

Research Article

Vol. 40, No. 2, Summer 2026, p. 297-316

Effect of Seedling Tray Cell Volume and Light Quality on Growth, Photosynthetic Parameters and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) Seedling

F. Ghaemizadeh¹ , F. Dashti¹ 

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(* - Corresponding author's Email: f.ghaemizadeh@basu.ac.ir)

Received: 08 June 2025
Revised: 15 September 2025
Accepted: 27 September 2025
Available Online: 27 September 2025

How to cite this article:

Ghaemizadeh, F., & Dashti, F. (2026). Effect of seedling tray cell volume and light quality on growth, photosynthetic parameters and quality of onion (*Allium cepa* L.) seedling. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 297-316. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93976.1435>

Introduction

Onion (*Allium cepa* L.) is a vegetable with great nutritional value. In recent years, the cultivation of onion seedlings has expanded due to the rising production costs and limited water resources. The growth of high-quality seedlings is crucial for achieving optimal and high crop yield. Light quality is a significant factor influencing seedling quality, as it markedly affects the morphological and photosynthetic responses of plants. Currently, LED lights are employed in growth chambers to enhance seedling development. Another important factor influencing seedling growth is the cell volume of the seedling tray. Larger cells offer a more suitable environment for the optimal growth of seedlings; however, increasing the volume of the seedling tray may impose spatial constraints for producers. The aim of this study is to evaluate the effect of various tray cell volumes in combination with different light conditions to improve the growth and quality characteristics of onion (*Allium cepa* L.) seedlings.

Materials and Methods

To this end, an experiment was conducted in a factorial design comprising two levels of cell volume (28 cc and 18 cc) and three levels of light composition (75% red: 25% blue, 50% red: 50% blue and 25% red: 75% blue), with three replications, using the Azar Shahr onion cultivar (red and long-day onion). Seed were cultured in the growing substrates (2 coco peat: 4 perlite). After the emergence of the first true leaf (with a leaf length of approximately 5 centimeters), the plants were transferred to a growth chamber equipped with LED lamps and subjected to light treatments for a duration of 45 days. Ultimately, after the seedlings were removed from the growth chamber, various growth parameters were measured, including seedling height, length of the longest true leaf, root length, Pseudostem diameter and length, fresh and dry weight, photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid), Fv/Fm, photosynthesis rate, stomatal conductance, sub-stomatal CO₂ concentration, transpiration rate, total carbohydrate content and total phenolic content. At the end of the experiment, data analysis was performed using SAS software (version: 9.1).

Results and Discussion

According to the results, in the 18 cc cell compared to the 28 cc cell and at all light treatment, seedling length, length of the longest leaf and Pseudostem length increased and root length, fresh and dry weight decreased. However, in the 18cc cell, using a 75% red: 25% blue light treatment resulted in the highest quality seedlings with a length of 25.5 cm, Pseudostem diameter (2.13 mm), Pseudostem length (3.4 mm) and dry weight (34 mg). At all light levels, cell volume reduction resulted in a decrease in photosynthetic pigments (amount of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid), Fv/Fm, a decrease in substomatal carbon dioxide, photosynthetic rate, soluble carbohydrates and phenol content. However, the highest levels of these parameters were observed in the small cell, in the 75% red: 25% blue light treatment. At all it seems that, using a



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93976.1435>

smaller cell volume reduces the root's access to oxygen, water and nutrients, leading to reduced root growth and some seedling quality parameters. Also, reducing the cell volume increases the number of plants per tray. This increased density reduces the seedling's access to the appropriate light treatment. However, using an appropriate light treatment can improve growth and physiological parameters. Overall, in the smaller cell with high planting density, the use of the 75% red: 25% blue light combination can lead to improved growth and increased seedling quality. Under red light treatment, plants have smaller stomata and can more effectively control the process of stomatal opening and closing. In this light, in addition to the entry of carbon dioxide, a smaller amount of water is lost, which also increases water consumption efficiency. Therefore, combining red and blue light can offset the negative effects of red and blue light and increase the rate of photosynthesis. However, the response of different plant species to different ratios of red to blue light may vary.

Conclusion

In conclusion, our findings indicate that utilizing trays with smaller cell volumes (which allows for higher planting densities) can be economically beneficial and space-efficient. However, to ensure optimal onion seedling quality, it is crucial to implement a light composition of 75% red and 25% blue during the growth period.

Keywords: Carbohydrate, LED, Photosystem II efficiency, Red onion cv. Azar Shahr

اثر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر رشد، شاخص‌های فتوسنتزی و کیفیت نشاء پیاز (*Allium cepa* L.)

فهیمة قائمی‌زاده^۱ ID* - فرشاد دشتی^۱ ID

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵

چکیده

استفاده از حجم مناسب سلول سینی نشاء و کیفیت نور می‌تواند منجر به بهبود کیفیت نشاء پیاز شود. بدین منظور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل شامل دو سطح حجم سلول (۲۸ و ۱۸ سی‌سی) و سه سطح ترکیب نوری (۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی، ۵۰ درصد قرمز: ۵۰ درصد آبی، ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز) و در سه تکرار روی پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' اجرا شد. پس خروج اولین برگ حقیقی (طول برگ‌لپه‌ای حدود پنج سانتی‌متر)، گیاهان به اتاقک رشد مجهز به لامپ‌های ال‌ای‌دی منتقل و به مدت ۴۵ روز تحت تیمار نوری قرار گرفتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با ۲۸ سی‌سی و در تمامی سطوح نوری، طول نشاء، طول پهنک بلندترین برگ و طول ساقه مجازی افزایش و طول ریشه، وزن تر و وزن خشک کاهش یافت. اما در سلول ۱۸ سی‌سی استفاده از تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی، بالاترین کیفیت نشاء با طول ۲۵/۵ سانتی‌متر، قطر ساقه مجازی ۲/۱۳ میلی‌متر، طول ساقه مجازی ۳/۴ میلی‌متر و وزن خشک ۳۴ میلی‌گرم را منجر شد. اگرچه در تمام سطوح نوری کاهش حجم سلول منجر به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، Fv/Fm، کاهش دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، نرخ فتوسنتز، کربوهیدرات محلول و میزان فنل شد. اما بالاترین میزان این شاخص‌ها در سلول کوچک، در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی مشاهده شد. در مجموع، به نظر می‌رسد که در سلول کوچک‌تر با تراکم کاشت بالا، استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی می‌تواند منجر به بهبود رشد و افزایش کیفیت نشاء گردد.

واژه‌های کلیدی: پیاز 'قرمز آذرشهر'، کارایی فوتوسیستم II، کربوهیدرات، LED

مقدمه

امروزه تولید سبزی‌ها در سطح جهان به‌عنوان حرفه‌ای اشتغال‌زا و پردرآمد، در بهبود سطح اقتصاد عمومی کشورها بسیار مؤثر است. پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.) نیز یک سبزی با ارزش غذایی فراوان برای مردم در سراسر جهان محسوب می‌شود و پس از سیب زمینی از نظر سطح زیرکشت در رتبه دوم قرار دارد (FAO, 2023). پیاز در سراسر جهان رشد کرده و با توجه به اینکه برای تشکیل پیاز به طول روز حساس است، انواع مختلفی از آن بسته به عرض جغرافیایی منطقه کشت وجود دارد (Stützel & Chen, 2020).

در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش هزینه‌های تولید نظیر افزایش قیمت بذر و محدودیت در منابع آب، نشاکاری پیاز گسترش یافته است. کشت نشاء به علت کاهش طول دوره رشد و زودرسی، امکان

انتخاب گیاهان قوی و سالم جهت کاشت، عدم نیاز به عمل‌گرینش و یا تنک کردن، کاهش نهاده‌های کشاورزی و افزایش عملکرد محصول، نسبت به روش بذرکاری ارجحیت دارد (Leskovar & Vavrina, 1999; Yilmaz et al., 2014; Izadkhah et al., 2011). در کشورهای توسعه‌یافته، استفاده از نشاکاری در پیاز متداول بوده و تحقیقات متعددی روی این روش صورت گرفته است. در انگلستان محصول برداشت‌شده از کشت نشاء در یک آزمایش (۴۵ تن در هکتار) و در مقایسه با کشت بذر (۱۵ تن در هکتار) بیشتر بود و محصول آن نیز دو هفته زودتر برداشت گردید (Brewster, 2008).

در تولید سبزی‌های نشایی، پرورش نشاء با کیفیت برای دستیابی به یک عملکرد خوب، تولید محصول با کیفیت و افزایش باروری بسیار مهم است (Johkan et al., 2010). کیفیت و شدت نور از عوامل مؤثر بر رشد و کیفیت نشاء می‌باشند (Jiao et al., 2007) و به‌طور کارآمدی می‌توانند منجر به بهبود پاسخ‌های ریخت‌شناختی و فتوسنتزی گیاه شود (Matsuda et al., 2016). امروزه از لامپ‌های

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*) - نویسنده مسئول: f.ghaemizadeh@basu.ac.ir (Email: f.ghaemizadeh@basu.ac.ir)

گیاه گوجه‌فرنگی، ترکیب طیف قرمز و آبی، تعداد روزنه در واحد سطح برگ را افزایش داد (XiaoYing et al., 2011). در تره‌فرنگی نیز استفاد از نور ترکیبی سفید و آبی منجر به بهبود رشد و افزایش محتوای کربوهیدرات محلول و محتوای ترکیبات کوگردی شد (Gao et al., 2021). در شالوت (*Allium cepa* var. *aggregatum*)، استفاده از نور ترکیبی ۲ به ۱ قرمز به آبی منجر به افزایش ارتفاع و وزن گیاه گردید (Zhang et al., 2019).

از دیگر عوامل مؤثر بر رشد نشاء، حجم مطلوب سلول‌ها در سینی نشاء است. سلول‌های بزرگ‌تر فضای مناسب‌تری جهت رشد مطلوب‌تر گیاهچه فراهم می‌کند. اما با افزایش حجم زیاد سینی نشاء محدودیت‌هایی جهت تأمین فضا برای تولیدکننده‌ها ایجاد می‌شود. تراکم بالای سینی نشاء (افزایش تعداد سلول‌ها در هر سینی) از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است، اما به دلیل رقابت نوری، ساقه نشاء طویل و آبکی شده و از سویی دیگر با توجه به محدود شدن میزان دسترسی ریشه به آب، مواد غذایی و اکسیژن، کیفیت و قدرت رشدی ریشه کاهش می‌یابد (Salari et al., 2022). کاهش حجم سلول سینی نشاء در فلفل منجر به کاهش میزان کلروفیل و نرخ فتوسنتز (Zakaria et al., 2020) و در گوجه‌فرنگی باعث کاهش رشد و کیفیت نشاء و کاهش نرخ فتوسنتز گردید (Salari et al., 2022). در پژوهشی دیگر، بذور گوجه‌فرنگی در سینی نشاء در سه اندازه ۷۲، ۱۰۵ و ۱۲۸ خانه کشت شدند. براساس نتایج حاصل، کاشت در سینی ۱۰۵ سلول، طول نشاء را افزایش داد، اما بالاترین وزن خشک برگ و ریشه در سینی نشاء ۷۲ خانه مشاهده شد (Salari et al., 2022).

پیاز یک محصول مهم اقتصادی در دنیا و ایران می‌باشد. باین‌حال براساس مطالعات صورت‌گرفته تاکنون هیچ پژوهشی در ارتباط با تأثیر کیفیت نور بر رشد و ویژگی‌های کیفی این محصول صورت نگرفته است. از این‌رو با توجه به نیاز صنعت کشاورزی به تولید نشاء با کیفیت و سالم، این پژوهش بر آن است تا با بررسی حجم‌های مختلف سلول سینی نشاء همراه با ترکیب‌های مختلف نوری، رشد و ویژگی‌های کیفی نشاء پیاز را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

تیمارها و نمونه گیاهی

در این تحقیق، اثر کیفیت نور و حجم سلول‌های سینی نشاء به‌صورت آزمایش فاکتوریل (شامل دو حجم مختلف سلول سینی نشاء و سه سطح تیمار نوری) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار روی پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد.

LED (Light-emitting diodes) به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان منبع نور مصنوعی مورد نیاز گیاهان در کشت‌های گلخانه‌ای استفاده می‌شود (Simlat et al., 2016). این منابع نوری در سیستم‌های تولید گیاهی در مقایسه با سایر منابع نور مصنوعی تطبیق‌پذیری و کارایی انرژی بالاتری داشته و محبوبیت بیشتری پیدا کرده است (Agarwal & Gupta, 2018)، به‌طوری‌که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان تنها منبع نور در پرورش نشاء در اتاقک رشد و یا به‌عنوان روشنایی تکمیلی در سیستم‌های تولید گلخانه‌ای استفاده کرد.

طول موج‌های مختلف نور منجر به بروز پاسخ‌های مختلف آناتومیک، ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شوند. نحوه بروز این تغییرات در گیاه نیز متناسب با گونه، رقم، سن و نوع طول موج مورد استفاده متفاوت می‌باشد. این‌گونه پاسخ‌های نوری در فناوری‌های کشت گیاه بسیار مهم و مورد توجه است و تنظیم هدفمند طیف‌های نوری می‌تواند منجر به بهبود رشدونمو گیاه شود (Simlat et al., 2016; Fan et al., 2013; Lin et al., 2013).

پژوهش‌های گوناگونی در ارتباط با تأثیر کیفیت نور بر رشد و کیفیت نشاء محصولات نظیر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*)، کاهو (*Lactuca sativa*)، کلم (*Brassica oleracea*)، اسفناج (*Spinacia oleracea*) و تره‌فرنگی (*Allium ampeloprasum*) صورت گرفته است (Gao et al., 2023; Hernandez et al., 2016; Pardo et al., 2013; Pardo et al., 2014). در نشاء فلفل دلمه‌ای، تیمار ترکیبی نور قرمز و آبی (با نسبت برابر) منجر به افزایش وزن تر و خشک، طول ساقه، کلروفیل کل و کاروتنوئید شد (Ahmadi, 2020). در پژوهشی دیگر، کاربرد نور آبی در نشاء فلفل منجر به کوتاه‌تر شدن میان‌گره‌ها و کاهش ارتفاع بوته گردید، درحالی‌که نور قرمز منجر به برگ‌های بزرگ‌تر و میان‌گره‌های کشیده‌تر شد (Liu et al., 2022). تابش نور آبی بر نشاء کلم چینی (*Brassica rapa subsp. pekinensis*) محتوای اسیدآسکوربیک را افزایش و منجر به کاهش گونه‌های فعال اکسیژن گردید (Kang et al., 2020). استفاده از نور ترکیبی آبی و قرمز در نشاء اسفناج در مقایسه با نورهای تک طول موج منجر به بهبود رشد و افزایش محتوای کلروفیل، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. باین‌حال، محتوای کاروتنوئید کل در تیمار تک طول موج قرمز بیشتر بود (Agarwal & Gupta, 2018). در پژوهشی دیگر، بهترین کیفیت نشاء گوجه‌فرنگی در نسبت‌های ۳۰ به ۷۰ و ۵۰ به ۵۰ از نور آبی به قرمز مشاهده شد و گیاهانی که تحت نور تک رنگ آبی و یا قرمز رشد کردند، سرعت رشد پایین‌تر و نیز ارتفاع نامناسبی داشتند (Hernandez et al., 2016). همچنین در

پهنک برگ تا انتهای برگ) و طول ریشه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری طول و قطر ساقه مجازی از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک کل نشاء نیز ابتدا نمونه‌ها توزین شدند، سپس نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری و مجدد وزن گردید.

سنجش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی

به‌منظور سنجش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، ابتدا ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه با ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی به‌طور کامل هم‌وزن شدند. سپس نمونه‌ها پنج دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از آن، مایع شناور هر نمونه جدا و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد افزوده شد. در نهایت، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a، b و کاروتنوئید اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید به‌ترتیب از معادله‌های ۱ تا ۴ استفاده شد (Porra, 2002).

$$(1) \quad a = (12/25 \times A_{663}) - (2/69 \times A_{645}) \quad \text{کلروفیل}$$

$$(2) \quad b = (25/8 \times A_{645}) - (4/68 \times A_{663}) \quad \text{کلروفیل}$$

$$(3) \quad \text{کلروفیل کل} = ((20/21 \times A_{645}) + (8/02 \times A_{663}))$$

$$(4) \quad \text{کاروتنوئید} = ((1000 \times A_{470}) - (2.27 \times \text{cha}) - (81.4 \times \text{chb}))$$

اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص فلورسانس کلروفیل یا حداکثر عملکرد کوانتومی فوتوسیسستم II (Fv/Fm) از دستگاه فلوئومتر (مدل ADC BioScientific LCI Ultra Compact) استفاده شد. بدین منظور، ابتدا برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته توسط گیره‌های مخصوص دستگاه برای ۳۰ دقیقه پوشانیده شدند تا در تاریکی کامل قرار بگیرند. سپس قرائت بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ صورت گرفت (Miralles et al., 2011).

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مرتبط با فتوسنتز، از دستگاه فتوسنتز متر (IRGA ADC BioScientific LCI Ultra Compact) Ltd, Herts, ساخت انگلستان) استفاده شد. این اندازه‌گیری در بازه زمانی ساعت ۹ تا ۱۱ صبح انجام گردید. در این راستا، برگ مورد نظر در معرض نور کافی قرار گرفتند. سپس ویژگی‌های مختلف فتوسنتزی نظیر نرخ فتوسنتز برحسب میکرومول CO₂ بر مترمربع بر ثانیه، هدایت روزنه‌ای برحسب میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه، نرخ تعرق برحسب میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه و CO₂ زیر روزنه‌ای (میلی‌مول) اندازه‌گیری شد (Vahdati & Leslie, 2013).

تیمارها شامل دو حجم مختلف سلول سینی نشاء به‌عنوان عامل اول (سینی ۱۲۸ تایی با ابعاد ۲۱ × ۲۱ × ۴۱ میلی‌متر و حجم ۱۸ سی‌سی برای هر سلول و سینی ۱۰۵ تایی با ابعاد ۳۰ × ۳۰ × ۴۹ میلی‌متر و حجم ۲۸ سی‌سی برای هر سلول) و سه سطح ترکیب نوری به‌عنوان عامل دوم (شامل نور ال‌ای‌دی ۵۰ درصد آبی: ۵۰ درصد قرمز، ۲۵ درصد آبی: ۷۵ درصد قرمز و ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز) بود.

برای آماده‌سازی مواد گیاهی، ابتدا بذور پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' در آبان ماه ۱۴۰۳ در سینی‌های نشاء با ترکیب کوکوپیت و پرلیت به‌نسبت ۶ به ۴ کشت شدند. در هر سلول دو عدد بذر کشت شده و تا هنگام خروج گیاهان با آب مقطر آبیاری شد. به‌محض خروج برگ لپه‌ای از بستر کاشت، گیاهچه‌ها با محلول غذایی هوگلند آبیاری و به یک گیاه در سلول تنک شدند. پس از اینکه طول برگ لپه‌ای به پنج سانتی‌متر رسید (شروع خروج اولین برگ حقیقی)، سینی‌ها به اتاقک رشد منتقل و تحت تیمار نوری قرار گرفتند. ۴۵ روز پس از رشد گیاهان در اتاقک رشد و هنگامی که نشاءها به اندازه قابل کاشت (حدود ۱۵ سانتی‌متر و دارای دو برگ حقیقی کاملاً توسعه‌یافته) رسیدند، گیاهان از اتاقک رشد خارج و صفاتی نظیر شاخص‌های رشدی، رنگدانه‌ها و شاخص‌های فتوسنتزی، فنل کل و کربوهیدرات محلول ارزیابی شدند.

نحوه اعمال تیمار نوری

به‌منظور اعمال تیمار نوری از اتاقک رشد ۱۰۰۰ لیتری مجهز به سیستم تنظیم نور، دما و رطوبت نسبی استفاده شد. برای ایجاد درصد‌های مورد نظر از طیف‌های نوری آبی و قرمز از لامپ‌های ال‌ای‌دی (ساخت کشور چین) با طیف قرمز (۶۲۵ نانومتر، محدوده شار نوری ۳۰-۲۵ لومن و محدوده ولتاژ ۳/۲-۳ ولت) و طیف آبی (۴۶۷ نانومتر، محدوده شار نوری ۲۰-۱۵ لومن و محدوده ولتاژ ۳/۴-۳/۲ ولت) استفاده گردید. هر طبقه از اتاقک رشد برای اعمال تیمار یک ترکیب نوری در نظر گرفته شد. فاصله منبع نوری تا گیاهچه در هر طبقه ۳۰ سانتی‌متر بود. شدت نور ۱۰ ± ۲۸۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت و مدت زمان تاریکی هشت ساعت، دما طی دوره کشت طی روز ۲۵ ± ۱ درجه سانتی‌گراد و در شب ۱۶ ± ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد تنظیم شد. علت استفاده از اتاقک رشد ممانعت از ورود سایر طیف‌های نوری خارج از موارد مورد بررسی طی آزمایش و بررسی دقیق طیف‌های مورد بررسی بر ویژگی‌های نشاء پیاز بود.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی

پس از خروج گیاهچه از بستر کاشت، شاخص‌های رشدی نظیر طول نشاء، طول پهنک بلندترین برگ حقیقی (از حفره بین غلاف و

اندازه‌گیری فنل کل و کربوهیدرات محلول

به‌منظور سنجش میزان فنل کل، ابتدا عصاره گیاهی تهیه شد. برای تهیه عصاره گیاهی ۰/۳ گرم از نمونه تازه برگ با ۳ سی‌سی متانول ۸۵ درصد در هاون چینی ساییده شد. پس از ۳۰ دقیقه شیک کردن در سرعت ۱۱۰ دور در دقیقه، نمونه‌ها ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ، قسمت بالایی نمونه جدا و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس میزان فنل کل طبق روش سینگلتون و روسی (Singleton & Rossi, 1965) و با استفاده از فولین-سیکالتو (folin-ciocaltcu) اندازه‌گیری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، میزان جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-1280 شیمادزو-ژاپن) قرائت شد. از منحنی استاندارد اسیدگالیک برای تعیین غلظت فنل کل استفاده گردید. در نهایت، غلظت فنل کل به واحد میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم بافت تازه با استفاده از معادله ۵ محاسبه گردید.

$$(۵) \times (1000/\text{غلظت فرمول در منحنی استاندارد}) = \text{فنل کل}$$

$100 \times (\text{وزن نمونه} / \text{حجم عصاره})$
به‌منظور اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد خرد شد. سپس عصاره رویی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به حجم رسانده شد و عصاره به‌دست‌آمده به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت، ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره الکلی با سه میلی‌لیتر آنترون مخلوط شد و لوله‌های آزمایش در یک حمام آب گرم در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند تا یک ماده رنگی به دست آید. پس از خنک کردن نمونه‌ها، خوانش در طول موج ۶۲۵ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد. در نهایت، کربوهیدرات محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Irigoyen et al., 1992). برای استاندارد کربوهیدرات کل از گلوکز استفاده شد و محلول‌هایی با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر آن ایجاد شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های رشد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های رشدی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر طول نشاء، طول پهنک بلندترین برگ، طول ریشه، طول و قطر ساقه مجازی و وزن تر در سطح یک درصد و اثر ساده کیفیت نور بر وزن خشک نشاء در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه بین دو حجم مختلف سلول سینی نشاء (۲۸ و ۱۸ سی‌سی) در این پژوهش نشان داد که با کاهش حجم سلول سینی نشاء به ۱۸ سی‌سی، طول نشاء و طول پهنک بلندترین برگ پیاز افزایش یافت. این روند افزایشی در تمامی ترکیب‌های مختلف نوری مشاهده شد (جدول ۲). در مقایسه بین ترکیبات مختلف نوری در هر دو حجم مختلف سلول سینی، بالاترین طول نشاء در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمترین میزان این شاخص نیز مربوط به تیمار نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی بود. اما در ارتباط با شاخص طول پهنک بلندترین برگ این روند کمی متفاوت بود، به‌طوری‌که بالاترین طول برگ در هر دو حجم سلول سینی نشاء در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و کمترین میزان در ترکیب نوری ۵۰ درصد آبی : ۵۰ درصد قرمز مشاهده شد (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست‌آمده، طول ریشه در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با سلول ۲۸ سی‌سی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. ترکیبات مختلف نوری در سلول ۱۸ سی‌سی بر طول ریشه نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. اما در سلول ۲۸ سی‌سی طول ریشه با استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در مقایسه با سایر ترکیبات نوری به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (جدول ۲). در ارتباط با قطر ساقه مجازی، در مجموع حجم سلول سینی تأثیری بر این شاخص نداشت و تفاوت معنی‌داری بین سلول ۱۸ سی‌سی و ۲۸ سی‌سی مشاهده نشد. باین‌حال این روند در ترکیب‌های مختلف نوری متفاوت بود. استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در سلول ۱۸ سی‌سی به‌طور قابل توجهی قطر ساقه مجازی را در مقایسه با سلول ۲۸ سی‌سی افزایش داد، به‌طوری‌که در مجموع، بالاترین قطر ساقه مجازی در این ترکیب نوری و در سلول ۱۸ سی‌سی مشاهده شد. کمترین میزان قطر ساقه مجازی در سلول ۱۸ سی‌سی و در تیمار نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی به دست آمد. در ترکیب نوری ۲۵ درصد آبی : ۷۵ درصد قرمز نیز تفاوت معنی‌داری از نظر قطر ساقه مجازی بین دو حجم مختلف سلول سینی نشاء مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که کاهش حجم سلول سینی نشاء (۱۸ سی‌سی) منجر به افزایش طول ساقه مجازی گردید. در هر سه ترکیب نوری نیز بالاترین طول ساقه

مجازی مربوط به سلول ۱۸ سی سی بود. مقایسه بین ترکیب‌های مختلف نوری نشان داد که در تیمار ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز، طول ساقه مجازی در مقایسه با دو تیمار دیگر بالاتر بود. کمترین طول ساقه مجازی نیز مربوط به تیمار ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی بود. این روند هم در سلول ۱۸ سی سی و هم در سلول ۲۸ سی سی مشاهده شد (جدول ۲).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، با کاهش حجم سلول سینی نشاء، وزن تر و خشک کاهش یافت. در هر سه ترکیب نوری نیز کمترین میزان وزن تر و خشک نشاء در سلول ۱۸ سی سی مشاهده شد. در سلول ۱۸ سی سی، بالاترین میزان این دو شاخص مربوط به تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و تیمار نوری ۲۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما در تیمار ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی، کمترین میزان وزن تر و خشک نشاء مشاهده شد. تأثیر ترکیب‌های مختلف نوری بر وزن تر نشاء در سلول ۲۸ سی سی مشابه با سلول ۱۸ سی سی بود، اما در ارتباط با وزن خشک روند کمی تفاوت داشت. به‌طوری‌که بین سه تیمار مختلف نوری تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۲).

سن نشاء، طول نشاء و قطر ساقه مجازی از جمله مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی نشاء با کیفیت در پیاز است. براساس پژوهش‌های

صورت‌گرفته، یک نشاء مناسب در پیاز دارای طول ۲۰ سانتی‌متر و قطر دو تا سه سانتی‌متر طی دوره پرورش ۲ تا ۲/۵ ماه می‌باشد (Liu & Woong 1996; Singh, 1993; Izadkhah et al., 2011). در پژوهش حاضر، یک دوره زمانی دو ماهه برای دستیابی به نشاء با کیفیت پیاز در نظر گرفته شد. نتایج نشان دادند که کاهش حجم سلول سینی نشاء منجر به کاهش طول ریشه، وزن تر و خشک و افزایش طول نشاء و طول ساقه مجازی در پیاز گردید. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مبنی بر کاهش شاخص‌های رشدی طی کاهش حجم سلول سینی نشاء در فلفل و گوجه‌فرنگی مطابقت دارد (Zakaria et al., 2020; Salari et al., 2022). نتایج سایر محققان نیز نشان داده است که با محدود شدن رشد ریشه از یک سو و عدم دریافت نور کافی از سوی دیگر، فتوسنتز و در نهایت وزن خشک نشاء نیز کاهش می‌یابد (Poorter et al., 2012). در تولید تجاری نشاء، کاهش حجم سلول‌ها و افزایش تراکم کاشت در هر سینی از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است اما می‌تواند منجر به کاهش کیفیت نشاء نیز شود. زیرا با کاهش فضای رشد، میزان دسترسی ریشه به آب، اکسیژن و مواد غذایی محدود شده و از سوی دیگر با افزایش تراکم رقابت نوری بین گیاهان افزایش یافته و منجر به تولید نشاء با کیفیت پایین می‌گردد.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های رشدی نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'

Table 1- ANOVA for the effect of cell tray volume and light quality on growth parameter of red onion cv. Azar Shahr transplant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		طول نشاء Seedling length	طول پهنک Blade length	طول ریشه Root length	طول ساقه مجازی Pseudostem length	قطر ساقه مجازی Pseudostem diameter	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight
کیفیت نور Light quality (a)	2	35.7**	18**	1.98**	0.023*	45.5**	51800**	55.21 ^{ns}
حجم سلول سینی نشاء Cell tray volume (b)	1	0.001 ^{ns}	18**	0.0001 ^{ns}	0.008 ^{ns}	480.5**	16200**	0.5 ^{ns}
a×b	2	40.95**	73**	21.66**	0.0005 ^{ns}	96.5**	15000**	480.5**
اشتباه آزمایشی Error	12	0.192	0.25	0.072	0.004	0.25	858.5	17.4
ضریب تغییر CV (%)	-	1.7	2.8	5.8	3.3	1.5	5	11.1

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار. **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

^{ns} and **: non- significant and significant at p<0.01 respectively.

جدول ۲- اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء × کیفیت نور بر شاخص‌های رشدی نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Table 2- The interaction effect of cell tray volume × light quality on growth parameter of red onion cv. Azar Shahr transplant

تیمار نوری Light treatment	حجم سلول سینی نشا Cell tray volume	شاخص های رشد Growth parameter					وزن تر نشا Fresh weight (mg)	وزن خشک نشا Dry weight (mg)
		طول نشاء Seedling length (cm)	طول پهنک بلند ترین برگ Leaf length (cm)	طول ریشه Root length (cm)	قطر ساقه مجازی Pesodostem diameter (mm)	طول ساقه مجازی Pesodostem length (mm)		
۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی 75% Red : 25% Blue	۱۸ سی سی 18 cc	25.5 ^{a*}	22.5 ^a	3 ^d	2.13 ^a	34.5 ^c	595 ^b	34 ^b
	۲۸ سی سی 28 cc	22.9 ^b	19.5 ^d	7.25 ^a	2.06 ^{ab}	32 ^d	655 ^a	44.25 ^a
۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی 25% Red : 25% Blue	۱۸ سی سی 18 cc	25 ^a	20.5 ^b	3.25 ^d	2.02 ^{ab}	41.5 ^a	565 ^b	34.4 ^b
	۲۸ سی سی 28 cc	20.9 ^b	17 ^c	6.3 ^b	2.03 ^{ab}	39.5 ^b	625 ^a	44.05 ^a
۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی 50% Blue : 50% Red	۱۸ سی سی 18 cc	21.8 ^b	18.5 ^c	3.4 ^d	1.9 ^c	30.5 ^c	405 ^d	23.5 ^c
	۲۸ سی سی 28 cc	16.1 ^c	13.5 ^e	4.6 ^c	1.98 ^{bc}	21.5 ^f	495 ^c	44.15 ^a

* Same letters show no significant difference and different letters show significant difference at $p \leq 0.01$ based on Duncan's multiple range test.
* حروف مشابه عدم اختلاف معنی دار و حروف غیر مشابه اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد نشان می‌دهند.

ساقه مجازی و وزن تر و خشک نشاء نیز به مراتب کمتر بود (جدول ۱). تأثیر طیف‌های مختلف نوری بر وزن تر و خشک نشاء متناسب با گونه گیاهی و مراحل رشدی گیاه تا حدودی متفاوت است (Kaiser et al., 2019). در گیاهانی نظیر مریم گلی، نشاء خیار و نشاء گوجه‌فرنگی نسبت نوری ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی منجر به افزایش وزن تر و خشک شد (Moradi et al., 2022, Hernandez et al., 2015, Hernandez & Kubota, 2016; et al.) که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. اما در شالوت، استفاده از نسبت ۱:۱ از نور قرمز به آبی در مقایسه با نسبت ۲ به ۱ قرمز به آبی تأثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک داشت (Zhang et al., 2019). تفاوت‌های مشاهده‌شده می‌تواند به میزان نسبت نور قرمز به آبی، مدت زمان و مرحله رشدی اعمال تیماری نوری و گونه گیاهی وابسته باشد (Zhang et al., 2019).

پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که طیف‌های مختلف نوری اثرات متفاوتی بر شاخص‌های رشدی گیاهان داشتند. نور قرمز با افزایش رشد و تقسیم سلولی منجر به افزایش ارتفاع، وزن تر و خشک، سطح برگ و در نهایت بهبود رشدی گیاه شده است (Wang et al., 2011; Savvides et al., 2010; Johkan et al., 2009; et al.). نور آبی نیز به‌تنهایی با تنظیم بیان ژن‌های سرکوب‌کننده رشد سلولی از رشد و تقسیم سلولی جلوگیری می‌کند (Banerjee et al., 2025). باین‌حال تحقیقات نشان داده است که استفاده از نورهای ترکیبی قرمز و آبی در مقایسه با نورهای تک طیف قرمز و یا آبی تأثیر بهتری بر رشد و عملکرد گیاه دارند و این به‌دلیل اثرات سینرژیک طیف‌های مختلف نوری روی یکدیگر است (Stutte et al., 2009; Hogewoning et al., 2010). در این میان، بهبود رشد گیاه در محیط نوری با درصد بیشتر نور قرمز مربوط به طول موج نور قرمز می‌باشد که با حداکثر جذب کلروفیل و فیتوکروم‌ها و افزایش ظرفیت فتوسنتزی مطابقت دارد، هرچند پاسخ گونه‌های مختلف گیاهی به نسبت متفاوت خواهد بود (Kaiser et al., 2019).

در مجموع، به نظر می‌رسد که به‌منظور بهبود شرایط اقتصادی و استفاده بهینه از فضا در پرورش نشاء می‌توان از سینی نشاء با حجم سلول کمتر و تراکم بالاتر در ترکیب با تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی استفاده کرد. اگرچه استفاده از تراکم بالا ممکن است کیفیت نشاء را کاهش دهد، اما می‌توان با استفاده از ترکیب نوری مناسب طی رشد، این اثر را جبران کرد. در پژوهش حاضر نیز استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در تراکم کشت بالا منجر به بهبود صفات رویشی شد که نشان از کارآمدی این ترکیب نوری در پرورش نشاء پیاز می‌باشد.

اگرچه کاهش حجم سلول سینی نشاء ممکن است کیفیت نشاء را کاهش دهد، اما ممکن است کیفیت نور ضمن پرورش نشاء تا حدودی به بهبود شاخص‌های رشدی نشاء کمک کند. در پژوهش حاضر، کاهش حجم سلول منجر به کاهش کیفیت نشاء پیاز شد، اما روند این تغییرات در ترکیبات مختلف نوری متفاوت بود. در مقایسه بین سه تیمار نوری در سلول‌های کوچک سینی نشاء، بالاترین طول نشاء (۲۵/۵ سانتی‌متر)، طول بلندترین پهنک (۲۲/۵ سانتی‌متر)، بالاترین قطر ساقه مجازی (۲/۱۳ سانتی‌متر) و بیشترین وزن تر و خشک نشاء در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مبنی بر افزایش رشد طولی نشاء در ترکیبات نوری با نسبت بالاتر نور قرمز به آبی در گوجه‌فرنگی، مریم گلی (*Salvia officinalis*)، خیار (*Cucumis sativus*) و شالوت نیز مطابقت داشت (Moradi et al., 2022; Zhang et al., 2019; Hernandez & Kubota, 2015). تیمار نوری ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی در گوجه‌فرنگی منجر به افزایش رشد طولی نشاء و در مریم گلی بالاترین ارتفاع گیاه و طول برگ را در بر داشت (Hernandez et al., 2016; Moradi et al., 2022). در شالوت نیز استفاده از تیمار نوری ۲ به ۱ از نور قرمز به آبی به‌طور قابل توجهی ارتفاع گیاه را افزایش داد (Zhang et al., 2019).

مقایسه بین سه تیمار نوری همچنین نشان داد که اگرچه از نظر طول نشاء تفاوت معنی‌داری بین ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی وجود نداشت، اما در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی قطر ساقه مجازی بیشتر و طول ساقه مجازی کمتر بود که می‌تواند به‌عنوان یک نشاء مطلوب در درپياز در نظر گرفته شود. طول نشاء در این تیمار کمی بیشتر از طول نشاء مناسب در پیاز بود، اما بالاترین قطر ساقه مجازی را نیز داشت و کشیدگی طول ساقه مجازی در آن کمتر بود. نکته قابل توجه در این است که استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی، قطر ساقه مجازی را در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با ۲۸ سی‌سی نیز افزایش داد، به‌طوری‌که در مجموع، بالاترین کیفیت نشاء از نظر طول و قطر ساقه مجازی در سلول ۱۸ سی‌سی و این ترکیب نوری یافت شد. این یافته با نتایج گائو و همکاران (Gao et al., 2023) مبنی بر تأثیر بیشتر نور آبی در مقایسه با نور قرمز بر افزایش طول ساقه مجازی در تره‌فرنگی نیز مطابقت دارد.

بالاترین میزان وزن تر و خشک در سلول ۱۸ سی‌سی بدون تفاوت معنی‌دار در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز مشاهده شد. در تیمار ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی اگرچه طول نشاء و کشیدگی آن کمتر بود، اما قطر

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر رنگی‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به رنگی‌های فتوسنتزی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با سلول ۲۸ سی‌سی و در ترکیب نوری ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. اما در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی تفاوت معنی‌داری در محتوای رنگی‌های فتوسنتزی بین دو حجم ۱۸ سی‌سی و ۲۸ سی‌سی مشاهده نشد (شکل ۱). نتایج نشان داد که در سلول بزرگ‌تر (۲۸ سی‌سی) تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد آبی : ۷۵ درصد قرمز از نظر محتوای رنگی‌های فتوسنتزی وجود نداشت. اما در سلول کوچک‌تر (۱۸ سی‌سی) بالاترین محتوای رنگی‌های فتوسنتزی در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و کمترین میزان آن‌ها در تیمار نوری ۵۰ درصد آبی : ۵۰ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی، ۷۵ درصد قرمز (بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) مشاهده شد (شکل ۱).

براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته در نشاء فلفل، با کاهش حجم سلول سینی نشاء، میزان دسترسی ریشه به اکسیژن و در نهایت کارایی فتوسنتز در واحد سطح برگ نیز کاهش یافت. کاهش در ظرفیت فتوسنتزی، کاهش میزان سنتز رنگ‌دانه‌ها را نیز در بر داشت. تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که کاهش سرعت فتوسنتز منجر به کاهش میزان کلروفیل برگ نیز می‌گردد (Zakaria et al., 2020; Poorter et al., 2012). در پژوهش حاضر تنها در ترکیب نوری ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی و با کاهش حجم سلول سینی نشاء، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاهش یافت. بالاترین میزان این رنگی‌ها در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد و کاهش حجم سلول سینی تأثیری بر محتوای رنگی‌های فتوسنتزی نداشت. تأثیر طیف‌های مختف نور بر میزان رنگی‌های فتوسنتزی وابسته به نوع گونه گیاهی متفاوت است. در شالوت در نسبت نوری ۲ به ۱ از نور قرمز به آبی در مقایسه با نسبت ۱ به ۱ از نور قرمز به آبی محتوای کلروفیل بالاتر بود (Zhang et al., 2019). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر در پیاز مطابقت داشت. در نشاء گوجه‌فرنگی (Hernandez et al., 2016) و گیاه مریم گلی (Moradi et al., 2022) تفاوتی در محتوای رنگدانه در ترکیبات مختلف نوری قرمز به آبی مشاهده نشد. اما در نشاء خیار با افزایش نسبت نور آبی به قرمز، میزان رنگ‌دانه‌ها افزایش یافت (Hernandez & Kubota, 2015).

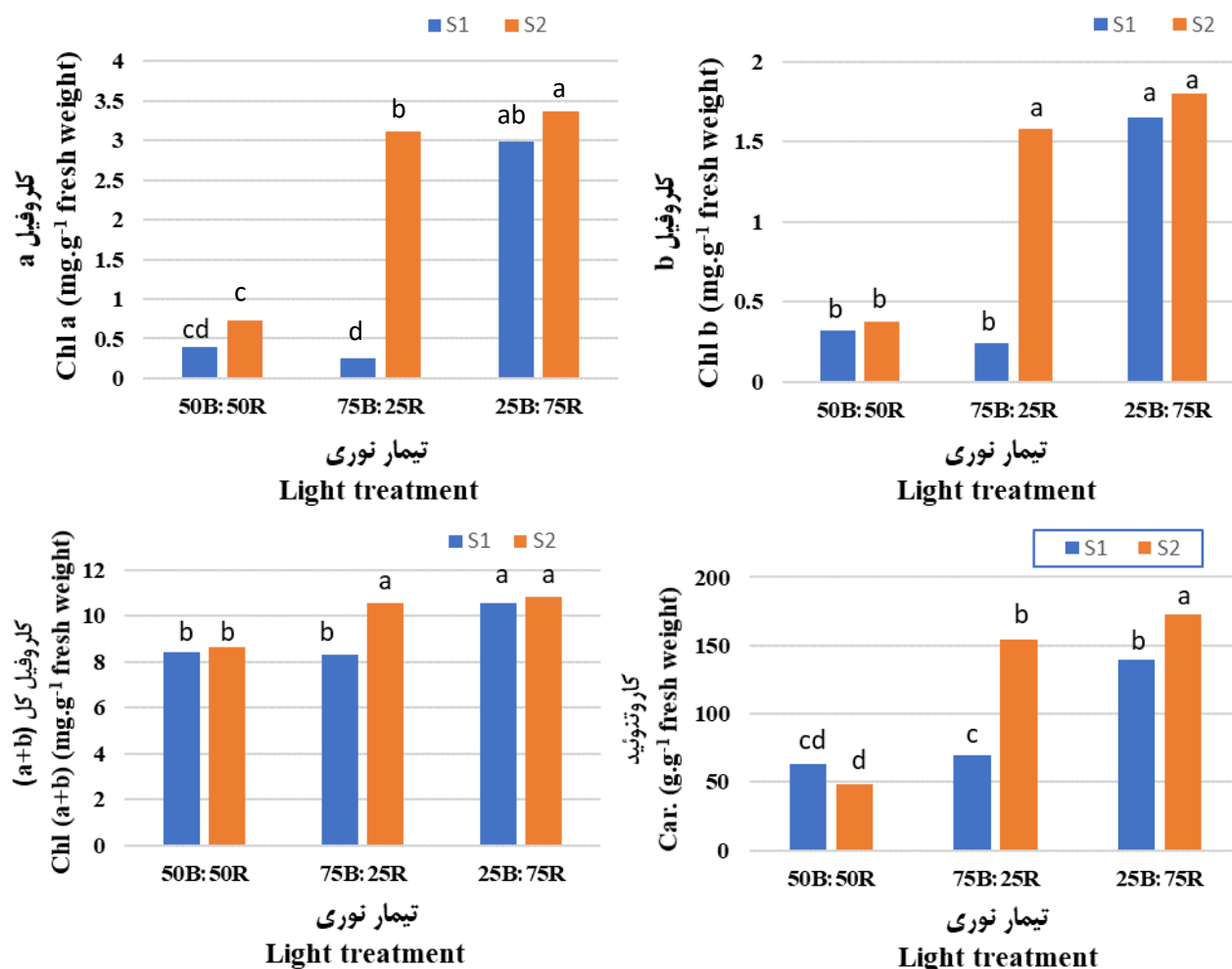
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر رنگی‌های فتوسنتزی، محتوای فنل و کربوهیدرات نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'

Table 1- ANOVA for the effect of cell tray volume and light quality of seedling tray on photosynthetic pigments, phenol and carbohydrate of red onion cv. Azar Shahr transplant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Chl (a+b)	کارتنوئید Carotenoid	فنل Phenol	کربوهیدرات Carbohydrate
کیفیت نور Light quality (a)	2	10.33**	2.9096**	7.193**	15017.98**	6169.41**	2283.53**
حجم سلول سینی نشاء Cell tray volume (b)	1	6.342**	1.2033**	3.624**	689.56*	1480.21**	808.77**
a×b	2	3.103**	0.7643**	2.015**	6059.953**	2147.33**	1220.24**
اشتباه آزمایشی Error	12	0.0404	0.0341	0.04509	90.89730	5.40640	10.70642
ضریب تغییر CV (%)	-	11.08	18.5	2.2	8.81	1	5.3

ns: عدم اختلاف معنی‌دار. **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: non- significant and significant at $p < 0.01$ respectively.



شکل ۱- میزان رنگدانه‌های نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' رشد یافته تحت تاثیر اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × حجم مختلف سلول سینی نشاء

Figure 1- Photosynthetic pigments content in the red onion cv. Azar Shahr transplant grown under interaction effect of different light spectra × different cell volume of seedling tray (DMRT, $p < 0.01$)

حجم هر سلول سینی نشاء به ترتیب در S1 و S2 ۱۸ میلی‌لیتر و ۲۸ میلی‌لیتر می‌باشد.

S1 and S2 show 18 cc and 28 cc cell volume, respectively

با یافته‌های مرادی و همکاران (Moradi et al., 2022) مبنی بر افزایش میزان کاروتنوئید در ترکیب نوری ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی و کمترین میزان در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی در گیاه مریم گلی هم‌خوانی داشت. تحقیقات نشان می‌دهد که نور قرمز روی بیان ژن‌های مؤثر بر تولید هورمون‌های رشد مؤثر بوده و در ترکیب با نور آبی اثر سینرژیک داشته و بر توسعه کلروپلاست و تشکیل کلروفیل مؤثر است. در مجموع، استفاده از نورهای ترکیبی قرمز آبی، اثرات مثبتی بر تولید رنگدانه‌ها، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت بهبود عملکرد و رشد گیاه دارد (Hogewoning et al., 2010). در مجموع، به نظر می‌رسد که استفاده از نور ترکیبی ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در هر دو حجم سینی نشاء و به‌ویژه

با کاهش حجم سلول سینی نشاء (۱۸ سی‌سی) محتوای کاروتنوئید در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد آبی : ۷۵ درصد قرمز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اما در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی تفاوتی در محتوای کاروتنوئید بین دو حجم مختلف سلول نشاء مشاهده نشد. با این حال بالاترین میزان کاروتنوئید در سلول کوچک ۱۸ سی‌سی در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی صورت گرفت (شکل ۱). در تریچه *Raphanus sativus* var. *Sativus*) بیشترین میزان کاروتنوئید در ترکیب نوری ۲ به ۱ از نور قرمز به آبی و کمترین میزان در ترکیب ۱ به ۱ از نور قرمز به آبی مشاهده شد (Shamsi Roodbarsar et al., 2023) که با یافته‌های پژوهش حاضر در پیاز مطابقت دارد. این نتایج

زمانی که استفاده از حجم سلول کوچکتر صرفه اقتصادی دارد، می‌تواند بالاترین راندمان را در تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی داشته باشد.

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های فتوسنتزی در **جدول ۴** نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر غلظت CO_2 زیر روزنه، نرخ تعرق، هدایت روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز در سطح یک درصد و اثر ساده کیفیت نور بر کارایی فتوسیستم II معنی‌دار بود (**جدول ۴**). در پژوهش حاضر، میزان کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در حجم کوچک‌تر سلول سینی نشاء (۱۸ سی‌سی) در مقایسه با سلول بزرگ‌تر (۲۸ سی‌سی) و در تمامی سطوح نوری کمتر بود، هرچند این تفاوت معنی‌دار نبود (**شکل ۲**). کاهش حجم سلول سینی نشاء، میزان دسترسی ریشه به مواد غذایی و اکسیژن را محدود کرده و در نهایت منجر به کاهش رشد ریشه و میزان کلروفیل می‌گردد. تنش واردشده ناشی از حجم سلول سینی می‌تواند میزان F_v/F_m را نیز به دلیل تخریب کلروفیل کاهش دهد (**Salari et al., 2022**). کاهش حجم سلول سینی نشاء در گوجه‌فرنگی با کاهش میزان نسبت F_v/F_m و نرخ فتوسنتز همراه بود که با نتایج پژوهش حاضر در پیاز مطابقت دارد. کاهش کارایی فتوسیستم II منجر به کاهش شاخص‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی نشاء نیز می‌شود (**Salari et al.,**

2022). البته در برخی گیاهان، کاهش حجم سلول تأثیری بر محتوای کلروفیل نداشته است (**Oh et al., 2014; Li et al., 2016**). در فلفل، کاهش حجم سلول تأثیری بر میزان این شاخص نداشته است (**Salari et al., 2022**) که مغایر با نتایج پژوهش حاضر در پیاز است. البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که در مراحل اولیه رشد، تراکم کاشت در سینی‌های نشاء با حجم سلول پایین تأثیر چندانی بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه ندارد، اما با توجه به طولانی مدت بودن دوره پرورش نشاء در پیاز تراکم بالا می‌تواند میزان جذب نور را کاهش داده و باعث کاهش میزان نرخ فتوسنتز شود (**Li et al., 2016**).

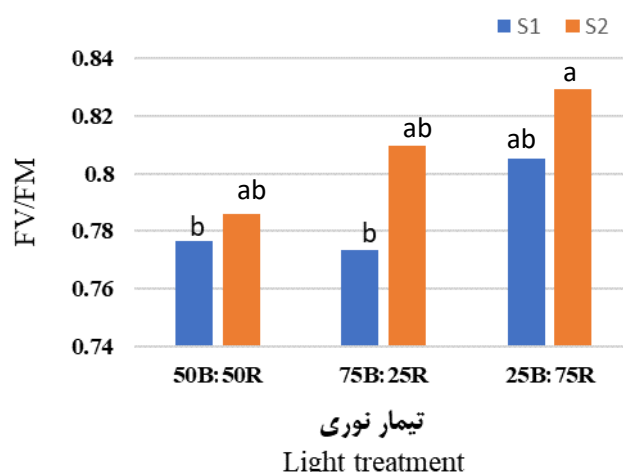
اگرچه کاهش حجم سلول سینی نشاء منجر به کاهش میزان کارایی فتوسیستم II در نشاء پیاز شد، اما نتایج نشان داد که استفاده از یک تیمار نوری مناسب می‌تواند به‌طور کارآمدی این کاهش را به حداقل برساند. در پژوهش حاضر، بالاترین میزان F_v/F_m در حجم سلول کوچک‌تر سینی نشاء در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد (**شکل ۲**). بالاتر بودن میزان F_v/F_m به‌معنای فعال بودن مرکز واکنش فتوسیستم II و بالا بودن کارایی سیستم انتقال الکترون می‌باشد. چنانچه میزان این شاخص کاهش یابد، احیای کوئینون A در مجموعه کلروفیل به‌خوبی صورت نگرفته و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می‌یابد. نور قرمز منجر به افزایش بیان ژن‌های مرتبط با کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور در فتوسیستم II و افزایش کارایی این فتوسیستم می‌شود.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های فتوسنتزی نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Table 4- ANOVA for the effect of cell tray volume and light quality on photosynthetic parameters of red onion cv. Azar Shahr transplant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		نرخ فتوسنتز Photosynthesis rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	نرخ تعرق Transpiration rate	CO_2 زیر روزنه Sub-stomatal CO_2 concentration	کارایی فتوسیستم II F_v/f_m
کیفیت نور Light quality (a)	2	2.695**	0.00285**	1.54478**	21153.12**	0.002449*
حجم سلول سینی نشاء Cell tray volume (b)	1	8.0601**	0.0001125*	0.49005**	27848.0**	0.00000139 ^{ns}
a×b	2	1.0704**	0.00285**	1.62251**	29948.37**	0.00110835 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	12	0.00951	0.0000125	0.00174	7.0833	0.000613
ضریب تغییر CV (%)	-	2.8	10.8	4.9	1.04	3

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار، **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: non- significant and significant at $P < 0.01$ respectively.



شکل ۲- اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × حجم سلول سینی نشاء بر شاخص فلوروسانس کلروفیل (Fv/FM) نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Figure 2- The interaction effect of different light spectra × different cell volume of seedling tray on Fv/Fm of the red onion cv. Azar Shahr transplant (p < 0.01)

S1 و S2: به ترتیب نشان‌دهنده حجم ۱۸ میلی‌لیتر و ۲۸ میلی‌لیتر برای هر سلول سینی نشاء می‌باشد.
S1 and S2: show 18 cc and 28 cc cell volume respectively.

(Guo et al., 2023). تحقیقات نشان داده است که اگرچه نسبت بالاتر نور قرمز به آبی، میزان Fv/FM را افزایش می‌دهد، اما افزایش بیش از اندازه نور قرمز اثر مخربی بر این شاخص نیز دارد (Borowski et al., 2015). از سوی دیگر، در برخی گیاهان، واکنش متفاوتی گزارش شده که با یافته‌های پژوهش حاضر در پیاز مغایرت دارد. در نشاء خیار، استفاده از نور تک طول موج آبی در مقایسه با نور ترکیبی قرمز: آبی با نسبت برابر و نور تک طول موج قرمز، کارایی بالاتری داشته است (Miao et al., 2016). در پژوهشی دیگر، استفاده از نور ترکیبی قرمز و آبی در خیار تفاوتی در کارایی فتوسنتسم II مشاهده نشده است (Hogewoning et al., 2010).

براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، با کاهش حجم سلول سینی نشاء و در تیمار ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز، میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق کاهش یافت. در سلول ۱۸ سی‌سی و در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز: ۵۰ درصد آبی این روند کمی متفاوت بود، به طوری که میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق افزایش یافت (شکل ۳). در سلول ۱۸ سی‌سی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نوری بر هدایت روزنه‌ای مشاهده نشد، اما بالاترین میزان نرخ تعرق در تیمار نوری ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز مشاهده شد (شکل ۳).

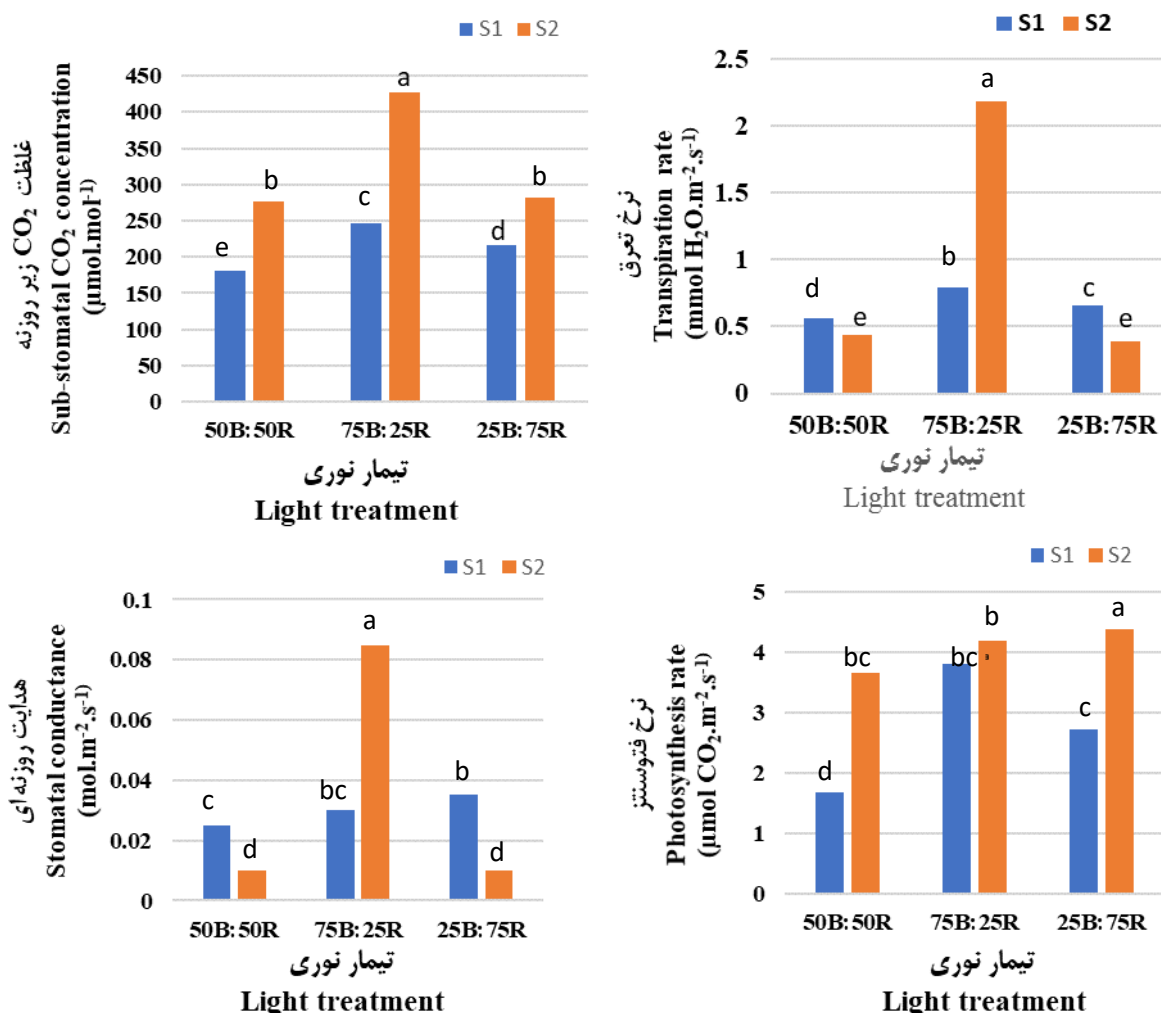
در سلول سینی ۱۸ سی‌سی میزان دی‌اکسید زیر روزنه در هر سه تیمار نوری کمتر از سلول ۲۸ سی‌سی بود. در مقایسه بین ترکیبات نوری مختلف، در سلول ۱۸ سی‌سی بالاترین میزان این شاخص در نور ترکیبی ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز و کمترین میزان این

اما افزایش بیش از اندازه طول موج باعث اختلال در عملکرد فتوسنتسم II شده و همچنین با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای در نهایت ظرفیت فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Zlatev & Yordanov, 2004). استفاده از نور ترکیبی با نسبت مناسب نور قرمز به آبی، اختلال حاصل از شدت بالای نور قرمز را بهبود بخشیده و منجر به افزایش Fv/FM و در نهایت افزایش کارایی فتوسنتسم II می‌شود (Taulavuori et al., 2018).

تأثیر طیف‌های مختلف نور بر فلوروسانس کلروفیل در گیاهان مختلف متفاوت است (Moradi et al., 2023). در تحقیق حاضر، میزان این شاخص در نسبت بالاتر نور قرمز به آبی افزایش معنی‌داری یافت که با یافته‌های سایر محققان مبنی بر افزایش Fv/FM در مریم‌گلی، شاهی (*Lepidium sativum*) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) مطابقت داشت (Moradi et al., 2023; Ajdanian et al., 2020; Matsuda et al., 2008). در مریم‌گلی، کارایی عملکرد کوانتومی فتوسنتسم II در ترکیب تیماری ۷۰ درصد قرمز: ۳۰ درصد آبی به بیشترین میزان خود رسید. در حالی که در ترکیب تیماری ۵۰ درصد آبی: ۵۰ درصد قرمز و ۷۰ درصد آبی: ۳۰ درصد قرمز تفاوتی نداشتند (Moradi et al., 2023). در شاهی نیز در ترکیب نوری ۶۰ درصد قرمز: ۴۰ درصد آبی در مقایسه با مقدار ۹۰ درصد قرمز: ۱۰ درصد آبی، این شاخص بالاتر بود (Ajdanian et al., 2020). در کاهو نیز بالاترین میزان این شاخص در ترکیب نوری ۹: ۳ قرمز به آبی مشاهده شد (Chen et al., 2022). در کشت درون شیشه‌ای اریکیده نیز نسبت بالاتر نور قرمز به آبی در مقایسه با نسبت‌های برابر کارایی فتوسنتسم II شاخص نیز بالاتر بود (Lee et al., 2009).

۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی به کمترین میزان خود رسید (شکل ۳). بالاترین میزان نرخ فتوسنتز در حجم سلول ۱۸ سی سی در ترکیب نوری ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ آبی و ۷۵ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی و بدون تفاوت معنی دار با یکدیگر مشاهده شد (شکل ۳).

شاخص در تیمار نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی مشاهده شد (شکل ۳). با کاهش حجم سلول سینی نشاء و افزایش تراکم کاشت، میزان نرخ فتوسنتز در همه تیمارهای نوری کاهش یافت و در تیمار نوری



شکل ۳- اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × ابعاد مختلف سلول سینی نشاء بر غلظت CO₂ زیر روزنه، نرخ تعرق، هدایت روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز در نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'

Figure 3- The interaction effect of different light spectra × cell volume of seedling tray on sub-stomatal CO₂ concentration, transpiration rate, stomatal conductance and photosynthesis rate of the red onion cv. Azar Shahr transplant ($p < 0.01$)

S1 و S2: به ترتیب نشان دهنده حجم ۱۸ میلی لیتر و ۲۸ میلی لیتر برای هر سلول سینی نشاء می باشد.
S1 and S2: show 18 cc and 28 cc cell volume respectively.

2009). از سوی دیگر، تراکم بالا در سینی نشاء با سلول کوچکتر منجر به رقابت نوری و عدم دریافت بهینه تیمار نوری نیز می گردد. مقایسه بین دو حجم مختلف سلول سینی نشان داد که با افزایش حجم سلول و کاهش تراکم سینی در تیمار نوری ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز به دلیل دریافت بالاتر این ترکیب نوری، روزنه‌ها بازتر و در

به نظر می رسد که کاهش حجم سلول سینی نشاء و تنش حاصل منجر به بسته شدن روزنه، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت کاهش میزان دی اکسید کربن زیر روزنه شده است. تحقیقات نشان داده است که کاهش میزان دی اکسید کربن زیر روزنه می تواند به دلیل بسته بودن روزنه‌ها و یا افزایش میزان تثبیت دی اکسید کربن باشد (Igbal et al.,

این نور، ورود پتاسیم به سلول روزنه تسهیل و با خروج پروتون از آن‌ها، روزنه باز می‌شود (Mott, 2009). در نور قرمز، گیاهان روزنه کوچک‌تری داشته و می‌توانند به‌صورت مؤثرتری روند باز و بسته شدن روزنه را کنترل کنند. در این نور علاوه بر وارد شدن دی‌اکسید کربن، مقدار کمتری آب از دست رفته و باعث کارایی مصرف آب نیز می‌شود. از این رو ترکیب نور قرمز با آبی می‌تواند اثرات منفی هر یک از نورها را تعدیل و نرخ فتوسنتز را افزایش دهد. هرچند واکنش گونه‌های مختلف گیاهی به نسب‌های مختلف نور قرمز به نور آبی ممکن است متفاوت باشد (Doheny-Adams et al., 2012).

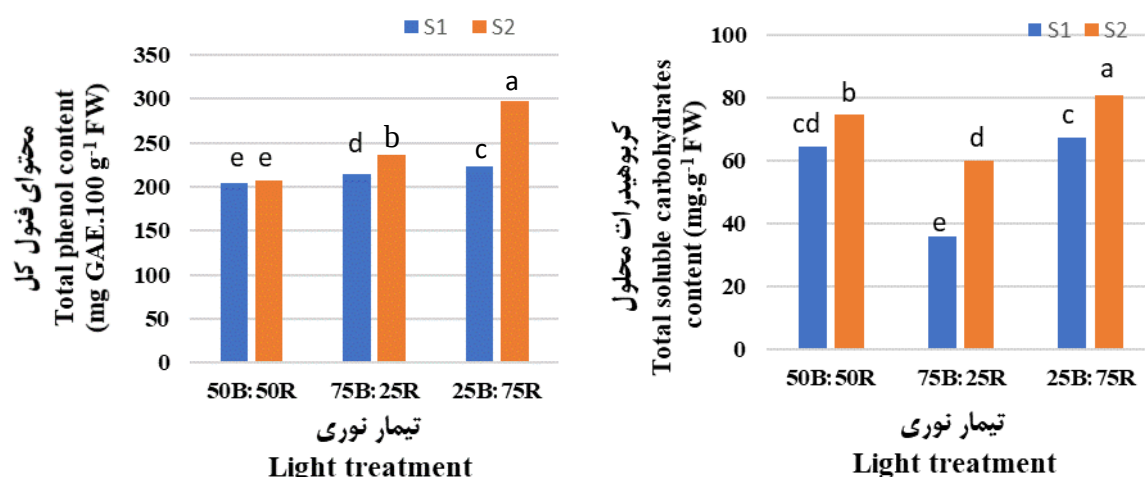
در پژوهش حاضر، اگرچه در سلول کوچک‌تر استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز میزان هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسیدکربن زیر روزنه را افزایش داد، اما در نهایت بالاترین میزان نرخ فتوسنتز بین این تیمار نوری و تیمار ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز (بدون تفاوت معنی‌دار) مشاهده شد.

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر میزان فنل کل و کربوهیدرات

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر میزان فنل کل و کربوهیدرات در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه بین دو حجم مختلف سلول سینی نشاء نشان داد که با کاهش حجم سلول در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی و در ترکیب نوری ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز، میزان ترکیبات فنلی کاهش می‌یابد.

نتیجه هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق افزایش می‌یابد. در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی نیز با کاهش تراکم در سینی، دریافت نور افزایش یافته و به دلیل تأثیر بازدارندگی نور قرمز بر باز شدن روزنه‌ها، این دو کاهش یافت (شکل ۳). در مجموع، به نظر می‌رسد که در سلول کوچک‌تر سینی نشاء بتوان با استفاده از یک تیمار نوری مناسب شاخص‌های فتوسنتزی را بهبود بخشید.

در خیار، هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق در ترکیب نوری با نسبت بالاتر نور آبی نسبت به قرمز، بیشتر از سایر نسبت‌های نوری بود (Hernandez & Kubota, 2015). که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر تأثیر نور ترکیبی ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز بر باز شدن روزنه‌ها مطابقت دارد. در خیار، نرخ فتوسنتز نیز در ترکیب نوری با نسبت بالاتر نور قرمز به آبی و یا نسبت بالاتر نور آبی به قرمز در مقایسه با نسبت‌های برابر نور قرمز به آبی بالاتر بود (Hernandez & Kubota, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در گوجه‌فرنگی روند متفاوتی مشاهده شد. در این گیاه، ترکیبات مختلف نوری تأثیر یکسانی بر هر سه شاخص هدایت روزنه‌ای، نرخ تعرق و نرخ فتوسنتز داشتند (Hernandez et al., 2016). اما در پژوهشی دیگر در گوجه‌فرنگی، میزان نرخ فتوسنتز و کربوهیدرات در ترکیب نوری با نسبت ۳ به ۱ از نور قرمز به آبی بالاتر بود که با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت (Li et al., 2016). تحقیقات نشان داده است که تیمار گیاهان با نور تک طول موج آبی با افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش تعرق و کاهش فتوسنتز خالص همراه است (Aliniaieifard & Seifi Kalhor, 2017). در گیاهان تیمار شده با



شکل ۴- اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × حجم مختلف سلول سینی نشاء بر محتوای فنل کل و کربوهیدرات نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Figure 4- The interaction effect of different light spectra × cell volume of seedling tray on total soluble carbohydrates content and total phenolic content of the red onion cv. Azar Shahr transplant (DMRT, $p < 0.01$)

S1 و S2: به ترتیب نشان‌دهنده حجم‌های ۱۸ و ۲۸ میلی‌لیتر برای هر سلول سینی نشاء می‌باشد.

S1 and S2: show 18 cc and 28 cc cell volume respectively.

کمترین میزان کربوهیدرات در تیمار ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز مشاهده شد (شکل ۴).

محققان نشان داده‌اند که کیفیت نور از طریق تنظیم متابولیسم کربوهیدرات در فرآیندهای مختلف رشدی و فیزیولوژیکی نقش مهمی دارند. مطالعات قبلی نشان داده است که نور آبی با افزایش سنتز پیرووات کیناز، سنتز پروتئین را افزایش می‌دهد، درحالی‌که نور قرمز می‌تواند تجمع محصولات فتوسنتزی و نشاسته را افزایش دهد (Heo et al., 2006; Wu et al., 2007). استفاده از نورهای ترکیبی قرمز و آبی به‌طور مؤثری عملکرد فتوسنتز را افزایش داده و منجر به افزایش محتوای کربوهیدرات می‌شود. اگرچه میزان نسبت نور قرمز به آبی متناسب با گونه گیاهی متفاوت است، اما اغلب تحقیقات نشان داده است که بالاترین کارایی در نسبت بالاتر نور قرمز به آبی به دست می‌آید و افزایش نور آبی می‌تواند نتیجه عکس داشته و منجر به کاهش وزن نیز گردد (Verma et al., 2018). در گوجه‌فرنگی تحقیقات نشان داده است که افزایش فعالیت آنزیم‌های ساکارز سینتاز و ساکارز فسفات سینتاز ناشی از نور ترکیبی با نسبت بالای نور قرمز منجر به تجمع گلوکز و فروکتوز در گیاه می‌گردد (Li et al., 2017). پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با تأثیر نور ترکیبی بر محتوای کربوهیدرات انجام شده است که با نتایج پژوهش حاضر در پیاز هم‌خوانی دارد. در مریم گلی، بالاترین محتوای کربوهیدرات در ترکیب نوری ۵۰ درصد آبی : ۵۰ درصد قرمز و ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی مشاهده شد (Moradi et al., 2023). در نشاء گوجه‌فرنگی، بالاترین میزان کربوهیدرات در نسبت نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و سپس در ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی مشاهده شد (Li et al., 2017). در شاهی نیز نسبت بالای نور قرمز به نور آبی نیز منجر به افزایش محتوای کربوهیدرات شد (Ajdanian et al., 2020). افزایش محتوای کربوهیدرات در نسبت‌های بالای نور قرمز در گیاهانی نظیر کلم، سویا (*Glycine max*) و تربچه نیز گزارش شده است (Wang et al., 2009; Lin et al., 2013). استفاده از نور ترکیبی با نسبت بالای نور قرمز در گیاهان خانواده آبیاسه نظیر شوید (*Anethum graveolens*) و جعفری (*Petroselinum crispum*) نیز میزان ساکارز را افزایش داد (Bliznikas et al., 2012).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، حجم سلول سینی نشاء همراه با تیمار نور ترکیبی بر ویژگی‌های رشدی، فتوسنتزی و کیفیت نشاء پیاز مؤثر بود. نتایج نشان داد که استفاده از حجم کوچک‌تر سلول سینی نشاء امکان دسترسی ریشه به اکسیژن، آب و

اما در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی، تفاوتی در محتوای فنل کل در دو حجم مختلف سلول مشاهده نشد (شکل ۴). بالاترین میزان فنل در سلول ۱۸ سی‌سی در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و کمترین میزان فنل در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی مشاهده شد (شکل ۴).

به نظر می‌رسد که با افزایش حجم سلول سینی نشاء، امکان رشد ریشه به‌دلیل دسترسی به اکسیژن، آب و مواد غذایی افزایش یافته و به‌طور مؤثری ظرفیت فتوسنتزی را افزایش می‌دهد (Shopova & Cholakov, 2014). از سوی دیگر، با افزایش حجم سلول سینی نشاء، تراکم گیاهان در هر سینی کاهش یافته و میزان دسترسی هر گیاه به نور افزایش می‌یابد. همان‌طور که اشاره شد، افزایش ظرفیت فتوسنتزی امکان تولید پیش‌ماده اولیه مواد فنلی را نیز افزایش می‌دهد (Connor et al., 2005). از این‌رو با کاهش حجم سلول سینی نشاء، حجم ریشه کاهش یافته و امکان دستیابی به نور کافی کاهش می‌یابد. در این شرایط، استفاده از یک ترکیب نوری مناسب می‌تواند بر بهبود کیفیت نشاء مؤثر باشد.

طیف‌های مختلف نور می‌تواند با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های دخیل در سنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی میزان این مواد را در گیاهان افزایش دهند. افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تولید ترکیبات فنلی تحت نور آبی و قرمز نیز در گیاه *Salvia miltiorrhiza* گزارش شده است (Zhang et al., 2020). اگرچه استفاده از نور آبی به‌تنهایی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاز و تولید ترکیبات فنلی شود، اما تحقیقات نشان داده است که گیاهان رشدیافته در نورهای ترکیبی با نسبت بالاتر قرمز به آبی به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های اولیه مورد نیاز جهت سنتز ترکیبات فنلی تأثیر بیشتری در تولید این متابولیت دارند (Connor et al., 2005). در پژوهش حاضر نیز بالاترین میزان ترکیبات فنل در نور ترکیبی ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد که با یافته‌های سایر محققان مبنی بر افزایش ترکیبات فنلی در ترکیب نوری ۷۰ قرمز : ۳۰ آبی در مریم گلی مطابقت داشت (Moradi et al., 2023). استفاده از نورهای ترکیبی قرمز و آبی در ریحان و تعدادی از گیاهان زینتی نیز منجر به افزایش میزان ترکیبات فنلی می‌گردد که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Jakubczyk et al., 2024; Ouzounis et al., 2014).

در تمامی طیف‌های نوری با کاهش حجم سلول سینی نشاء محتوای کربوهیدرات کاهش یافت. در سلول ۱۸ سی‌سی بالاترین میزان کربوهیدرات در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد (بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) و

II، افزایش نرخ فتوسنتز، محتوای فنل و کربوهیدرات و در نهایت بهبود رشد در نشاء پیاز شد. به‌طوری‌که در یک سلول ۱۸ سی‌سی با ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی، یک نشاء مناسب به طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۲/۱۳ میلی‌متر حاصل شد. اما در همین ترکیب نوری در سلول ۲۸ سی‌سی، کیفیت نشاء به‌ویژه از نظر قطر ساقه مجازی پایین‌تر بود. در مجموع، نتایج نشان داد که چنانچه به دلایل اقتصادی و با هدف بهینه‌سازی استفاده از فضا از سینی‌هایی با حجم سلول کمتر (تراکم بالاتر کشت) استفاده کنیم، می‌توانیم با ترکیب نوری ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی کیفیت نشاء را افزایش دهیم.

مواد غذایی را کاهش داده و منجر به کاهش رشد ریشه و برخی از شاخص‌های کیفی نشاء می‌شود. از سوی دیگر، با کاهش حجم سلول، تعداد گیاهان در هر سینی نیز افزایش می‌یابد. این افزایش تراکم امکان دسترسی گیاهچه به ترکیب نوری مناسب را کاهش می‌دهد. باین‌حال استفاده از یک ترکیب نوری مناسب می‌تواند شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی را بهبود ببخشد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در حجم سلول ۱۸ سی‌سی استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در طی دوره پرورش نشاء در مقایسه با ترکیب ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز و ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، بهبود کارایی فتوسنتز

References

- Ahmadi, Gh. (2020). Effect of supplemental LED light on growth characteristics and quality of pepper (*Capsicum annum* L.) seedling. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture. Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Persian).
- Ajdarian, L., Babaei, M., & Aroiee, H. (2020). Investigation of photosynthetic effects, carbohydrate and starch content in cress (*Lepidium sativum*) under the influence of blue and red spectrum. *Heliyon*, 6(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05628>
- Agarwal, A., & Gupta, S. D. (2018). Impact of light-emitting diodes (LEDs) on the growth and physiological status of spinach (*Spinacia oleracea* L.) seedlings. *New Biotechnology*, 44, S104. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.05.988>
- Aliniaiefard, S., & Seifi Kalhor, M. (2017). Effects of blue light on photosynthesis of *Tradescantia virginiana* plants grown in different VPDs. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(2), 420-428. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1396.30.2.16.7>
- Banerjee, R., & Batschauer, A. (2005). Plant blue-light receptors. *Planta*, 220(3), 498-502. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1418-z>
- Bliznikas, Z., Arturas, G., Samuoliene, G., Viršilė, A., Brazaitytė, A. J. J., & Duchovskis, P. A. N. (2012). Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of green vegetables. *Acta Horticulture*, 939, 85-91. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.939.10>
- Borowski, E., Michalek, S., Rubinowska, K., Hawrylak-Nowak, B., & Grudzinski, W. (2015). The effects of light quality on photosynthetic parameters and yield of lettuce plants. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 14(5). <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-d6f9a902-eb2e-4042-ba68-a3124f691dca>
- Brewster, J. L. (2008). Onions and Other Vegetable Allium. CAB International. U K. 236 p. <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/book/10.1079/9781845933999.0000#>.
- Chen, D., Zhang, J., Zhang, Z., Wan, X., & Hu, J. (2022). Analyzing the effect of light on lettuce Fv/Fm and growth by machine learning. *Scientia Horticulturae*, 306, 111444. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111444>
- Connor, A. M., Finn, C. E., & Alspach, P. A. (2005). Genotypic and environmental variation in antioxidant activity and total phenolic content among blackberry and hybrid berry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(4), 527-533. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/1718/pdf/2005/connorjash2005tpc.pdf>
- Doheny-Adams, T., Hunt, L., Franks, P. J., Beerling, D. J., & Gray, J. E. (2012). Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367, 547-555. <https://doi.org/10.1098%2Frstb.2011.0272>
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>
- FAO. (2023). <http://www.faostat.fao.org/>. Access date 3 June 2025.
- Gao, S., Liu, X., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. (2021). Comparison of the effects of LED light quality combination on growth and nutrient accumulation in green onion (*Allium fistulosum* L.). *Protoplasma*, 258, 753-763. <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01593-y>

15. Guo, Y., Zhong, Y., Mo, L., Zhang, W., Chen, Y., Wang, Y. C., & Meng, X. (2023). Different combinations of red and blue LED light affect the growth, physiology metabolism and photosynthesis of in vitro-cultured *Dendrobium nobile* 'Zixia'. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 64(3), 393-407. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00491-x>
16. Heo, J. W., Lee, C. W., & Paek, K. Y. (2006). Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. *Journal of Plant Biology*, 49, 286-290. <https://doi.org/10.1007/BF03031157>
17. Hernandez, R., & Kubota, C. (2015). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, 121(1), 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>
18. Hernandez, R., Eguchi, T., Devenci, M., & Kubota, C. (2016). Tomato seedling physiological responses under different percentages of blue and red photon flux ratios using LEDs and cool white fluorescent lamps. *Journal of Scientia Horticulturae*, 213, 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.005>
19. 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(11), 3107-3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
20. Iqbal, N., Ashraf, M., & Ashraf, M. Y. (2009). Influence of exogenous glycine betaine on gas exchange and biomass production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water limited conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 420-426. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00381.x>
21. Irigoyen, J., Einerich, D., & Sánchez- Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
22. Izadkhah M., Tajbakhsh M., & Amernia, R. (2011). Effects of different size and age of transplants on marketable and biological yield, harvest index and some qualitative characters of long – day and intermediate- day onion (*Allium cepa* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 24(2), 203-215. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i2.7999>
23. Jakubczyk, K., Szymczykowski, K., Melkis, K., Maciejewska-Markiewicz, D., Nowak, A., Muzykiewicz-Szymańska, A., & Skonieczna-Żydecka, K. (2024). The role of light in enhancing the nutritional and antioxidant qualities of basil, mint and lemon balm. *Foods*, 13(23), 3954. <https://doi.org/10.3390/foods13233954>
24. Jiao, Y., Lau, O. S., & Deng, X. W. (2007). Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nature Reviews: Genetics*, 8(3), 217-230. <https://doi.org/10.1038/nrg2049>
25. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, A. S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45, 1809-1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
26. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse grown tomatoes, but only to an optimum. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>
27. Kang, C. H., Yoon, E. K., Muthusamy, M., Kim, J. A., Jeong, M. J., & Lee, S. I. (2020). Blue LED light irradiation enhances L-ascorbic acid content while reducing reactive oxygen species accumulation in Chinese cabbage seedlings. *Scientia Horticulturae*, 261, 108924. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108924>
28. Lee, Y. I., Fang, W., & Chen, C. C. (2009, November). Effect of six different LED light qualities on the seedling growth of Paphiopedilum orchid in vitro. In VI International Symposium on Light in Horticulture 907. pp. 389-391. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.65>
29. Leskovar, D. I., & Vavrina, C. S. (1999). Onion growth and yield are influenced by transplant tray cell size and age. *Scientia Horticulturae*, 80(3-4), 133-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00256-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00256-8)
30. Li, G., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2016). The response of the root apex in plant adaptation to iron heterogeneity in soil. *Frontiers in Plant Science*, 344, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00344>
31. Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, 225, 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.053>
32. 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, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>
33. Liu F., & Woong, C. (1996). Effect of plug size and seedling age on growth and development of onion (*Allium cepa* L.). *Bulletin of National Pingtung Polytechnic - Institute*, 5(2), 1-6. <https://worldveg.tind.io/record/24836>

34. Liu, X., Shi, R., Gao, M., He, R., Li, Y., & Liu, H. (2022). Effects of LED light quality on the growth of pepper (*Capsicum* spp.) seedlings and the development after transplanting. *Agronomy*, 12(10), 2269. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102269>
35. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49, 664-670. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn041>
36. Matsuda, R., Yamano, T., Murakami, K., & Fujiwara, K. (2016). Effects of spectral distribution and photosynthetic photon flux density for overnight LED light irradiation on tomato seedling growth and leaf injury. *Scientia Horticulturae*, 198, 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.045>
37. Miao, Y. X., Wang, X. Z., Gao, L. H., Chen, Q. Y., & Mei, Q. U. (2016). Blue light is more essential than red light for maintaining the activities of photosystem II and I and photosynthetic electron transport capacity in cucumber leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(1), 87-100. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61202-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61202-3)
38. Miralles, J., Martínez-Sánchez, J. J., Franco, J. A., & Bañón, S. (2011). Rhamnus alaternus growth under four simulated shade environments: Morphological, anatomical and physiological responses. *Scientia Horticulturae*, 127(4), 562-570. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.005>
39. Moradi, M., Aruei, M., Abedy, B., Aliniaiefard, S., Ghasemi-Bezdi, K. (2022). Induction of morph-physiological and biochemical alternation of *Salvia Officinalis* L. by manipulating light spectrum. *Journal of Plant Production Research*, 30(3), 101-121. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/JOPP.2022.20733.2977>.
40. Moradi, M., Abedi, B., Arouiee, H., Aliniaiefard, S., & Ghasemi Bezdi, K. (2023). Effect of different light spectral on photosynthetic performance, growth indicators and essential oil content of *Salvia officinalis* L. *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 821-841. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78806.1211>
41. Mott, K. A. (2009). Opinion: Stomatal responses to light and CO₂ depend on the mesophyll. *Plant Cell Environment*, 32, 1479-1486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02022.x>
42. Oh, J. H., Park, Y. G., Park, J. E., & Jeong, B. R. (2014). Effect of cell size on growth and development of plug seedlings of three indigenous medicinal plants. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(2), 71-76. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2014.23.2.71>
43. Ouzounis, T., Fretté, X., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. (2014). Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology*, 171, 1491-1499. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.012>
44. Pardo, G. P., Aguilar, C. H., Martinez, F. R., Pacheco, A. D., Martinez, L. C., & Ortiz, E. M. (2013). High intensity LED light in lettuce seed physiology (*Lactuca sativa* L.). *Acta Agrophysica*, 665-677. <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-0f5bb9a7-74eb-4ee6-86c9-6e7ba2787604>
45. Pardo, G. P., Aguilar, C. H., Martinez, F. R., Pacheco, C. D., Gonzalez, M. M., & Canseco, M. M. (2014). Effect of light-emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. *Annual Research and Review in Biology*, 4, 2983-2994. <https://www.researchgate.net/profile/Arturo-Dominguez-Pacheco/publication/282729687>
46. Poorter, H., Böhler, J., van Dusschoten, D., Climent, J., & Postma, J. A. (2012). Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39, 839-850. <https://doi.org/10.1071/FP12049>
47. Porra, R. J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73(1-3), 149-156. <https://doi.org/10.1023/A:1020470224740>
48. Salari, A., Jafari, L., & Yavari, A. (2022). The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Plant Production Research*, 225-245. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19524.2879>
49. Savvides, A., Fanourakis, D., & Van Ieperen, W. (2011). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135-1143. <https://doi.org/10.1093/jxb/err348>
50. Shamsi Roodbarsar, P., Mousavi Seyedi, S. R., Kalantari, D., & Ghasemi, K. (2023). Evaluation of the effects of artificial light on some plant characteristics in the design and construction of a small-scale plant factory. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(2), 213-226. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.73522.1070>
51. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
52. Simlat, M., S'lezak, P., Mo's, M., Warchol, M., Skrzypek, E., & Ptaka, A. (2016). The effect of light quality on the seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Scientia Horticulturae*, 211, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.009>

53. Stützel, H., & Chen, T. W. (2020). Models of vegetable growth and development. In *The Physiology of Vegetable Crops*. pp. 94-116. Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393777.0094>
54. Stutte, G. W., Edney, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with lightemitting diodes. *Horticultural Sciences*, 44, 79-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
55. Taulavuori, K., Pyysalo, A., Taulavuori, E., & Julkunen-Tiitto, R., (2018). Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species. *Environmental and Experimental Botany*, 150, 183-187. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.016>
56. Singh, R. S. (1993). Studies on the effect of different transplanting dates on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Current Agriculture*, 17(1-2), 41-45. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19950308647/>
57. Shopova, N., & Cholakov, D. (2014). Effect of the age and planting area of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings for late field production on the physiological behavior of plants. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 173-177. <https://www.researchgate.net/profile/Nikolina-Shopova/publication/274387675>
58. Vahdati, K., & Leslie, C. (Eds.). (2013). Abiotic stress: Plant responses and applications in agriculture. BoD-Books on Demand. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=euacDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq>
59. Verma, S. K., Gantait, S., Jeong, B. R., & Hwang, S. J. (2018). Enhanced growth and cardenolides production in *Digitalis purpurea* under the influence of different LED exposures in the plant factory. *Scientific Reports*, 8, 18009. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36113-9>
60. Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96(1), 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>
61. Wu, M. C., Hou, C. Y., Jiang, C. M., Wang, Y. T., Wang, C. Y., Chen, H. H., & Chang, H. M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101, 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>
62. XiaoYing, L., ShiRong, G., ZhiGang, X., XueLei, J., & Tezuka, T. (2011). Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. *HortScience*, 46(2), 217-221. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.217>
63. Yilmaz, E., Sonmez, I., & Demir, H. (2014). Effects of zeolite on seedling quality and nutrient contents of cucumber plant (*Cucumis sativus* L. CV. Mostar F1) grown in different mixtures of growing media. *Communication in Soil Science and Plant. Analysis*. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.950425>
64. Zhang, Y., Wang, X. R., & Chen, J. (2019). Effects of light quality and photoperiod of light emitting LED on growth and biomass accumulation of shallot. *Journal of Horticulture and Forestry*, 11(5), 78-83. <https://doi.org/10.5897/JHF2019.0586>
65. Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S., & Wang, Y. (2020). The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, 158, 112959. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112959>
66. Zakaria, N. I., Ismail, M. R., Awang, Y., Megat Wahab, P. E., & Berahim, Z. (2020). Effect of root restriction on the growth, photosynthesis rate, and source and sink relationship of chilli (*Capsicum annum* L.) grown in soilless culture. *BioMed Research International*, 2020, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2020/2706937>
67. Zlatev, Z. S., & Yordanov, I. T. (2004). Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30, 3-18.