



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
Journal of Plant Biological Sciences
[E-ISSN: 3041-9603](#)
Vol. 17, Issue 3, No. 65, 2025
Document Type: Research Paper
Received: 11/03/2025 Accepted: 09/10/2025

Effect of LED Light Spectra and *Rhizobium rhizogenes* Strains on the Growth and Physiological Characteristics of German Chamomile (*Matrocaria chamomilla* L.)

Nastaran Maham, Esmaeil Chamani^{ID*}, Mehdi Mohebodini, Asghar Estaji, Roza Shahbazi

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

This study investigated the individual and combined effects of LED light spectra and *Rhizobium rhizogenes* strains on the growth and physiological attributes of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). A factorial experiment with three replications was conducted under controlled conditions. Plantlets inoculated with bacterial strains A₄ or ATCC15834 were exposed to seven light regimes: monochromatic white (W100), red (R100), blue (B100), and red–blue combinations (R80B20, R60B40, R40B60, R20B80). The interaction between the bacterial strain and the light spectrum significantly affected most of the measured parameters. The A₄ strain under red light (R100) produced the longest shoots (19.5 mm), whereas ATCC15834, combined with R40B60, generated the longest roots (90.9 mm). Maximum shoot and root fresh weights (2342 and 3887 mg, respectively) were obtained from A₄ under R20B80 light. From a physiological perspective, A₄ under R80B20 light resulted in the highest chlorophyll a content, while ATCC15834 under R40B60 produced the greatest chlorophyll b and carotenoid levels (21.26 mg g⁻¹ FW). The R60B40 spectrum enhanced flavonoid biosynthesis, and A₄ under R100 exhibited the strongest antioxidant activity (14.71% DPPH inhibition). These findings demonstrate that combining specific bacterial strains with optimized light spectra can significantly enhance chamomile growth and its medicinal value.

Keywords: Biological elicitors, Controlled-condition growth, Chlorophyll, Flavonoids, Secondary metabolites, DPPH.

*Corresponding Author: echamani@uma.ac.ir



Introduction

German chamomile, a member of the Asteraceae family, is a well-known medicinal herb valued for its essential oils and flavonoids, which possess antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. However, sustainable production faces challenges due to agricultural limitations and overexploitation. *In vitro* culture, integrated with elicitor-based strategies, offers an effective means to conserve germplasm and enhance bioactive metabolite production. Among elicitors, Light-Emitting Diodes (LEDs) enable precise spectral manipulation, with red and blue wavelengths particularly efficient at regulating photosynthesis and secondary metabolism. Similarly, *Rhizobium rhizogenes* acts as a biological elicitor, stimulating root induction and enhancing metabolite accumulation through phytohormonal interactions. This research aimed to explore the synergistic influence of LED spectra and *R. rhizogenes* strains on morpho-physiological traits and secondary metabolite biosynthesis in German chamomile.

Materials and Methods

The experiment was performed during 2022–2023 in the tissue culture laboratory of the University of Mohaghegh Ardabili, Iran. Chamomile seeds were surface-sterilised using liquid soap, 70% ethanol, and 3% sodium hypochlorite, then rinsed with sterile distilled water. Sterilized seeds were germinated on solid MS medium. After eight weeks, uniform seedlings were inoculated at the crown with *R. rhizogenes* strains A₄ or ATCC15834. Following 48 hours of co-cultivation in darkness, plantlets were transferred to MS medium supplemented with 500 mg L⁻¹ cefotaxime. They were subsequently exposed to seven LED treatments (90 μmol m⁻² s⁻¹) for 6 weeks. Growth and physiological parameters were recorded, and data were analyzed by factorial ANOVA followed by Duncan's test ($P \leq 0.01$).

Results and Discussion

Analysis of variance revealed that the interaction between LED light spectra and *Rhizobium rhizogenes* strains significantly ($P \leq 0.01$) influenced the morpho-physiological profile of German chamomile plantlets.

Morphological Development

The evaluation of growth parameters revealed that the most significant synergy for biomass accumulation was observed between the A₄ bacterial strain and the R20B80 light regime. This specific combination yielded the highest shoot fresh weight (2342 mg), underscoring its superior efficacy in enhancing aerial biomass production.

Secondary Metabolite Production

The production of pharmaceutically valuable secondary metabolites was markedly affected by the treatments. The synthesis of total phenolics exhibited a complex, spectrum-dependent pattern. The R20B80 treatment, when combined with bacterial inoculation, resulted in a significant increase in phenolic content compared to the non-inoculated control under the same light, indicating an apparent bacterial elicitation effect under this specific spectrum.

Antioxidant Capacity

The antioxidant capacity, a critical functional property derived from secondary metabolites, was most potently enhanced in plantlets inoculated with the A₄ strain and cultivated under monochromatic red light (R100), resulting in the highest DPPH radical scavenging activity (14.71% inhibition). This confirms that the A₄ strain and red light are the most effective combination for enhancing the plant's functional antioxidant defense.

In summary, this study demonstrates that the strategic combination of LED light spectra and specific bacterial strains can effectively steer both the growth and the metabolic profile of German chamomile. The A₄ strain, particularly under the R20B80 spectrum, proved highly effective at enhancing biomass and phenolic content, while its combination with red light (R100) optimally boosted antioxidant capacity.

Conclusion

This study demonstrates that tailored combinations of LED light spectra and *R. rhizogenes* strains, particularly the A₄ strain with R20B80 and R100 light, can simultaneously enhance growth and the production of valuable bioactive compounds in German chamomile. This approach provides a sustainable strategy for optimizing the pharmaceutical quality of chamomile under controlled conditions.

بهره‌گیری از طیف‌های نور LED و سویه‌های ریزوبیوم راینزوئز بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی بابونه آلمانی (*Matrocaria chamomilla* L.)

نسترن مهام، اسماعیل چمنی^{ID*}، مهدی محب‌الدینی، اصغر استاجی و رزا شهبازی

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

گیاه بابونه آلمانی، گیاهی دارویی و ارزشمند با ترکیبات موثره‌ای نظیر کامازولن و پلی‌فنل‌ها است. این ترکیبات نقش مهمی در صنایع دارویی و آرایشی دارند، به همین علت پژوهشگران همواره در تلاش برای افزایش میزان آن‌ها در گیاه هستند. یکی از رویکردهای مؤثر برای این منظور، استفاده از الیستورهای زیستی و غیرزیستی است که می‌تواند رشد و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را تقویت کند. این پژوهش، با هدف بررسی اثرات ترکیبی نور LED و دو سویه باکتری ریزوبیوم راینزوئز (A4 و ATCC15834) بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی بابونه آلمانی انجام شد. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. صفات ریخت‌شناسی شامل طول شاخه اصلی و ریشه، وزن تر شاخساره و ریشه، و تعداد برگچه‌ها، و صفات فیزیولوژیکی شامل کلروفیل a، b، کاروتنوئید، فنول کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (به روش DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند بیشترین رشد شاخه اصلی (۱۹.۵ میلی‌متر) در تیمار نور قرمز تک‌رنگ (R100) و سویه A4 مشاهده شد. همچنین بیشترین تعداد برگچه (۹۸ عدد) در تیمار نور R80B20 و سویه A4 به دست آمد. از سوی دیگر، بالاترین میزان کلروفیل a در ترکیب تیماری A4 و نور R80B20 و بالاترین مقادیر کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمار ATCC و نور R40B60 مشاهده شد. از سوی دیگر، محتوای فنول کل در نمونه‌های شاهد و نور R80B20 و محتوای فلاونوئید کل در نمونه‌های شاهد و تیمار A4 با نور R40B60 بیشتر بود. نمونه‌های تیمار شده با نور قرمز تک‌رنگ و سویه A4 بالاترین درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در تمامی تیمارها داشتند. یافته‌های این پژوهش نشان دادند نور قرمز و سویه A4 در مقایسه با سایر تیمارها کارایی بهتری از خود نشان دادند. بر اساس این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تیمارهای ترکیبی نور LED و باکتری *rhizogenes* می‌تواند رویکردی مفید جهت پژوهش تغییرات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی در گیاه بابونه آلمانی باشد.

کلید واژه‌ها: الیستورهای زیستی، رشد در شرایط کنترل‌شده، کلروفیل، فلاونوئید، متابولیت‌های ثانویه، DPPH.

*Corresponding Author: echamani@uma.ac.ir



مقدمه

بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گیاهی یکساله، علفی، معطر و دولپه‌ای از خانواده کاسنی‌ها (*Asteraceae*) است. این گیاه در برابر شوری خاک حساس، اما در زمین‌های غیر حاصل‌خیز و سایه‌انداز مقاوم است. منشأ این گیاه آسیا، جنوب و شرق اروپا است و در ایران، در مناطق غربی و مرکزی پراکنده است (Jalili & Jamzad, 1999). اهمیت دارویی بابونه در پزشکی مدرن و طب سنتی به‌طور گسترده مورد تأیید قرار گرفته است. اسانس و عصاره‌های این گیاه به علت خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدباکتریایی و ضدسرطانی شناخته شده‌اند و در درمان طیف وسیعی از بیماری‌ها، از جمله التهابات پوستی و مشکلات گوارشی به کار می‌روند (Sashidhara et al., 2006). ترکیبات اصلی اسانس شامل آلفا-بیسابولول اکسید A، آلفا-بیسابولول اکسید B، کمازولن و β -فارناسین است (Farhoudi., 2013; Formisano et al., 2014). پلی‌فنول‌ها، به‌ویژه فلاونوئیدهایی مانند آپیزنین، پاتولتین، کوئرستین، لوتئولین و گلیکوزیدهای آن‌ها، از مهم‌ترین ترکیبات غیرفرار بابونه هستند (El Mihyaoui et al., 2022; Cushnie & Lamb, 2005).

با توجه به محدودیت‌های کشت زراعی و برداشت بی‌رویه، بابونه آلمانی در معرض خطر قرار گرفته است. کشت بافت در شرایط آزمایشگاهی، راهکاری مؤثر برای حفاظت از این گونه و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه آن محسوب می‌شود (Watan Doost & Zeberjadi, 2020). یکی از رویکردهای نوین در کشت بافت، استفاده از الیستورها است که شامل عوامل زیستی و غیرزیستی هستند و با ایجاد سیگنال‌های تنشی، مسیرهای دفاعی گیاه را فعال کرده و به افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه منجر می‌شوند (Zhao et al., 2005).

نور LED به عنوان یک الیستور غیرزیستی، ابزاری نوین

برای کنترل رشد و تولید متابولیت‌ها در محیط‌های کنترل‌شده است (Heydarizadeh et al., 2014). پژوهش‌های اخیر نشان دادند ترکیب طیف‌های نوری قرمز و آبی، به علت همبستگی بالا با طیف جذب کلروفیل در مقایسه با نور تک‌رنگ یا نور سبز، کارایی بیشتری در فتوسنتز و تحریک مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه دارند (Zheng & Van Labeke, 2017). به عبارت دیگر، این طیف‌ها با فعال‌سازی گیرنده‌های نوری مانند فیتوکروم‌ها، موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید ترکیبات ارزشمندی مانند فلاونوئیدها می‌شوند (Kochetova et al., 2023; Heydarizadeh et al., 2014). به عنوان مثال، در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی گیاهان دارویی نظیر *Ficus hirta* و *Albizia oxyphylla*، نشان داده شده است که طیف نور قرمز می‌تواند غلظت فلاونوئیدها و ساپونین‌ها را افزایش دهد (Zhou et al., 2021). طول موج‌های مختلف نور از جمله فرابنفش (<400)، بنفش (۴۵۰-۴۰۰)، آبی (۵۰۰-۴۰۰)، سبز (۵۷۰-۵۰۰)، زرد (۵۹۰-۵۷۰)، نارنجی/کهربایی (۶۱۰-۵۹۰)، قرمز (۷۶۰-۶۱۰) و قرمز دور (>700) می‌توانند به تنهایی و یا به‌صورت ترکیب با هم سبب بهبود فرایند فتوسنتز در گیاهان شوند (Singh et al., 2017; Shengxin et al., 2016). بنابراین کیفیت نور از نظر رنگ و طول موج می‌تواند ساختار ریخت‌شناسی و ویژگی‌های فتوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Li et al., 2013; Trivellini et al., 2023). باکتری *Rhizobium rhizogenes*، به عنوان یک الیستور زیستی با القاء ریشه‌های موئین، سطح جذب آب و مواد مغذی را بهبود می‌بخشد و می‌تواند مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش دهد (Jaiswal et al., 2021; Li et al., 2019). این باکتری با سازوکارهای مختلفی مانند تولید فیتوهورمون‌ها، به‌ویژه ایندولاستیک اسید (IAA)، به تقویت رشد سلولی و توسعه گیاه کمک می‌کند (Sahito et al., 2022). همچنین استفاده از سیستم ریشه‌های القاء‌شده با *R. rhizogenes* در فناوری‌های نوین مانند فیتورمدیاسیون

تلقیح با باکتری و تیمار نوری

پس از ۸ هفته، گیاهچه‌های حاصل از بذر که به اندازه کافی رشد کرده بودند، از ریشه جدا شدند. در این مرحله، از دو سویه باکتری ریزوبیوم رایزوترن (*Rhizobium rhizogenes*) با نام‌های (A4 و ATCC15834) که از قبل در محیط کشت مایع (LB (Luria-Bertani حاوی آنتی‌بیوتیک ریفامپسین (با غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر) کشت داده شده بودند، استفاده شد. گیاهچه‌ها از محل طوقه با سوسپانسیون باکتری تلقیح شدند. گیاهچه‌های تلقیح شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط کاملاً تاریک قرار گرفتند تا فرصت کافی برای اتصال باکتری به بافت گیاه فراهم شود. پس از آن، گیاهچه‌ها به محیط کشت MS جامد حاوی آنتی‌بیوتیک سفوتاکسیم (۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) منتقل شدند. سفوتاکسیم برای از بین بردن باکتری‌های آزاد و جلوگیری از رشد بیش از حد آن‌ها در محیط کشت به کار رفت.

تیمارهای نوری

پس از مرحله القاء ریشه، گیاهچه‌ها به مدت ۶ هفته تحت تیمارهای نوری مختلف قرار گرفتند. این تیمارها شامل نور سفید تک‌رنگ (W100)، نور قرمز تک‌رنگ (R100)، نور آبی تک‌رنگ (B100) و ترکیب‌های نور قرمز و آبی در نسبت‌های مختلف (R20B80، R60B40، R80B20، R40B60) بود. شدت نور در تمام تیمارها ۹۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه اندازه‌گیری شد. پس از پایان دوره تیمار نوری، گیاهچه‌ها برداشت شده و صفات ریخت‌شناسی از جمله طول شاخه اصلی، طول ریشه، وزن تر شاخساره و ریشه و تعداد برگچه‌ها انجام شد. صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاورتنوئید، فنول کل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی اکسیدانی (به روش DPPH) در گیاهچه‌های تحت تیمار مورد بررسی قرار گرفت.

(پاکسازی خاک‌های آلوده) نیز کاربرد دارد (He et al., 2015). با توجه به اهمیت بابونه آلمانی و نقش مؤثر الیستورهای نوری و باکتریایی در افزایش متابولیت‌های ثانویه، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر ترکیبات نور LED و سویه‌های ATCC15834 و A4 باکتری *R. rhizogenes* بر روی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در ۳ تکرار، در سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در آزمایشگاه کشت بافت گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

آماده‌سازی بذر و ضدعفونی سطحی

بذرهای بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) از شرکت پاکان بذر تهیه شد. برای ضدعفونی سطحی بذرهای، مراحل زیر به ترتیب انجام شد:

ابتدا بذرهای به مدت ۱۵ دقیقه با آب و صابون مایع شسته شدند تا آلودگی‌های سطحی و گرد و غبار آن‌ها از بین برود. سپس بذرهای به مدت یک دقیقه در محلول اتانول ۷۰٪ قرار داده شدند. در مرحله بعد، بذرهای به مدت ده دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۳٪ و روی شیکر قرار داده شدند. در نهایت، بذرهای با آب مقطر استریل شده ۳ تا ۵ بار شسته شدند تا تمام آثار مواد شیمیایی ضدعفونی کننده از بین برود. پس از ضدعفونی، بذرهای در ظروف شیشه‌ای در دار استریل شده حاوی محیط کشت پایه MS (Murashige and Skoog) جامد (حاوی ۳٪ ساکارز و ۰.۸٪ آگار) کشت شدند. ظرف‌های کشت شده در اتاق رشد با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند.

سنجش کلروفیل و کاروتنوئید

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها، مقدار ۵۰ میلی گرم از بافت تازه گیاهی با ۳ میلی لیتر استون ۸۰٪ در هاون سائیده شد. پس از نیم ساعت، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۷۰۰۰ g در دستگاه سانتریفیوژ Hettich Universal 320 (ساخت آلمان) سانتریفیوژ شد. سپس، فاز فوقانی به دقت جداسازی شده و جذب نوری آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل JENWAY، ساخت انگلستان) در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت نهایی کلروفیل a، b و کاروتنوئید توسط روابط مینگز و پرز (Minguez & Perez, 1998) به شرح زیر محاسبه شد:

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) / 100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) / 100W$$

$$\text{Carotenoides} = 1000(A_{470} - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/2$$

عصاره‌گیری پلی فنولی

برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های تر برگچه و ساقه، از عصاره متانولی استفاده شد. به این منظور، مقدار ۱۰۰ میلی گرم از بافت تازه گیاهی (ساقه و برگچه‌ها) در ۲ میلی لیتر متانول خالص سائیده شد و سپس محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰ (حدود ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه) و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ، فاز فوقانی جدا شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد (Bari & Jones, 2009).

سنجش میزان فنول کل (TPC)

جهت اندازه‌گیری محتوای فنول کل نمونه‌ها، از معرف فولین سیوکالتو و اسید گالیک (Sigma-Aldrich) به عنوان

استاندارد استفاده شد. برای این کار، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۲۰۰ میکرولیتر از معرف فولین سیوکالتو ۰/۲ نرمال مخلوط شد. عصاره به دست آمده به مدت ۳ دقیقه هم زده شد، سپس ۱ میلی لیتر از محلول سدیم کربنات ۲۰٪ به فالكون اضافه شد و به مدت یک ساعت در شرایط تاریکی در دمای اتاق قرار گرفت. پس از آن، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. به منظور تهیه نمودار استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون، محلول پایه اسید گالیک با غلظت ۸۰۰ ppm توسط حل نمودن ۱۶ میلی گرم اسید گالیک در ۲۰ میلی لیتر متانول خالص تهیه شد. میزان فنول کل توسط منحنی استاندارد گالیک اسید ($y = 0.0144x + 0.2303$; $r^2 = 0.964$) ارزیابی شد (Bari & Jones, 2009).

سنجش میزان فلاونوئید کل (TFC)

برای اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل، از معرف آلومینیوم کلرید استفاده شد. به این منظور، به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی گیاه، ۱۰۰ میکرولیتر متانول خالص، ۰/۱ میلی لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰٪، ۰/۱ میلی لیتر پتاسیم استات ۱ مولار و ۸/۲ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه، میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۰ نانومتر در مقابل بلانک توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. همچنین از کوئرستین به عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. برای این منظور، محلول پایه کوئرستین با غلظت ۱۰۰ ppm توسط حل نمودن ۲ میلی گرم کوئرستین (Sigma-Aldrich) در ۲۰ میلی لیتر متانول خالص تهیه شد (Bakar et al., 2009). معادله‌ی منحنی استاندارد فلاونوئید کل بر پایه کوئرستین به صورت رابطه زیر است:

$$y = -0.159 + 0.013x; r^2 = 0.994$$

سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (به روش DPPH)

جهت اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ۵۰ میکرولیتر از

کمتر از حد انتظار (۶۲) است، برای اطمینان از دقت نتایج، برخی از نمونه‌ها به علت آلودگی در محیط کشت یا سایر مشکلات فنی از آنالیز آماری حذف شدند.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، تأثیر تیمارهای نوری و سویه‌های باکتری بر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (ANOVA) نشان داد که تیمارهای نوری، سویه‌های باکتریایی و همچنین بر همکنش آن‌ها اثرات معنی‌داری بر اغلب صفات بررسی‌شده داشتند. طبق نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای نوری و سویه‌های باکتری به صورت جداگانه و بر همکنش آن‌ها اثر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر صفات طول شاخه اصلی، طول ریشه، تعداد برگچه‌ها، وزن تر شاخساره و وزن تر ریشه داشتند. با وجود این، نتایج نشان داد که اثر تیمار باکتری بر صفت طول شاخه اصلی و اثر تیمار نور بر صفت تعداد برگچه‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲).

عصاره‌ی متانولی با ۴ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ مولار DPPH مخلوط شد. مخلوط‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شدند و سپس جذب نوری آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. برای تهیه محلول بلانک، به جای عصاره از متانول استفاده شد. همچنین برای تهیه محلول شاهد، از ترکیب ۵۰ میکرولیتر متانول خالص و ۴ میلی‌لیتر محلول DPPH استفاده شد (Sousa et al., 2007).

درصد DPPH با استفاده از معادله زیر برآورده شد:

$$\text{بذج کنال} - \text{بذج هنومن} \\ \text{بذج کنال} \times 100 \\ = \text{رادیكال DPPH (\%)}$$

داده‌های آماری

این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه داده‌ها توسط نرم افزار SPSS 20 انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد. درجات آزادی خطا (۴۲) به علت حذف برخی داده‌های پرت

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی گیاهچه‌های تحت ترکیب تیماری نور و سویه‌های باکتری

Table 1- Analysis of Variance for Morphological Traits of Plantlets Under Combined Light and Bacterial Strain Treatments

Mean Square					Degree of Freedom	Sources of Variations
Root Fresh weight	Shoot Fresh Weight	Number of leaflets	Root Length	Main branch length		
۲۸۷۶۵۷/۸۶ ^{**}	۱۱۳۲۲۳/۳۴ ^{**}	۱۰۳۱/۶۶ ^{**}	۱۲۵۴/۱۴ ^{**}	۱۰۲/۴۵ ^{**}	۶	Light
۵۴۶۴۵۶۹/۲۱ ^{**}	۱۱۶۰۷۵/۰۴۶ ^{**}	۱۵۲/۴۴ ^{ns}	۷۷۸/۰۶۹ ^{**}	^{ns} ۱/۱۸	۲	Bacteria
۲۲۰۸۶۵۱/۳۵ ^{**}	۴۰۱۴۲۶/۶۹ ^{**}	۱۰۱۱/۶۸ ^{**}	۵۷۸/۱۳ ^{**}	۲۸/۵۳ ^{**}	۱۲	Light × Bacteria
۶۶۴۹۳/۵۰	۲۲۴۱۹/۶۸	۱/۲۲۲	۴۴/۳۶	۲/۶۶	۴۲	Error
۷/۹۰	۱۳/۴۸	۲/۲۳	۱۰/۸۲	۱۳/۸۲		Coefficient of variation

^{**}معنی‌دار در سطح یک درصد ^{*}معنی‌دار در سطح پنج درصد ^{ns}غیر معنی‌دار

^{**}Significant at the level of 1% ^{*}Significant at the level of 5% ^{ns}Non-significant

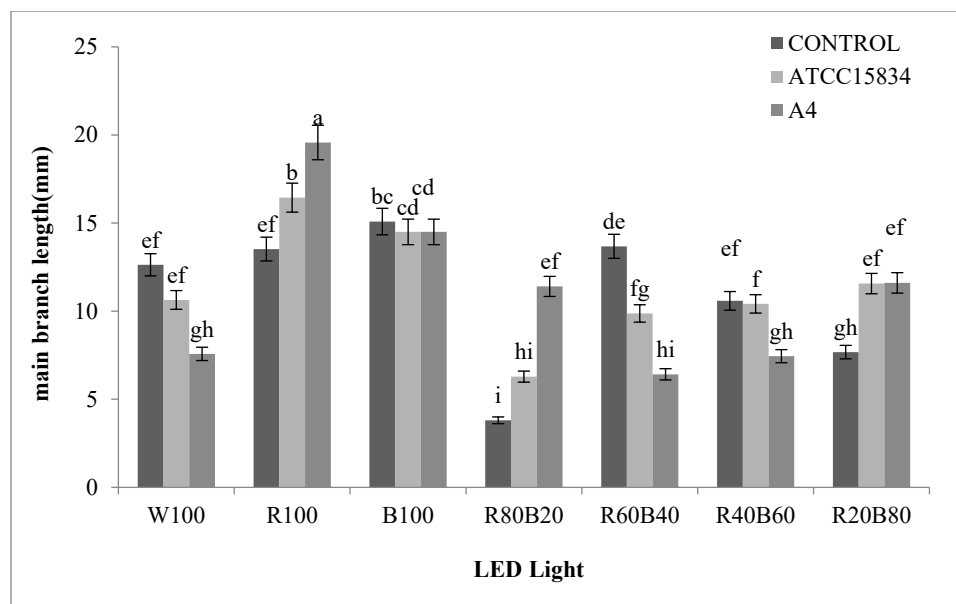
و سویه‌های باکتری بر طول شاخه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بالاترین اندازه‌ی شاخه در ترکیب

طول شاخه اصلی

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر ترکیب تیماری نور

آبی بین تیمار باکتری A₄ و ATCC15834 تفاوت معنی دار نبود (شکل ۱).

تیماری نور R100 و سویه A₄ با اندازه‌ی ۱۹/۵ میلی متر حاصل شد. در نور سفید تک رنگ بین سویه ATCC15834 و شاهد تفاوت معنی داری وجود نداشت، همچنین در نور تک رنگ



شکل ۱- تغییرات طول شاخه اصلی تحت تأثیر ترکیب‌های نور LED رنگی و سویه‌های ریزوبیوم در گیاه بابونه آلمانی

Figure 1- Changes in primary stem length under different combinations of colored LED lights and *Rhizobium* strains in German chamomile plants

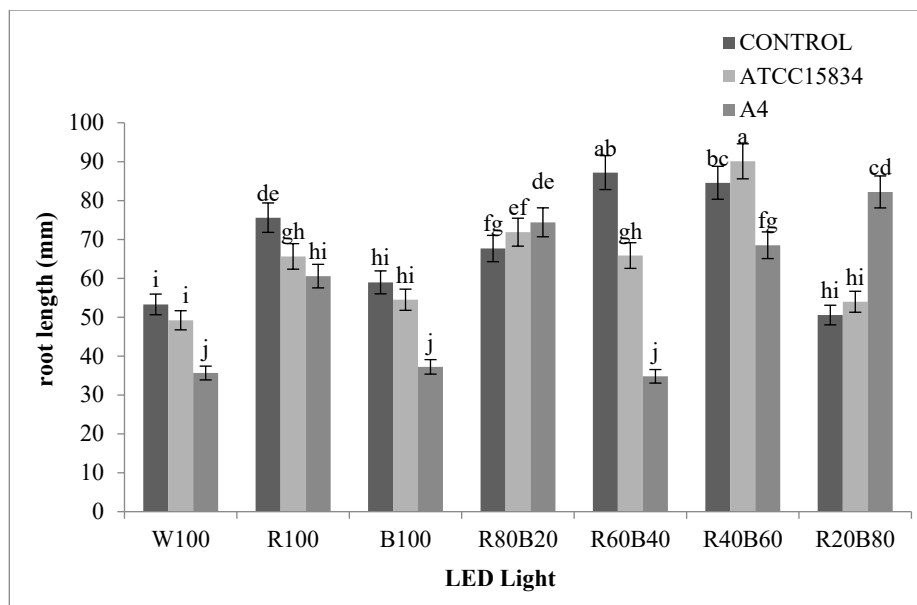
اندازه بود (شکل ۲).

طول ریشه

طی بررسی تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) مشخص شد که ترکیب تیماری نور و سویه‌های باکتری بر طول ریشه، در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. به عبارت دیگر، باکتری سویه ATCC15834 تأثیر قابل ملاحظه‌ای نسبت به باکتری A₄ در شرایط استفاده از ترکیب‌های نوری LED بر روی طول ریشه گیاهان بابونه داشت. بیشترین میزان طول ریشه با میزان ۹۰/۹۰ میلی متر در گیاهان تحت تیمار نوری R40B60 تلقیح شده با باکتری سویه ATCC15834 مشاهده شد، همچنین طول ریشه در نور سفید تک رنگ، آبی تک رنگ و R60B40 که تحت تیمار سویه A₄ بودند تفاوت معنی داری نداشت و در کمترین

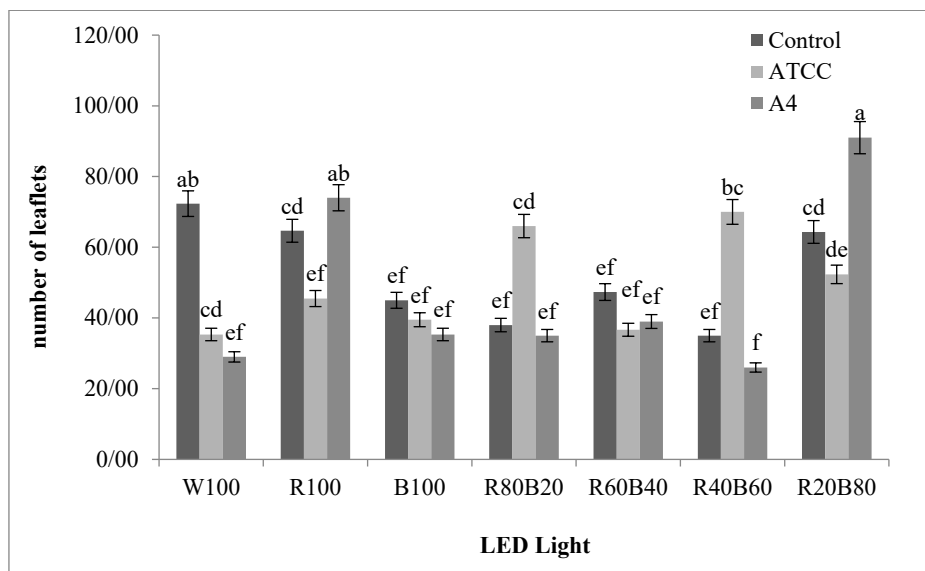
تعداد برگچه‌ها

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱، تعداد برگچه در اثر تیمار ترکیب‌های نوری و همچنین اثر متقابل نور و باکتری در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. با توجه به شکل ۳، ترکیب تیماری نور R20B80 و سویه A₄ با ۹۸ عدد برگچه بیشترین تأثیر را بر میزان تعداد برگچه‌ها نشان داد (شکل ۶) و در نور آبی تک رنگ و R60B40 در تمام سطوح تیماری تعداد برگچه‌ها تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند.



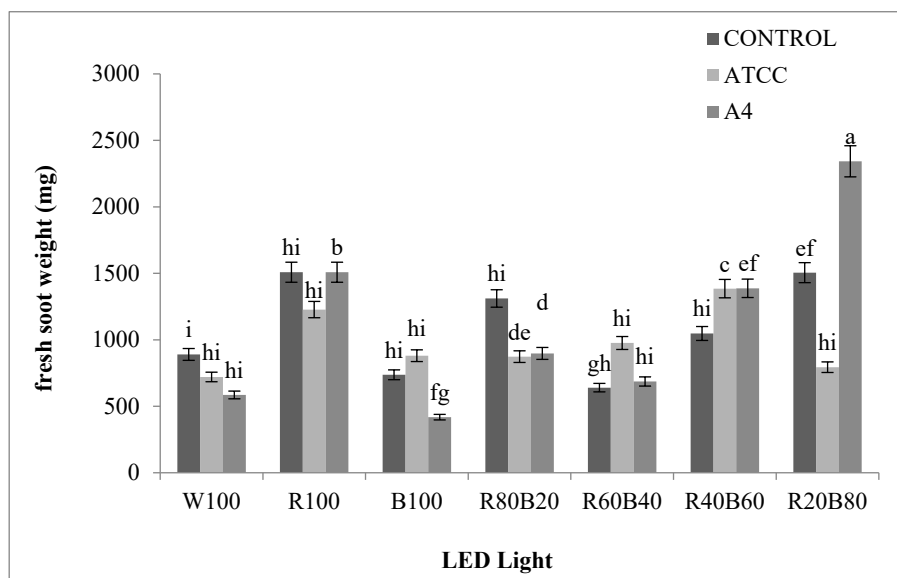
شکل ۲- تغییرات طول ریشه تحت تیمار ترکیب‌های نور LED رنگی و سویه‌های ریزوبیوم در گیاه بابونه

Figure 2- Changes in root length under different combinations of colored LED lights and *Rhizobium* strains in chamomile plants



شکل ۳- اثر تیمار ترکیبات نوری و سویه‌های باکتری بر تعداد برگچه گیاه بابونه

Figure 3- Effect of light and bacterial treatments on the number of leaflets in chamomile plants.



شکل ۴- تغییرات وزن تر شاخساره تحت تاثیر ترکیب‌های نور LED رنگی و سویه‌های ریزوبیوم در گیاه بابونه آلمانی

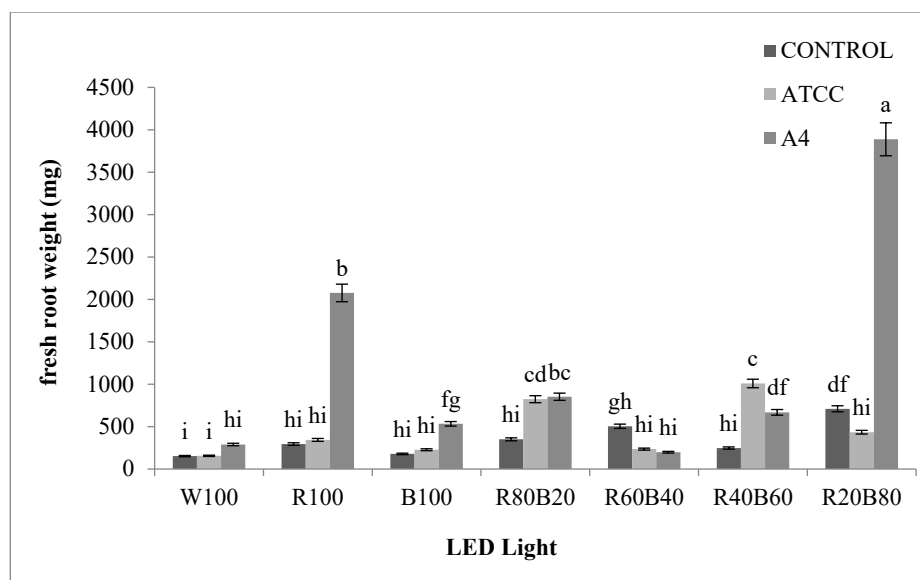
Figure 4- Changes in fresh shoot weight under different combinations of colored LED lights and *Rhizobium* strains in German chamomile plants.

وزن تر شاخساره

طی بررسی تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) مشخص شد که تیمارهای نور و سویه باکتری به صورت ساده و متقابل بر روی وزن تر شاخساره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. به عبارت دیگر، تأثیر ترکیب نوری R20B80 و نور تک رنگ قرمز بیشتر از سایر ترکیبات نوری بوده است (شکل ۴) و بالاترین وزن تر شاخساره هم مربوط به گیاهان تحت تیمار سویه A4 و ترکیب نوری R20B80 با وزن ۲۳۴۲ میلی گرم بود (شکل ۶).

وزن تر ریشه

بر اساس بررسی تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، مشخص شد که تیمارهای نور و سویه باکتری به صورت ساده و متقابل بر روی وزن تر ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند، به طوری که در گیاهان تحت تیمار سویه‌های A4 و ATCC15834 وزن تر ریشه بیشتر از گیاهان تلقیح نیافته (شاهد) بود (شکل ۵). همچنین مشخص شد که وزن تر ریشه به صورت کلی در گیاهان تحت تیمار نور R20B80 بیشتر بوده و بالاترین وزن تر ریشه در گیاهان تیمار شده با سویه A4 و ترکیب نوری R20B80 با وزن ۳۸۸۷ میلی گرم بود (شکل ۶). در نورهای سفید، آبی و قرمز در تیمارهای شاهد و سویه ATCC15834 اختلاف معنی‌دار نبود و کمترین مقدار وزن تر ریشه را داشتند.



شکل ۵- تغییرات وزن تر ریشه تحت تأثیر ترکیب‌های نور LED رنگی و سویه‌های باکتری ریزوبیوم

Figure 5- Changes in fresh root weight under different combinations of colored LED lights and *Rhizobium* strains.



شکل ۶- بیشترین وزن شاخساره، ریشه و تعداد برگچه در نور تک رنگ قرمز و R20B80

Figure 6- Maximum shoot weight, root length, and leaf number under monochromatic red light and R20B80.

کلروفیل a

حالی که نمونه‌های تحت تیمار با باکتری اختلاف معنی‌دار نبود. بیشترین محتوای کلروفیل a در ترکیب تیماری باکتری A4 و نور R80B20 بود و در نور آبی تک رنگ در هر سه تیمار شاهد و باکتری‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۷).

مطابق با جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، محتوای کلروفیل a در ترکیب تیماری نور و سویه‌های باکتری بر محتوای کلروفیل a در سطح یک درصد معنی‌دار بودند، در

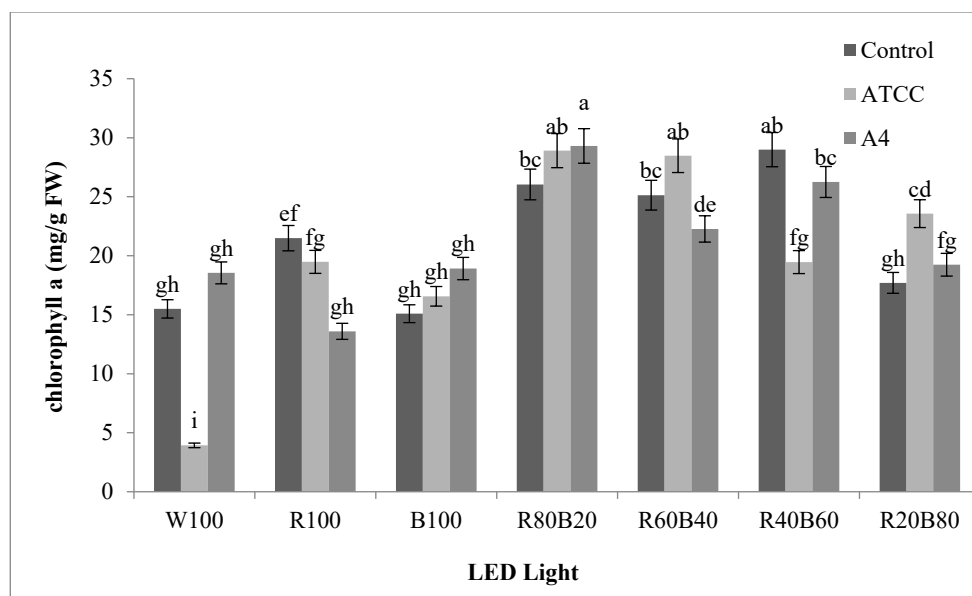
جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیکی گیاهچه‌های تحت تیمار با ترکیب‌های نوری LED و سویه‌های باکتری ریزوبیوم

Table 2- Analysis of variance for some physiological traits of seedlings treated with combinations of LED lights and *Rhizobium* strains.

Mean squares						Degrees of freedom	Sources of variation
DPPH (%)	Total flavonoid	Total phenol	Carotenoid	Chlorophyll b	Chlorophyll a		
۵۰/۴۰ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۴۲/۸۸ ^{ns}	۷۰/۰۹۰ ^{ns}	۲۹/۲۴ ^{ns}	۲۷۲/۷۶ ^{ns}	۶	Light
۲۷/۸۰ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۱۲۹/۱۳ ^{ns}	۵۳/۶۳ ^{ns}	۶۵/۳۱ ^{ns}	۱۲/۹۶ ^{ns}	۲	Bacteria
۱۳/۹۲ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۲۹/۴۲ ^{ns}	۴۷/۳۲ ^{ns}	۲۵/۸۰ ^{ns}	۵۹/۴۳ ^{ns}	۱۲	Light × bacteria interaction
۲/۷۲	۲/۱۷۲	۱/۶۰۵	۳/۵۱۰	۲/۰۶۲	۷/۶۶۶	۴۲	Error
۲۰/۲۸۰	۱۰/۹۱	۹/۶۳	۱۲/۰۹	۱۵/۱۷	۲۹/۹۸		C.V(%)

^{ns}معنی‌دار در سطح یک درصد *معنی‌دار در سطح پنج درصد ^{ns}غیر معنی‌دار

^{ns}Non-significant *Significant at the level of 5% **Significant at the level of 1%



شکل ۷- تغییرات محتوای کلروفیل a در تیمار گیاه بابونه آلمانی با ترکیبات نوری و سویه‌های باکتری

Figure 7- Changes in chlorophyll a content in German chamomile plants treated with different light and bacterial combinations.

کلروفیل b

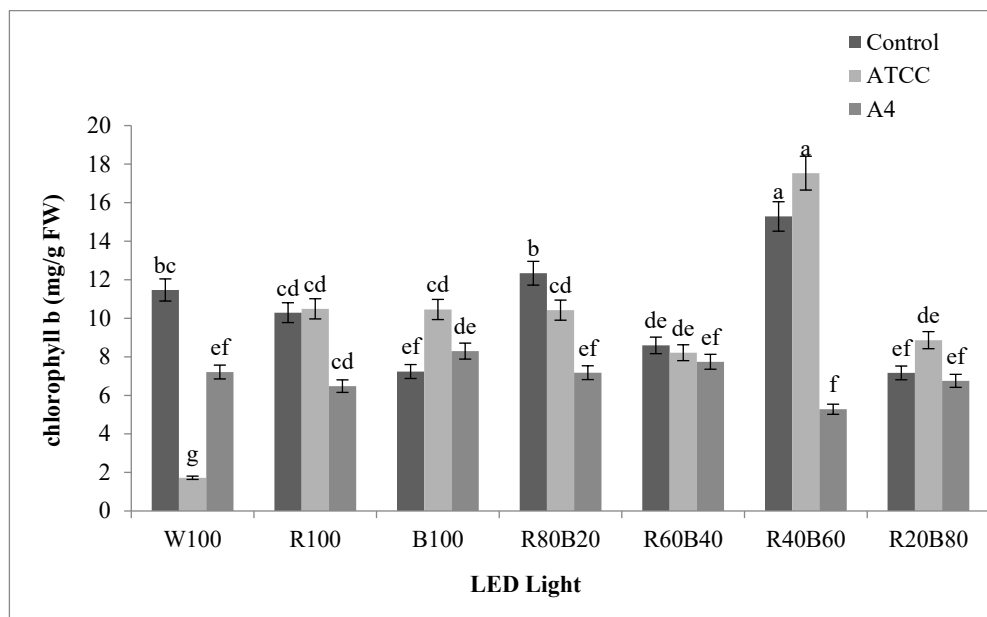
براساس داده‌های جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیشترین محتوای آن در ترکیب تیماری نور R40B460 و باکتری ATCC حاصل شد، همچنین در نور قرمز تک رنگ در تیمارهای باکتری و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۸).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر تیمار نوری و سویه‌های باکتری به صورت جداگانه و اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کاروتنوئید بود (جدول ۲). نتایج داده‌ها نشان داد به طور کلی محتوای کاروتنوئید در گیاهان تحت تیمار نوری R40B60 بالا بود. همچنین بر اساس این یافته‌ها، بیشترین محتوای کاروتنوئید در گیاهان تلقیحی با باکتری ATCC15834 و در شرایط نوری R40B60 با میزان ۲۱/۲۶ (mg/g FW) به دست آمد. از سوی دیگر، در نور آبی

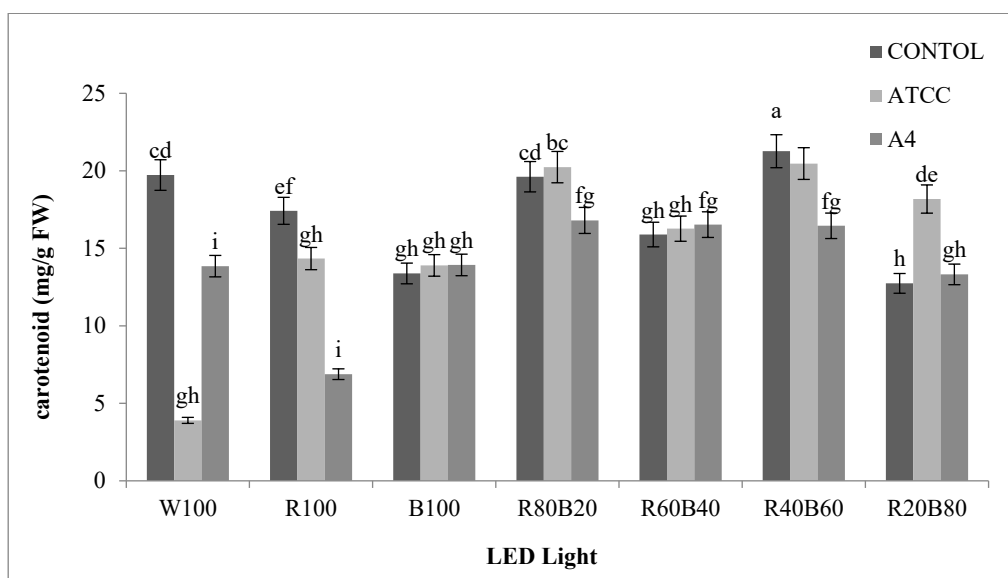
کاروتنوئید در ترکیب تیماری نور سفید تک رنگ و سویه
ATCC به‌دست آمد (شکل ۹).

تک رنگ در تیمارهای شاهد و باکتری، مقدار کاروتنوئید
تفاوت معنی‌داری نداشت، همچنین کمترین محتوای



شکل ۸- تغییرات محتوای کلروفیل b در اثر تیمار ترکیب‌های نوری و سویه‌های باکتری در گیاه بابونه

Figure 8- Changes in chlorophyll b content under different light and bacterial treatments in chamomile plants.



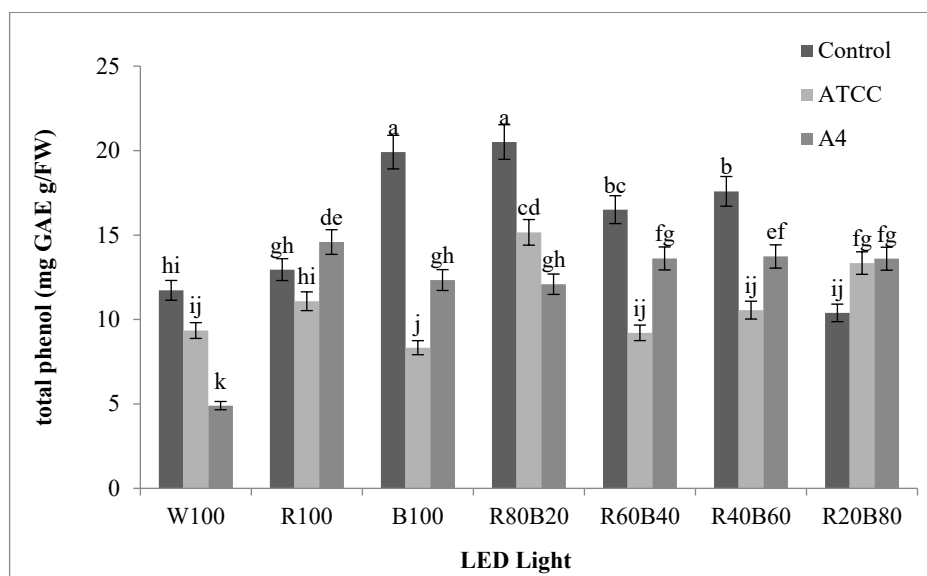
شکل ۹- تغییرات محتوای کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیب‌های نور LED رنگی و سویه‌های باکتری

Figure 9- Changes in carotenoid content under different combinations of colored LED lights and bacterial strains.

فنول کل

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر محتوای فنول کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود؛ به طوری که بیشترین محتوای فنول کل در نور R80B20 و تک رنگ آبی که تحت

تیمار شاهد بودند به ترتیب با ۲۰/۵۰ و ۱۹/۹۰ mg GAE g/FW بود و همچنین در نمونه‌های شاهد محتوای فنول کل بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با باکتری‌ها بود، به جز نور R20B80 که محتوای فنول در نمونه‌های تیمار شده با باکتری‌ها بیشتر از تیمار شاهد در این ترکیب نوری بود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- تغییرات محتوای فنول کل تحت تأثیر ترکیب نوری LED و سویه‌های ریزوبیوم رایزوژنز

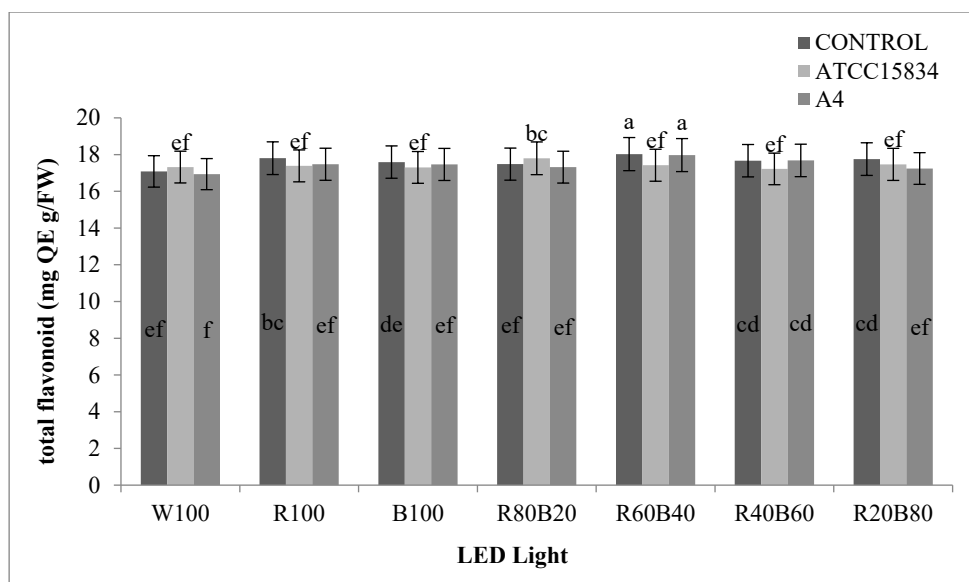
Figure 10- Changes in total phenol content under different LED light and *Rhizobium rhizogenes* strain combinations.

ظرفیت آنتی‌اکسیدان (به روش DPPH)

با بررسی جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، مشخص شد که اثرات نور و سویه‌های باکتری به صورت مجزا و نیز به صورت متقابل با هم بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (به روش DPPH) در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و بیشترین محتوای آنتی‌اکسیدان در ترکیب تیماری سویه A4 و در نور R100 با میزان ۱۴/۷۱ درصد به دست آمد، محتوای ظرفیت آنتی‌اکسیدان در نور R60B40 در تیمارهای شاهد و سویه‌ی ATCC بالا بود و تفاوت معنی داری وجود نداشت (شکل ۱۲).

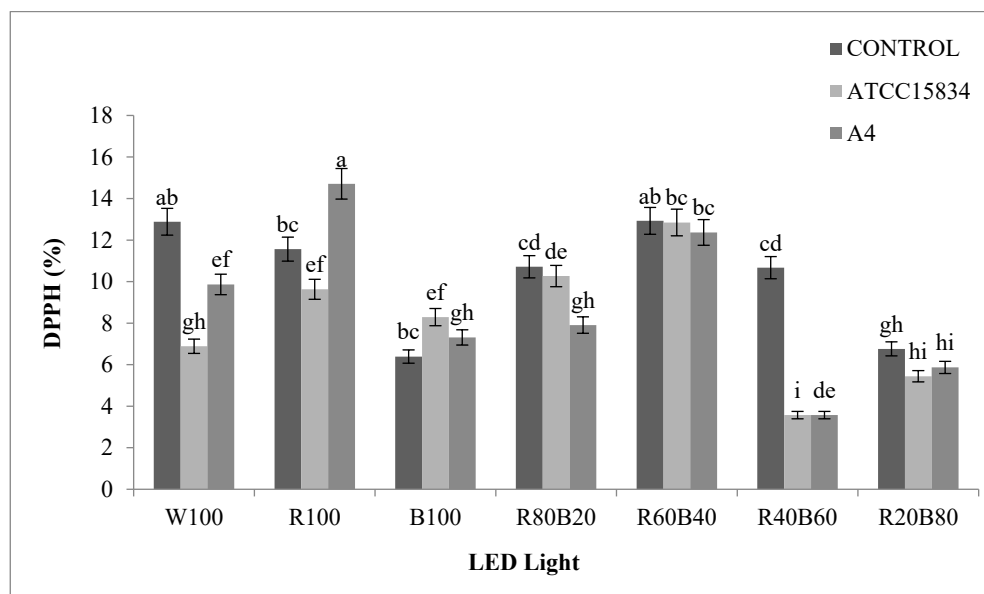
فلاونوئید کل

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان دادند اثرات ساده نور و باکتری بر محتوای فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، در صورتی که اثر متقابل تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. محتوای فلاونوئید در گیاهان تحت تیمار با نور R60B40 بیشتر بود، به طوری که در نور R40B60، نمونه‌های تحت تیمار سویه A4 و شاهد با مقدار ۱۸ و ۱۷/۹ mg QE g/FW حاوی بیشترین محتوای فلاونوئید بودند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تغییرات محتوای فلاونوئید تحت تأثیر ترکیبات نوری و سویه‌های باکتری ریزوبیوم

Figure 11 - Changes in flavonoid content influenced by light compositions and *Rhizobium* bacterial strains



شکل ۱۲- تغییرات پتانسیل آنتی‌اکسیدانی در گیاه بابونه تحت تیمار ترکیبات نوری LED و سویه‌های باکتری ریزوبیوم

Figure 12- Changes in antioxidant potential in chamomile plants treated with different LED light and *Rhizobium* strain combinations.

بحث

صفات مختلف ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی اثرات معنی‌داری دارند. همچنین نتایج پژوهش حاضر در زمینه تأثیر نورهای قرمز و آبی بر رشد گیاه، با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد. از سوی دیگر، این همخوانی در

در این پژوهش، تأثیر تیمارهای نوری (آبی و قرمز) و سویه‌های باکتری *Rhizobium rhizogenes* بر رشد و ترکیبات متابولیتی گیاهچه بابونه بررسی شد. نتایج نشان دادند این تیمارها بر روی

میزبان، اثرات متفاوتی بر رشد، ریخت‌شناسی و متابولیت‌های ثانویه داشته باشند. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد نور قرمز تک‌رنگ و ترکیب‌های نور آبی-قرمز، به ویژه تیمارهای R40B60 و R60B40، تأثیر به‌سزایی بر افزایش رشد و محتوای متابولیت‌های گیاه بابونه داشتند. علاوه بر این، سویه A4 از باکتری *Rhizobium rhizogenes* به عنوان یک محرک زیستی، به‌طور مؤثری شاخص‌های رشد و محتوای فنولی گیاه را بهبود بخشید. این یافته‌ها بر اهمیت استفاده از نورهای LED و سویه‌های باکتریایی مناسب برای بهینه‌سازی تولید متابولیت‌های فعال زیستی در گیاهان دارویی تأکید می‌کند.

جمع‌بندی

نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب نوری و سویه‌های باکتری *Rhizobium rhizogenes* بر شاخص‌های رشدی و محتوای متابولیتی گیاه بابونه تأثیر مثبت دارند. به‌طور خاص، تیمارهای نوری R100 و R40B60 بیشترین تأثیر را بر رشد ریخت‌شناسی گیاه (طول شاخه و ریشه) داشتند. همچنین، ترکیب نوری R40B60 و سویه ATCC15834 به افزایش تولید کلروفیل و کاروتنوئید منجر شد. در مورد ترکیبات فنولی و فلاونوئید، ترکیب نوری R60B40 موثرترین تیمار بود. به‌طور کلی، نور قرمز و سویه A4 به عنوان موثرترین تیمارها برای بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه در این پژوهش شناخته شدند.

تشکر و قدردانی

از حمایت‌های دانشگاه محقق اردبیلی و همکاران آزمایشگاه کشت بافت قدردانی می‌شود.

پژوهش (Darko et al. 2014) مشاهده شده است. اثر مثبت نور قرمز بر رشد گیاه و تولید کلروفیل، به‌علاوه سازگاری طول موج آن با حداکثر جذب کلروفیل‌ها و فیتوکروم‌ها است که به افزایش کارایی فتوسنتز منجر می‌شود. در پژوهش حاضر، بیشترین میزان کلروفیل b در ترکیب نوری R40B60 و سویه ATCC به دست آمد. این یافته با پژوهش‌هایی که نشان دادند ترکیب نورهای قرمز و آبی تأثیر بیشتری بر میزان کلروفیل a و b دارند، سازگار است (Rashidi et al., 2020). همچنین نتایج ما با گزارش (Dou et al. 2017) که در آن گیاهان تحت تیمار نور قرمز-آبی رشد بهتری داشتند، مطابقت دارد. در این پژوهش، بیشترین مقادیر فنول کل و فلاونوئید کل در ترکیب نوری R60B40 و نور قرمز تک‌رنگ مشاهده شد. این نتایج با برخی از پژوهش‌ها از جمله یافته‌های (Kapoor et al. 2018) که در آن نور آبی منجر به افزایش فنول و فلاونوئید در گیاه *Rhodiola imbricata* شد، متفاوت است. علت این تفاوت می‌تواند وابستگی پاسخ گیاهان به کیفیت نور به ژنوتیپ آن‌ها و نوع ترکیب نوری باشد. نتایج حاضر، مشابه با یافته‌های (Jung et al. 2021) و (Sobhani et al. 2019) است که نشان دادند نورهای قرمز و آبی می‌توانند تولید ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهند. این افزایش را می‌توان به عنوان یک پاسخ دفاعی در گیاه برای مقابله با رادیکال‌های آزاد ناشی از نور LED توجیه کرد.

در این پژوهش، از بین دو سویه A4 و ATCC15834، سویه A4 رشد و محتوای متابولیتی بیشتری را در اندام‌های هوایی گیاه بابونه ایجاد کرد. این نتیجه با یافته‌های (Vu et al. 2018) که در آن سویه TR7 بهترین عملکرد را داشت، متفاوت است. این تفاوت در عملکرد سویه‌ها، مجدداً تأییدکننده پاسخ متفاوت گونه‌های گیاهی به سویه‌های مختلف باکتری است. سویه‌های باکتری می‌توانند بر اساس نوع گیاه

References

- Bakar, M. F. A., Mohd, R. F. R., Sulaiman, S. F., & Ismail, P. (2009). Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*). *Food Chemistry*, 113(2), 479–483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.086>
- Bari, R., & Jones, J. D. G. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69(4-5), 473–488. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9435-0>
- Cushnie, T. P. T., & Lamb, A. J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 26(5), 343–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002>
- 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(1644), 20130243. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>
- Dou, H., Niu, G., Gu, M., & Masabni, J. G. (2017). Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. *Horticulturae*, 3(2), 36. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020036>
- El Mihaoui, A., Esteves da Silva, J. C. G., Charfi, S., Candela Castillo, M. E., Lamarti, A., & Arnao, M. B. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): A Review of ethnomedicinal use, phytochemistry and pharmacological uses. *Life (Basel)*, 12(4), 479. <https://doi.org/10.3390/life12040479>
- Farhoudi, R. (2013). Chemical constituents and antioxidant properties of *Matricaria recutita* and *Chamaemelum nobile* essential oil growing wild in the south west of Iran. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 16(4), 531–537. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.813219>
- Formisano, C., Delfine, S., Oliviero, F., Carlo, G., Rigano, D., & Senatore, F. (2014). Correlation among environmental factors, chemical composition and antioxidative properties of essential oil and extracts of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) collected in Molise (South-central Italy). *Industrial Crops and Products*, 57, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.003>
- He, Q., Yang, H., Wu, L., & Hu, C. (2015). Effect of light intensity on physiological changes, carbon allocation and neutral lipid accumulation in oleaginous microalgae. *Bioresource Technology*, 194, 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.039>
- Heydarizadeh, P., Zahedi, M., & Sabzalian, M. R. (2014). The effect of LED light on growth, essential oil content and activity of antioxidant enzymes in Pepper Mint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 3(8), 13–24. <https://www.magiran.com/p1330944> [In Persian]
- Jaiswal, S. K., Mohammed, M., Ibny, F. Y. I., & Dakora, F. D. (2021). *Rhizobia* as a source of plant growth-promoting molecules: Potential applications and possible operational mechanisms. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 619676. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.619676>
- Jalili, A., & Jamzad, Z. (1999). *Red Data Book of Iran*. Research Institute of Forests and Rangelands Press.
- Jung, W. S., Chung, I. M., Hwang, M. H., Kim, S. H., Yu, C. Y., & Ghimire, B. K. (2021). Application of light-emitting diodes for improving the nutritional quality and bioactive compound levels of some crops and medicinal plants. *Molecules*, 26(5), 1477. <https://doi.org/10.3390/molecules26051477>
- Kapoor, K. K., Tamilmani, K., Rana, N. P., Patil, P., Dwivedi, Y. K., & Nerur, S. (2018). Advances in social media research: past, present and future. *Information Systems Frontiers*, 20(3), 531–558.

<https://doi.org/10.1007/s10796-017-9810-y>

- Kochetova, G. V., Avercheva, O. V., Bassarskaya, E. M., Kushunina, M. A., & Zhigalova, T. V. (2023). Effects of red and blue LED light on the growth and photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(3), 1804-1820. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10661-x>
- Li, H., Tang, C., & Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 150, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.011>
- Li, Z., Tong, N., Lin, X., Wang, Z., Yuchao, Z., Lyu, R., Zhao, H., & Chen, L. (2019). Enhanced summation impedance relay for EHV transmission lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 34(3), 1184-1191. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2902388>
- Rashidi, A., Narimani, H., & Moghadam, M. (2020). Effect of light quality on germination and some physicochemical characteristics of *Valeriana officinalis* seedlings. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(4), 417-431. <https://doi.org/10.22124/jms.2020.4640> [In Persian]
- Sahito, Z. A., Zehra, A., Chen, S., Yu, S., Tang, L., Ali, Z., Ahmad, R., Mehmood, S., & Yang, X. (2022). *Rhizobium rhizogenes*-mediated root proliferation in Cd/Zn hyperaccumulator *Sedum alfredii* and its effects on plant growth promotion, root exudates and metal uptake efficiency. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127442. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.006>
- Sashidhara, K., Verma, R., & Ram, P. (2006). Essential oil composition of *Matricaria recutita* L. from the lower region of the Himalayas. *Flavour and Fragrance Journal*, 21(2), 274-276. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ffj.1582>
- Shengxin, C., Chunxia, L., Xuyang, Y., Song, C., Xuele, L., Xiaoying, X., Zhigang, X., & Ronzhan, G. (2016). Morphological, photosynthetic, and physiological responses of rapeseed leaf to different combination of red and blue lights at the rosette stage. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1144. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01144>
- Singh, A., Jones, A. M. P., Shukla, M. R., & Saxena, P. K. (2017). High light intensity stress as the limiting factor in micropropagation of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129(2), 209-221. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1170-2>
- Sobhani Najafabadi, A., Khanahmadi, M., Ebrahimi, M., Moradi, K., Behrooz, P., & Noormohammadi, N. (2019). Effect of different quality of light on growth and production of secondary metabolites in adventitious root cultivation of *Hypericum perforatum*. *Plant Signaling and Behavior*, 14(9), 1640561. <https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1640561>
- Sousa, C. M. M., Silva, G. M., Vieira Junior, M. C., Ayres, C. L. S., Costa, D. S., Araujo, L. C. D., Cavalcante, E. D., Barros, P. B. M., Araujo, M. S., Brandao, M. H., & Chaves, M. H. (2007). Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. *Quimica Nova*, 30(2), 351-355. <http://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200021>
- Trivellini, A., Toscano, S., Romano, D., & Ferrante, A. (2023). LED lighting to produce high-quality ornamental plants. *Plants*, 12(8), 1667. <https://doi.org/10.3390/plants12081667>
- Vu, X. H., Duong, T. T. T., Pham, T. T. H., & Trinh, D. K. (2018). Synthesis and study of silver nanoparticles for antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9(2), 025008. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aac58f>
- Watan Doost, S., & Zeberjadi, A. (2020). Effect of explant type and different levels of growth regulators on callogenesis and regeneration in medicinal plant chamomile (*Matricaria*

aurea L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(1), 148-160.

https://plant.ijbio.ir/article_1533.html?lang=en [In Persian]

Zhao, H., Seibert, S. E., & Hills, G. E. (2005). The mediating role of self-efficacy in the development of entrepreneurial intentions. *Journal of Applied Psychology*, 90(6), 1265–1272.

<https://doi.org/10.1037/0021-9010.90.6.1265>

Zheng, L., & Van Labeke, M. C. (2017). Long-term

effects of red and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 917. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00917>

Zhou, C., Shang, C., Chen, F., Bao, J., Yu, L., & Guo, P. (2021). Light-emitting diode spectra modify nutritional status, physiological response, and secondary metabolites in *Ficus hirta* and *Alpinia oxyphylla*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(2), 12314.

<https://doi.org/10.15835/nbha49212314>

