

Studying the effect of different melatonin concentrations on plant pigments of marigold (*Calendula officinalis* L.) in greenhouse conditions

Bahar Alinaghi Langari^{1✉}, Vahid Reza Saffari², Ali Akbar Maghsoudi Moud³, Safoora Saadati⁴

1- Master student, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

3- Associate Professor, Department of Plant genetic Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

Email: bahar.alinaghii@agr.uk.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Marigold (<i>Calendula officinalis</i> L.) is a widely used ornamental–medicinal plant in Iran and melatonin, a plant growth regulator, is known for its multifaceted roles in regulating plant growth, enhancing tolerance to environmental stresses, improving photosynthetic capacity, and modulating metabolic activities. These effects may ultimately contribute to improved growth, quality, and productivity of ornamental plants. The present study aimed to investigate the effects of different concentrations of melatonin on the content of photosynthetic pigments, including chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids, in marigold (<i>Calendula officinalis</i> L.). Melatonin was applied at concentrations of 0, 100, 150, and 200 μ M as a foliar spray on two occasions: at the 6–8-leaf stage and two weeks later. The results showed that the application of 150 μ M melatonin resulted in the greatest significant increase in chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll contents, whereas the 100 μ M treatment produced the greatest significant increase in carotenoid content. Compared with the control, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid contents increased by 77.34%, 87.41%, 81.72%, and 74.80%, respectively. The significant enhancement of photosynthetic pigments indicates an improvement in the photosynthetic performance of the plants, as well as their capacity for light absorption and conversion of light energy. Overall, the findings highlight the potential of melatonin as an effective plant growth regulator for sustainable agriculture and green space management. Optimizing the application of melatonin may enhance the productivity and quality of ornamental plants while providing an environmentally friendly and cost-effective approach to improving plant performance and longevity.
Article history:	
Received: July 25, 2025	
Revised: Aug. 21, 2025	
Accepted: Aug. 25, 2025	
Published: Winter, 2025-2026	
Keywords:	
Carotenoid,	
Chlorophyll,	
Marigold,	
Melatonin.	
Cite this article: Alinaghi Langari, B., Saffari, V.R., Maghsoudi Moud, A.A., Saadati, S. (2025), Studying the effect of different melatonin concentrations on plant pigments of marigold (<i>Calendula officinalis</i> L.) in greenhouse conditions, <i>Soil and Sustainable Development</i> , 1 (3), 257-267.	
DOI: https://doi.org/10.22034/ssd.2025.536727.1035	
©The Author(s). Publisher: The University of Jiroft Press	

بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر رنگیزه‌های گیاهی گل همیشه‌بهار در شرایط گلخانه‌ای

بهار علینقی لنگری^۱✉، وحیدرضا صفاری^۲، علی‌اکبر مقصودی مود^۳، صفورا سعادت^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. ایمیل:

bahar.alinaghii@agr.uk.ac.ir

۲- دانشیار، بخش علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

۳- دانشیار، بخش ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

۴- استادیار، بخش علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی تاریخ دریافت: ۳ مرداد ۱۴۰۴ تاریخ بازنگری: ۳۰ مرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۳ شهریور ۱۴۰۴ تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۴ واژه‌های کلیدی: کاروتنوئید، کلروفیل، ملاتونین، همیشه‌بهار.	همیشه‌بهار (<i>Calendula officinalis</i> L.) یک گیاه زینتی دارویی پرکاربرد در ایران است و ملاتونین، یک تنظیم‌کننده رشد در گیاهان، با تأثیرات چندجانبه‌ای بر تنظیم رشد، افزایش مقاومت به عوامل تنش‌زا، ارتقاء ظرفیت فتوسنتزی و بهبود فعالیت‌های متابولیکی شناخته شده است، که می‌تواند منجر به افزایش کیفیت و کارایی محصولات زینتی شود. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثرات غلظت‌های متفاوت ملاتونین بر میزان و ترکیب رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاه همیشه‌بهار بود. ملاتونین در غلظت‌های (صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار)، دو بار به صورت محلول‌پاشی در مرحله ۶ تا ۸ برگ و دو هفته پس از آن اعمال شد تا تأثیر آن بر رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه همیشه‌بهار بررسی شود. یافته‌های پژوهش نشان داد که تیمار ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار بیشترین افزایش معنی‌دار را در محتوای کلروفیل‌های a، b و کلروفیل کل داشت و غلظت ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین بیشترین افزایش معنی‌دار را در رنگیزه کاروتنوئید ایجاد کرد، به‌طوری که کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به ترتیب به میزان ۷۷/۳۴، ۸۷/۴۱، ۸۱/۷۲ و ۷۴/۸۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافتند. این افزایش معنی‌دار در رنگیزه‌های فتوسنتزی، بیانگر بهبود عملکرد سیستم فتوسنتزی و تقویت ظرفیت جذب نور و تبدیل انرژی نورانی در گیاه است. نتایج این مطالعه بیانگر اهمیت استفاده از ملاتونین به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد مؤثر در کشاورزی پایدار و مدیریت فضای سبز است. کاربرد بهینه این تنظیم‌کننده رشد گیاهی می‌تواند ضمن افزایش راندمان تولید و کیفیت گل‌های زینتی، به توسعه راهکارهای زیست‌دوست و کم‌هزینه در بهبود عملکرد و دوام گیاهان منجر شود.

ارجاع به مقاله: علینقی لنگری، بهار، صفاری، وحیدرضا، مقصودی مود، علی‌اکبر، سعادت، صفورا، (۱۴۰۴)، بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر رنگیزه‌های گیاهی گل همیشه‌بهار در شرایط گلخانه‌ای، مجله خاک و توسعه پایدار، ۱ (۳)، ۲۵۷-۲۶۷.

© نویسندگان، ناشر: انتشارات دانشگاه جیرفت

DOI: <https://doi.org/10.22034/ssd.2025.536727.1035>

مقدمه

گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)، گیاهی علفی یک ساله از خانواده Asteraceae، بومی مناطق جنوب اروپا و نواحی مدیترانه‌ای می‌باشد، که به‌طور گسترده در نقاط مختلف جهان کشت می‌شود (Azizi et al., 2024). این گیاه به دلیل ویژگی‌های زیبایی‌شناختی خود از جمله گل‌های زیبا و رنگارنگ، به یکی از پرکاربردترین گیاهان زینتی باغچه‌ای تبدیل شده است و به طور معمول برای تزئین حاشیه باغچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. گل همیشه‌بهار با ارتفاع متوسط، رشد متراکم و قابلیت گلدهی مطلوب، به‌ویژه در گونه‌های پرپر و کم‌پر، گزینه مناسبی برای کشت در گلدان نیز به شمار می‌رود. از نظر دارویی، گل همیشه‌بهار جایگاه ویژه‌ای دارد و به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی مورد توجه است؛ چرا که در درمان طیف وسیعی از بیماری‌ها، از جمله کمردرد و مسمومیت‌ها استفاده می‌شود (Arora et al., 2013; Acar et al., 2024). این گیاه در ارقام مختلف، دارای گل‌آذین‌هایی با رنگ‌های متنوعی از جمله نارنجی، زرد، زرد روشن و نارنجی تیره است که زیبایی بصری متعددی به آن می‌بخشد (Szopa et al., 2020; Ghanim et al., 2024).

ملاتونین، به عنوان یک ترکیب زیستی فعال، نقش‌های متعددی در پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه از جمله بهبود کارایی فرآیند فتوسنتز، افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید ایفا می‌کند. اثرات گسترده ملاتونین در تنظیم پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، عمدتاً به واسطه ویژگی آنتی‌اکسیدانی قوی آن است. مطالعات نشان داده‌اند که ملاتونین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بسیار بالاتری نسبت به سایر آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی همچون آسکوربات‌ها و توکوفرول‌ها داراست (Varghese et al., 2019). علاوه بر این، ملاتونین به صورت مؤثری سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه را مدیریت کرده و عملکرد فتوسنتزی را تقویت می‌کند (Tiware et al., 2023). این ماده نه تنها عملکردهای فیزیولوژیکی و مولکولی گوناگون را تنظیم می‌کند، بلکه با حذف رادیکال‌های آزاد و تقویت سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی، به طرز قابل توجهی از گیاه محافظت می‌نماید (علوم و احمدی موسوی، ۱۴۰۱). خو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تیمار گیاه با ملاتونین نقش مهمی در حفاظت از کلروفیل و ارتقاء فتوسنتز ایفا می‌کند، که این اثرات با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و به دنبال آن مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط است (Xu, 2010). همچنین، در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، تیمار ملاتونین موجب افزایش چشمگیر محتوای پارامترهای فتوسنتزی شد (Sheikhalipour et al., 2024). در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد ملاتونین در گیاه آلاله (*Ranunculus asiaticus* L.)، موجب افزایش محتوای

رنگدانه‌های فتوسنتزی شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که یکی از دلایل افزایش محتوای کلروفیل پس از کاربرد ملاتونین، محافظت از دستگاه فتوسنتزی و ساختار کلروپلاست‌ها از طریق حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد که آسیب‌های اکسیداتیو را کاهش می‌دهد (Eisa *et al.*, 2023). علاوه بر این، در مطالعه‌ای اثرات مثبت تیمار ملاتونین بر روی گیاه رزماری به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد و اثر بر رنگدانه‌های فتوسنتزی اثبات گردید (Morsi *et al.*, 2018). چائوکیانگ (۲۰۱۶) گزارش کرد که در گیاه ذرت، کاربرد خارج از گیاه ملاتونین افزایش قابل توجهی در نرخ خالص فتوسنتز به همراه دارد که این اثر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش نشت یونی مرتبط است (Chaoqiang, 2016). با توجه به اهمیت ملاتونین به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی جامع پیرامون تأثیر غلظت‌های متفاوت آن بر سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی در گل همیشه‌بهار، این مطالعه به منظور تعیین مناسب‌ترین غلظت ملاتونین با تأثیر بهینه بر افزایش محتوا رنگیزه‌ها صورت گرفته است. این موضوع در ایجاد راهکارهای نوین برای بهبود کیفیت رشد و عملکرد گیاهان زینتی کاملاً کاربردی محسوب می‌شود. هدف این تحقیق، ارزیابی تأثیر دامنه‌ای از غلظت‌های ملاتونین به عنوان تنظیم‌کننده رشد، بر میزان و ترکیب رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه گل همیشه‌بهار است، به گونه‌ای که بتوان به غلظتی بهینه دست یافت که منجر به بهبود عملکرد فتوسنتزی و در نتیجه ارتقاء رشد و سلامت گیاه گردد. این پژوهش می‌تواند به درک بهتر نقش ملاتونین در افزایش مقاومت و بهره‌وری گیاهان دارویی و زینتی کمک کرده و کاربرد آن را در کشاورزی پایدار و اصلاح کیفیت محصولات گیاهی تقویت نماید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر ملاتونین به عنوان تنظیم‌کننده رشد بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه همیشه‌بهار، در فصل پاییز سال ۱۴۰۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. گل‌ها در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر کشت شده و بستر کشت شامل مخلوط خاکی متشکل از ماسه-خاک رس و کود پوسیده دامی به ترتیب به نسبت ۲، ۱ و ۱ بود. این پژوهش در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای ملاتونین در چهار سطح غلظتی (صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار) استفاده شد. این تیمارها به صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌های گیاه در مرحله رشد اولیه، یعنی در مرحله ۶ تا ۸ برگی، اعمال گردید تا تأثیر ملاتونین در دوره‌های حساس از توسعه گیاه مورد ارزیابی قرار گیرد. علاوه بر این، جهت تثبیت اثرات ملاتونین و بررسی تأثیر تکرار، محلول‌پاشی دوم

به فاصله دو هفته پس از مرحله نخست انجام شد. این راهبرد تیماری به منظور فراهم آوردن شرایط پایدار برای تحلیل تأثیر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر فرایندهای بیوشیمیایی گیاه اتخاذ گردید.

پس از گذشت ده روز از آخرین محلول‌پاشی، اندازه‌گیری‌های مربوط به رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ‌ها انجام گرفت. روش استخراج رنگیزه‌ها به این صورت بود که ابتدا ۰/۵ گرم برگ‌های تازه با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد، در هاون چینی به خوبی سابیده شدند تا عصاره‌های یکنواخت تهیه شود. سپس عصاره به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه مورد چرخش قرار گرفت تا ذرات معلق جدا و محلول شفاف حاصل شود. یک میلی‌لیتر از محلول فوق پس از برداشت، با ۴ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط گردید و مقدار جذب نور آن توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های مشخص ۴۷۰، ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقادیر (کلروفیل a، b، کل و رنگیزه کاروتنوئید) که معیارهای مهمی در تعیین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی به شمار می‌روند، با استفاده از روابط ذیل محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987):

$$Chl\ a = 12.25 \times A663 - 2.55 \times A646 \quad (۱)$$

$$Chl\ b = 20.31 \times A646 - 4.91 \times A663 \quad (۲)$$

$$Total\ Chl = 17.76 \times A646 + 34 \times A663 \quad (۳)$$

$$Car = \frac{(1000 \times A470 - 3.27 \times Chl\ a - 104 \times Chl\ b)}{227} \quad (۴)$$

Chl a: کلروفیل a، *Chl b*: کلروفیل b، *Total chl*: کلروفیل کل، *Car*: رنگیزه کاروتنوئید، *A663*: جذب در طول موج ۶۶۳، *A646*: جذب در طول موج ۶۴۶، *A470*: جذب در طول موج ۴۷۰.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و آزمون مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش LSD در سطح معنی‌داری ۱ درصد برای بررسی اختلاف‌های معنی‌دار بین تیمارها به کار رفت. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel صورت گرفت تا نتایج در قالب گرافیکی ارائه گردد.

نتایج و بحث

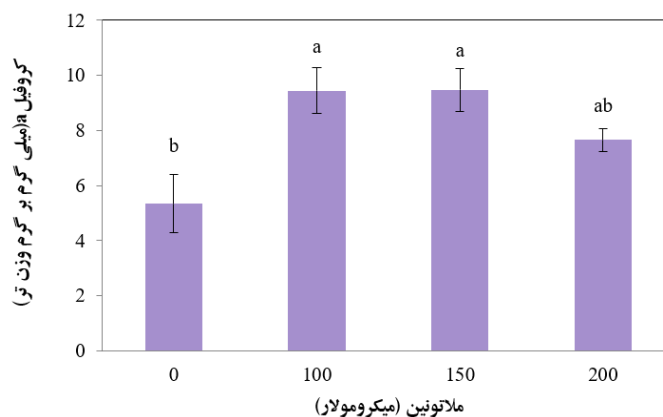
جدول تجزیه واریانس نتایج نشان داد که تیمار ملاتونین تأثیر معنی‌داری بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه همیشه‌بهار دارد (جدول ۱). این سطح اهمیت آماری، بیانگر اثر قابل توجه ملاتونین در بهبود فرآیندهای مرتبط با فتوسنتز می‌باشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس داده‌های کلروفیل a، b، کل و رنگیزه کاروتنوئید در گل همیشه‌بهار

تیمار	منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	میانگین مربعات	رنگیزه کاروتنوئید
ملاتونین	تیمار	۳	۱۱/۴۱۸**	۸/۵۷۹**	۳۹/۷۳۵**	۰/۶۱۹**	
	خطا	۶	۲/۶۶۴	۱/۸۲۹	۸/۸۹۷	۰/۱۷۴	
	میانگین		۷/۹۷۴	۶/۳۴۷	۱۴/۳۲۱	۲/۰۱۲	
	CV%		۲۰/۴۶	۲۱/۳۰	۲۰/۸۲	۲۰/۷۳	

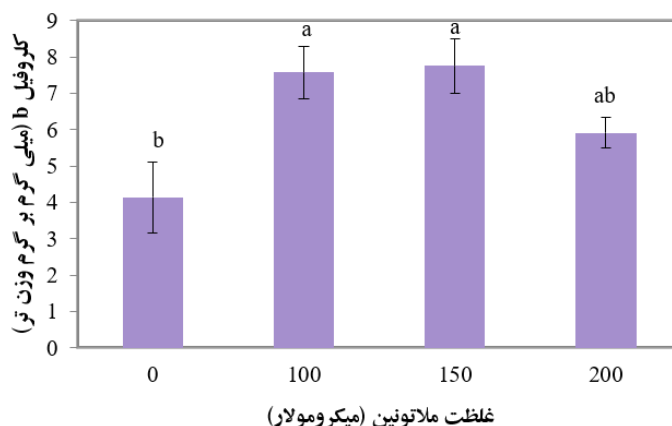
** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

بر اساس نتایج ارائه شده در (شکل ۱)، از لحاظ آماری، بیشترین مقدار کلروفیل a در گیاهان تیمار شده با ملاتونین به غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار مشاهده شد، هر چند تیمار ۱۵۰ میکرومولار مقادیر بیشتری از کلروفیل a را ایجاد کرده بود و این مقدار در مقایسه با شاهد، حاکی از افزایش چشمگیر و قابل توجه ۷۷/۳۴ درصدی است. این افزایش قابل توجه نشان‌دهنده تقویت سیستم فتوسنتزی و بهبود جذب نور در طول موج‌های مربوط به کلروفیل a می‌باشد، که نقش کلیدی در واکنش‌های اولیه فتوسنتز ایفا می‌کند. این یافته‌ها نشان می‌دهند ملاتونین توانایی بهبود سنتز این رنگدانه‌های حیاتی را دارا می‌باشد. استفاده از ملاتونین به طور قابل توجهی موجب افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود، که این افزایش، کلروفیل‌ها را شامل می‌شود. این اثر به طور عمده از طریق مهار فعالیت آنزیم کلروفیل‌از حاصل می‌گردد، آنزیمی که نقش کلیدی در تجزیه و تخریب کلروفیل دارد (Wang et al., 2013; Turk et al., 2014). ملاتونین با جلوگیری از تخریب کلروفیل، به حفظ و افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌ها کمک می‌کند که این موضوع به تأخیر در روند پیری برگ منجر می‌شود. علاوه بر این، ملاتونین باعث حفظ ثبات و عملکرد بخش فتوسیستم II در کلروپلاست‌ها شده، که بخش مهمی از مسیرهای فتوسنتزی است، و در نتیجه موجب افزایش کارایی و سرعت فرآیند فتوسنتز می‌گردد (Turk et al., 2014).



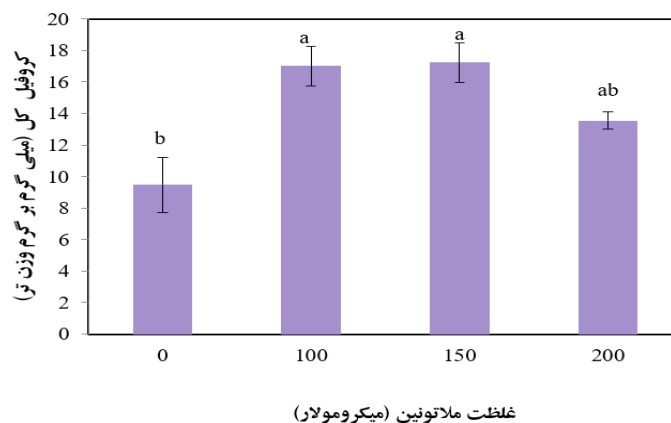
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر کلروفیل a در گل همیشه‌بهار

بر اساس نتایج نشان داده شده در (شکل ۲)، از لحاظ آماری کلروفیل b نیز در گیاهان تحت تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار ملاتونین بیشترین مقدار را نشان دادند، هر چند مقادیر کاربرد ۱۵۰ میکرومولار ملاتونین مقادیر بیشتر کلروفیل b را موجب و افزایش ۸۷/۴۱ درصدی در این تیمار نسبت به شاهد، تأییدکننده اثر مثبت ملاتونین در تقویت ساختار رنگیزه‌ها است. ملاتونین به عنوان تنظیم‌کننده رشد دارای پتانسیل دوگانه است، از یک سو به عنوان مولکول آنتی‌اکسیدانت مستقیم عمل می‌کند و از سوی دیگر پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی داخلی گیاه را القا و تقویت می‌نماید، که این ویژگی، آن را از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد متمایز می‌سازد (Zhang *et al.*, 2014). استفاده از ملاتونین منجر به توقف بیان ژن‌های مرتبط با تخریب کلروفیل می‌شود، که این اثر به حفظ ساختار و عملکرد رنگیزه‌های فتوسنتزی کمک می‌کند. در این فرآیند، ملاتونین به طور همزمان چرخه‌های آنتی‌اکسیدانی اسید آسکوربیک و گلوتاتیون را فعال کرده و ظرفیت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد (Wang *et al.*, 2012).



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر کلروفیل b در گل همیشه‌بهار

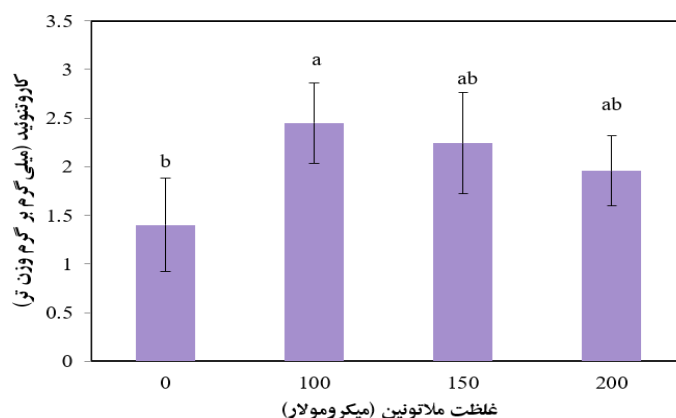
نتایج تاثیر تیمار ملاتونین بر مقدار کلروفیل کل نیز نشان داد در تیمار ملاتونین با غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار بیشترین کلروفیل کل حاصل شده است (شکل ۳)، و این تیمارها به ترتیب موجب افزایش ۷۹/۴۶ و ۸۱/۷۲ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد شده بودند. این امر حاکی از تأثیر مثبت این تنظیم کننده رشد بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه است. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های قبلی پیرامون نقش مؤثر ملاتونین در بهبود سنتز و پایداری رنگیزه‌های حیاتی گیاهان هم‌سو است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای بر روی گل بنفشه، بیشترین افزایش در میزان کلروفیل نیز با غلظت‌های مختلف ملاتونین گزارش شده است که این نتایج به طور قوی نشان می‌دهد ملاتونین قادر است سنتز این رنگیزه‌های ضروری را بهبود بخشد. این افزایش قابل توجه در رنگیزه‌های فتوسنتزی بیانگر نقش مؤثر ملاتونین در بهبود فرایند فتوسنتز و تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه است (اسکندری چراتی و همکاران، ۱۴۰۳). ملاتونین به دلیل ظرفیت بالای آنتی‌اکسیدانی یکی از قوی‌ترین مولکول‌های شناخته شده برای مقابله با استرس اکسیداتیو در گیاهان است که می‌تواند به طور مؤثری از تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی جلوگیری نماید (Zhang and Zhang, 2014).



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر کلروفیل کل در گل همیشه‌بهار

بیشترین مقدار رنگیزه کاروتنوئید متعلق به گیاهان تیمار شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین بود (شکل ۴)، این تیمار موجب افزایش ۷۴/۸۰ درصدی رنگیزه کاروتنوئید نسبت به شاهد شد، اما تفاوت آن با سایر تیمارهای ملاتونین معنی‌دار نبود. افزایش کاروتنوئیدها نشان‌دهنده بهبود سیستم دفاعی و کارایی فتوسنتزی است. که این نتایج کاملاً هم-راستا با یافته‌های پیشین، در خصوص نقش کلیدی ملاتونین در تقویت سنتز و تثبیت رنگدانه‌های اساسی گیاهان می‌باشد. به طوری که در مطالعات انجام شده بر روی گل رز مینیاتوری (*Rosa chinensis*) نیز محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین بیشترین تأثیر را در افزایش مقدار کاروتنوئیدها نسبت به شاهد نشان داد (سادات میرطاهری و

همکاران، ۱۴۰۰). همچنین گزارش‌های متعددی نشان داده‌اند که ملاتونین موجب افزایش غلظت کاروتنوئیدها می‌شود، این ترکیبات به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های محلول در چربی در کلروپلاست‌ها حضور دارند و نقش اساسی در محافظت از ساختارهای غشایی و مولکول‌های فتوسنتزی ایفا می‌کنند (Munne-Bosch and Penuelas, 2003). اثر ملاتونین در افزایش تجمع کاروتنوئیدها نه تنها باعث تقویت ظرفیت دفاعی گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شود، بلکه از طریق تحریک بیوسنتز این رنگدانه‌ها به کاهش آسیب‌های ناشی از استرس‌های نوری نیز کمک قابل توجهی می‌کند (Liang et al., 2019).



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر رنگیزه‌های کاروتنوئید در گل همیشه‌بهار

بنابراین غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار، میزان ملاتونین لازم برای تحریک پاسخ‌های سازگاری گیاه را تامین می‌کنند، در حالی که سطح سازگاری از سطحی فراتر نمی‌رود، که موجب پاسخ‌های سمی یا مضر شود. در غلظت‌های پایین‌تر، مقدار ملاتونین ممکن است برای ایجاد اثرات قابل توجه ناکافی باشد و در غلظت‌های بالاتر، پیامدهای منفی مانند استرس اکسیداتیو یا پاسخ‌های معکوس مشاهده شود، که کارایی ملاتونین را کاهش دهد. این غلظت‌های ملاتونین به عنوان نقطه تعادلی بین اثرات محرک و جلوگیری از سمیت مطرح است و به همین دلیل تأثیر مطلوب‌تری را نسبت به دیگر غلظت‌ها ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری

استفاده از ملاتونین با غلظت ۱۵۰ میکرومولار، بیشترین تأثیر مثبت و معنی‌دار را بر پارامترهای رنگیزه‌ای شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و استفاده از ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار، بیشترین تأثیر مثبت و معنی‌دار را بر پارامتر رنگیزه کاروتنوئید در گیاه همیشه‌بهار داشت، به همین دلیل این غلظت‌ها مناسب‌ترین غلظت ملاتونین با تأثیر بهینه بر

افزایش محتوا رنگیزه‌ها پیشنهاد می‌شود. این افزایش در مقدار رنگیزه‌ها بیانگر بهبود عملکرد فتوسنتزی و سلامت عمومی گیاه است که می‌تواند به رشد بهتر و افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های محیطی کمک کند. از آنجایی که رنگیزه‌های فتوسنتزی نقش اساسی در جذب و تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی در گیاهان دارند، افزایش آن‌ها از طریق تنظیم مناسب ملاتونین، می‌تواند موجب ارتقاء کارآمدی فرآیند فتوسنتز و در نتیجه بهبود کیفیت رشد و عملکرد زیستی گیاهان زینتی شود. این یافته‌ها به درک بهتر نقش ملاتونین به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی در بهبود فرایندهای بیوشیمیایی گیاهان کمک می‌کند. بنابراین، استفاده از ملاتونین در غلظت‌های بهینه می‌تواند به عنوان یک راهکار علمی، موثر و مقرون‌به‌صرفه برای ارتقاء کمی و کیفی تولید گل‌های فصلی باغچه‌ای معرفی شوند. با توجه به یافته‌های این پژوهش و شواهد علمی موجود، توصیه می‌شود که در کاربردهای فضای سبز و پرورش گیاهان زینتی مانند گل همیشه‌بهار، استفاده از غلظت‌های بهینه ملاتونین به عنوان تنظیم‌کننده رشد به منظور افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی به کار گرفته شوند. همچنین، اعمال محلول‌پاشی ملاتونین در شرایط متعادل و کنترل شده، راهکار مؤثری برای افزایش کیفیت و دوام زیبایی گیاهان در فضای سبز محسوب می‌گردد که از نظر اقتصادی و زیست محیطی نیز توجیه پذیر است.

منابع مورد استفاده

- اسکندری چراتی، س.، م. کریمی، و ف. قربان‌علی‌زاده. ۱۴۰۳. تاثیر تنش آب شور و تیمار ملاتونین بر گلدهی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه بنفشه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، صفحه ۴۷۶-۴۶۵.
- سادات میرطاهری، ح.، س. کلاته جاری، ب. متشعرزاده، و ف. فاتحی. ۱۴۰۰. بررسی اثر اسید اسکوریک و ملاتونین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و تحمل به شوری در رز مینیاتوری. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۶۶۵-۶۵۲.
- علوم، ح.، و ع. احمدی موسوی. ۱۴۰۱. ملاتونین: تنظیم‌کننده رشد و آنتی‌اکسیدان قوی در گیاهان. فرایند و کارکرد گیاهی، دوره ویژه شماره ۱ صفحه ۵۳-۳۷.
- Arora, D., Rani, A., & Sharma, A. (2013). A review on photochemistry and ethno pharmacological aspects of genus *Calendula*. *Pharmacogn. Rev.* 7 (14), 179-87.
- Acar, C.A., Gencer, M.A., Pehlivanoglu, S., Yesilot, S., & Donmez, S. (2024). Green and eco-friendly biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using (*Calendula officinalis*) flower Wound healing potential and antioxidant activity. *International Wound Journal*. 21, 14413.
- Azizi, A., Bagnazari, M., & Mohammadi, M. (2024). Seaweed and phosphate-solubilizing bacteria biofertilizers ameliorate physiochemical traits and essential oil content of (*Calendula officinalis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*. 328, 112653.
- Chaoqiang, J.Q. (2016). Melatonin improves antioxidant capacity and ion homeostasis and enhances salt tolerance in maize seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 20, 38-82.
- Eisa, E.A., Honfi, P., Tilly-Mándy, A., & Mirmazloum, I. (2023). Exogenous melatonin application induced morpho-physiological and biochemical regulations conferring salt tolerance in (*Ranunculus asiaticus* L.). *Horticulturae*, 9, 228.

- Ghanim, S.H., Hosni, A.M., Abdul Hamid, A.N., EL-Shamy, M.A., & Sabry, R.M. (2024). Growth and essential oil quantity of pot marigold (*Calendula officinalis*) in response to foliar application of moringa extract and pink-pigmented facultative methylotrophic bacteria methyl bacterium populi. *Journal of Environmental Science*, 53(1), 246-264.
- Lichtenthaler, H. K., (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148, 350-38.
- Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q., & Luo, X. (2019). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 246, 34-43.
- Morsi, M.M., Abdelmigid, H.M., & Aljoudi, N.G.S. (2018). Exogenous salicylic acid ameliorates the adverse effects of salt stress on antioxidant system in (*Rosmarinus officinalis* L.). *Egyptian Journal of Botany*, 58 (2), 249-263.
- Munne-Bosch, S. & Penuelas, J. (2003). Photo- and antioxidative protection, and role for salicylic acid during drought and recovery in field-grown *Phillyrea angustifolia* plants. *Planta*, 217, 758-766.
- Sheikhalipour, M., Kulak, M., Mohammadi S.A., Esmailpour, B., Nouraein, M., Tzekikocak, M., Farajzadeh, S.M., Gohari, Gh., Fotopoulos, V., & Vita, F. (2024). application of either melatonin or sodium nitroprusside regulates the antioxidant status, and the morpho-physiological attributes and essential oil production in sage (*Salvia officinalis* L.) under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 323, 112526.
- Szopa, A., Klimek-Szczykutowicz, M., Jafarnik, K., Koc, K., & Ekiert, H. (2020). Pot marigold (*Calendula officinalis* L.) a position in classical phytotherapy and newly documented activities. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 19(3), 47-61.
- Tiwari, R.K., Kumar, R., Lal, M.K., Kumar, A., Altaf, M.A., Devi, R., Mangal, V., Naz, S., Altaf, M.M., & DEY, A. (2023). Melatonin-polyamine interplay in the regulation of stress responses in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 4834-4850.
- Turk, H., Erdal, S., Genisel, M., Atici, O., Demir, Y., & Yanmis, D. (2014). The regulatory effect of melatonin on physiological, biochemical and molecular parameters in cold-stressed wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*, 74, 139-152.
- Varghese, N., Alyammahi, O., Nasreddine, S., Alhassani, A., & Gururani, M.A. (2019). Melatonin positively influences the photosynthetic machinery and antioxidant system of *Avena sativa* during salinity stress. *Plants*, 8(12), 610.
- Wang, P., Sun, X., Li, C., Wei, Z., Liang, D. & Ma, F. (2013). Long term exogenous application of melatonin delays drought induced leaf senescence in apple. *Journal of Pineal Research*, 54, 292-302.
- Wang, P., Yin, L., Liang, D., Li, C., Ma, F. & Yue, Z. (2012). Delayed senescence of apple leaves by exogenous melatonin treatment: Toward regulating the ascorbate glutathione cycle. *Journal of Pineal Research*, 53, 11-20.
- Xu, X.D., Sun, Y., Sun, B., Zhang, J., & Guo, X. (2010). Effects of exogenous melatonin on active oxygen metabolism of cucumber seedlings under high temperature stress. *Ying yong shengtai xue bao*, 21 (5), 1295-1300.
- Zhang, H.M., & Zhang, Y., (2014). Melatonin: A well-documented antioxidant with conditional pro-oxidant actions. *Journal of Pineal Research*, 57, 131-146.
- Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., & Gou, Y.D. (2014). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 66, 647-654.