kang, S.-Y. & Bae, Ch.-H. (2012). Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion (*Taraxacum officinale*). *Korean Journal of Plant Resources*, 25, 731–738.
 - Schmidt, M., Grief, J. & Feierabend, J. (2006). Mode of translational activation of the catalase (cat1) mRNA of rye leaves (*Secale cereale* L.) and its control through blue light and reactive oxygen. *Planta*, 223, 835–846.
 - Shimizu, M., Ma, Z. & Douzono, M. (2006). Blue light inhibits stem elongation of chrysanthemum. *Acta Horticulturae*, 711, 363–368.
 - Shinkle, J.R. & Jones, R.J. (1988). Inhibition of stem elongation in cucumis seedlings by blue light requires calcium. *Plant Physiology*, 86, 960-966.
 - Simlat, M., Slezak, P., Mos, M., Warvhol, 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 horticulture*, 211, 295-304.
 - Slinkard, K., & Singleton, V. (1977). Total phenolic analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
 - Son, K.H. & Oh, M.M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-

- emitting diodes. *HortScience*, 48(8), 988–995.
- Su, N., Wu, Q., Shen, Z., Xia, K. & Cui, J. (2014). Effects of light quality on the chloroplastic ultrastructure and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. *Plant Growth Regulation*, 73, 227–235.
 - Tanno, N. (2006). Blue light induced inhibition of seed germination: The necessity of the fruit coats for the blue light response. *Physiologia Plantarum*, 58(1), 18-20.
 - Van Gelderen, K., Kang, C. & Pierik, R. (2018). Light signaling, root development and plansticity. *Plant Physiology*. 176, 1049-1060.