

Research Article

Vol. 40, No. 2, Summer 2026, p. 263-280

Morphophysiological and Phytochemical Responses of Basil (*Ocimum basilicum*) to Light Spectra and Foliar Ascorbic Acid Application

S. Tafakhori¹, V. Akbarpour^{1*}, M. K. Souri¹

1- Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(* - Corresponding author's Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir, v_akbarpour60@yahoo.com)

Received: 20 May 2025

Revised: 25 July 2025

Accepted: 03 August 2025

Available Online: 16 August 2025

How to cite this article:

Tafakhori, S., Akbarpour, V., & Souri, M. K. (2026). Morphophysiological and Phytochemical Responses of Basil (*Ocimum basilicum*) to Light Spectra and Foliar Ascorbic Acid Application. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 263-280. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93634.1431>

Introduction

Basil (*Ocimum basilicum* L.), a warm-season herbaceous plant from the Lamiaceae family, is a valuable medicinal and culinary herb widely used in pharmaceutical, cosmetic, and food industries. Its aromatic leaves and mucilaginous seeds, beneficial for soothing sore throats, make it a significant crop in West Asia and the Middle East. As global populations grow, greenhouse and urban farming, such as vertical farming systems, have gained prominence to ensure year-round production (Massa, 2006). However, basil's growth and productivity are often limited during low-light conditions, particularly in colder seasons. To address this, artificial lighting, particularly light-emitting diodes (LEDs), has emerged as a powerful tool due to their ability to deliver specific wavelengths, high photoelectric conversion efficiency, and optimal photosynthetically active radiation (PAR) efficiency (80–100%) (Darko et al., 2014). LEDs allow precise control over light quality and intensity, enhancing plant biomass and secondary metabolite production. Additionally, ascorbic acid, a potent antioxidant, plays a critical role in detoxifying reactive oxygen species (ROS) and improving plant growth under stress conditions (Shigeoka et al., 2002). Previous studies have shown that specific light spectra, particularly red and blue combinations, enhance terpenoid and phenolic content in basil (Rihan et al., 2020; Rafiei et al., 2023). Similarly, foliar application of ascorbic acid has been reported to improve growth and mitigate environmental stresses in various plants (Yadollahi et al., 2016; Esmailpour et al., 2023). This study investigates the combined effects of LED light spectra and ascorbic acid foliar application on the morphophysiological and phytochemical traits of basil under controlled conditions, aiming to optimize its production in low-light environments.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the summer of 2024 at the Horticulture Laboratory of the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. A split-plot design based on a randomized complete block with three replications was employed. The main factor consisted of four LED light treatments: three blue-to-red ratios (75:25 [BBBR], 50:50 [BBRR], 25:75 [BRRR]) and full-spectrum white light (FFFF). Red light was set at 660 nm, and blue light at 440 nm, with a photoperiod of 16 hours light and 8 hours darkness daily. The sub-factor included two levels of ascorbic acid foliar application (0.5 g.L⁻¹ weekly and no application). Basil seeds were sown in plastic pots filled with a 1:1 mixture of perlite and cocopeat and fertilized using Hoagland's solution via fertigation. Morphophysiological traits, including stem diameter, number of lateral branches, leaf count, fresh and dry shoot weight, root fresh and dry weight, and root volume, were measured. Phytochemical traits, such as antioxidant activity (DPPH method, measured at 517 nm), total phenolic content (Folin-Ciocalteu method, measured at 765 nm), and flavonoid content (aluminum chloride method, measured at 415 nm), were assessed using a spectrophotometer (UV-1800PC, Shimadzu, Japan). Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), and means were compared using appropriate statistical tests.



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.2025.93634.1431>

Results and Discussion

The results demonstrated that the red-blue (75:25) light treatment significantly enhanced several morphophysiological traits compared to full-spectrum light, increasing stem diameter by 8%, lateral branches by 26%, leaf count by 15%, fresh leaf weight by 39%, and dry shoot weight by 25%. Foliar application of ascorbic acid further amplified these traits, with increases of 23%, 21%, 20%, 44%, and 31%, respectively. The combination of red-blue (75:25) light and ascorbic acid resulted in the highest stem height, root dry weight, and root volume, indicating a synergistic effect. These findings align with previous research showing that red light promotes stem elongation and biomass accumulation through gibberellin synthesis, while blue light regulates cellular expansion via cryptochromes (Hosseini et al., 2019; Kaiser et al., 2019). Ascorbic acid likely enhanced growth by acting as a coenzyme in photosynthesis and hormone biosynthesis, increasing carbohydrate production and nutrient uptake (Barkosky and Einhellig, 2003). For phytochemical traits, the red-blue (50:50) light without ascorbic acid yielded the highest antioxidant activity, suggesting that balanced light spectra stimulate defense mechanisms. The red-blue (75:25) light increased phenolic content by 12% and flavonoid content by 28% compared to full-spectrum light, consistent with studies showing that blue light enhances phenylpropanoid biosynthesis via phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activation (Rafiei et al., 2023). However, ascorbic acid did not significantly increase flavonoid content, possibly due to metabolic saturation or suppression of defense responses at high antioxidant levels (Azoz et al., 2016). These results highlight the importance of tailored light spectra and nutritional interventions for optimizing basil's growth and secondary metabolite production.

Conclusion

This study confirms that LED light spectra, particularly the red-blue (75:25) combination, significantly improve basil's morphophysiological traits, including stem diameter, leaf count, and biomass, under low-light conditions. Foliar application of ascorbic acid enhances these effects, promoting root development and overall plant growth. While specific light spectra alone can boost antioxidant activity and phenolic content, ascorbic acid's influence is more pronounced on growth than on flavonoid accumulation. These findings provide a practical framework for optimizing basil production in controlled environments, such as greenhouses and vertical farms, by integrating light quality management with ascorbic acid supplementation. This approach offers a cost-effective strategy to enhance both the quantity and quality of basil, supporting sustainable agricultural practices.

Keyword: Antioxidant, Basil, Flavonoid, LED Light Spectra, Medicinal plants

پاسخ مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به طیف‌های نوری

مختلف و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک

سروش تفاخری^۱ ID - وحید اکبرپور^{۱*} ID - محمد کاظم سوری^۱ ID

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۲

چکیده

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) از جمله گیاهان سبزی-دارویی ارزشمند و متعلق به فصل گرم است که در شرایط نور پایین فصل سرد، با افت رشد و عملکرد مواجه می‌شود. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور LED و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک روی برخی از صفات مورفولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان، در سال ۱۴۰۳ به صورت گلدانی و در قالب طرح کرت‌های خرد شده برپایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل چهار ترکیب طیفی نور (آبی-قرمز به نسبت‌های ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و نور کامل) و عامل فرعی، محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در دو سطح (کاربرد غلظت ۰/۵ در هزار و عدم کاربرد) بود. نتایج نشان داد که تیمار نور قرمز-آبی (۷۵:۲۵) موجب بهبود معنی‌دار صفاتی چون قطر ساقه (۸ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۲۶ درصد)، تعداد برگ (۱۵ درصد)، وزن تر برگ (۳۹ درصد) و وزن خشک بوته (۲۵ درصد) در مقایسه با شاهد شد. محلول‌پاشی اسید آسکوربیک نیز اثر افزایشی قابل توجهی در این صفات داشت، به طوری که قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، وزن تر برگ، و وزن خشک بوته به ترتیب ۲۳ درصد، ۲۱ درصد، ۲۰ درصد، ۴۴ درصد و ۳۱ درصد افزایش یافتند. همچنین بیشترین حجم و وزن خشک ریشه در تیمار تلفیقی نور آبی-قرمز (۷۵:۲۵) و اسید آسکوربیک مشاهده شد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار نور قرمز-آبی (۵۰:۵۰) بدون محلول‌پاشی و بیشترین فلاونوئید نیز در تیمار قرمز-آبی (۷۵:۲۵) حاصل گردید. نتایج نشان داد که ترکیب طیف‌های نوری منتخب همراه با کاربرد اسید آسکوربیک، راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد و کیفیت ریحان در شرایط نور محدود می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، ریحان، فلاونوئید، طیف‌های نور ال ای دی، گیاه دارویی

مقدمه

به دلیل رشد روزافزون جمعیت، بشر به سمت کشاورزی گلخانه‌ای و شهری مثل کشت‌های عمودی روی آورده است تا بتواند محصولات کشاورزی را در تمام طول سال تولید کند (Massa, 2006).

رویکرد جهانی به بهره‌گیری از گیاهان دارویی و ترکیبات طبیعی در صنایع داروسازی، آرایشی-بهداشتی و غذایی، و توجه فزاینده جامعه، سیاست‌گذاران و صنایع داخلی به این منابع، لزوم اجرای پژوهش‌های بنیادی و کاربردی وسیع در این زمینه را آشکار می‌سازد.

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران است که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌تواند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشد (Safidkon, 2008). به دلیل مشکلات جدی که استفاده بیش از حد مواد شیمیایی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به منظور افزایش عملکرد محصولات به وجود آورده‌اند، امروزه پژوهشگران به دنبال راهکارهای جدید برای تولید غذایی بیشتر هستند (Darabi et al., 2021). ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به عنوان محصول فصل گرم و یکی از گیاهان سبزی-دارویی ارزشمند محسوب می‌شود. این گیاه به صورت گیاه علفی، یک‌ساله، معطر دارای ساقه منشعب و متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است. همچنین ریحان یکی از مهم‌ترین سبزی‌های تازه‌خوری به خصوص در کشورهای غرب آسیا و خاورمیانه می‌باشد که علاوه بر برگ، بذرها دارای موسیلاژ آن نیز برای گلودرد

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir,

v_akbarpour60@yahoo.com

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93634.1431>

کاربرد دارد (Omidbeigi, 2011). تحقیقات انجام گرفته روی ارقام محلی ریحان در ایران نشان داد که این گیاه دارای ترکیبات فنلی بسیار متنوعی می باشد که در بین آن ها رزماریک اسید بیشترین فراوانی را دارد (Javanmardi et al., 2002). ترکیبات فنلی این گیاه از خاصیت آنتی اکسیدانی بالایی برخوردار است. به طور کلی، ریحان را بیشتر به خاطر اسانس آن می شناسند. مطالعات اخیر نشان دهنده نقش مثبت لامپ های LED در منبع نوری گیاهان بر افزایش رشد و مقاومت گیاه است. این اثرات می تواند به دلیل طول موج های خاص نورهای LED و راندمان بالای تبدیل فتوالکتریک آن ها باشد. همچنین LED قادر به شبیه سازی تقلید و شدت طول موج نور خورشید در طول روز هستند، و در میان سیستم های نورپردازی مصنوعی، حداکثر بازده PAR (تابش های فعال فتوسنتزی) $(1-80\%)$ درصد) را نشان می دهند. بنابراین از طریق کنترل ترکیب این طیف ها و تعدیل شدت نور، مقدار و کیفیت نور ضروری برای مراحل رشد مختلف گیاه عرضه می گردد. از این رو زیست توده و محصولات متابولیسم گیاهان کاشته شده می تواند اصلاح گردد (Darko et al., 2014). اندازه کوچک، دوام، طول عمر طولانی، دمای تابشی سرد و نیز فراهم آوردن امکان طول موج های خاص برای گیاه مورد نظر، LED را به منظور پرورش گیاهان نسبت به بسیاری از منابع نوری دیگر برتری داده است (Abraham et al., 2004). گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه های اکسیژن فعال، سازوکارهای متفاوتی دارند. از جمله این سازوکارها می توان به سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی اشاره کرد. این سیستم شامل سیستم آنزیمی و غیر آنزیمی است. در این میان، اسید آسکوربیک از جمله مهم ترین آنتی اکسیدان های گیاهی است (Shigeoka et al., 2002). گیاهان در پاسخ به افزایش تولید رادیکال های آزاد سعی می کنند تا ظرفیت و فعالیت سیستم های دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی را افزایش دهند (Gressel & Galun, 1994). اسید آسکوربیک (ASA) یک مولکول کوچک قابل حل در آب است که دارای خاصیت آنتی اکسیدانی بالایی بوده و برای سمیت زدایی و خنثی کردن گونه های فعال اکسیژن به ویژه پراکسید هیدروژن نقش دارد. برخی از پژوهشگران اظهار داشتند که نسبت های نورهای آبی و قرمز (۱ : ۲) همراه با طول موج آبی ۴۳۵ نانومتر در افزایش ترپنوئیدهای ریحان مؤثر واقع شد (Rihan et al., 2020). مزاری و همکاران (Mazari et al., 2022) دریافتند که اثر نور مادون قرمز بر گیاه ریحان باعث افزایش ارتفاع ساقه و در نهایت منجر به افزایش وزن تر و خشک این گیاه شد. در پژوهشی، نورهای LED قرمز + آبی در ژنوتیپ سبز و LED قرمز در ژنوتیپ بنفش با تقویت سازوکارهای حمایتی مانند کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء،

افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، ترکیبات فنلی و رنگزهای فتوسنتزی، در بهبود وضعیت گیاه ریحان در هر دو شرایط شاهد نوری و شوری نقش بسزایی داشته اند (Rafiei et al., 2023). همچنین در پژوهشی روی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) تحت تنش خشکی با طیف های نوری قرمز و آبی به نسبت های (۱ : ۲) ترکیبات فنلی افزایش پیدا کرد (Ahmadi et al., 2019). در دو گونه گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris*)، ترپنوئیدها در نور قرمز مونوکرومیک افزایش پیدا کردند. درحالی که فقط در گونه *T. migircus* در طیف های نوری آبی و قرمز به نسبت های (۱ : ۲) افزایش ترپنوئیدها مشاهده شد (Tohidi et al., 2020). در مطالعه ای، پیش تیمار دو ژنوتیپ گیاه بادرنجبویه با طول موج های مختلف نور LED، تحمل این گیاه را به تنش خشکی افزایش داده است (Ahmadi et al., 2019). حیدری زاد و همکاران (Heidarizad et al., 2014) با بررسی سه کلون نعنای فلفلی (*Mentha × piperita*) در طیف های نوری مختلف LED دریافتند که بالاترین وزن گیاه در طیف های نوری قرمز و آبی، بیشترین اسانس در طیف نوری قرمز و بیشترین فعالیت آنزیم های کاتالاز، گلوکاتایون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز در طیف نوری آبی به دست آمد. بررسی ها نشان داد که بین سه گونه نعنای معمولی، نعنای فلفلی و پونه در محیط های نوری مختلف همراه با محیط گلخانه، بهترین ترکیب نوری برای رشد و پرورش این سه گونه، نور قرمز و ترکیب قرمز و آبی برای رشد طبقاتی است (Khezayi et al., 2021). نتایج پژوهش های دیگر نشان داد که کاربرد همزمان یا جداگانه اسید سالسیلیک و اسید آسکوربیک تحت شرایط تنش سرب در گیاه ریحان، باعث افزایش قابل توجه محتوای کلروفیل و کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شد (Gheysari et al., 2015). یدالهی و همکاران (Yadollahi et al., 2016) در آزمایشی با بررسی اثر اسید آسکوربیک بر کاهش سمیت آرسنیک در گیاه ریحان گزارش نمودند که اثر اسید آسکوربیک بر درصد اسانس، شاخص کلروفیل، کاروتنوئید، کربوهیدرات، کاتالاز و پراکسیداز معنی دار بود و در نتیجه می توان محلول پاشی اسید آسکوربیک را برای بهبود رشد و کاهش تجمع آرسنیک استفاده کرد. براساس نتایج به دست آمده، مصرف اسید آسکوربیک و سیلیسیم به عنوان تیمار خارجی می تواند با تأثیر بر مسیرهای ویژه به خصوص آنزیم های کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و همچنین آسکوربات پراکسیداز افزایش یابد (Asadi et al., 2019). همچنین محلول پاشی اسید آسکوربیک بر گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی باعث بهبود رشد این گیاه شد (Esmailpour et al., 2023). باتوجه به اینکه ریحان یکی از گیاهان دارویی-سبزی ارزشمند و اقتصادی فصل گرم می باشد و احتمال می رود که در فصل

سی سی محلول رادیکال DPPH ۱۰ میکرومولار مخلوط شد. به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی انکوبه گردید. سپس جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800PC، شیماتزو ژاپن) محاسبه شد (Afshari & Rahim, 2021). (Malek, 2021).

$$\text{Inhibition (\%)} = [(Ac-As)/Ac] \times 100 \quad (۱)$$

فنل کل

جهت سنجش محتوای فنل کل از معرف فولین سیو کالتیو استفاده شد. به این صورت که ابتدا به ۲۰ میکرولیتر از عصاره برگ ریحان، ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیو کالتیو افزوده شد. سپس ۱/۶ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید و پس از پنج دقیقه استراحت به مخلوط مورد نظر اضافه شد. در ادامه، ۳۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات یک مولار افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه نگهداری شد. در نهایت، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800PC، شیماتزو ژاپن) اندازه گیری شد و میزان فنل کل براساس میزان معادل میلی گرم اسید گالیک در گرم عصاره محاسبه شد (Slinkard & Singleton, 1977).

$$Y = 1/1X + 0.03 \quad (۲)$$

فلاونوئید

اندازه گیری فلاونوئید کل برگ با استفاده از روش آلومینیوم کلرید و پتاسیم استات بر روی ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی انجام شد. و ۱/۵ میلی لیتر متانول، ۰/۱ میلی لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی لیتر پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. نمونه بعد از نیم ساعت تاریکی در طول موج ۴۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800PC، شیماتزو ژاپن) قرائت شد. در نمونه شاهد نیز به جای عصاره، از متانول خالص استفاده شد (Chang et al., 2002). برای رسم منحنی کالیبراسیون از کوئرتستین به عنوان استاندارد استفاده شد.

$$Y = 0.2X - 0.01 \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4، مقایسه میانگین توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Microsot Excel انجام شد.

گرم سال با شرایط نامساعد محیطی نظیر تنش دمای بالا مواجه شود و در فصل سرد سال با کمبود نور مواجه شود. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر طیف‌های نوری و اسید آسکوربیک بر گیاه ریحان بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر طیف‌های نوری و اسید آسکوربیک بر گیاه ریحان، آزمایشی در واحد کشت طبقاتی آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با دمای ۱۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب طی روز و شب و رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد انجام گرفت. طرح آزمایشی مورد استفاده به صورت کرت‌های خرد شده برپایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، طیف‌های مختلف نور LED به عنوان نور مصنوعی، در سه نسبت نور آبی به قرمز شامل 3B:1R-B:R-1B:3R و نور کامل (FFFF) بود. نور قرمز (۶۶۰ نانومتر) و نور آبی (۴۴۰ نانومتر)، ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در هر شبانه‌روز مورد استفاده قرار گرفتند. عامل فرعی شامل کاربرد اسید آسکوربیک در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) بود. اسید آسکوربیک در غلظت ۰/۵ در هزار و به صورت محلول‌پاشی برگ‌ی از مرحله چهار برگی شروع و به صورت هفته‌ای یک‌بار تا مرحله توسعه برگ جوان (مرحله بیبی‌گرین، حدود ۲۰ الی ۴۵ روز بعد از جوانه‌زنی) اعمال شد. پس از تهیه بذر از شرکت پاکان بذر اصفهان، کشت در گلدان‌های پلاستیکی که با مخلوطی از پرلیت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱ پر شده، انجام گردید و تغذیه با محلول هوگلند به صورت کود آبیاری انجام شد.

صفات مورفوفیزیولوژیک

بذرها در تاریخ ۲۵ تیرماه ۱۴۰۳ کشت شدند و پس از یک هفته، تمام گیاهان شروع به جوانه‌زنی کردند. هشتم مرداد ماه اولین محلول‌پاشی با تیمار اسید آسکوربیک انجام شد. سایر محلول‌پاشی‌ها به فاصله یک هفته از محلول‌پاشی قبل انجام گرفت. برداشت و اندازه‌گیری‌ها در تاریخ ۱۱ شهریور ماه ۱۴۰۳ به صورت بیبی‌گرین ریحان بودند. قطر ساقه با استفاده از کولیس، ارتفاع ساقه با خط‌کش، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی بوته با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق و حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج براساس جابه‌جایی آب اندازه‌گیری و ثبت گردید.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه، از روش DPPH استفاده شد. به این صورت که یک سی سی از عصاره با یک

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژیک

نتیجه تجزیه واریانس داده‌های آماری نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مورد استفاده بر صفات ارتفاع ساقه و وزن خشک ریشه در سطح یک درصد و وزن تر ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر طیف‌های نوری مورد مطالعه بر صفات قطر ساقه، تعداد برگ و وزن تر برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شدند، در حالی که اثر طیف‌های

نوری مورد مطالعه بر صفات تعداد شاخه جانبی، ارتفاع ساقه، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمار اسید آسکوربیک در سطح پنج درصد باعث تأثیر معنی‌دار بر ارتفاع ساقه گردید، در حالی که اثر این تیمار بر سایر صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر طیف‌های نوری و اسید اسکوربیک برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 1- ANOVA (mean of squares) for the effect of light spectra and ascorbic acid on some morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع ساقه Stem height	وزن تر بوته Fresh weight of plants	وزن خشک بوته Dry weight of plants	وزن تر ریشه Root fresh weight	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight
بلوک Block	2	0.602	2.041	2.791	31.330	12.980	0.056	0.160	0.030	0.001
طیف‌های نوری Light spectra	3	0.566 *	17.667**	7.833*	20.385**	16.011*	0.678**	1.440**	0.037 ^{ns}	0.008**
خطای اصلی Main error	6	0.358	1.792	5.024	37.073	8.429	0.107	0.286	0.042	0.001
اسید آسکوربیک Ascorbic acid	1	6.827**	24**	48.167**	26.460*	51.802**	0.570**	2.672**	1**	0.001**
طیف‌های نوری × اسید آسکوربیک Light × ascorbic acid	3	0.294 ^{ns}	0.333 ^{ns}	1.167 ^{ns}	38.628**	4.250 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.270*	0.039 ^{ns}	0.004**
خطا Error	8	0.138	0.375	1.542	2.355	2.250	0.016	0.046	0.042	0.0003
ضریب تغییرات C.V (%)		9.11	7.34	8.32	5.46	18.58	15.71	18.56	25.50	16.23

**، * و ^{ns}: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار*، ** and ^{ns}: significant at $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, and non-significant; respectively

قطر ساقه

مقایسه میانگین اثر ساده طیف‌های نوری بر قطر ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه مربوط به طیف نوری قرمز ۷۵ درصد و آبی ۲۵ درصد (3R:1B) بود (جدول ۲). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که در دو وارته سبز و بنفش ریحان، ضخیم‌ترین ساقه‌ها در تیمار نور

قرمز و نازک‌ترین ساقه‌ها در تیمار نور آبی مشاهده شد (Hosseini et al., 2019). در آزمایشی دیگر، سطح مقطع ساقه نعنا فلفلی به‌طور معنی‌داری در محیط نور قرمز بیشتر از بقیه بود (Khezayi et al., 2021). همین‌طور بیشترین میزان قطر ساقه در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) در طیف نور کامل گزارش گردید (Moradi et

بالاترین میزان قطر ساقه تحت محلول‌پاشی اسید آسکوربیک به دست آمد (Boroumand & Safari, 2015). بیشترین میزان قطر ساقه به‌دست‌آمده در شرایط تنش، همراه با کاربرد برون‌زای اسید آسکوربیک در گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) به دست آمد (Farahvash et al., 2015). اسید آسکوربیک باعث تولید قندها در گیاه می‌گردد و در نتیجه باعث افزایش رشد و در نهایت منجر به افزایش قطر ساقه می‌شود (Barkosky & Einhellig, 2003).

کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022) نیز گزارش کردند که بیشترین قطر ساقه در کاهو (*Lactuca sativa*) مربوط به نورهای قرمز و کامل بود. دلیل افزایش قطر ساقه می‌تواند این باشد که نورهای LED باعث افزایش میزان خالص فتوسنتز و در نتیجه باعث رشد و افزایش قطر ساقه می‌گردد (Kuno et al., 2017). مقایسه میانگین اثر ساده اسید آسکوربیک بیانگر این است که مصرف این ترکیب در غلظت نیم در هزار باعث افزایش ۳۰ درصدی قطر ساقه نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). در گیاه همیشه‌بهار،

جدول ۲- اثر ساده تیمار طیف‌های نوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 2- The main effect of light spectra treatments on morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*)

فاکتور اصلی	قطر ساقه	تعداد شاخه	تعداد برگ	وزن تر بوته	وزن خشک بوته
Main factor	Stem diameter (cm)	Number of lateral branches	Number of leaves	Fresh weight of plant (g)	Dry weight of plant (g)
BBRB	13.68 ^{b*}	10.83 ^a	16.33 ^a	8.69 ^{ab}	1.19 ^a
FFFF	4.10 ^{ab}	8.00 ^b	13.83 ^b	5.97 ^b	0.40 ^d
RBRB	4.05 ^{ab}	7.00 ^c	14.16 ^b	7.76 ^{ab}	0.70 ^c
RRBR	4.43 ^a	7.50 ^{ab}	15.33 ^{ab}	9.84 ^a	0.95 ^b

* در هرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند

* Means within each column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$)

تعداد برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمار طیف نوری نشان داد که بیشترین تعداد برگ در نور ۷۵ درصد آبی ۲۵ درصد قرمز (BBRB) تولید شد که دارای افزایش حدود ۱۸ درصدی نسبت به نور کامل بود (جدول ۲). بیشترین میزان تعداد برگ مریم‌گلی در نور قرمز به دست آمد (Moradi et al., 2023). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022)، بیشترین تعداد برگ در هر بوته در کاهو را در تیمار ۸۰ درصد آبی و ۲۰ درصد قرمز مشاهده نمودند. دلیل این امر، سازگاری توزیع مناسب انرژی طیفی آن با جذب کلروفیل است و در نتیجه میزان خالص فتوسنتز افزایش می‌یابد. علاوه‌بر این نسبت طیف‌های LED اهمیت زیادی در تعداد برگ دارد (Kuno et al., 2017). بیشترین تعداد برگ به‌دست‌آمده در گیاه بادرنجبویه مربوط به نورهای قرمز و ترکیب نورهای قرمز و آبی بود (Ahmadi et al., 2019). افزایش رشد گیاهان در معرض نورهای LED نشان‌دهنده اهمیت نور در رشد گیاهان است. زیرا نور نه تنها منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، بلکه همچنین سیگنال کلیدی تنظیم‌کننده رشدنمو است (Ding et al., 2011). بهترین ویژگی نورهای LED، قابلیت تنظیم طیف‌های خاص نوری است و کیفیت نور را از طریق ایجاد آبخار سیگنال بر بیان ژن‌های گیرنده نوری مانند فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها اثر می‌گذارد (Chen et al., 2016). همچنین LEDها سبب جذب مواد مغذی در گیاهان می‌شوند (Kopsell et al., 2017). آزمایش‌ها

تعداد شاخه‌های جانبی

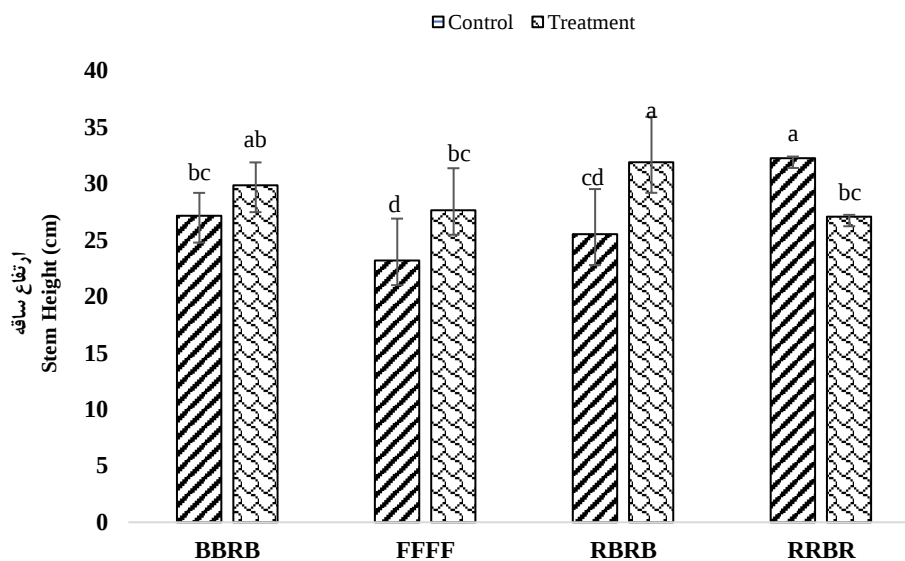
براساس نتایج به‌دست‌آمده، مقایسه میانگین برای تیمار طیف‌های نوری نشان داد که بیشترین اختلاف معنی‌دار در تیمار نوری ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز (BBRB) به دست آمد (جدول ۲). بیشترین تعداد ساقه گیاه پونه در محیط نوری قرمز-آبی حاصل گردید (Khezayi et al., 2021). پژوهشگران بیان کردند که دلیل افزایش تعداد ساقه، ناشی از تغییرات هورمونی مانند جیبرلین (نور قرمز) و اکسین (نور آبی) در گیاه می‌باشد که نتایج را به این سمت سوق داده است (Ouyang et al., 2015). نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین تعداد ساقه در بادرنجبویه در نور قرمز و قرمز + آبی بود (Ahmadi et al., 2019). همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک می‌تواند باعث افزایش حدود ۲۷ درصدی تعداد شاخه‌های جانبی نسبت به شاهد در ریحان گردد (جدول ۳). اسید آسکوربیک یک مولکول کوچک قابل حل در آب بوده که به‌وسیله کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌هایی که در فرآیند فتوسنتز و تنفس شرکت دارند به‌صورت یک کوآنزیم عمل نموده و به‌عنوان یک کوفاکتور تنظیم رشد شناخته شده است. این ترکیب می‌تواند بر بیشتر فرآیندهای بیولوژیکی تأثیرگذار باشد (Dowlatabadi et al., 2009). همچنین با توان فیزیولوژیک زیاد می‌تواند فرآیند ماده‌سازی به‌ویژه ساخت قندها را در جهتی القاء کند که در نهایت رشد تأمین گردد (Barkosky & Einhellig, 2003).

تیمار نور آبی منجر به کاهش رشد رقم‌های سبز و بنفش ریحان گردید (Hosseini et al., 2019). در مطالعه‌ای بیان شد که بیشترین ارتفاع سه نوع ژنوتیپ پرورش‌یافته نونا در نورهای مصنوعی، مربوط به محیط نوری قرمز و سفید بود (Khezayi et al., 2021). محققان دریافتند که نور آبی مانع رشد سلولی می‌شود و می‌تواند بیان ژن‌هایی که باعث کشیدگی ساقه می‌شوند را کنترل کند (Banerjee & Batschauer, 2005; Sabzalain et al., 2014; Shimazaki et al., 2007). طول موج آبی باعث کوتاه شدن میان‌گره‌های گیاه می‌گردد، درحالی‌که دریافت نور مادون قرمز دور توسط رنگیزه‌های نوری منجر به افزایش طول میان‌گره‌ها می‌شود. بنابراین تعادل بین طیف آبی و قرمز برای برخی گیاهان بسیار لازم است (Wheeler et al., 1991). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که نور آبی با تأثیرگذاری بر کریپتوکروم‌های گیرنده نور که مسئول کنترل ارتفاع گیاه هستند باعث کاهش طول میان‌گره‌ها و کاهش طول ساقه گردید (Kaiser et al., 2019; Naznin et al., 2019). نور قرمز، ارتفاع گیاه چای چینی (*Rehmannia glutinosa*) و قاصدک را بهبود بخشید (Manivannan et al., 2015; Ryu et al., 2012). بیشترین ارتفاع در گیاه مریم‌گلی در نور قرمز به دست آمد (Moradi et al., 2023).

نشان داد که نورهای قرمز و آبی بهترین طول موج برای تقویت رشد گیاه است و ترکیب مناسب نورهای قرمز و آبی باعث تسریع فتوسنتز و رشد گیاهان دارویی می‌شود (Liu et al., 2019; Zhang et al., 2020). پاسخ‌های گیاهی به طیف‌های مختلف نوری متفاوت بوده و پاسخ‌های گونه‌های گیاهی نیز متفاوت می‌باشد (Abidi et al., 2013). همچنین تحت تأثیر اثر ساده اسید آسکوربیک، صفت تعداد برگ در شرایط محلول‌پاشی ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند (جدول ۳). اسید آسکوربیک، ساخت قندهای گیاهی را به سمتی سوق می‌دهد که موجب رشد گیاه می‌گردد (Barkosky & Einhellig, 2003).

ارتفاع ساقه

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار طیف نوری و اسید آسکوربیک بر ارتفاع ساقه نشان داد که بیشترین ارتفاع مربوط به گیاهان شاهد رشدیافته در حضور طیف نوری قرمز-آبی (۷۵:۲۵) بود که با گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک در حضور طیف نوری قرمز آبی (۵۰:۵۰) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). نتایج تحقیقات نشان داد که نور قرمز بطور کلی ارتفاع گیاهان و رشد را افزایش می‌دهد (Heo et al., 2012). گزارش شده است که



شکل ۱- اثر متقابل تیمار طیف‌های نوری ۱ × اسید آسکوربیک بر ارتفاع ساقه ریحان

Figure 1- Interaction effect of light spectra × ascorbic acid on stem height of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

۱- (FFFF, BBRB, RBRB, RRBR) به ترتیب به نورهای کامل، ۷۰ درصد آبی، ۳۰ درصد قرمز، ۵۰ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی اشاره دارد)

کاهو، بیشترین وزن کاهو در نورهای قرمز و آبی به دست آمد (Johkan et al., 2010). از سوی دیگر، نتایج بررسی رشد گیاه کاهو در نورهای مختلف نشان داد که وزن تر بوته در ترکیب نورهای قرمز و آبی بیشتر از سایر تیمارها بود. کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022)، اظهار داشتند که طیف نوری قرمز:آبی (۹۰:۱۰) و قرمز-آبی (۷۰:۳۰) منجر به تولید بیشترین وزن تر کاهو شد. در همین راستا، نتایج تحقیقات نشان داد که نور قرمز به طور کلی وزن تر را افزایش داد (Son & Oh, 2013). در پژوهشی دیگر، وزن تر نعنای زیر نور قرمز به صورت معنی داری بیشتر از محیط نور آبی بود (Martineau et al., 2012). بیشترین وزن تر به دست آمده در گیاه مریم گلی در تیمار نوری ۷۰ درصد آبی و ۳۰ درصد قرمز مشاهده شد (Moradi et al., 2023). اضافه کردن نور آبی سبب افزایش زیست توده در کاهو، گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و کلم (*Brassica oleracea*) می شود (Kaiser et al., 2019). دلیل افزایش وزن تر، اثرگذاری فتوتترین ها و فیتوکروم ها در تشکیل کلروفیل، باز شدن روزنه و فعالیت فتومورفوژن می باشد. در نتیجه افزایش فتوسنتز، تجمع مواد زیاد شده و وزن گیاه افزایش می یابد. محروم کردن گیاهان از نور آبی منجر به فتوسنتز ناکارآمد می شود. بنابراین نور آبی می تواند کارایی فتوسنتز را با تنظیم دهانه روزنه جذب بیشتر CO_2 و سرکوب تنفس نوری افزایش دهد (Hiyama et al., 2017). بیشترین وزن تر به دست آمده در گیاه بادرنجبویه در نور قرمز + آبی حاصل گردید (Ahmadi et al., 2019).

مقایسه میانگین اثر ساده تیمار اسید آسکوربیک نشان داد که این تیمار باعث افزایش ۴۴ درصدی وزن بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). در شاهی، اسید آسکوربیک موجب افزایش وزن تر گردید (Khodabakhsh & Chaparzadeh, 2015). قربانی و همکاران (Ghorbanli et al., 2010) دریافتند که بیشترین وزن تر سیاهدانه در تیمار اسید آسکوربیک به دست آمد. فرحوش و همکاران (Farahvash et al., 2015)، اعلام نمودند که بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار اسید آسکوربیک تحت شرایط تنش به دست آمد. از سوی دیگر، اسید آسکوربیک با نقش کوفاکتوری در فتوسنتز گیاه و در سنتز اتیلن، جیبرلین و آنتوسیانین به عنوان عاملی برای کاهش اثر منفی تنش های شناخته شده است (Chen & Gallie, 2004). براساس گزارش های موجود، نوعی سیستم آنتی اکسیدان که سبب تولید مجدد اسید آسکوربیک می شود، در حفاظت گیاهان در مقابل تنش های اکسیداتیو ناشی نقش دارد. اسید آسکوربیک با افزایش جذب نیتروژن از طریق سنتز ملات و تبادل آن با نیترات می تواند به افزایش رشد گیاه کمک کند (Azzedine et al., 2011). همچنین در

فریدی و همکاران (Faridi et al., 2022) بیشترین ارتفاع در میکروگرین های تربچه (*Raphanus sativus*) را در نور قرمز گزارش نمودند. هنگامی که گیاهان در معرض نسبت کمی از نور قرمز قرار می گیرند، فیتوکروم تا حدی غیرفعال شده و از فاکتورهای برهم کنش با فیتوکروم (Pif) جدا می شوند که به علت تجمع و بیان ژن های دخیل در رشد و تحرک سنتز جیبرلین ها منجر به افزایش طول ساقه می گردد. بررسی ها همچنین نشان داد که نور قرمز منجر به تقسیم و طولیل شدن سلولی شده، درحالی که نور آبی از تقسیم و بسط سلولی جلوگیری می کند (Bugbee, 2016). شاخص های رشدی گل انگشتانه (*Digitalis purpurea*) در تیمارهای نوری ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی در مقایسه با گیاهان تیمار شده با نسبت کمتر نور قرمز حداکثر بودند (Verma et al., 2018). بیشترین ارتفاع به دست آمده در گیاه همیشه بهار مربوط به محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید آسکوربیک بود (Boroumand & Safari, 2015). فتحی و همکاران (Fathi et al., 2014)، در کاربرد اسید آسکوربیک در گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) تحت شرایط تنش اعلام کردند که این تیمار به صورت برونزا باعث افزایش ارتفاع شد. عرب و همکاران (Arab et al., 2012)، بیان داشتند که بیشترین ارتفاع گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در اثر محلول پاشی اسید آسکوربیک به دست آمد. قربانی و همکاران (Ghorbanli et al., 2010) نیز بیان کردند که اسید آسکوربیک به صورت برونزا باعث افزایش رشد گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa*) تحت شرایط شوری گردید. بیشترین ارتفاع به دست آمده در کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) در شرایط محلول پاشی اسید آسکوربیک به دست آمد (Mohammadi et al., 2022). این افزایش ارتفاع می تواند به این علت باشد که اسید آسکوربیک به عنوان یک کوآنزیم باعث افزایش رشد گیاه می شود (Dowlatabadi et al., 2009).

وزن تر بوته

مقایسه میانگین اثر طیف های نوری نشان داد که بیشترین اختلاف معنی داری در نور ۷۵ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی (RRBR) بود (جدول ۲) رفیعی و همکاران (Rafiei et al., 2023) در مطالعه ای روی گیاه ریحان در شرایط نوری نشان دادند که بیشترین وزن تر ریحان در ترکیب نورهای قرمز و آبی و نور آبی به دست آمد. همچنین وزن تر سه گونه نعنای در محیط های نوری قرمز، قرمز + آبی به طور معنی داری از سه محیط دیگر بیشتر بودند (Khezayi et al., 2021). در نعنای فلفلی، بیشترین وزن گیاه در محیط نور قرمز و آبی حاصل شد (Heydarizad et al., 2014). در تحقیق دیگری روی

نورهای قرمز و آبی با فعال سازی فیتوکرومها و کریپتوکرومها، فعالیت فتوسنتزی را افزایش داده و از طریق تنظیم بیان ژن ها و افزایش سنتز هورمون ژبریلین، وزن تر و خشک گیاه را به طور معناداری بالا می برند. (Ouyang et al., 2015).

نتایج اثر ساده محلول پاشی اسید آسکوربیک بیانگر اختلاف معنی دار در سطح یک درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۳). تحقیقات نشان داده است که به کارگیری اسید آسکوربیک در شرایط خشکی در گیاه کلزا باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید (Ghorbanli et al., 2010). در گیاه بابونه آلمانی در شرایط تنش با اعمال تیمار برون زای اسید آسکوربیک، بیشترین وزن ماده خشک گیاه به دست آمد (Fathi et al., 2014). قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2010) دریافتند که بیشترین وزن خشک سیاهدانه در تیمار اسید آسکوربیک در شرایط تنش شوری به دست آمد. اسید آسکوربیک کوفاکتور مهم در بیوسنتز هورمون های گیاهی از جمله جبریلین بوده و از این طریق می تواند در افزایش تقسیم و گسترش سلول و رشد گیاه ایفای نقش نموده و موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه گردد (Pourghasemian & Moradi, 2017). که این نتایج با نتیجه تحقیق حاضر همسو است.

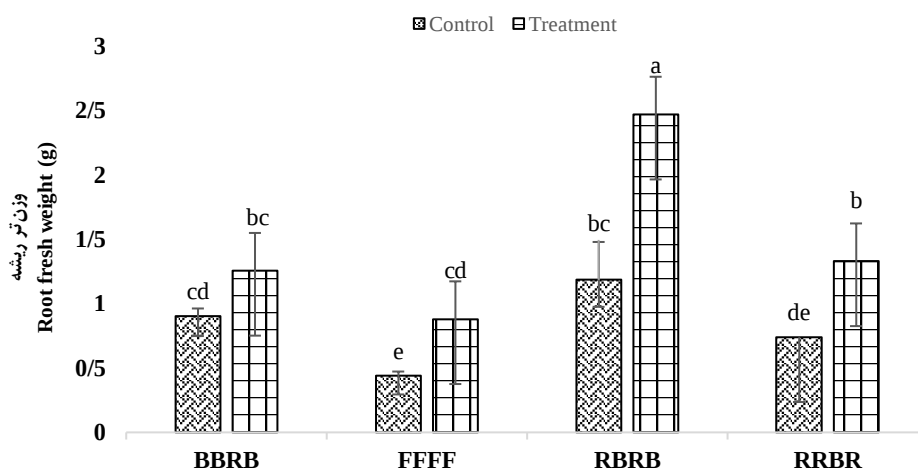
وزن تر ریشه

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار طیف نوری و اسید آسکوربیک بر وزن تر ریشه بیانگر این است که بیشترین وزن مربوط به گیاهان تیمار شده با اسید آسکوربیک در حضور طیف نوری قرمز-آبی (۵۰:۵۰) بود (شکل ۲).

سنتز گلیکوپروتئین های اکستنسین از هیدروکسی پرولین دیواره نقش دارد. اسید آسکوربیک یکی از ترکیبات مهم در حفظ حالت ردوکس سلولی می باشد که در شرایط تنش در عملکرد مناسب سلول دخالت می کند. این ترکیب به عنوان کوفاکتور مهم در بیوسنتز برخی هورمون های گیاهی از جمله جبریلین می تواند سبب افزایش تقسیم و توسعه سلولی و رشد گیاه گردد (Taqi et al., 2011). در پژوهشی بیان شد که بهبود رشد گیاه کلزا (*Brassica napus*) در حضور اسید آسکوربیک می تواند به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی آن باشد که با از بین بردن انواع اکسیژن های فعال موجب بهبود رشد گردید. بررسی ها نشان داد که آسکورات و آسکورات اکسیداز موجود در دیواره سلولی مستقیم و غیرمستقیم در دو عامل فوق و در نتیجه کنترل رشد دخالت دارد. همچنین آسکورات در تقسیم سلولی و تنظیم آن از طریق انتقال سریع یاخته ها از فاز G1 به فاز S چرخه سلولی دخالت دارند. اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک به عنوان اسیدهای آلی، نقش مهمی در ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در گیاه و رشدونمو آن دارند.

وزن خشک بوته

اثر ساده مقایسه میانگین نشان داد که نور ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز (BBRB) بیشترین وزن خشک را بین طیف های نوری داشتند (جدول ۲). وزن خشک سه گونه نعنای در محیط های نوری قرمز، قرمز + آبی به طور معنی داری نسبت به سه محیط دیگر بیشتر بودند (Khezayi et al., 2021). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در طیف نوری قرمز ۳۰ آبی ۷۰ درصد مشاهده شد (Moradi et al., 2023). بیشترین وزن خشک به دست آمده در گیاه بادنجبویه در نور قرمز + آبی حاصل شد (Ahmadi et al., 2019).



شکل ۲- اثر متقابل اسید آسکوربیک × طیف های نوری بر وزن تر ریشه ریحان

Figure 2- Interaction effect of light spectra×ascorbic acid on root fresh weight of basil basil (*Ocimum basilicum*)(DMRT, $p \leq 0.05$)

همچنین گیاهانی که به صورت برون‌زا با اسید آسکوربیک با حضور نور آبی-قرمز (۷۵:۲۵) تیمار شدند دارای بیشترین وزن خشک ریشه‌ای بودند (جدول ۲).

بیشترین مقدار وزن خشک ریشه گیاه مریم‌گلی در نور ۷۰ قرمز ۳۰ درصد آبی و همچنین قرمز ۵۰ و آبی ۵۰ درصد به دست آمد (Moradi et al., 2023). در گیاه بادرنجویه، بیشترین وزن خشک ریشه در نور آبی حاصل شد (Ahmadi et al., 2019) از دلایل افزایش هورمون‌های اکسین و جیبرلین در نور می‌تواند این باشد که نور قرمز بر هورمون جیبرلین و نور آبی بر هورمون اکسین تأثیرگذار هستند. بنابراین این دو هورمون باعث افزایش وزن در کل گیاه می‌گردد (Ouyang et al., 2015). اسید آسکوربیک در شرایط تنش باعث افزایش وزن خشک ریشه کلزا گردید (Ghorbanli et al., 2010). اسید آسکوربیک بر افزایش وزن تر و خشک ریشه و وزن تر اندام هوایی مرزه نقش دارد (Kordbacheh, 2021). اسید آسکوربیک به عنوان یک کوآنزیم باعث ساخته شدن هورمون جیبرلین شده و این هورمون باعث افزایش وزن کل گیاهی به دلیل تجمع مواد فتوسنتزی می‌شود (Taqi et al., 2011) که با نتایج این پژوهش هم‌سو می‌باشد.

صفات فیتوشیمیایی

جدول تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی ریحان تحت تأثیر تیمارها نشان داد که اثر متقابل تیمارهای طیف نوری و اسید آسکوربیک در سطح یک درصد بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول‌ها اختلاف معنی‌دار ایجاد کرد. علاوه بر این، اثر اصلی تیمار طیف‌های نوری و تیمار اسید آسکوربیک بر میزان فلاونوئید به ترتیب در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. (جدول ۴).

بیشترین وزن تر ریشه در گیاه مریم‌گلی در تیمار نور ۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی مشاهده شد. (Moradi et al., 2023). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022).

بیشترین وزن ریشه گیاه کاهو در تیمارهای نور قرمز خالص، نور کامل، ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی و ۸۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد آبی مشاهده شد. نورهای قرمز و آبی با اثربخشی بر ژن‌های تولیدکننده جیبرلین و اکسین باعث افزایش وزن تر و خشک کل گیاه می‌گردد (Kaiser et al., 2019). در گیاه کلزا، تیمار اسید آسکوربیک در شرایط تنش باعث افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه شد (Ghorbanli et al., 2010). خدابخش و چاپارزاده (Khodabakhsh & Chaparzadeh, 2015) بیان داشتند که وزن تر ریشه شاهی با تیمار اسید آسکوربیک منجر به ساخته شدن هورمون‌های رشدی مثل جیبرلین و اکسین و باعث افزایش وزن گیاه می‌شود و در نتیجه وقتی وزن گیاه بالا رود، وزن ریشه هم به همان نسبت افزایش می‌یابد (Pourghasemian & Moradi, 2017). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج به دست آمده توسط این پژوهشگران هم‌راستا می‌باشد.

حجم ریشه

مقایسه میانگین اثر ساده نشان داد که گیاهان تیمار شده با اسید آسکوربیک دارای حجم ریشه بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده بودند (جدول ۳). اسید آسکوربیک به عنوان کوفاکتور با افزایش سنتز هورمون ژیببرلین، وزن گیاه را افزایش می‌دهد. این افزایش وزن می‌تواند به دلیل افزایش حجم ریشه و بهبود ثبات گیاه در خاک باشد. (Taqi et al., 2011).

وزن خشک ریشه

اثر متقابل تیمار طیف نوری و اسید آسکوربیک بر وزن خشک ریشه نشان داد که گیاهان شاهد طیف نوری قرمز-آبی (۷۵:۲۵) و

جدول ۳- اثر ساده تیمار اسید آسکوربیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 3- The main effect of ascorbic acid treatment on morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*)

فاکتور فرعی Sub factor	قطر ساقه Stem diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaf	وزن تر بوته Fresh weight of plant (g)	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g)	حجم ریشه Root volume (ml)
عدم محلول‌یابی Control	3.53 ^{b*}	7.33 ^b	13.5 ^b	6.6 ^b	0.66 ^b	0.6 ^b
محلول‌یابی Treatment	4.6 ^a	9.33 ^a	16.33 ^a	9.54 ^a	0.97 ^a	1.01 ^a

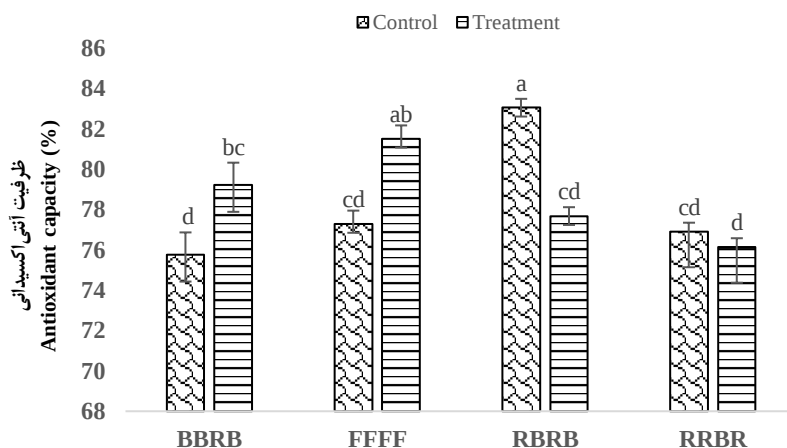
* در هرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند

* Means within each column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$)

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر طیف‌های نوری و اسید اسکوربیک بر برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه ریحان
Table 4- ANOVA (mean of squares) for the effect of light spectra and ascorbic acid on some phytochemical traits of basil (*Ocimum basilicum*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid
بلوک Block	2	8.672	0.998	0.002
طیف‌های نوری Light spectra	3	18.491*	30.023**	0.243**
خطای اصلی Main error	6	1.143	0.441	0.483
اسید اسکوربیک Ascorbic acid	1	0.343 ^{ns}	0.131 ^{ns}	7.747*
طیف‌های نوری × اسید اسکوربیک Light × ascorbic acid	3	11.371**	21.315**	0.559 ^{ns}
خطا Error	8	2.589	0.291	0.01
ضریب تغییرات CV (%)		2.05	11.68	5.27

*, **, ^{ns} و ^{ns}: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار
*, ** and ^{ns}: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, and non-significant, respectively



شکل ۳- اثر متقابل طیف‌های نوری × اسید اسکوربیک بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان
Figure 3- Interaction effect of light spectra × ascorbic acid on antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum*)(DMRT, $p \leq 0.05$)

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دو تیمار نشان داد که بیشترین اختلاف معنی‌داری مربوط به تیمار گیاهان شاهد طیف نوری ۵۰ درصد قرمز و ۵۰ درصد آبی (RBRB) بودند (شکل ۳). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که نور قرمز باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه اسطوخودوس شد (Naznin et al., 2019). همچنین یافته‌های دیگر نشان داد که نورهای قرمز باعث افزایش میزان آنتی‌اکسیدان در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) گردید که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق هم‌راستا می‌باشد (Wu et al., 2017).

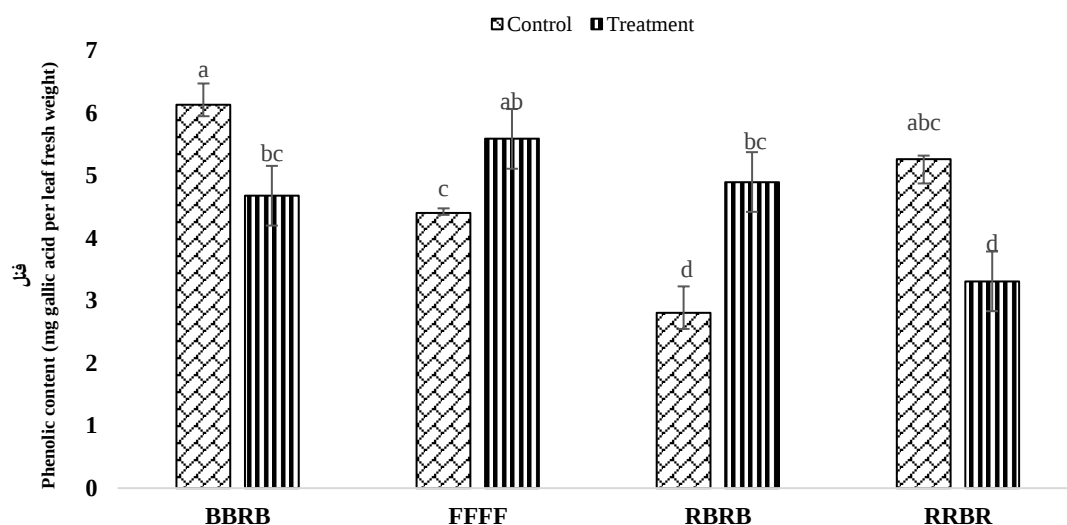
نور آبی بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در کلون‌های نعنا فلفلی داشت. دلیل این موضوع این‌طور بیان شد که نور آبی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه گردد، ولی این تأثیر به‌شدت به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد. از آنجایی که نور شدید قرمز و آبی برای گیاه نعنا می‌تواند نوعی تنش محسوب گردد، احتمالاً افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نعنا می‌تواند در جلوگیری از تولید و تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن نقش داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برخی نعنایان در کلون‌های اصفهان تحت تأثیر نور آبی و کلون‌های قزوین تحت تأثیر نورهای

جهت خنثی‌سازی اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در پراکسید کردن لیپیدها پروتئین‌ها حتی اسیدنوکلئیک‌ها نیز بیشتر است (Emam & Helal, 2008).

محتوی فنل

مقایسه میانگین‌ها بیانگر این است که گیاهان شاهد تیمار طیف نوری آبی-قرمز (۷۵:۲۵) دارای افزایش حدود ۳۹ درصدی میزان فنل نسبت به ریحان‌های شاهد در نور کامل بودند (شکل ۴).

قرمز قرار گرفتند. اینکه چه سازوکارهایی موجب می‌شود که این ترکیبات برخی با نور قرمز و برخی با نور آبی واکنش دهند، هنوز مشخص نیست (Heydarizad et al., 2014). احتمالاً این طول موج‌ها با برخی از ژن‌ها مرتبط است که مسئول نهایی افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه می‌گردد (Sabzalian et al., 2014). نتایج کاربرد اسید آسکوربیک در شرایط تنش در گیاه مرزنجوش نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه افزایش یافت (Salahvarzi et al., 2011). هرچه میزان ترکیبات و آنزیم‌های مؤثر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه بیشتر باشد، توانایی گیاه در



شکل ۴- اثر متقابل طیف‌های نوری «اسید آسکوربیک بر میزان فنل گیاه ریحان

Figure 4- Interaction effect of light spectra $\times$ ascorbic acid on total phenolic content of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

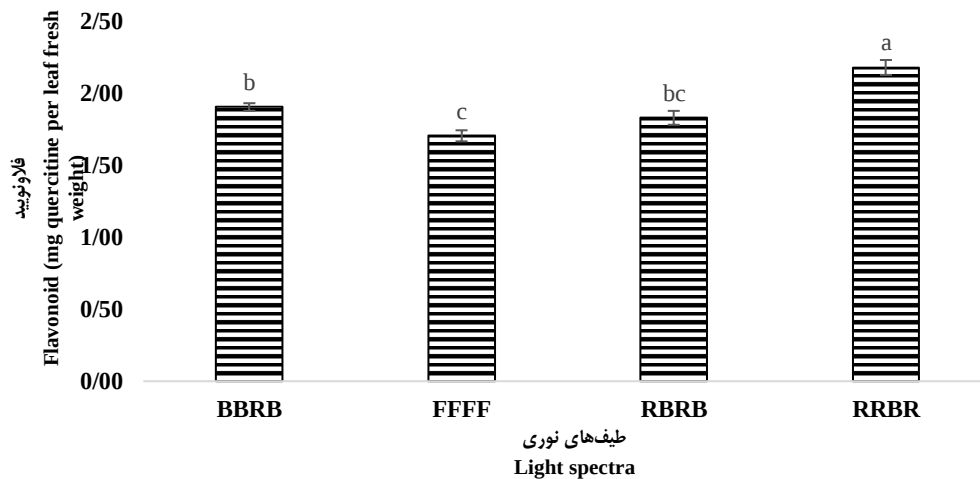
و آلودگی بیمارگرها) و محرک‌های مختلف برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه استفاده شده است، زیرا بیوستنز فنیل پروپانویدها از مسیر شیکیمات می‌گذرد و توسط یک گروه آنزیمی هدایت می‌شود که اولین مرحله در تولید فنیل پروپانویدها عمل آمین‌زدایی توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (PAL) بر روی L- فنیل آلانین است که منجر به ساخت ترکیبات فنلی از اسید سینامیک می‌شود (Iijima et al., 2004). انواع تنش‌ها از عوامل مؤثر در افزایش بیان و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز هستند که منجر به ترکیبات فنلی در گیاه می‌شوند (Sgarbi, 2003). پژوهشگران دریافتند که پیش‌تیمار گیاهان آربیدوپسیس با نورهای LED آبی و قرمز قبل از تنش زخم باعث افزایش ترکیبات فنلی کل و افزایش بیان نسبی ژن فنیل آلانین آمونیالیز شده است (Mirza-Hosseini et al., 2020).

یافته‌ها نشان داد که محتوای فنل کل جوانه‌های کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) رشد یافته در نور آبی در مقایسه با شاهد بیشتر بود (Qian et al., 2016). رفیعی و همکاران (Rafiei et al., 2023) گزارش دادند که بیشترین میزان فنل ریحان تحت شرایط نوری در LEDهای قرمز + آبی بودند. بیشترین میزان فنل به‌دست‌آمده در میکروگرین‌های گیاه ترپچه در نور آبی بیشتر از نور قرمز بود (Faridi et al., 2022). این یافته‌ها با نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر همسو می‌باشد. همچنین دلیل افزایش ترکیبات فنلی که توسط محققان بیان شد می‌تواند این باشد که ترکیبات فنلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از طریق غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد لیپیدی و یا از طریق جلوگیری از تجزیه شدن هیدروپراکسیدها به رادیکال‌های آزاد نشان می‌دهند. در مطالعات پیشین از تنش‌های محیطی (درجه حرارت بالا و پایین، خشکسالی، شوری، اشعه فرابنفش

محتوی فلاونوئید

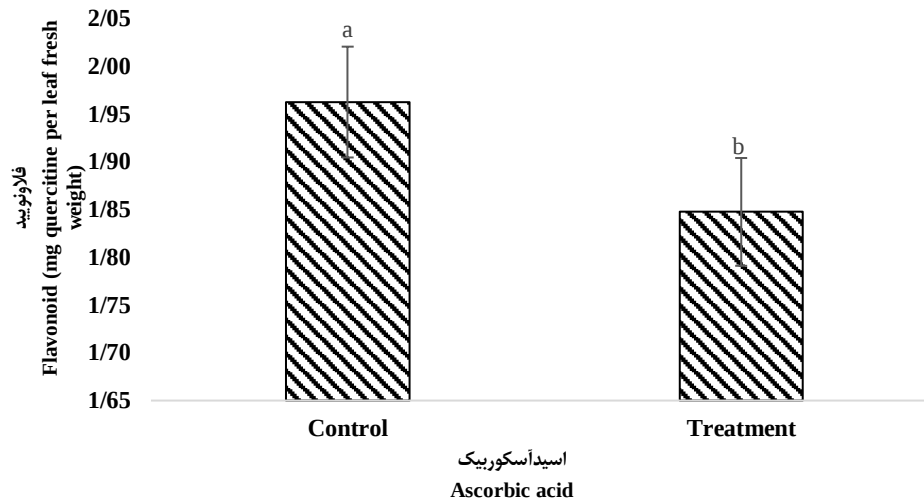
اثر ساده طیف‌های نوری بیانگر این است که طیف نوری قرمز-آبی (۷۵:۲۵) باعث افزایش ۲۸ درصدی فلاونوئید نسبت به نور کامل گردید (شکل ۵). بیشترین میزان به‌دست‌آمده فلاونوئید در گیاه ریحان در کارخانه گیاهی در نور قرمز آبی حاصل شد (Chutimanukul et al., 2022). یکی از کارهای عمده فلاونوئیدها در سلول برگ مراقبت

از تنش فتواکسیداتیو می‌باشد. بیشترین میزان فلاونوئید در گیاه ترپچه در نور قرمز مشاهده شد که با یافته‌های حاصل از این پژوهش همسو می‌باشد (Faridi et al., 2022). یکی از دلایل افزایش میزان فلاونوئید می‌تواند این باشد که نور یک فاکتور غیرزنده است که بر بیان ژن فلاونوئید و تجمع و ساخت آن نقش دارد (Huche et al., 2016).



شکل ۵- اثر ساده طیف‌های نوری بر میزان فلاونوئید گیاه ریحان

Figure 5- The simple effect of light spectra on flavonoid content of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۶- اثر ساده اسید آسکوربیک بر میزان فلاونوئید گیاه ریحان

Figure 6- The simple effect of ascorbic acid on flavonoid content of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

که مسیرهای متابولیکی دچار اشباع شده و یا افزایش بیش از حد آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند اسید آسکوربیک منجر به اختلال در تعادل اکسیداتیو شده و پاسخ‌های دفاعی گیاه را سرکوب می‌کند. همچنین این تیمار سمیت نسبی یا تنش فیزیولوژیکی ایجاد کرد که به جای

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک نتوانست باعث افزایش میزان فلاونوئید گردد (شکل ۶). محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در ریحان نشان داد که در غلظت‌های بالا می‌تواند منجر به کاهش میزان فلاونوئید گردد. از دلایل آن می‌تواند این باشد

نظیر قطر ساقه، تعداد برگ، وزن تر و خشک بوته و حجم ریشه شد. همچنین این ترکیبات نوری و شیمیایی بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی مانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل و فلاونوئید اثرات متفاوتی داشتند، به‌طوری‌که برخی ترکیبات نوری به‌تنهایی اثرات قوی‌تری نسبت به کاربرد اسید آسکوربیک نشان دادند. این نتایج راهکار عملی و مؤثری برای بهینه‌سازی تولید ریحان در محیط‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها و سیستم‌های کشت عمودی ارائه می‌دهد و نشان‌دهنده اهمیت مدیریت کیفیت نور و تغذیه گیاهی در ارتقای کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی است.

تحریک سنتز ترکیبات ثانویه، منجر به کاهش آن‌ها شد. (Azoz et al., 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از طیف‌های نوری LED با نسبت‌های مختلف قرمز و آبی، به‌ویژه ترکیب ۷۵:۲۵ قرمز به آبی، به‌طور قابل توجهی رشد و عملکرد ریحان را در شرایط نور محدود بهبود بخشید. افزودن محلول پاشی اسید آسکوربیک به این شرایط نوری، اثرات مثبت را تقویت کرده و منجر به افزایش صفات رشدی

References

- Abidi, F., Girault, T., Douillet, O., Guillemain, G., Sintès, G., Laffaire, M., Ben Ahmed, H., Smiti, S., Huche Thelie, L., & Leduc, N. (2013). Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. *Plant Biology* 15(3), 67-74. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00603.x>
- Abraham, E. M., Huang, B., Bonos, S. A., & Meyer, W. A. (2004). Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids. *Crop Science*, 44(5), 1746-1753. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1746>
- Afshari, M., & Rahimalekmaadi, M. (2021). Assessment of phenolic compounds, essential oil, and antioxidant activity of yarrow (*Achillea millefolium* L.) during growth stages. *Plant Process and Function*, 6, 15-25. (In Persian)
- Ahmadi, T., Shabani, L., & Sabzalian, M. R. (2019). Improvement in drought tolerant of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pre-treatment of LED lighting. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139(3), 548-557. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.021>
- Arab, S., Firoozabadi, M., Asghari, H., Gholami, A., & Rahimi, M. (2012). Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on some traits of safflower under drought stress. Paper presented at the 12th Congress of Crop Science and Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj, Iran. 14-16 September. (In Persian) <https://doi.org/10.22055/ppd.2016.11845>
- Asadi, B., Cheniany, M., & Lahouti, M. (2019). Comparative study the effect of the external treatments of silicon and ascorbic acid on antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Plant Process and Function*; 7(27), 135-150. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2322727.1397.7.27.13.4>
- Azoz, S. N., El-Taher, A. M., Boghdady, M. S., & Nasser, D. M. (2016). The impact of foliar spray with ascorbic acid on growth, productivity, anatomical structure of volatile and fixed oils of basil plant. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(4), 549-565.
- Azzedine, F., Cherroucha, H., & Baka, M. (2011). Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7(1), 27-37.
- Banerjee, R., & Batschauer, A. (2005). Plant blue-light receptors. *Planta*, 220(3), 498-502. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1418-z>
- Barkosky, R. R., & Einhellig, F. A. (2003). Allelopathic interference of plant-water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 44(1), 58-53.
- Boroumand, M. A., & Safari, V. R. (2015). Study of the effect of foliar application of ascorbic acid and thiamine on some morphological traits of calendula. Paper presented at the 9th Congress of Horticultural Science. January. 1-4. (In Persian)
- Bugbee, B. (2016). In toward an optimal spectral quality for plant growth and development: The importance of radiation capture. *Acta Horticulturae*, 1134(1), 1-12.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Chen, X. L., Xue, X. Z., Guo, W. Z., Wang, L. C., & Qiao, X. J. (2016). Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode. *Scientia Horticulturae*, 200, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.007>
- Chen, Z., & Gallie, D. R. (2004). The Ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomatal movement. *The Plant and Cell*, 16, 1143-1162. <https://doi.org/10.1105/tpc.021584>

16. Chutimanukul, P., Jindamol, H., Thongtip, A., Korinsak, S., Romyanon, K., & Toojinda, T. (2022). Physiological responses and variation in secondary metabolite content among Thai holy basil cultivars (*Ocimum tenuiflorum* L.) grown under controlled environmental conditions in a plant factory. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1008917. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008917>
17. Darabi, A., Moghaddam, M., & Shoor, M. (2021). Morphophysiological responses of basil to carbon dioxide and ethanol nutrition. *Plant Nutrition Research*, 4(1), 129-142. (In Persian). <https://doi.org/10.22070/HPN.2021.14222.1134>
18. Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., & Sabzalian, M. R. (2014). Photosynthesis under artificial light: The shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(6), 2013-2043. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>
19. Dowlatabadi, A., Modarres Sanavi, S. A. M., & Sharifi, M. (2009). Effect of drought stress and ascorbic acid foliar spray on the activity of antioxidant enzymes and some biochemical changes in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Iranian Journal of Biology*, 22(3), 407-421.
20. Ding, Z., Galvan-Ampudia, C. S., Demarsy, E., Langowski, L., Kleine-Vehn, J., Fan, Y., Morita, M. T., Tasaka, M., Fankhauser, C., Offringa, R., & Friml, J. (2011). Light-mediated polarization of the PIN3 auxin transporter for the phototropic response in *Arabidopsis*. *Nature Cell Biology*, 13(4), 447-452. <https://doi.org/10.1038/ncb2208>
21. Esmailpour, B., Moradi, M., Torabi, M., & Ahadzadeh, M. (2023). Effect of ascorbic acid on morphological and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum*) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(4), 568-588. (In Persian)
22. Emam, M. M., & Helal, N. M. (2008). Vitamins minimize the salt-induced oxidative stress hazards. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2, 1110-1119.
23. Farahvash, F., Mirshakari, B., Farzanian, M., & Hosseinzadeh, E. M. (2015). Effect of zinc sulfate and ascorbic acid on some morphophysiological traits of purple coneflower (*Echinacea purpurea*) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(1), 57-78. (In Persian)
24. Faridi, T., Maleki, H., Torabi, M., & Heydarnajhad, R. (2022). Study of the effects of growth medium and light quality on the morphology and nutritional quality of radish microgreens. *Iranian Journal of Vegetable Science*, 12(2), 43-56. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.553294.1205>
25. Fathi, A., Fouladvand, S., Askari, F., Imani, M., & Mehdinia, J. (2014). Effect of salinity and ascorbic acid on growth characteristics of German chamomile (*Chamomilla recutita*). *Desert Margin Research*, 11(3), 197-208. (In Persian)
26. Gheysari, S., Nematpour, F., & Afshar, A. (2015). Effect of salicylic acid and ascorbic acid on photosynthetic pigments and antioxidant enzyme activities in basil (*Ocimum basilicum*) under lead stress. *Plant Research Journal*, 28(4), 814-825. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.28.4.13.4>
27. Gressel, J. and Galun, E. 1994. Genetic controls of photooxidant tolerance. In: Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defence Systems in Plants (Foyer, C.H. and Mullineaux, P.M. Eds.). CRC Press, Boca Raton, USA 25(2): 237-273.
28. Ghorbanli, M., Hashemi, N., & Peyvandi, M. (2010). Effect of salinity and ascorbic acid on physiological responses of black cumin (*Nigella sativa*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26(3), 370-388. (In Persian)
29. Heidarizad, P., Zahedi, M., & Sabzalian, M. (2014). Effect of LED light on plant performance, essential oil percentage, and antioxidant enzyme activity in peppermint. *Plant Process and Functions*, 3(8), 13-24. (In Persian)
30. Heo, J. W., Kang, D. H., Bang, H. S., Hong, S. G., Chun, C. H., & Kang, K. K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 30(1), 6-12.
31. Hiyama, A., Takemiya, A., Munemasa, S., Okuma, E., Sugiyama, N., Tada, Y., Murata, Y., & Shimazaki, K. I. (2017). Blue light and CO₂ signals converge to regulate light-induced stomatal opening. *Nature Communications*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01237-5>
32. Hosseini, A., Zare Mehrjerdi, M., Aliniaiefard, S., & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(3), 741-752. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00647-7>
33. Huche-Thelier, L., Crespel, L., Le Gourrierrec, J., Morel, P., Sakr, S., & Leduc, N. (2016). Light signaling and plant responses to blue and UV radiations-perspectives for applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.009>
34. 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), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>

35. Iijima, Y., Rikanati, R. D., Fridman, E., Gang, D. R., Bar, E., Lewinsohn, E., & Pichersky, E. (2004). The biochemical and molecular basis for the divergent in the biosynthesis of terpenes and phenylpropenes in the peltate gland of three cultivars of basil. *Plant Physiology*, 136, 3724-36. <https://doi.org/10.1104/pp.104.051318>
36. Javanmardi J., Khalighi A., Kashi A., Bais H. P., & Vivanco, J. M. (2002). Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 5878-5883.
37. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *American Society for Horticultural Science*, 45, 1809-1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
38. Karimi, M., Niayifar, S., Mohammadian, M., Hami, E., Seifi, M., Rouzban, M., & Mousavi, H. (2022). Effect of different light spectra on the growth and morphology of lettuce in plant factory systems. *Agricultural Systems and Mechanization Research*, 23(83), 69-86. (In Persian)
39. Khezayi, M., Rafiei, F., Sabzalian, M., & Houshmand, S. (2021). Effect of different LED light spectra on morphophysiological traits of three mint species. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 461-471. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.298413.1771>
40. KhodaBakhsh, A., & Chaparzadeh, N. (2015). Role of ascorbic acid in mitigating oxidative stress caused by salinity in garden cress. *Plant Research Journal*, 28(1), 175-185. (In Persian)
41. Kopsell, D. A., Sams, C. E., & Morrow, R. C. (2017). Interaction of light quality and fertility on biomass, shoot pigmentation and xanthophyll cycle flux in Chinese kale. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 911-917. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7814>
42. Kordbacheh, H. (2021). Effect of foliar application of ascorbic acid and salicylic acid on growth indices and enzyme activity of summer savory (*Satureja hortensis*). *Iranian Journal of Plant and Biotechnology*, 2(16), 11-18. (In Persian)
43. Kuno, Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J., & Ohdoi, K. (2017). Effects of irradiation patterns and light quality of red and blue light-emitting diodes on growth of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. "Greenwave"). *Environmental Control in Biology*, 55, 129-135. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.129>
44. Liu, Y., Ren, X., & Jeong, B. R. (2019). Supplementary light source affects growth, metabolism, and physiology of *Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC. Seedlings. *BioMed Research International*, 2019, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2019/6283989>
45. 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(6), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
46. Martineau, V., Lefsrud, M., Naznin, M. T., & Kopsell, D. A. (2012). Comparison of lightemitting diode and high-pressure sodium light treatments for hydroponics growth of Bostonlettuce. *HortScience*, 47, 477-482. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.4.477>
47. Massa, G. D. (2006). Plant growth lighting for space life support: A review. *Gravitational and Space Research*, 19, 19-30.
48. Mazari, H., Delshad, M., & Alinia, S. (2022). Effects of far-red light addition to photosynthetically active radiation spectrum on growth and morphology of basil (*Ocimum basilicum*) under controlled environment. *Plant Production Research*, 30(1), 149-164. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.20312.2943>
49. Mirzahosseini, Z., Shabani, L., & Sabzalian, M. R. (2020). LED lights increase an antioxidant capacity of *Arabidopsis thaliana* under wound-induced stresses. *Functional Plant Biology*, 47, 853-864. <https://doi.org/10.1071/fp19343>
50. Mohammadi, A., Tadayyon, M. R., & Karimzadeh, H. (2022). Effect of potassium sulfate and ascorbic acid on quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline soil conditions. *Journal of Crop and Horticultural Products Production and Processing*, 12(1), 15-30. (In Persian)
51. Moradi, M., Abedi, M., Arviei, H., Ali Niayifar, S., & Ghasemi Bezdi, K. (2023). Effect of different light spectra on photosynthetic performance, growth indices, and essential oil content of sage (*Salvia officinalis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 37(3), 821-841. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78806.1211>
52. Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M. O. K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, 8(4), 1-12. <https://doi.org/10.3390/plants8040093>
53. Omidbeigi, R. (2011). Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 3, 6th ed.. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, Iran. 397 p. (In Persian)
54. Ouyang, F., Mao, J., Wang, J., Zhang, S., & Li, Y. (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. *Plos One*, 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127896>

55. Pourghasemian, N., & Moradi, R. (2017). Assessing effect of drought stress and ascorbic acid application on some growth and bio-chemical parameters of marigold (*Calendula officinalis* L). *Journal of Plant Process and Function*, 6(19), 77-88.
- Qian, H., Liu, T., Deng, M., Miao, H., Cai, C., Shen, W., & Wang, Q. (2016). Effects of light quality on main healthpromoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. *Food Chemistry*, 196(3), 1232-1238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.055>
57. Rafiei, M., Shabani, L., & Sabzalian, M. (2023). Effect of LED light priming on growth indices, antioxidant enzymes, and total phenolic compounds in basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Plant Process and Function*, 12(54), 259-274. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6>
58. Rihan, H. Z., Aldarkazali, M., Mohame, S. J., McMulki, N. B., Jbara, M. H., & Fulle, M. P. (2020). A novel new light recipe significantly increases the growth and yield of sweet basil (*Ocimum basilicum*) grown in plant factory system. *Agronomy*, 10(8), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070934>
59. Ryu, J. H., Seo, K. S., Choi, G. L., Rha, E. S., Lee, S. C., Choi, S. K., Kong, S. Y., & Bae, C. H. (2012). Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion (*Taraxacum officinale*). *The Korean Journal of Plant Resources*, 25(6), 731-738. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2012.25.6.731>
60. Sabzalian, M. R., Zahedi, M., Agharokh, M., Sahba, M. R., & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 879-886. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0209-6>
61. Sgarbi, E., Fornasiero, R. B., Lins, A. P., & Bonatti, P. M. (2003). Phenol metabolism is differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf. *Plant Science*, 165, 951-7. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00219-X)
62. Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55. <https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49>
63. Shimazaki, K., Doi, M., Assmann, S. M., & Kinoshita, T. (2007). Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, 58(1), 219-247. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434>
64. Salahvarzi, Y., Goldani, M., Nabati, J., & Alirezai, M. (2011). Effect of exogenous application of ascorbic acid on phytochemical changes in marjoram under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(2), 159-167. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008482.1390.42.2.6.9>
65. 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. *Horticulture Science*, 48(8), 988-995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>
66. Safidkon, F. (2008). Strategic research program on medicinal plants. Forests and Rangelands Research Institute, Agricultural Extension, Education and Research Organization, Ministry of Jihad Agriculture.
67. Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tami, M., & Miyagawa, Y. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, 53(3), 1305-1319.
68. Taqi, A. K., Mazid, M., & Firoz, M. (2011). A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of Agrobiolgy*, 28(2), 97-111.
69. Tohidi, B., Rahimmalek, M., Arzani, A., & Sabzalian, M. R. (2020). Thymol, carvacrol and antioxidant accumulation in thymus species in response to different light spectra emitted by light-emitting diodes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12(55), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125521>
70. 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>
71. Yadollahi, P., Asghari, M. R., Bagheri, A., Kheiri, N., & Amiri, A. (2016). Effect of ascorbic acid on some physiological and biochemical traits of basil under arsenic toxicity. *Plant Production Technology*, 16(1), 207-217. (In Persian). <https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1775>
72. 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(2), 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>
73. Wheeler, R. M., Mackowiak, C. L., & Sager, J. C. (1991). Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. *Agronomy Journal*, 83(5), 903-906. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050024x>
74. 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>