J. Soil Plant Interact. 2026; 17(2): 77–94. https://doi.org/10.47176/jspi.17.2.19992

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

The Effect of Natural Biostimulants, Sodium Nitroprusside and Melatonin on Morphophysiological and Biochemical Characteristics of Narcissus (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla)

Zahra Yarali, Maryam Dehestani-Ardakani*, Mostafa Shirmardi and Jalal Gholamnezhad

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
* Corresponding author, Email: mdehestani@ardakan.ac.ir

(Received: 25 February 2026; Revised: 17 May 2026; Accepted: 17 May 2026)

Abstract

Background and Objective: *Narcissus tazetta* L. cv. Shahla is an important ornamental and medicinal bulbous plant valued for its fragrance and cut flower quality. This study aimed to investigate the effects of natural biostimulants, sodium nitroprusside, and melatonin on the morphophysiological and biochemical characteristics of *Narcissus tazetta* cv. Shahla.
Methods: A field experiment was conducted in a randomized complete blocks design with nine treatments and three replications to evaluate the effects of natural biostimulants on growth and flower quality of *N. tazetta*. Treatments included moringa leaf extract (2.5 and 5.0%), seaweed extract (20 and 40 g L^{-1}), sodium nitroprusside (50 and 100 mM), and melatonin (0.1 and 0.5 mM), applied twice as foliar sprays. The first application was made about 30 days after planting, when the plants were 20 to 25 cm tall, and the second application was 15 days after the first foliar spray.
Results: The 0.1 mM melatonin treatment produced the highest leaf length (365.2 mm) and shoot fresh weight (29.6 g $plant^{-1}$). The 5% moringa extract significantly increased leaf width (45.3 mm), root fresh weight (40.6 g $plant^{-1}$), and vase life (12 days) compared to 7 days in the control. The lowest electrolyte leakage (8.75%) was recorded in 20 g L^{-1} seaweed extract, whereas the control showed the highest value (94.8%). The highest total protein content (4.06 mg g^{-1} FW), peroxidase activity (2.12 ΔOD min^{-1} mg^{-1} protein), and catalase activity (3.24 ΔOD min^{-1} mg^{-1} protein) were obtained in the 100 mM sodium nitroprusside treatment.
Conclusion: Generally, moringa leaf extract and sodium nitroprusside were the most effective treatments in enhancing quantitative and qualitative traits of *N. tazetta*, supporting their potential application in sustainable ornamental production systems.

Keywords: Antioxidant enzymes, Sodium nitroprusside, Moringa leaf extract, Seaweed extract, Melatonin.

How to Cite: Yarali, Z., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., Gholamnezhad, J., 2026. The effect of natural biostimulants, sodium nitroprusside and melatonin on morphophysiological and biochemical characteristics of *Narcissus tazetta* L. cv. Shahla. J. Soil Plant Interact. 17(2), 77–94 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.17.2.19992

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۵؛ ۱۷(۲): ۹۴-۷۷، https://doi.org/10.47176/jspi.17.2.19992

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

تأثیر محرک‌های زیستی طبیعی، سدیم نیتروپروساید و ملاتونین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل نرگس رقم "شهلا" (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla)

زهرا یارعلی، مریم دهستانی اردکانی*، مصطفی شیرمردی و جلال غلام‌نژاد

گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mdehestani@ardakan.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۶؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲۷)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: گیاه نرگس رقم "شهلا" (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla) از گونه‌های ارزشمند زینتی و دارویی است که به‌دلیل عطر مطبوع و کیفیت گل، جایگاه ویژه‌ای در صنعت گل‌کاری کشور دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر محرک‌های زیستی طبیعی، سدیم نیتروپروساید و ملاتونین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی نرگس رقم "شهلا" بود.

روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل عصاره برگ مورینگا (۲/۵ و ۵ درصد)، عصاره جلبک دریایی (۲۰ و ۴۰ گرم در لیتر)، سدیم نیتروپروساید (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و ملاتونین (۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار) بودند که در دو نوبت به روش محلول‌پاشی برگی اعمال شدند. نوبت اول کاربرد تیمارها حدود ۳۰ روز پس از کاشت، زمانی که گیاهان ارتفاع ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر داشتند و مرحله دوم ۱۵ روز پس از اولین محلول‌پاشی صورت گرفت.

نتایج: بیشترین طول برگ (۳۶۵/۲ میلی‌متر) و وزن تازه شاخساره (۲۹/۶ گرم در بوته) در تیمار ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین مشاهده شد. بیشترین عرض برگ (۴۵/۳ میلی‌متر)، وزن تازه ریشه (۴۰/۵ گرم در بوته) و عمر گلجایی (۱۲ روز) در تیمار ۵ درصد عصاره برگ مورینگا حاصل شد. کمترین نشت یونی (۸/۷۵ درصد) در تیمار ۲۰ گرم در لیتر جلبک دریایی و بیشترین آن (۹۴/۷ درصد) در شاهد ثبت شد. بیشترین میزان پروتئین کل (۴/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)، فعالیت پراکسیداز (۲/۱۲ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}\ protein$) و کاتالاز (۳/۲۴ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}\ protein$) نیز در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی، تیمارهای عصاره برگ مورینگا و سدیم نیتروپروساید بیشترین نقش را در بهبود شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل نرگس رقم "شهلا" داشته و بر این اساس می‌توانند به‌عنوان رویکردی کارآمد برای ارتقاء عملکرد رشد و کیفیت نرگس رقم "شهلا" پیشنهاد شوند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سدیم نیتروپروساید، عصاره برگ مورینگا، عصاره جلبک دریایی، ملاتونین.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۵ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

گل نرگس (*Narcissus* spp.) از خانواده Amaryllidaceae گیاهی علفی، دائمی و سوخ‌دار است (Karakoyun et al., 2020). این گیاه دارای ارزش زینتی و دارویی بوده و گونه‌های مختلف آن در نقاط مختلف دنیا رشد می‌کنند (Dole and Wilkins, 2005). نرگس رقم "شهلا" (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla) گیاهی سوخ‌دار و چندساله است که از آن به‌عنوان گیاه باغچه‌ای، گلدانی و گل شاخه‌بریده استفاده می‌کنند (Li et al., 2012). این گونه در مناطق مختلف ایران همچون شمال، شمال شرق، فارس، بوشهر، بهبهان، کرمان و خراسان جنوبی رویش دارد و بومی فرانسه، پرتغال، اسپانیا و نواحی مدیترانه بوده که در پاییز و زمستان به گل می‌رود (Nakhaei et al., 2008). در بهبهان، نرگس رقم "شهلا" به‌صورت وحشی رشد می‌کند و یکی از گونه‌های گل‌دهنده اواخر پاییز است که آن را به‌عنوان یک انتخاب بدیهی برای گل شاخه‌بریده معرفی می‌کند (Hajihashemi and Jahantigh, 2023).

عصاره‌های گیاهی به‌عنوان نوعی کود آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ زیرا غنی از ترکیبات زیست‌فعال بوده که رشد گیاه را تحریک کرده و وضعیت تغذیه‌ای گیاه را بهبود می‌بخشند (Al-Mansour et al., 2018). محلول‌پاشی برگی با هورمون‌های رشد از منابع آلی، رویکردی مؤثر برای تحریک رشد گیاه و ارتقاء تولیدات زراعی به‌شمار می‌رود (Hazzoumi et al., 2014; Luziatelli et al., 2019). به‌همین دلیل پژوهشگران بسیاری به بررسی مواد طبیعی روی آورده‌اند، زیرا این محصولات ارزان، با کاربرد ساده و سازگار با محیط‌زیست هستند (Ahmad et al., 2019). در میان این مواد طبیعی، عصاره برگ مورینگا[1] (MLE) و جلبک دریایی به‌عنوان گزینه‌های ایمن و نسبتاً اقتصادی در مقایسه با تنظیم‌کننده‌های رشد مصنوعی شناخته شده و نشان داده شده است که توانایی افزایش چشمگیر رشد رویشی، عملکرد و کیفیت محصولات مختلف را دارا هستند.

تمام قسمت‌های گیاه مورینگا خواص مفید زیادی دارند و برای اهداف دارویی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mishra et al., 2011). برگ‌های مورینگا سرشار از سیتوکینین‌های طبیعی مانند ایزوپنتنیل آدنین، دی هیدروزآتین و زآتین هستند که رشد، عملکرد و کیفیت را افزایش می‌دهند. عصاره برگ مورینگا منبع عالی از مواد معدنی مانند سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، منگنز، روی و آهن، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه است (Nasir et al., 2016; Khan et al., 2017; Abdel-Rahman and Abdel-Kader, 2020). علاوه بر این، آنتی‌اکسیدان‌هایی متشکل از ترکیبات دیگر مانند ویتامین C، کاروتنوئیدها، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها و پلی‌فنل‌ها نیز در عصاره برگ مورینگا گزارش شده‌اند (Galanakis, 2015; Galanakis et al., 2018). کاربرد عصاره برگ مورینگا باعث افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، ترکیبات فنلی، فعالیت جمع‌آوری رادیکال و مواد مغذی در برگ‌های شمعدانی شد (Ali et al., 2018). همچنین این عصاره گیاهی توانست، تعداد گلچه، طول ساقه گل‌دهنده و طول عمر گلجای گل‌های گلایل را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (Younis et al., 2018).

جلبک دریایی به‌عنوان یک کود آلی و اصلاح‌کننده خاک مؤثر عمل می‌کند و با افزودن مواد مغذی ضروری و مواد آلی، حاصلخیزی خاک را افزایش داده، ساختمان خاک را بهبود بخشیده و نگهداشت رطوبت را به‌ویژه در خاک‌های رسی افزایش می‌دهد (Choulot et al., 2022). Pei et al. (2024) گزارش کردند مصرف کودهای جلبک دریایی ضمن افزایش میانگین عملکرد محصول به میزان ۱۵/۱۷٪ (و ۲۱/۱۹٪ در محصولات ریشه‌ای و غده‌ای)، موجب ارتقاء کیفیت محصول به‌دلیل افزایش نشاسته، پروتئین، نسبت قند به اسید و ویتامین C می‌شود. استفاده از عصاره جلبک دریایی با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر به‌طور قابل‌توجهی ویژگی‌های رویشی و گل‌دهی میخک (*Dianthus chinensis* L.) را بهبود بخشید (Alwan, 2025).

رادیکال آزاد اکسید نیتریک (NO)[2] در تعدیل طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیک و رشدی در گیاهان، از سیگنال‌دهی گرفته تا رشد گیاه و گل‌دهی، نقش دارد (Seligman et al.,

1- Moringa leaf extract

2- Nitric oxide

2008; Zhang et al., 2019; Hajihashemi et al., 2020; Hajihashemi, 2020). تغییر مرحله رشد رویشی به گل‌دهی، یک گذار رشدی مهم در چرخه زندگی گیاه برای موفقیت تولیدمثلی گونه‌ها است (Seligman et al., 2008). نقش اکسید نیتریک در جلوگیری از شروع گل‌دهی به‌دلیل تأثیر آن بر بیان برخی ژن‌های مرتبط با این فرآیند است (Seligman et al., 2008; Zhang et al., 2019). یکی از مهم‌ترین منابع اکسید نیتریک در گیاهان، سدیم نیتروپروساید (SNP)[3] است که می‌تواند از راه ریشه‌ها در محیط کشت، محلول‌پاشی روی گیاهان یا تزریق در آپوپلاست برگ اعمال شود (Nabi et al., 2019). Hajihashemi and Jahantigh (2023) گزارش کردند که کاربرد غلظت‌های مختلف SNP به‌طور قابل‌توجهی درصد گل‌دهی و اندازه گل‌های *Narcissus tazzeta* را افزایش داد که با بهبود ساختار آناتومیکی برگ و گلچه همراه بود.

یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد ضروری گیاه در محیط‌های تحت تنش، مولکول کوچکی به نام ملاتونین (MEL) است که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل می‌کند. بنابراین این ماده مقاومت گیاهان را در برابر بسیاری از عوامل تنش‌زای محیطی افزایش می‌دهد (Hoque et al., 2021). این مولکول چندشکلی در قسمت‌های مختلف گیاهان چندین گونه گیاهی مانند کلم بروکلی، گشنیز، انبه، کلم، تنباکو، خیار و پرتقال یافت می‌شود (Badria, 2002; Posmyk et al., 2009; Johns et al., 2013; Aguilera et al., 2015). ملاتونین همچنین در تنظیم جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، کارایی فتوسنتز، معماری سیستم ریشه، پیری برگ، رسیدن میوه، باز شدن روزنه‌ها و تعادل اکسایش–کاهش [4] نقش دارد (Jan et al., 2022). علاوه بر این، ملاتونین به‌عنوان یک محرک ضدتنش و محرک زیستی رشد برای گیاهان باغبانی، به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی مانند سرما، گرما، فلزات سنگین، شوری، خشک‌سالی، باران اسیدی و تنش UV به‌خوبی تعریف شده است (Sharif et al., 2018; Aghdam et al., 2021; Wu et al., 2021; Zhao et al., 2022). در ژربرا (*Gerbera jamesonii* L.) نانوذرات مس پوشیده‌شده با ملاتونین به‌طور قابل‌توجهی پارامترهای فتوسنتزی را بهبود بخشید، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد، قطر ساقه، محتوای لیگنین و ضخامت دیواره سلولی آوند چوبی را افزایش داد و در نتیجه ویژگی‌های مکانیکی گیاه را تقویت کرد (Katoch et al., 2025).

این پژوهش با هدف ارزیابی اثر محرک‌های زیستی طبیعی شامل عصاره برگ مورینگا، سدیم نیتروپروساید، عصاره جلبک دریایی و ملاتونین بر صفات رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نرگس رقم "شهلا" (*Narcissus tazetta* L.) انجام شد تا کارایی این ترکیبات در بهبود عملکرد رویشی، ارتقاء کیفیت گل و افزایش ماندگاری آن در شرایط تولید و عرضه مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مکان آزمایش و مواد گیاهی

این آزمایش در طول فصول پاییز و زمستان ۱۴۰۲ در مزرعه آزمایشی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، استان یزد (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۰۰ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۰۳۵ متر) اجرا شد. آب و هوای منطقه خشک است و کل بارندگی در پائیز و زمستان ۱۴۰۲، برابر ۵۹/۷ میلی‌متر بود. میانگین بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا در زمان انجام آزمایش به‌ترتیب برابر ۲۵ و ۱۰/۹ درجه سلسیوس بود.

پیازهای همگن و عاری از بیماری نرگس رقم "شهلا" (هر کدام ۲۵ گرم یا بیشتر) از یک مزرعه تجاری در شهرستان بهبهان، استان خوزستان تهیه شدند. پیازها در اول مهرماه ۱۴۰۲ در خاک لومی در عمق ۲۰–۱۵ سانتی‌متر کاشته شدند. ردیف‌های کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم و بین هر پیاز ۲۰ سانتی‌متر فاصله داشتند.

3- Sodium nitroprusside

4- Redox homeostasis

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in this study.

ویژگی Property	بافت Texture	pH در عصاره اشباع (pH of saturation extract)	رسانایی الکتریکی (Electrical conductivity of saturation extract, EC_e)	ماده آلی (Organic matter, OM)	Ca^{2+}	K	Na^{+}	Mg^{2+}	P	Cl^{-}	نیتروژن کل (Total N)
واحد Unit	لوم Loam	–	$dS\ m^{-1}$	درصد	meq L^{-1}	mg L^{-1}	meq L^{-1}	meq L^{-1}	mg L^{-1}	meq L^{-1}	درصد
مقدار Value	–	7.7	5.76	1.69	88.70	891	726.6	136	69.7	809.9	0.085

طرح آزمایشی و تیمارها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار انجام شد. هر کرت به ابعاد ۱ × ۱ متر بود. در هر کرت دو ردیف موازی در نظر گرفته شد که فاصله محور تا محور ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود؛ به‌طوری‌که از هر لبه کناری کرت تا محور نزدیک‌ترین ردیف ۲۵ سانتی‌متر فاصله رعایت شد. فاصله پیازها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مجموع، در هر ردیف ۳ پیاز و در هر کرت ۶ پیاز کشت شد. در این آزمایش جلبک دریایی در دو سطح (۲۰ و ۴۰ گرم در لیتر)، سدیم نیتروپروساید در دو سطح (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، ملاتونین در دو سطح (۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار) و عصاره برگ مورینگا در دو سطح (۲/۵ و ۵ درصد) مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین این پژوهش با نه تیمار و سه تکرار انجام شد. محلول‌پاشی برگی در دو مرحله انجام شد: مرحله اول حدود ۳۰ روز پس از کاشت، زمانی که گیاهان دارای ارتفاع ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و حداقل دارای سه برگ بودند و مرحله دوم ۱۵ روز پس از اولین محلول‌پاشی. همه تیمارها به‌طور یکسان با حجم ۵۰۰ سانتی‌متر مکعب از محلول و با استفاده از یک سمپاش دستی اعمال شد. در تمام کرت‌های آزمایشی پیش از کاشت پیازها، کود حیوانی کاملاً پوسیده به میزان دو کیلوگرم در متر مربع با خاک مخلوط شد.

ویژگی‌های خاک

پیش از کاشت، نمونه خاک مرکب از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه آزمایشی گرفته شد تا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شود. برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت (Gee and Bauder, 1986)، pH (Thomas, 1996)، رسانایی الکتریکی عصاره اشباع (Rhoades, 1996)، مقدار ماده آلی (Nelson and Summers, 1996)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Watanabe and Olsen, 1965)، نیتروژن کل (Bremner, 1960) و پتاسیم قابل جذب به روش فلیم‌فتومتر (Richards, 1954) در نمونه خاک اندازه‌گیری شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

آبیاری و مدیریت محصول

آبیاری به‌صورت هفتگی با استفاده از آب شهری انجام شد و مقدار آب به‌گونه‌ای تنظیم شد که رطوبت خاک در حدود ۸۰٪ گنجایش مزرعه حفظ شود. مدیریت علف‌های هرز و آفات در تمامی تیمارها با استفاده از روش‌های معمول زراعی و به‌صورت یکنواخت انجام گرفت.

تهیه عصاره آبی برگ مورینگا و سایر تیمارها

در پژوهش حاضر، برگ‌های *Moringa oleifera* از درختان سالم در شهرستان جهرم، استان فارس جمع‌آوری شده و در دمای اتاق و به‌صورت سایه خشک شدند تا به وزن ثابت برسند. پس از خشک‌سازی، برگ‌ها با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شده و در ظروف دربسته نگهداری شدند. برای تهیه عصاره آبی، از پودر برگ خشک‌شده برای ایجاد غلظت‌های نهایی ۲/۵ و ۵ درصد

(وزنی/حجمی) استفاده شد. برای تهیه عصاره آبی، ۲۵ و ۵۰ گرم از پودر برگ خشک به هر لیتر آب مقطر افزوده شد و مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق به‌طور پیوسته هم‌زده شد. سپس عصاره با استفاده از پارچه موسلین و کاغذ صافی واتمن شماره ۲ فیلتر شد تا ذرات معلق جداسازی گردد. عصاره‌های تهیه‌شده بلافاصله پیش از مصرف استفاده شدند یا به مدت حداکثر ۴۸ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند (Makkar and Becker, 1996).

تیمارهای سدیم نیتروپروساید (SNP) و ملاتونین (MEL) (تهیه‌شده از سیگما آلدریچ، ایالات متحده) به‌ترتیب با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار و سطوح ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار در آب دیونیزه حل شدند. سپس به مخلوط، ۰/۱ درصد (حجمی/حجمی) Tween 20 افزوده شد و این ترکیب به‌طور یکنواخت بر روی برگ‌های نرگس پاشیده شد.

در این پژوهش از پودر جلبک دریایی برند Grow more ساخت آمریکا استفاده شد. این کود دارای جلبک *Ascophyllum nodosum* و حاوی ۲٪ N، ۰/۲ درصد P، ۱۵٪ K، ۲٪ Ca، ۰/۳٪ Mg، ۰/۴ Fe، ۰/۰۷٪ B، ۰/۰۶٪ Zn بود.

مشاهدات فنولوژیک و جمع‌آوری نمونه

رشد رویشی از حدود نیمه مهرماه آغاز شد. اولین گل‌ها در نیمه آذرماه ظاهر شدند که در آن زمان میانگین دمای روزانه بیشینه و کمینه هوا به‌ترتیب برابر ۱۲/۳ و ۳/۵ درجه سلسیوس بود. دوره گلدهی تقریباً برابر دو ماه بود. در زمان گل‌دهی کامل، گل‌ها و برگ‌ها برای تجزیه و تحلیل‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نمونه‌برداری شدند. گلبرگ‌ها و برگ‌های تازه برداشت شده، بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد شده و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیک

در پایان دوره رشد، طول و عرض برگ (میلی‌متر) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Winarea-UT-11، ساخت ایران) اندازه‌گیری شد. پس از خارج‌نمودن گیاه از خاک، برگ و ریشه‌ها جدا شده و وزن تازه آن‌ها با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) سنجیده شد.

ارزیابی عمر گلجایی

به‌منظور ارزیابی عمر گلجایی، سه نمونه از هر تیمار در مرحله برداشت تجاری جمع‌آوری شد که مشخصه آن بازبودن کامل بیش از نیمی از گلچه‌های روی شاخه بود. بلافاصله پس از برداشت، ساقه‌ها دوباره زیر آب مقطر بریده شدند تا انسداد آوندی ناشی از هواگرفتگی به حداقل برسد. سپس هر ساقه گل به‌صورت جداگانه در گلدانی پر از آب مقطر قرار داده شد و تحت شرایط محیطی کنترل‌شده، شامل رژیم نوری ۱۲ ساعته که توسط لامپ‌های فلورسنت تأمین می‌شد، رژیم دمایی روز/شب ۱۸/۲۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰٪ نگهداری شد. عمر گلجایی از روزی که گل‌های بریده‌شده به گلدان‌ها منتقل شدند، محاسبه شد و هنگامی که ۵۰٪ از گلچه‌های هر سنبله دچار پیری شدند، پایان عمر گلجایی در نظر گرفته شد. پیری گلبرگ‌ها با از دست دادن آماس سلولی در بافت‌های گلبرگ و به دنبال آن پژمردگی قابل‌مشاهده شناسایی شد (Gun, 2020; Gul and Tahir, 2013).

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک

نشت یونی (EL)

برای اندازه‌گیری درصد نشت یونی، ۰/۵ گرم برگ تازه پس از شست‌وشوی سه‌مرحله‌ای با آب مقطر، در فالکون‌های شیشه‌ای دارای ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و رسانایی الکتریکی اولیه (EC_1) با رسانایی‌سنج اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در آون ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و پس از سردشدن در دمای اتاق، رسانایی الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد نشت یونی با رابطه ۱ محاسبه شد (Ezhilmathi et al., 2007):

$$\text{درصد نشت یونی} = (EC_1/EC_2)\times 100 \quad (1)$$

تعیین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی

غلظت کلروفیل a و کلروفیل b، بر اساس روش Lichtenthaler (1987) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ در هر تیمار در ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ همگن شد، سپس به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط با سرعت ۱۹۵۷g سانتریفیوژ شد. جذب محلول شفاف رویی در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۲ نانومتر (A_{645} و A_{662}) با استفاده از استون به عنوان شاهد مرجع، با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-visible اندازه‌گیری شد. در نهایت محتوای رنگدانه‌ها با روابط ۲ و ۳ محاسبه شد:

$$\text{Chlorophyll a (Chl a)} = 11.24\ A_{662} - 2.04\ A_{645} \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll b (Chl b)} = 20.13\ A_{645} - 4.19\ A_{662} \quad (۳)$$

میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در زمان گل‌دهی در نمونه‌های برگ برداشت‌شده بر اساس روش Reuveni et al. (1995) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD)، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (CECIL 9500، انگلستان) در طول موج ۴۷۰ نانومتر سنجیده و تغییرات جذب نور به سرعت به مدت یک دقیقه با فاصله زمانی ۱۰ ثانیه اندازه‌گیری شد (Reuveni et al., 1995).

برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز (CAT)، محلول واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH = 7) و ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز شد. تغییرات جذب به مدت سه دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر ثبت شد (Dazy et al. 2008). غلظت پروتئین محلول بر اساس روش Bradford (1976) با استفاده از BSA (آلبومین سرم گاوی) به‌عنوان پروتئین استاندارد اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۷) و با تجزیه واریانس (ANOVA) از نظر آماری بررسی شدند تا اهمیت عوامل اصلی و آثار برهمکنش آن‌ها ارزیابی شود. آزمون F برای تعیین اهمیت تفاوت‌های تیمارها انجام شد. همه تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس سه تکرار در هر تیمار انجام شد. از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) برای گروه‌بندی تیمارها بر اساس صفات مورفوفیزیولوژیک و محتوای مواد مغذی استفاده شد. نتایج خوشه‌بندی با استفاده از ابزار وب ClustVis به‌صورت نقشه‌های حرارتی نمایش داده شدند.

نتایج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر تیمارهای مورد بررسی بر طول و عرض برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین طول برگ (برابر ۳۶۵/۲ میلی‌متر) در تیمار ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین و به‌دنبال آن در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد. کمترین طول برگ (برابر ۲۵۲/۹ میلی‌متر) در تیمار ۲/۵ درصد عصاره برگ مورینگا مشاهده شد که نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل 1A). محلول‌پاشی برگ‌ها با ۵ درصد عصاره برگ مورینگا، عرض برگ (۴۵/۳ میلی‌متر) را به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش داد. پس از آن تیمار ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین در افزایش عرض برگ نقش مهمی داشت. سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل 1B).

اثر تیمارهای مورد بررسی بر وزن تازه برگ و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن تازه شاخساره (برابر ۲۹/۶۳ گرم در بوته) در تیمار ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین و به دنبال آن در تیمارهای ۰/۵ میلی‌مولار ملاتونین و ۵ و ۲/۵ درصد عصاره برگ مورینگا (به‌ترتیب برابر ۲۵/۴۰، ۲۶/۰۵ و ۲۱/۸۷ گرم در بوته) به‌دست آمد. کمترین وزن تازه شاخساره (برابر ۸/۵۷ گرم در بوته) در تیمار شاهد حاصل شد (شکل 2A). محلول‌پاشی برگ‌ها با ۵٪ عصاره برگ مورینگا منجر به بیشترین وزن تازه ریشه (برابر ۴۰/۵۶ گرم در بوته) در مقایسه با سایر تیمارها شد. کمترین وزن تازه ریشه (برابر ۳/۳۷ گرم در بوته) در تیمار شاهد حاصل شد (شکل 2B).

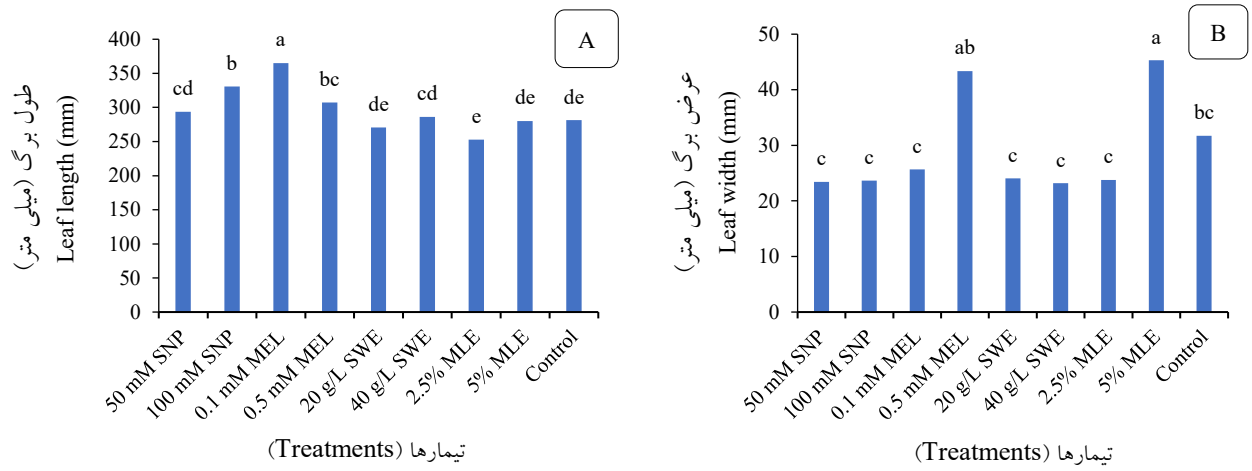
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمار بر صفات مورفولوژیک نرگس رقم "شهلا"

Table 2. Variance analysis for the effect of treatment on morphological characteristics of *N. tazetta* cv. Shahla

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)			
		طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	وزن تازه برگ Leaf fresh weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight
تیمار Treatment	8	3447.54**	238.39**	129.96**	363.27**
بلوک Block	2	9.27ns	1.99ns	39.21ns	3.33ns
خطا Error	–	286.72	48.25	46.14	1.91
CV	-	12.3	10.3	14.7	26.1

**: دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: نبود اثر معنی‌دار

**: Significant effect at the 1% probability level and ns: non-significant effect



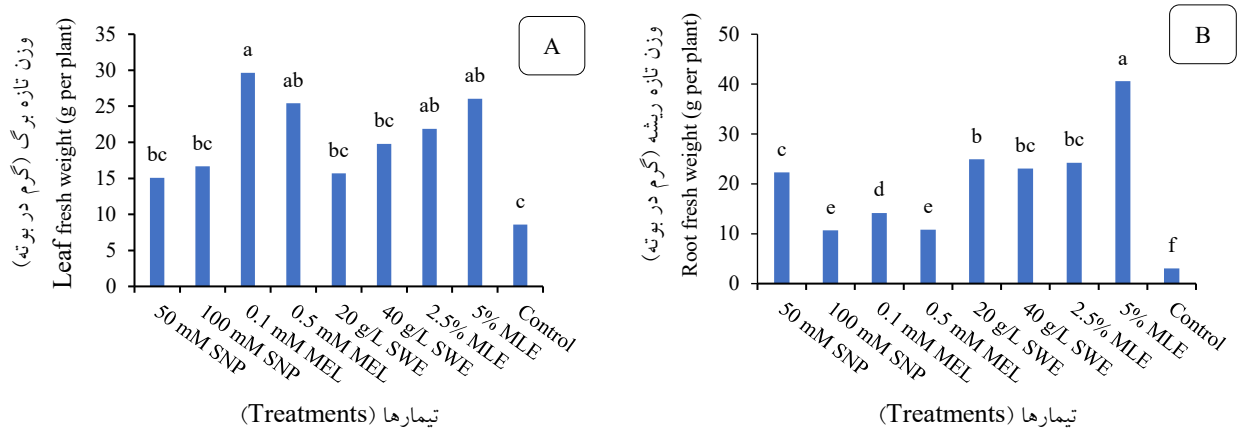
شکل ۱. اثر تیمارهای مختلف کودی بر A) طول و B) عرض برگ نرگس رقم "شهلا". SNP: سدیم نیتروپروساید، MEL: ملاتونین، SWE: عصاره جلبک دریایی، MLE: عصاره برگ مورینگا و Control: شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($p < 0.01$).

Fig. 1. Effect of different fertilizer treatments on A) leaf length and B) leaf width of *Narcissus tazetta* cv. Shahla. SNP: Sodium Nitroprusside, MEL: Melatonin, SWE: Seaweed Extract, MLE: Moringa Leaf Extract, Control: Untreated. The means with same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.01$).

اثر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی بر نشت یونی و عمر گلجایی گل نرگس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان نشت یونی در تیمارهای شاهد و ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین (به‌ترتیب ۹۴/۷۶ و ۸۹/۱۸ درصد) و کمترین مقدار در تیمار ۲۰ گرم در لیتر جلبک دریایی با ۸/۷۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۳A).

با توجه به شکل ۳B بیشترین عمر گلجایی گل نرگس (یعنی ۱۲/۰۰ و ۱۱/۶۶ روز) در تیمارهای ۲/۵ و ۵/۰ درصد عصاره برگ مورینگا و کمترین میزان آن (با ۷/۰ روز ماندگاری) در گیاهان شاهد مشاهده شد. تیمارهای ملاتونین و سدیم نیتروپروساید تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۳B).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی بر کلروفیل a و b، و کل، در سطح احتمال یک



شکل ۲. اثر تیمارهای مختلف کودی بر وزن تازه A) برگ و B) ریشه نرگس رقم "شهلا". SNP: سدیم نیتروپروساید، MEL: ملاتونین، SWE: عصاره جلبک دریایی، MLE: عصاره برگ مورینگا و Control: شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($p < 0.01$).

Fig. 2. Effect of different fertilizer treatments on A) leaf fresh weight and B) root fresh weight of *Narcissus tazetta* cv. Shahla. SNP: Sodium Nitroprusside, MEL: Melatonin, SWE: Seaweed Extract, MLE: Moringa Leaf Extract, Control: Untreated. The means with same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.01$).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمار بر صفات فیزیولوژیک برگ و عمر گلجایی نرگس رقم "شهلا"

Table 3. Variance analysis for the effect of treatment on leaf physiological characteristics and vase life of *N. tazetta* cv. Shahla

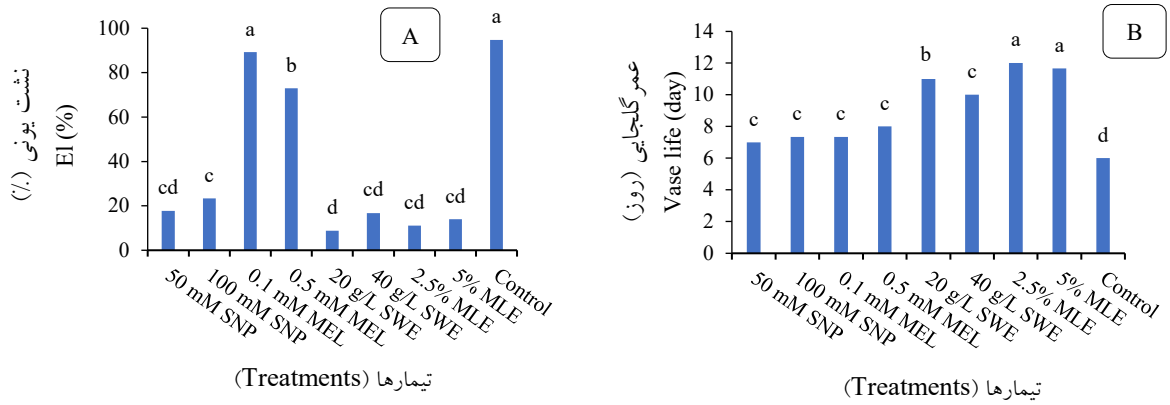
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean squares)						
Sources of variation	df	عمر گلجایی Vase life	نشت یونی El	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	پروتئین Protein	کاتالاز CAT	پراکسیداز POX
تیمار Treatment	8	15.23^{**}	3860.51^{**}	0.88^{**}	2.27^{**}	0.74^{**}	$^{ns}2547.53$	0.23^{**}
بلوک Block	2	0.26^{ns}	25.33^{ns}	0.363^{ns}	0.059^{ns}	0.005^{ns}	0.10^{ns}	0.00^{ns}
خطا Error	–	0.33	45.78	0.41	0.29	0.003	2545.94	0.001
CV	-	30.1	28.6	36.3	39.2	13.4	13.9	14.7

**: دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: نبود اثر معنی‌دار

**: Significant effect at the 1% probability level and ns: non-significant effect

درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمارهای مختلف به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل a را نسبت به شاهد افزایش دادند. میان تیمارها از نظر مقدار کلروفیل a تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میزان آن (۱/۱۵ میکروگرم بر گرم وزن تازه) حاصل شد (جدول ۴). بیشترین کلروفیل b (۲/۹۹ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در گیاهان تیمارشده با ۴۰ گرم در لیتر جلبک دریایی به‌دست آمد. پس از آن تیمار ۵ درصد عصاره برگ مورینگا نقش معنی‌داری در افزایش کلروفیل b داشت. تیمارهای شاهد، ۵۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید و ۰/۵ میلی‌مولار ملاتونین کمترین مقدار کلروفیل b را نشان دادند (جدول ۴).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی بر میزان پروتئین و آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد و بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همه تیمارها به‌طور معنی‌داری میزان



شکل ۳. اثر تیمارهای مختلف کودی بر A) نشت یونی و B) عمر گلجایی گل نرگس رقم "شهلا". SNP: سدیم نیتروپروساید، MEL: ملاتونین، SWE: عصاره جلبک دریایی، MLE: عصاره برگ مورینگا و Control: شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($p < 0.01$).

Fig. 3. Effect of different fertilizer treatments on A) electrolyte leakage and B) vase life of *Narcissus tazetta* cv. Shahla. SNP: Sodium Nitroprusside, MEL: Melatonin, SWE: Seaweed Extract, MLE: Moringa Leaf Extract, Control: Untreated. The means with same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.01$).

جدول ۴. اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برگ نرگس رقم "شهلا".

Table 4. Effect of different fertilizer treatments on photosynthetic pigments, protein content, and antioxidant enzyme activity in the leaves of *Narcissus tazetta* cv. Shahla.

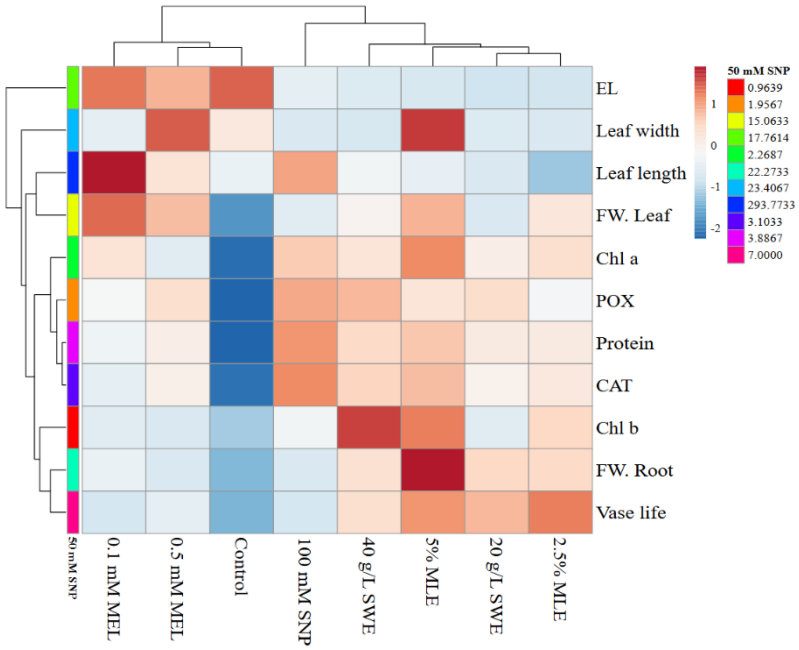
کاتالاز CAT (ΔOD min^{-1} mg^{-1} protein)	پراکسیداز POX (ΔOD min^{-1} mg^{-1} protein)	پروتئین Protein (mg g^{-1} FW)	کلروفیل b Chl b (µg g^{-1} FW)	کلروفیل a Chl a (µg g^{-1} FW)	تیمار Treatment
3.10^{b}	1.95^{b}	3.88^{b}	0.96^{d}	2.26^{ab}	50 mM SNP*
3.24^{a}	2.12^{a}	4.06^{a}	1.26^{cd}	2.75^{a}	100 mM SNP
2.55^{d}	1.78^{c}	3.33^{e}	1.00^{cd}	2.56^{a}	0.1 mM MEL
2.76^{c}	1.96^{b}	3.51^{d}	0.88^{d}	2.06^{ab}	0.5 mM MEL
2.73^{c}	1.97^{b}	3.56^{d}	0.99^{cd}	2.42^{a}	20 g/L SWE
2.97^{b}	2.08^{a}	3.74^{c}	2.99^{a}	2.55^{a}	40 g/L SWE
2.82^{c}	1.77^{c}	3.55^{d}	1.99^{bc}	2.60^{a}	2.5% MLE
3.06^{b}	1.92^{b}	3.84^{b}	2.65^{ab}	3.06^{ab}	5% MLE
1.88^{e}	1.17^{c}	2.35^{f}	0.48^{d}	1.15^{b}	Control

SNP: سدیم نیتروپروساید، MEL: ملاتونین، SWE: عصاره جلبک دریایی، MLE: عصاره برگ مورینگا و Control: شاهد. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($p < 0.01$).

SNP: Sodium Nitroprusside, MEL: Melatonin, SWE: Seaweed Extract, MLE: Moringa Leaf Extract, Control: Untreated. In each column, the means with same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.01$).

پروتئین کل را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان پروتئین (۴/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد. تیمار شاهد با ۲/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه، کمترین مقدار پروتئین را نشان داد (جدول ۴).

همه تیمارها به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان فعالیت



شکل ۵. تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) از نه تیمار محرک زیستی بر اساس ۱۱ صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک. خوشه‌بندی با استفاده از فاصله اقلیدسی و پیوند وارد برای ردیف‌ها و بیشینه فاصله و پیوند کامل برای ستون‌ها انجام شد. SNP: سدیم نیتروپروساید، MEL: ملاتونین، SWE: عصاره جلبک دریایی، MLE: عصاره برگ مورینگا و Control: شاهد.

Fig. 5. Hierarchical cluster analysis (HCA) of nine biostimulant treatments based on 11 morphological and physiological traits. Clustering was performed using Euclidean distance and Ward linkage for rows and maximum distance and complete linkage for columns. SNP: Sodium Nitroprusside, MEL: Melatonin, SWE: Seaweed Extract, MLE: Moringa Leaf Extract, Control: Untreated.

پراکسیداز در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید (برابر ۲/۱۲ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}$ protein) و ۴۰ گرم در لیتر جلبک دریایی (برابر ۲/۰۸ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}$ protein) به‌دست آمد (جدول ۴). تیمار شاهد با ۱/۱۷ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}$ protein، کمترین فعالیت این آنزیم را نشان داد (جدول ۴). بیشترین میزان فعالیت کاتالاز در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید (برابر ۳/۲۴ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}$ protein) به‌دست آمد (جدول ۴). تیمار شاهد با ۰/۸۸ $\Delta OD\ min^{-1}\ mg^{-1}$ protein، کمترین فعالیت این آنزیم را نشان داد (جدول ۴).

به‌منظور بررسی الگوی تغییرات صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف، داده‌ها به‌صورت نقشه حرارتی همراه با خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ارائه شد (شکل ۵). در این شکل، مقادیر استانداردشده صفات (Z-score) نمایش داده شده‌اند؛ به‌طوری‌که رنگ قرمز بیانگر مقادیر بیشتر از میانگین و رنگ آبی نشان‌دهنده مقادیر کمتر از میانگین است. نتایج خوشه‌بندی نشان داد که تیمارها به دو گروه مجزا و چند زیرگروه تقسیم شدند. تیمارهای شاهد، ۰/۱ و ۰/۵ میلی مولار ملاتونین در یک خوشه مجزا قرار گرفتند به‌طوری که شاهد در یک زیرگروه و دو تیمار ملاتونین در زیرگروه دیگر قرار گرفتند. در گروه بعدی تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید (SNP) در یک خوشه مجزا و سایر تیمارها در زیرخوشه دیگر قرار گرفتند. در تیمار ۵٪ عصاره مورینگا (MLE) و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید، اغلب صفات مورد بررسی افزایش یافتند. در این تیمارها، بیشترین افزایش مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (POX و CAT)، میزان کلروفیل a و b، پروتئین و عمر گلجایی بود. در مقابل، تیمار شاهد در اغلب صفات بیوشیمیایی به‌ویژه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان کلروفیل، مقادیر کمتری را نشان داد. تیمارهای با غلظت کمتر ملاتونین (۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار) موجب بهبود بیشتر صفات رشدی شامل طول و عرض برگ و وزن تازه و خشک برگ

شدند، اما تأثیر آن‌ها بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به تیمار ۵ درصد عصاره برگ مورینگا کمتر بود. تیمارهای عصاره جلبک دریایی (SWE) در غلظت‌های ۴۰ و ۲۰ گرم در لیتر، به‌ترتیب افزایش قابل‌توجهی در کلروفیل b و عمر گلجایی ایجاد کرده و در خوشه‌ای نسبتاً مستقل از سایر تیمارها قرار گرفتند. همچنین خوشه‌بندی صفات نشان داد که شاخص‌های مرتبط با سیستم آنتی‌اکسیدانی (POX، CAT و پروتئین) در یک گروه و صفات مورفولوژیک برگ در گروهی دیگر قرار گرفته‌اند که بیانگر پاسخ‌های هماهنگ فیزیولوژیک است.

بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای مورد استفاده اثر معنی‌داری ($p < 0.01$) بر طول و عرض برگ داشتند که بیانگر حساسیت زیاد شاخص‌های مورفولوژیک برگ به تنظیم‌کننده‌های رشد و ترکیبات زیست‌فعال است. بیشترین طول برگ در تیمار ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین مشاهده شد و پس از آن تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید قرار گرفت (شکل ۱A). این یافته با گزارش‌های پیشین همخوانی دارد؛ زیرا پژوهش‌های مختلف بیانگر آن است که ملاتونین با تعدیل بیان ژن‌های مرتبط با رشد، تحریک تقسیم و طویل‌شدن سلولی، افزایش کارایی فتوسنتزی و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، نقش برجسته‌ای در توسعه اندام‌های رویشی دارد (Khosravi et al., 2023; Luo et al., 2023). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که افزایش طول برگ در پاسخ به ملاتونین احتمالاً ناشی از همین سازوکارها بوده است. علاوه بر این، اثر مثبت سدیم نیتروپروساید نیز قابل انتظار بود؛ زیرا این ترکیب به‌عنوان دهنده اکسید نیتریک، در مسیرهای سیگنال‌دهی مرتبط با رشد، طویل‌شدن سلولی، تعدیل پارامترهای فیزیولوژیک و افزایش تنظیم دفاعی گیاه نقش دارد. یافته‌های پژوهش حاضر که بهبود شاخص‌های رشدی نرگس رقم "شهلا" را در تیمار SNP نشان داد، با گزارش‌های موجود همخوانی دارد که تأثیر اکسید نیتریک را بر ارتقاء رشد و تعدیل پاسخ‌های تنش در گیاهان مختلف تأیید کرده‌اند (Sardar et al., 2023).

نتایج پژوهش حاضر همسو با یافته‌های Sheikhalipour et al. (2024) است که نشان داد ملاتونین و سدیم نیتروپروساید با بهبود فرآیندهای رشد، کارایی فتوسنتز، وضعیت اکسیداتیو و تولید متابولیت‌های دفاعی می‌توانند نقش مهمی در تنظیم متابولیسم گیاه و کاهش آثار تنش ایفا کنند.

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با ۵ درصد عصاره برگ مورینگا، عرض برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱B). عصاره برگ مورینگا به‌عنوان یک محرک زیستی طبیعی، دارای مقادیر زیادی از سیتوکینین‌های طبیعی به‌ویژه زآتین، عناصر غذایی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها است (Hassan et al., 2020). سیتوکینین‌ها نقش کلیدی در تحریک تقسیم سلولی، افزایش اندازه سلول و گسترش سطح برگ دارند (Taiz et al., 2015). افزون بر این، وجود عناصر معدنی مانند پتاسیم و کلسیم در عصاره مورینگا می‌تواند به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و بهبود فتوسنتز، رشد برگ را تسهیل نماید (Hasegawa et al., 2000). نتایج Ali et al. (2018) نیز نشان داد که استفاده از عصاره برگ مورینگا با افزایش سطح برگ گیاه شمعدانی همراه بود. برگ‌های مورینگا دارای مقادیر قابل‌توجهی از سیتوکینین‌های طبیعی از جمله ایزوپنتنیل‌آدنین، دی‌هیدروزآتین و زآتین هستند که نقش مهمی در تحریک رشد، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاه دارند. علاوه بر این، عصاره برگ مورینگا منبع غنی از عناصر معدنی ضروری مانند سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، منگنز، روی و آهن بوده و همچنین مقادیر قابل‌توجهی پروتئین و اسیدهای آمینه را در خود جای داده است (Nasir et al., 2016; Khan et al., 2017; Abdel-Rahman and Abdel-Kader, 2020).

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای ۲/۵ و ۵ درصد عصاره برگ مورینگا بیشترین عمر گلجایی گل نرگس را به‌ترتیب با ۱۲ و ۱۱/۶۶ روز به خود اختصاص دادند (شکل ۳B). تیمار ۲۰ گرم در لیتر جلبک دریایی در رتبه بعدی قرار داشت و تیمارهای ملاتونین و سدیم نیتروپروساید تفاوتی با یکدیگر نشان ندادند. در حالی که کمترین عمر گلجایی (حدود ۷ روز) در تیمار

شاهد مشاهده شد. افزایش معنی‌دار عمر گلجایی (حدود ۷۰ درصد) بیانگر نقش مؤثر عصاره مورینگا در حفظ کیفیت و ماندگاری گل‌ها است. افزایش عمر گلجایی در اثر کاربرد عصاره برگ مورینگا می‌تواند به وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، ویتامین‌های C و A، فنل‌ها و عناصر معدنی نسبت داده شود که با کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، تأخیر در پیری بافت‌ها و حفظ یکپارچگی غشاءهای سلولی، موجب افزایش ماندگاری گل‌ها می‌شوند. همچنین سیتوکینین‌های موجود در عصاره مورینگا با به‌تأخیر انداختن فرآیند پیری و کاهش تخریب کلروفیل، نقش مهمی در افزایش عمر گلجایی دارند (Rady et al., 2013; Latif and Mohamed, 2016; Gopalakrishnan et al., 2016). تیمار عصاره برگ مورینگا قادر است با حفظ روابط آبی، افزایش سازوکار آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو در گل بریده‌شده و با حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی و روابط آبی عمر گل‌های شاخه‌بریده را افزایش دهد (Hassan and Fetouh, 2019; Hassan et al., 2020). در پژوهش‌های مشابهی کاربرد عصاره برگ مورینگا عمر گلجایی گل شاخه بریده رز و گلایول را افزایش داد (Hassan and Fetouh, 2019; Hassan et al., 2020).

بیشترین مقادیر وزن تازه برگ و ریشه به‌ترتیب در تیمارهای ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین و ۵٪ عصاره برگ مورینگا مشاهده شد (شکل ۲). افزایش وزن تازه برگ در اثر محلول‌پاشی ملاتونین می‌تواند به نقش آن در بهبود وضعیت فیزیولوژیک و افزایش تجمع ترکیبات آلی مرتبط باشد. ملاتونین به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد مؤثر، با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب اکسیداتیو، می‌تواند عملکرد فتوسنتزی و ذخیره کربوهیدرات‌ها را تقویت کند که این عوامل به‌نوبه خود موجب افزایش وزن تازه شاخساره می‌شوند (Arnao and Hernández-Ruiz, 2019).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تیمارهای مختلف محلول‌پاشی نسبت به شاهد موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a، b و کل در برگ‌های نرگس رقم "شهلا" شدند. اگرچه میان تیمارها تفاوت معنی‌داری در میزان کلروفیل a مشاهده نشد، افزایش کلی این رنگیزه فتوسنتزی نسبت به شاهد نشان‌دهنده ارتقاء توان فتوسنتزی برگ‌ها در اثر محرک‌های زیستی و تنظیم‌کننده‌های رشد است. این افزایش محتوا می‌تواند ناشی از تحریک بیوسنتز رنگیزه‌ها، بهبود تشکیل کلروپلاست‌ها و کاهش تخریب مولکول‌های کلروفیلی باشد که در پژوهش‌های اخیر به‌عنوان سازوکارهای مؤثر محرک‌های زیستی گزارش شده است (Costa et al., 2025). از سوی دیگر، بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار جلبک دریایی و پس از آن در عصاره برگ مورینگا به‌دست آمد. پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که کاربرد عصاره جلبک دریایی می‌تواند محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل b و کارتنوئیدها را افزایش دهد، زیرا این عصاره‌ها دارای هورمون‌های گیاهی، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و عناصر معدنی هستند که سنتز و پایداری رنگیزه‌ها را بهبود می‌بخشند (Lam et al., 2025). با توجه به غنی‌بودن جلبک دریایی از اسیدهای آمینه آزاد و مواد آلی و معدنی، استفاده از عصاره جلبک دریایی می‌تواند بر سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر بگذارد (Manaf, 2016; Hussain et al., 2021). افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌تواند نتیجه کاهش سرعت تخریب کلروفیل باشد که ممکن است به‌دلیل وجود بتائین‌ها در ترکیب عصاره جلبک دریایی باشد (Khan et al., 2019). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Muetasam Jafr et al. (2022) روی گیاه آویشن همخوانی دارد. ملاتونین تأثیر مهارکننده بر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و فئوفوربايد-آ اکسیژناز[5] دارد که در پی آن، باعث حفظ و افزایش سطح کلروفیل، به تأخیر افتادن روند پیری برگ‌ها، بهبود کارایی فتوسیستم II و در نهایت افزایش بهره‌وری فتوسنتز می‌شود (Turl et al., 2014).

پایداری غشاء یک عامل مهم برای سازگاری گیاهان به شرایط تنش بوده و شاخص نشت الکترولیت یکی از روش‌های کارآمد در سنجش میزان آسیب غشایی و عملکرد غشاء است (Bharwana et al., 2014). کاهش سیالیت غشاء در کنار

5- Pheophorbide-a oxygenase

پراکسیداسیون لیپیدها موجب آسیب به لیپیدهای غشایی و مختل‌شدن فعالیت غشای سلولی می‌شوند (Han and Bischof, 2004). تداوم این تاثیر موجب تخریب بیشتر غشای سلولی و خروج آب و افزایش نشت یونی می‌شود (Azzarello et al., 2009). در پژوهش حاضر مشاهده شد کاربرد بیومحرک‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد باعث کاهش خسارت‌های غشایی و حفظ پایداری غشاء می‌شود. El-Sharkawy et al. (2017) گزارش کردند که کاربرد عصاره جلبک دریایی در یونجه باعث کاهش نشت الکترولیت در ژنوتیپ‌های حساس به شوری شد.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تمامی تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به شاهد موجب افزایش معنی‌دار میزان پروتئین کل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های نرگس "شهلا" شدند، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان پروتئین کل در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد (جدول ۴). افزایش محتوای پروتئینی در پاسخ به بیومحرک‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند نشان‌دهنده بهبود وضعیت متابولیکی و افزایش سنتز پروتئین‌های ساختاری و آنزیمی باشد، چرا که این ترکیبات اغلب موجب فعال‌سازی مسیرهای بیوسنتزی و افزایش ظرفیت ترجمه mRNA می‌شوند. این کاهش در شاخص‌های تنش اکسیداتیو را می‌توان به وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غنی مانند اسید آسکوربیک، فنل‌ها، پرولین و فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها در عصاره برگ مورینگا نسبت داد که سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان گلرنگ را پشتیبانی و تقویت کردند (Nasire et al., 2016). این نتایج با یافته‌های Latif (2016) Mohamed and در گیاه لوبیا همخوانی دارد. سوپراکسید دیسموتاز اولین خط دفاعی آنتی‌اکسیدانی است و رادیکال‌های سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. در مرحله بعد، پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز یا گایاکول پراکسیداز در قسمت‌های مختلف سلول به آب و اکسیژن تجزیه می‌شود (Arora et al., 2002). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که در گیاهان تحت تیمار با ملاتونین و نیتریک اکسید در مقایسه با تیمار شاهد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافتند (جدول ۴). ملاتونین علاوه بر اینکه بسیاری از رادیکال‌های آزاد را به‌طور مستقیم از بین می‌برد، به‌عنوان یک سیگنال مولکولی عمل کرده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را تنظیم می‌کند (Ding et al., 2017). همچنین پژوهش‌های پیشین نقش ملاتونین را در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای افزایش تحمل به شرایط نامساعد محیطی در گیاهانی مانند فلفل نشان داده‌اند (Kaya and Doganlar, 2019). ملاتونین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان، گونه‌های فعال اکسیژن را بسیار بیشتر از گلوتاتیون مهار می‌کند و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیدازها، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را افزایش می‌دهد (Reiter et al., 2007).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از محرک‌های زیستی طبیعی، سدیم نیتروپروساید و ملاتونین می‌تواند به‌طور مؤثری ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل نرگس رقم "شهلا" را بهبود بخشد. ملاتونین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را در افزایش رشد رویشی از جمله طول برگ و وزن تازه شاخساره داشت که بیانگر نقش آن در تحریک فرآیندهای رشد است. عصاره برگ مورینگا، به‌ویژه در غلظت ۵ درصد، با افزایش معنی‌دار عرض برگ، وزن تازه ریشه و طول عمر گلجایی، کارآمدترین تیمار در بهبود صفات مورفولوژیک بود. از سوی دیگر، سدیم نیتروپروساید در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار با افزایش محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بیشترین اثر را در بهبود وضعیت فیزیولوژیک و دفاعی گیاه نشان داد. همچنین عصاره جلبک دریایی باعث کاهش نشت یونی و بهبود پایداری غشاء شد که نشان‌دهنده نقش آن در تقویت مقاومت سلولی است. به طور کلی، یافته‌ها بیانگر آن است که عصاره برگ مورینگا و سدیم نیتروپروساید مؤثرترین تیمارها برای ارتقاء کیفیت و عملکرد نرگس رقم "شهلا" بوده و می‌توانند به‌عنوان جایگزین‌های سازگار با محیط‌زیست برای بخشی از نهاده‌های شیمیایی در تولید این گیاه معرفی شوند.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچگونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

References

1. Abdel-Rahman, S.S.A., Abdel-Kader, A.A.S., 2020. Response of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) plants to foliar application of moringa leaf extract and benzyladenine (BA). South Afr. J. Bot. 129, 113–122. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.037.
2. Aghdam, M.S., Mukherjee, S., Flores, F.B., Arnao, M.B., Luo, Z., Corpas, F.J., 2021. Functions of melatonin during postharvest of horticultural crops. Plant Cell Physiol. 1–23. https://doi.org/10.1093/pcp/pcab175.
3. Aguilera, Y., Herrera, T., Benıtez, V., Arribas, S.M., Lopez De Pablo, A.L., Esteban, R.M., 2015. Estimation of scavenging capacity of melatonin and other antioxidants: Contribution and evaluationing germinated seeds. Food Chem. 170, 203–211. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.071.
4. Ahmad, I., Tanveer, M.U., Liaqat, M., Dole, J.M., 2019. Comparison of corm soaks with preharvest foliar application of moringa leaf extract for improving growth and yield of cut *Freesia hybrida.* Sci. Hortic. 254, 21–25. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.074.
5. Ali, E.F., Hassan, F.A.S., Elgimabi, M., 2018. Improving the growth, yield and volatile oil content of *Pelargonium graveolens* L. Herit by foliar application with moringa leaf extract through motivating physiological and biochemical parameters. South Afr. J. Bot. 119, 383–389. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.10.003.
6. Al-Mansour, B., Kalaivanan, D., Suryanarayana, M.A., Umesha, K., Nair, A.K., 2018. Influence of organic and inorganic fertilizers on yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). J. Spices Arom. Crops. 27, 38–44. https://doi.org/10.25081/josac.2018.v27.i1.1013.
7. Alwan, S.H., 2025. Effect of chemical fertilizer and seaweed extract on the vegetative growth and flowering of Chinese carnation (*Dianthus chinensis* L.). In: International Collaborative Conference of Modern Agricultural Technologies (ICCMAT 2024)**,** Ramadi, Iraq**,** 9–10 October 2024. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,* 1549, 012120. IOP Publishing.
8. Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J., 2019. Melatonin: A new plant hormone and/or a plant master regulator? Trends Plant Sci. 24(1), 38–48. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.010.
9. Arora, A., Sairam. R.K., Srivastava. G.C., 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. Curr. Sci. 82, 1227–1238.
10. Azzarello, E., Mugnai, S., Pandolfi, C., Masi, E., Marone, E., Mancuso, S., 2009. Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in olive. Trees 23, 159.
11. Badria, F.A., 2002. Melatonin, serotonin, and tryptamine in some Egyptian food and medicinal plants. J. Med. Food. 5, 153–157. https://doi.org/10.1089/10966200260398189.
12. Bharwana, S. A., Ali, S., Farooq, M.A., Ali, B., Iqbal, N., Abbas, F., Ahmad, M.S.A., 2014. Hydrogen sulfide ameliorates lead-induced morphological, photosynthetic, oxidative damages and biochemical changes in cotton. Environ. Sci. Pollut. Res. 21, 717–731.
13. Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein, utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochemi. 72, 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3.
14. Bremner, J., 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. J. Agric. Sci. 55 (1), 11–33.
15. Choulot, M., Guillard, C.L., Bourgougnon, N., Michalak, I., 2022. Seaweed-based fertilizing products. In: Pandey, V.C. (Ed.), Algae and Aquatic Macrophytes in Cities: Bioremediation, Biomass, Biofuels and Bioproducts. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 271–313. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824270-4.00012-2.
16. Costa, D., Walsh, E., Dieli, C., O'Halloran, O., Awan, Z.A., Gargan, A., Landeta-Manzano, B., Priyadarshini, A., Foley, L., Gaffney, M.T., Walsh, L., 2025. Impact of biostimulant use in agricultural crops (strawberries, leafy greens and mushrooms) under different horticultural cropping systems: A systematic review. Annal. Appl. Biol. 187(3), 304–317. https://doi.org/10.1111/aab.70021.
17. Dazy, M., Jung, V., Ferard, J.F., Masfaraud, J.F., 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. Chemosphere 74, 57–63. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.09.014.
18. Ding, F., Liu, B., Zhang, S., 2017. Exogenous melatonin ameliorates cold-induced damage in tomato plants. Sci. Hort. 219,

264–271. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.029.
19. Dole, J.M., Wilkins, H.F., 2005. Floriculture, Principles and Species. Prentice-Hall, Inc. USA.
20. El-Sharkawy, M., El-Beshsbeshy, T., Al-Shal, R., Missaoui, A., 2017. Effect of plant growth stimulants on alfalfa response to salt stress. Agric. Sci. 8, 267–291. https://doi.org/10.4236/as.2017.84020.
21. Ezhilmathi, K., Singh, V.P., Arora, A., Sairam, R.K., 2007. Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase of *Gladiolus* cut flowers. J. Plant Growth Regul. 51, 99–108.
22. Galanakis, C.M., 2015. Separation of functional macromolecules and micromolecules: from ultrafiltration to the border of nanofiltration. Trends Food Sci. Technol. 42, 44–63. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.11.005.
23. Galanakis, C.M., Tsatalas, P., Galanakis, I.M., 2018. Implementation of phenols recovered from olive mill wastewater as UV booster in cosmetics. Ind. Crops. Prod. 111, 30–37. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.058.
24. Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed., ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 383–411.
25. Gopalakrishnan, L., Doriya, K., Kumar, D.S., 2016. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application food science and human wellness. Food Sci. Hum. Well. 5, 49–56. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001.
26. Gul, F., Tahir, I., 2013. An effective protocol for improving vaselife and postharvest performance of cut *Narcissus tazetta* flowers. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 12(1), 39–46. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.06.001.
27. Gun, S., 2020. The effect of herbal oil and citric acid on vase life of cut narcissus (*Narcissus tazetta* L.) flower. J. Postharvest Technol. 8, 18–26.
28. Hajihashemi, S., Skalicky, M., Brestic, M., Pavla, V., 2020. Cross-talk between nitric oxide, hydrogen peroxide and calcium in saltstressed *Chenopodium quinoa* Willd. At seed germination stage. Plant Physiol. Biochem. 154, 657–664. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.022.
29. Hajihashemi, S., Jahantigh, O., 2023. Nitric oxide effect on growth, physiological and biochemical processes, flowering, and postharvest performance of *Narcissus tazzeta*. J. Plant Growth Regul. 42(2), 892–907.
30. Han, B., Bischof, J.C., 2004. Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing. Cryobiology 48, 8–21.
31. Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Ann. Rev. Plant. Physiol. 51, 463–499. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463.
32. Hassan, F.A.S., Fetouh, M.I., 2019. Does moringa leaf extract have preservative effect improving the longevity and postharvest quality of gladiolus cut spikes? Sci. Hortic. 250, 287–293. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.059.
33. Hassan, F.A.S., Mazrou, R., Gaber, A., Hassan, M.M., 2020. Moringa extract preserved the vase life of cut roses through maintaining water relations and enhancing antioxidant machinery. Postharvest Biol. Technol. 164, 111156. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111156.
34. Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Joutei, K.A., 2014. Effect of gibberellic acid (GA), indole acetic acid (IAA) and benzyl aminopurine (BAP) on the synthesis of essential oils and the isomerization of methyl chavicol and trans-anethole in *Ocimum gratissimum* L. Springerplus 3, 321–327. https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-321.
35. Hoque, M.N., Tahjib-Ul-Arif, M., Hannan, A., Sultana, N., Akhter, S., Hasanuzzaman, M., Akter, F., Hossain, M.S., Sayed, M.A., Hasan, M.T., Skalicky, M., 2021. Melatonin modulates plant tolerance to heavy metal stress: Morphological responses to molecular mechanisms. Int. J. Mol. Sci. 22, 11445. https://doi.org/10.3390/ijms222111445.
36. Hussain, H.I., Kasinadhuni, N., Arioli, T., 2021. The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. J. Appl. Phycol. 33, 1305–1314.
37. Jan, S., Singh, B., Bhardwaj, R., Singh, R., Mansoor, S., Ahmad, P., 2022. Recent advances on the pragmatic roles of phytomelatonin and its exogenous application for abiotic stress management in plants. J. Plant Growth Regul. 1, 1–16. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10766-3.
38. Johns, N.P., Johns, J., Porasuphatana, S., Plaimee, P., Sae-Teaw, M., 2013. Dietary intake of melatonin from tropical fruit altered urinary excretion of 6-sulfatoxymelatonin in healthy volunteers. J. Agric. Food Chem. 61, 913–919. https://doi.org/10.1021/jf300359a.
39. Karakoyun, Ç., Bozkurt, B., Çoban, G., Masi, M., Cimmino, A., Evidente, A., Somer, N.U., 2020. A comprehensive study on *Narcissus tazetta* subsp. tazetta L.: Chemo-profiling, isolation, anticholinesterase activity and molecular docking of Amaryllidaceae alkaloids. South Afric. J. Bot. 130, 148–154. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.016.
40. Katoch, M., Kapoor, P., Gupta, H., Vashishta, N., Verma, V., Bhardwaj, R., Acharya, A., Bhargava, B., 2025. Foliar application of melatonin-capped copper nanoparticles improves stem strength and postharvest quality by regulating the lignin biosynthesis genes and physio-chemical profile in *Gerbera jamesonii* L. Postharvest Biol. Technol. 222, 113415. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.113415.
41. Kaya, A., Doganlar, Z.B., 2019. Melatonin improves the multiple stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum*). Sci. Hortic. 256, 108509. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.036.
42. Khan, S., Basra, S.M.A., Afzal, I., Nawaz, M., Rehman, H.U., 2017. Growth promoting potential of fresh and stored *Moringa oleifera* leaf extracts in improving seedling vigor, growth and productivity of wheat crop. Environ. Sci. Pollut. Res.

24, 27601–27612. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0336-0.
43. Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth Regul. 28, 386–399.
44. Khosravi, S., Haghighi, M., Mottaghipisheh, J., 2023. Effects of melatonin foliar application on hot pepper growth and stress tolerance. Plant Stress 9, 100192. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100192.
45. Lam, V.P., Bok, G., Loi, D.N., Do, M.C., Park, J., 2025. Seaweed foliar biostimulants improve growth and phytochemicals of Thai basil (*Ocimum basilicum* l.) in a plant factory. Plants 14(21), 3271. https://doi.org/10.3390/plants14213271.
46. Latif, H.H., Mohamed, H.I., 2016. Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. South Afr. J. Bot. 106, 221–231. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.010.
47. Li, X.F., Shao, X.H., Deng, X.J., Wang, Y., Zhang, X.P., Jia, L.Y., Xu, L., 2012. Necessity of high temperature for the dormancy release of *Narcissus tazetta* var. *chinensis*. J. Plant Physiol. 169(14), 1340–1347. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.05.017.
48. Luo, Y., Hu, T., Huo, Y., Wang, L., Zhang, L., Yan, R., 2023. Effects of exogenous melatonin on chrysanthemum physiological characteristics and photosynthesis under drought stress. Horticulturae 9(1), 106. https://doi.org/10.3390/horticulturae9010106.
49. Luziatelli, F., Ficca, A.G., Colla, G., Baldassarre Švecová, E., Ruzzi, M., 2019. Foliar application of vegetal-derived bioactive compounds stimulates the growth of beneficial bacteria and enhances microbiome biodiversity in lettuce. Front. Plant Sci. 10, 60. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00060.
50. Makkar, H.P.S., Becker, K., 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol-extracted *Moringa oleifera* leaves. Anim. Feed Sci. Technol. 63, 211–228.
51. Manaf, H.H., 2016. Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. Ann. Agric. Sci. 61, 41–48. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2016.04.003.
52. Mishra, G., Singh, P., Verma, R., Kumar, S., Srivastava, S., Jha, K.K., Khosa, R.L., 2011. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Moringa oleifera* plant: An overview. Der Pharm. Lett. 3, 141–164.
53. Muetasam Jafr, S., Rahimi, A. R., Hashemi, M., Rokhzadi, A. 2022. Influence of N, K, and seaweed extract fertilization on biomass, photosynthetic pigments, and essential oil of *Thymus vulgaris*: Optimization study by response surface methodology. Agronomy 12(12), 3222. https://doi.org/10.3390/agronomy12123222.
54. Nabi, R.B.S., Tayade, R., Hussain, A., Kulkarni, K.P., Imran, Q.M., Mun, B.G., Yun, B.W., 2019. Nitric oxide regulates plant responses to drought, salinity, and heavy metal stress. Environ. Exp. Bot. 161, 120–33. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.003.
55. Nakhaei, F., Khalighi, A., Naseri, M., Abroumand, P., 2008. The investigation of chemical components in essential oil of *Narcissus tazetta* L. flowers under farm and natural conditions in South Khorasan. J Hortic Sci. 22, 123–131. (In Persian with English abstract)
56. Nasir, M., Khan, A.S., Basra, S.A., Malik, A.U., 2016. Foliar application of moringa leaf extract, potassium and zinc influence yield and fruit quality of 'Kinnow' mandarin. Sci. Hortic. 210, 227–235. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.032.
57. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, 3rd ed., ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 961–1010.
58. Pei, B., Zhang, Y., Liu, T., Cao, J., Ji, H., Hu, Z., Wu, X., Wang, F., Lu, Y., Chen, N., Zhou, J., 2024. Effects of seaweed fertilizer application on crops' yield and quality in field conditions in China-A meta-analysis. PLoS ONE 19(7), e0307517.
59. Posmyk, M.M., Balabusta, M., Wieczorek, M., 2009. Melatonin applied to cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds improves germination during chilling stress. J. Pineal Res. 46, 214–223. https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2008.00652.x.
60. Rady, M.M., Varma, B.C., Howladar, S.M., 2013. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in *Moringa oleifera* leaf extract. Sci. Hortic. 162, 63–70. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.046.
61. Reiter, R.J., Tan, D.X., Galano, A., 2014. Melatonin reduces lipid peroxidation and membrane viscosity. Front. Physiol. 5, 1–4. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00377.
62. Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, 3rd ed., ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 417–436.
63. Reuveni, M., Agapov, V., Reuveni, R., 1995. Induced systematic protection to powdery mildew in cucumber by phosphate and potassium fertilizers: Effect of inoculum concentration and post-inoculation treatment. Can. J. Plant Path. 17(3), 245–251. https://doi.org/10.1080/07060669509500686.
64. Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils. USDA Handbook-60. U.S. Govt. Printing

Office, Washington, DC.
65. Sardar, H., Ramzan, M.A., Naz, S., Ali, S., Ejaz, S., Ahmad, R., Altaf, M.A., 2023. Exogenous application of melatonin improves the growth and productivity of two broccoli (*Brassica oleracea* L.) cultivars under salt stress. J. Plant Growth Regul. 1, 1–15.
66. Seligman, K., Saviani, E., Oliveira, H., Pinto-Maglio, C., Salgado, I., 2008. Floral transition and nitric oxide emission during flower development in *Arabidopsis thaliana* is affected in nitrate reductasedeficient plants. Plant Cell Physiol. 49(7), 1112–1121.
67. Sheikhalipour, M., Kulak, M., Mohammadi, S.A., Esmaielpour, B., Nouraein, M., Kocak, M.Z., Farajzadeh, S.M., Gohari, G., Fotopoulos, V., Vita, F., 2024. Foliar application of either melatonin or sodium nitpoprusside regulates the antioxidant status, and the morpho-physiological attributes and essential oil production in sage (*Salvia officinalis* L.) under salinity stress. Sci. Hortic. 323, 112526. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112526.
68. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., 2015. Plant Physiology and Development (6th Ed.). Sinauer Associates.
69. Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, 3rd ed., ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 475–490.
70. Watanabe, F.S., Olsen, S.R., 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29, 677–678.
71. Wu, X., Ren, J., Huang, X., Zheng, X., Tian, Y., Shi, L., Dong, P., Li, Z., 2021. Melatonin: Biosynthesis, content, and function in horticultural plants and potential application. Sci. Hortic. 288, 110392. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110392.
72. Younis, A., Akhtar, M.S., Riaz, A., Zulfiqar, F., Qasim, M., Farooq, A., Tariq, U., Ahsan, M., Bhatti, Z.M., 2018. Improved cut flower and corm production by exogenous moringa leaf extract application on gladiolus cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum.* Hortorum Cult. 17(4), 25–38.
73. Zhang, Z.W., Fu, Y.F., Zhou, Y.H., Wang, C.Q., Lan, T., Chen, G.D., Zeng, J., Chen, Y.E., Yuan, M., Yuan, S., 2019. Nitrogen and nitric oxide regulate Arabidopsis flowering differently. Plant Sci. 284, 177–184. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.04.015.
74. Zhao, C., Nawaz, G., Cao, Q., Xu, T., 2022. Melatonin is a potential target for improving horticultural crop resistance to abiotic stress. Sci. Hortic. 291, 110560. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110560.