Iranian Journal of Soil and Water Research
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir
ISNN: 2423-7833

Effects of Different Growing Substrates and Melatonin Foliar Application on Growth and Physiological Traits of *Gaillardia grandiflora* under Drought Stress Conditions

Payam Javadian[1] | Vahid Abdossi[2]✉ | Sepideh Kalateh Jari[3] | Mohammad Reza Ardakani[4] | Elham Danaee[5]

1. Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch. Tehran. Iran. Email: jav3398@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Horticulture Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch. Tehran. Iran.Email: abdossi@yahoo.com
3. Department of Horticultural Sciences, Islamic Azad University, Garmsar Branch, Iran. Email: kalatejari@yahoo.com
4. Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Karaj Branch. Karaj. Iran. Email: m-rezvani52@yahoo.com
5. Department of Horticultural Sciences, Islamic Azad University, Garmsar Branch, Iran. Email: abbas.pourmeidani@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 17, 2025

Revised: Feb. 8, 2026

Accepted: May. 5, 2026

Published online: May. 2026

Keywords:
Irrigation,
Ornamental plants,
Agricultural soil,
Relative water content.

This study aimed to investigate the effects of different growing media and melatonin foliar application on the growth and physiological traits of *Gaillardia grandiflora* under drought stress. The experiment was conducted in a factorial arrangement based on a CRD with three replications in a greenhouse and included three irrigation levels (100%, 70%, and 40% of field capacity), five growing media (soil alone, soil + 30% well-decomposed cow manure, soil + 30% leaf compost, soil + 30% perlite, and soil + 30% peat–cocopeat), and melatonin foliar application (200 µM and control). Results showed that severe drought stress (40% field capacity) significantly reduced the number of flowers per plant, flower diameter, stem height, and aboveground dry weight up to 1.6 g. Organic-rich media, particularly leaf compost and peat–cocopeat, improved leaf relative water content up to 89%, increased proline accumulation up to 5.8 mmol g^{-1} and flavonoids up to 0.9 mg g^{-1}, and reduced ion leakage. Melatonin application had a more pronounced effect on physiological traits, enhancing plant defense capacity and leaf water balance, while flower production was dependent on the growing media and irrigation level. The highest flower number (57 flowers) was recorded in the treatment with 70% field capacity × leaf compost × without melatonin, whereas melatonin showed its greatest effect in maintaining physiological indices and increasing drought tolerance. These results indicate that a combination of moderate irrigation management, organic-rich growing media, and melatonin can enhance sustainable growth and drought resilience of Gaillardia grandiflora.

Cite this article: Javadian, P., Abdossi, V., Danaee, E., Kalateh Jari, S., & Ardakani M. R. (2026), Effects of Different Growing Substrates and Melatonin Foliar Application on Growth and Physiological Traits of *Gaillardia grandiflora* under Drought Stress Conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (3), 711-724. https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408093.670074

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408093.670074

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

This study aimed to investigate the effects of different growing media and melatonin foliar application on the growth and physiological traits of *Gaillardia grandiflora* under drought stress.

Objective(s)

The present research was carried out in order to investigate the effects of different growing media and melatonin foliar application on the growth and physiological traits of *Gaillardia grandiflora* under drought stress.

Material and Methods

The experiment was conducted in a factorial arrangement based on a CRD with three replications in a greenhouse and included three irrigation levels (100%, 70%, and 40% of field capacity), five growing media (soil alone, soil + 30% well-decomposed cow manure, soil + 30% leaf compost, soil + 30% perlite, and soil + 30% peat–cocopeat), and melatonin foliar application (200 µM and control).

Results

Results showed that severe drought stress (40% field capacity) significantly reduced the number of flowers per plant, flower diameter, stem height, and aboveground dry weight up to 1.6 g. Organic-rich media, particularly leaf compost and peat–cocopeat, improved leaf relative water content up to 89%, increased proline accumulation up to 5.8 mmol g^{-1} and flavonoids up to 0.9 mg g^{-1}, and reduced ion leakage. Melatonin application had a more pronounced effect on physiological traits, enhancing plant defense capacity and leaf water balance, while flower production was dependent on the growing media and irrigation level. The highest flower number (57 flowers) was recorded in the treatment with 70% field capacity × leaf compost × without melatonin, whereas melatonin showed its greatest effect in maintaining physiological indices and increasing drought tolerance.

Conclusions

These results indicate that a combination of moderate irrigation management, organic-rich growing media, and melatonin can enhance sustainable growth and drought resilience of *Gaillardia grandiflora*.

Funding

This study was funded by the University of Islamic Azad University, Science and Research Branch. Tehran. Iran .

Authorship contribution

In The this article: “Conceptualization, Payam Javadian and Vahid Abdossi; methodology, Vahid Abdossi; software, Sepideh Kalateh Jari and Elham Danaee, validation, Vahid Abdossi, Sepideh Kalateh Jari and Mohammad Reza Ardakani; formal analysis, Vahid Abdossi and Elham Danaee, resources, Sepideh Kalateh Jari and Elham Danaee; data curation, Elham Danaee; writing Payam Javadian, original draft preparation, Sepideh Kalateh Jari and Elham Danaee; writing review and editing, Vahid Abdossi; visualization, Vahid Abdossi; supervision, Elham Danaee; project administration, Vahid Abdossi; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts. All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

Statement: During the preparation of this work the author(s) have not used any AI-assistant or Related or similar TOOL / SERVICE. This declaration does not apply to the use of basic tools for checking grammar, spelling, references, etc.

Data availability statement

- Data from this study are available upon request from the authors.
- Data related to this article are available in the Open Science Framework.

Acknowledgements

- The authors are grateful to the Vice Chancellor for Research, Science and Research Branch, Islamic Azad University, for their financial and moral support in conducting this research.
- The authors would like to thank all participants in this study, especially the experts from the Qom Municipality's Landscape and Green Space Organization.
- The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

The study was approved by the Ethics Committee of the Islamic Azad University, Science and Research Branch. Tehran. Iran.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۷، شماره ۳ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

اثر بسترهای مختلف کشت و محلول‌پاشی ملاتونین بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گل رعنا زیبا (*Gaillardia grandiflora*) تحت شرایط تنش خشکی

پیام جوادیان[۱] ، وحید عبدوسی[۲] ✉، سپیده کلاته جاری[۲]، محمدرضا اردکانی[۲] و الهام دانایی[۳]

۱. گروه باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات. تهران. ایران. رایانامه: jav3398@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات. تهران. ایران. رایانامه: abdossi@yahoo.com

۳. گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار، ایران.رایانامه: kalatejari@yahoo.com

۴. گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج. کرج. ایران. رایانامه: m-rezvani52@yahoo.com

۵. گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار، ایران.رایانامه: abbas.pourmeidani@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۱۵
تاریخ انتشار: خرداد ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:
آبیاری،
گیاهان زینتی،
خاک زراعی،
محتوای نسبی آب.

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر بسترهای مختلف کشت و محلول‌پاشی ملاتونین بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گل رعنا زیبا (*Gaillardia grandiflora*) تحت تنش خشکی انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب CRD با سه تکرار در گلخانه اجرا گردید و شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، پنج نوع بستر کشت (خاک زراعی ساده، خاک + ۳۰٪ کود دامی پوسیده، خاک + ۳۰٪ کمپوست برگ، خاک + ۳۰٪ لیکا و خاک + ۳۰٪ پیت‌ماس–کوکوپیت) و محلول‌پاشی ملاتونین (۲۰۰ میکرومولار و شاهد) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی شدید (۴۰٪ ظرفیت زراعی) باعث کاهش معنی‌دار تعداد گل در بوته، قطر گل و ارتفاع ساقه شد. وزن خشک اندام هوایی تا ۱/۶ گرم کاهش یافت. بسترهای غنی از ماده آلی، به ویژه کمپوست برگ و پیت‌ماس–کوکوپیت، موجب بهبود محتوای نسبی آب برگ تا ۸۹٪، افزایش پرولین تا ۵/۸ میلی‌مول در گرم و فلاونوئید تا ۰/۹ میلی‌گرم در گرم و کاهش نشت یونی شدند. مصرف ملاتونین تأثیر چشمگیرتری بر شاخص‌های فیزیولوژیک داشت و توان دفاعی گیاه و تعادل آبی برگ را بهبود داد، اما افزایش گلدهی وابسته به بستر و سطح آبیاری بود. بیشترین تعداد گل (۵۷ عدد) در تیمار آبیاری ۷۰٪ × بستر کمپوست برگ × بدون ملاتونین ثبت شد، در حالی که ملاتونین بیشترین اثر خود را در حفظ شاخص‌های فیزیولوژیک و افزایش تحمل خشکی نشان داد. نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیب مدیریت آبیاری متوسط، بستر غنی از ماده آلی و ملاتونین می‌تواند رشد پایدار و مقاومت گل رعنا زیبا به تنش خشکی را ارتقا دهد.

استناد: جوادیان؛ پیام، عبدوسی؛ وحید، دانایی؛ الهام،کلاته جاری؛ سپیده، اردکانی؛ محمدرضا (۱۴۰۵) اثر بسترهای مختلف کشت و محلول‌پاشی ملاتونین بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گل رعنا زیبا(*Gaillardia grandiflora*) تحت شرایط تنش خشکی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۷ (۳)، ۷۲۴-۷۱۱.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408093.670074

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408093.670074

مقدمه

خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی، طی دهه‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی، افزایش دما و کاهش بارندگی، به شکل بی‌سابقه‌ای گسترش یافته و تأثیرات عمیقی بر اکوسیستم‌ها، فضای سبز شهری و سیستم‌های تولید گیاهان زینتی برجای گذاشته است. در بسیاری از مناطق ایران، به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی به یک بحران جدی تبدیل شده و مدیران شهری و فعالان حوزه باغبانی را با چالش‌های گسترده‌ای مواجه کرده است. این شرایط ضرورت استفاده از گونه‌های زینتی مقاوم به کم‌آبی و همچنین تدوین راهکارهای مدیریتی برای تقویت توان تحمل گیاهان نسبت به خشکی را دوچندان کرده است. در چنین شرایطی، انتخاب گیاهانی که علاوه بر زیبایی بصری و سازگاری با شرایط محیطی، توان بالقوه‌ای برای تحمل خشکسالی داشته باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از این گیاهان گل رعنا زیبا (*Gaillardia grandiflora*) است که به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی و اکولوژیکی خاص، به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای استفاده در فضای سبز با مصرف کم آب معرفی شده است (Wilkins & Dole, 1999) .

گل رعنا زیبا گیاهی چندساله و بسیار سازگار با اقلیم‌های گرم و خشک است. این گیاه دارای ساقه‌های مستقیم و برگ‌های ساده و کشیده بوده و گل‌آذین‌های آن با ترکیب رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز، جلوه‌ای ویژه به چشم‌اندازهای شهری و باغچه‌ای می‌دهد. چرخه گلدهی این گیاه طولانی و از اوایل تابستان تا اواسط پاییز ادامه می‌یابد و همین ویژگی آن را به گزینه‌ای مطلوب برای زیباسازی محیط‌های کم‌آب تبدیل کرده است. علاوه بر این، ساختار ریشه‌ای قوی و توانایی رشد در خاک‌های نسبتاً فقیر، قدرت تطبیق این گیاه را با شرایط سخت محیطی افزایش می‌دهد. گزارش‌های متعدد نشان داده‌اند که گیاهان خانواده کاسنیان معمولاً به دلیل داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و رنگیزه‌های متنوع، قادرند در برابر تنش‌های محیطی مقاومت بیشتری نشان دهند (Tas & Tas, 2007) . به همین دلیل، توجه به واکنش‌های فیزیولوژیکی و رشدی رعنا زیبا در تنش خشکی، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای انتخاب و مدیریت گونه‌های زینتی مقاوم به خشکی فراهم آورد.

با وجود مقاومت نسبی این گیاه، تنش خشکی همچنان می‌تواند پیامدهای نامطلوبی بر ویژگی‌های رشدی، تولیدی و فیزیولوژیکی آن برجای گذارد. خشکی با ایجاد محدودیت در جذب آب، کاهش پتانسیل اسمزی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز، باعث افت قابل‌توجه در رشد اندام هوایی، کاهش تعداد گل، کاهش وزن‌تر و خشک، کاهش کلروفیل و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود دارد (Seleiman et al., 2021). تجمع این ترکیبات واکنش‌های زنجیره‌ای در سلول را فعال کرده و در نهایت موجب آسیب به غشاها، تخریب رنگیزه‌ها، کاهش فعالیت آنزیم‌های حیاتی و کاهش کارایی گیاه در حفظ تعادل آبی می‌شود. هرچند گیاهان در پاسخ به خشکی، مکانیسم‌هایی مانند افزایش پرولین، کاهش سطح برگ، افزایش طول ریشه، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی را فعال می‌کنند، اما شدت و تداوم تنش معمولاً فراتر از توان طبیعی سازگاری گیاه است (Rodan et al., 2020). همچنین حسن زاده و همکاران (۱۳۹۹)، اثر تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه کاسنی را بررسی نمود. نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش فتوسنتز و افزایش آسیب اکسیداتیو می‌شود، اما تجمع ترکیبات اسمزی به حفظ تعادل آبی کمک می‌کند.

در چنین شرایطی، یکی از عوامل مهمی که می‌تواند نقش حفاظتی و تعدیل‌کننده در تنش ایفا کند، بستر کشت است. بسترهای کشت نه تنها محیط رشد ریشه را فراهم می‌کنند، بلکه تعیین‌کننده ظرفیت نگهداری آب، تهویه، دسترسی به مواد غذایی و پایداری سیستم ریشه در شرایط تنش خشکی هستند. ترکیبات مختلف بستر کشت شامل خاک برگ، کمپوست، ورمی‌کمپوست، کود دامی، کوکوپیت و پیت‌ماس، هر یک ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی دارند و می‌توانند اثرات متفاوتی بر رشد و تحمل تنش در گیاه ایجاد کنند. برای مثال رسایی (۱۳۹۳) گزارش کرد که استفاده از بسترهای آلی حاوی کمپوست موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره (حدود ۴۵–۳۰٪)، بهبود محتوای نسبی آب برگ (۲۵–۱۵٪) و افزایش تعداد گل در گیاهان زینتی تحت شرایط تنش رطوبتی شد که این امر به بهبود ظرفیت نگهداری آب و توسعه بهتر سیستم ریشه نسبت داده شد.

ورمی‌کمپوست نیز با افزایش فعالیت‌های میکروبی و غنی‌سازی بستر، موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره (۴۰–۲۵٪)، تعداد گل (۳۵–۲۰٪) و محتوای نسبی آب برگ در گیاهان زینتی تحت تنش خشکی شده است (چوادیان و همکاران، ۱۴۰۲). اهمیت بستر کشت در مدیریت تنش خشکی آن‌قدر زیاد است که بسیاری از پژوهش‌ها تأکید کرده‌اند که برای گیاهانی مانند رعنا زیبا، انتخاب بسترهای مناسب می‌تواند حتی مهم‌تر از میزان آبیاری باشد. ساختار بستر، از طریق بهبود نفوذپذیری، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و ایجاد محیط مناسب برای رشد ریشه، نقش اساسی در توان تحمل گیاه نسبت به خشکی ایفا می‌کند. به همین دلیل ترکیب بسترهای آلی و

معدنی می‌تواند راهکار مؤثری برای بهبود سازگاری گیاه باشد. پژوهش جواهری و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داده‌است که استفاده از ترکیبات آلی در بستر، ظرفیت تولیدی و تحمل تنش را به شکل قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

در تحقیقی (Singh et al., 2022) نشان دادند که مصرف ملاتونین در شرایط تنش خشکی موجب افزایش محتوای کلروفیل کل (۳۵-۲۰٪)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند CAT و SOD ۶۰-۳۰٪ و کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید (حدود ۴۰-۲۵٪) در گیاهان زراعی و زینتی گردید. در یک پژوهش (Chen et al., 2022) مشخص گردید که کاهش محتوای آبی بستر اثرات مهم مورفولوژیک روی گیاهان دارد. بطوریکه تغییر در ساختار برگ، تراکم تریکوم (موی سطح برگ) و تطبیقات مورفولوژیک برای کاهش تبخیر رخ می‌دهد. آنان گزارش کردند که تیمار ملاتونین تحت تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ (۱۸—۳۰٪)، بهبود کارایی فتوسنتز و کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن شد که این پاسخ‌ها با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی همراه بود.

در تحقیقی محدثی و همکاران (۱۴۰۲) اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک گل مغربی را بررسی نمود. نتایج نشان داد که کاهش آب در دسترس، به‌طور معنی‌دار موجب افت رشد، کاهش کلروفیل و افزایش پرولین می‌شود. این مطالعه اهمیت پاسخ فیزیولوژیک گیاهان زینتی به تنش خشکی را به‌خوبی نشان می‌دهد. رسایی (۱۳۹۳)، تأثیر بسترهای مختلف کشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گل ژربرا را بررسی نمود. در این تحقیق تأثیر بسترهای کوکوپیت، پیت، پرلیت و ترکیبات مختلف آن‌ها بر رشد ژربرا بررسی شد. نتایج نشان داد که ترکیب کوکوپیت—پرلیت بیشترین تأثیر را بر تعداد گل، وزن خشک و قطر گل داشت. ایشان تأکید می‌کند که بسترهای سبک و دارای ظرفیت نگهداری آب بالا در گیاهان زینتی نقش اساسی دارند.

در کنار اصلاح بستر کشت، توجه به تنظیم‌کننده‌های رشد و ترکیبات فیزیولوژیکی نیز یکی از راهکارهای نوین مدیریت تنش خشکی است. ملاتونین یکی از ترکیبات مهم و زیست‌فعال در گیاه است که نقش‌های متعددی در تنظیم فرآیندهای مربوط به رشد، فتوسنتز، تبادل گازی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و تنظیم روزنه‌ها ایفا می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که ملاتونین در کاهش اثرات تنش خشکی بسیار قدرتمند عمل می‌کند. این ترکیب با مهار گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، جلوگیری از تخریب غشا، افزایش کلروفیل، بهبود تنظیم اسمزی و کاهش اتلاف آب از سطح برگ، شرایط را برای تحمل بیشتر گیاه فراهم می‌سازد (Rodan et al., 2020) . چنین مکانیسم‌هایی سبب شده است که ملاتونین به‌عنوان یک ابزار مدیریتی مؤثر در پژوهش‌های مربوط به خشکی مطرح شود. همچنین (Liu et al., 2011) بیان کردند که اعمال ملاتونین تحت شرایط تنش خشکی موجب حفظ پایداری غشاهای سلولی، افزایش کلروفیل a و b (حدود ۱۵—۲۵٪) و کاهش خسارت اکسیداتیو در گیاهان گردید و در نتیجه تحمل خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. آنان نشان دادند که ملاتونین با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود رنگیزه‌های گیاهی، موجب بهبود قابل‌توجه رشد گیاهان چوبی در شرایط خشکی می‌شود. همچنین در یک تحقیق جامع پژوهشگران نقش ملاتونین در مقابله با تنش خشکی و دیگر استرس‌های غیرزیستی را بررسی کردند. نتایج مکانیسم‌هایی مانند مهار گونه‌های فعال اکسیژن(ROS) ، تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، حفظ توازن اسمزی و بهبود عملکرد فتوسنتزی را به‌عنوان چگونگی تأثیر ملاتونین بر تحمل خشکی مشخص کرد (Sharma & Zheng, 2019).

همچنین محمد و همکاران (۲۰۲۴) تازه‌ترین یافته‌ها در مورد اثرات ملاتونین بر مقاومت گیاهان زراعی تحت استرس خشکی را مرور کردند. آنان معتقدند ملاتونین با بهبود بهره‌وری آب، کاهش تبخیر از طریق تنظیم روزنه‌ها، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با استرس، به گیاهان کمک می‌کند تا تنش خشکی را بهتر تحمل کنند. از طرفی (Zhao et al., 2021) تاثیر اسپری برگی ملاتونین را بر روی بوته‌های جوان ذرت ارزیابی کردند. آنان نشان دادند که ملاتونین باعث بهبود عملکرد فتوسنتزی، حفظ کلروفیل، افزایش آب نسبی برگ، تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی و حتی تعدیل مسیرهای متابولیسم C و N می‌شود. در تحقیق دیگری اسپری ملاتونین در کاهو تحت خشکی شدید و آبیاری محدود، توانست کاهش سنگین شاخص‌هایی مانند سطح برگ، کلروفیل، کارایی فتوسنتز و وزن خشک را جبران کند. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات دفاعی افزایش یافتند. این تحقیق نشان داد ملاتونین برای گیاهان زینتی و سبزی نیز می‌تواند تاثیرگذار باشد و در گونه‌های متنوع کاربرد دارد (Li et al., 2017).

در بررسی پژوهش‌های داخلی شریفی عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۸) تاثیر رطوبت خاک بر عملکرد کمی و درصد اسانس گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolioum* L.) را بررسی کردند. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری کامل و اجرای عملیات آبیاری بر اساس ۳۰ (تنش ملایم), ۶۰ (تنش متوسط) و ۹۰ (تنش شدید) میلی متر تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A بود. نتایج حاصل از تجزیه مرکب سه ساله نشان داد که اثر سال, مقدار آب آبیاری و همچنین اثر متقابل سال در مقدار آب آبیاری بر عملکرد بیولوژیک, عملکرد گل, شاخص برداشت و درصد اسانس معنی دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سال اول, عملکرد گل معادل ۱۱۶۹ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به سال سوم اختلاف معنی دار داشت. بیشترین مقدار گل در تیمار آبیاری کامل تولید گردید که معادل ۱۳۶۰ کیلوگرم در هکتار بود

که با تیمار تنش ملایم اختلاف معنی دار نداشت. تیمار آبیاری کامل در سال دوم بیشترین عملکرد گل را معادل ۲۱۵۱ کیلوگرم در هکتار تولید نمود. بیشترین درصد اسانس نیز در تیمار تنش شدید در سال دوم بدست آمد. آزمایش انجام شده نشان داد که آبیاری کامل و همچنین تنش شدید آب موجب کاهش عملکرد گل و اسانس شد. در حالی که اعمال تنش ملایم و متوسط, موجب افزایش عملکرد گل و درصد اسانس گردید.

محدثی و همکاران (۱۴۰۲) و حسن زاده و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که کاهش آب سبب کاهش معنی‌دار در شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی می‌شود. این مطالعات تأکید می‌کنند که وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و مکانیسم‌های حفاظتی در گیاه، امکان تحمل خشکی را افزایش می‌دهد. بنابراین ترکیب تأثیر ملاتونین و بسترهای کشت مناسب، می‌تواند رویکردی کاملاً کاربردی برای مدیریت تنش خشکی در گیاهان زینتی ارائه دهد. با این حال، در مورد اثر ملاتونین بر گیاهان زینتی به‌ویژه گل رعنا زیبا، پژوهش‌ها بسیار محدود بوده و اطلاعات اندکی وجود دارد. همچنین مطالعات معدودی به بررسی ترکیب اثر بسترهای مختلف و تنظیم‌کننده‌های رشد مانند ملاتونین پرداخته‌اند. در نتیجه، خلأ قابل‌توجهی در پژوهش‌های داخلی در این زمینه دیده می‌شود.

با توجه به شرایط کنونی کشور و نیاز روزافزون به توسعه گونه‌های زینتی کم‌آب‌بر، انجام پژوهش‌هایی که به بررسی اثر بسترهای کشت و محلول‌پاشی ملاتونین بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل رعنا زیبا بپردازند، ضروری است. مطالعه حاضر با هدف تحلیل دقیق تاثیر عوامل بستر کشت و محلول پاشی ملاتونین طراحی شده است، تا مشخص سازد کدام ترکیب بستر و ملاتونین می‌تواند بهترین اثر را در افزایش تحمل خشکی، بهبود رشد و ارتقای کیفیت گل‌دهی داشته باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای اصلاح روش‌های تولید، مدیریت فضای سبز شهری و توسعه کشاورزی کم‌نهاده باشد و به‌طور مستقیم به حفظ منابع آب کشور کمک کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر انواع بسترهای کشت و محلول‌پاشی ملاتونین بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی *Gaillardia grandiflora* تحت تنش خشکی، در سال زراعی ۱۴۰۳ در گلخانه تحقیقاتی سازمان پارکها و فضای سبز شهرداری قم انجام شد. شرایط گلخانه شامل دمای روز ۲± ۲۴ درجه سانتی‌گراد، دمای شب ۲± ۱۸ درجه، رطوبت نسبی ۶۵–۵۵ درصد بود. آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی (CRD) و بصورت فاکتوریل با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل آبیاری در ۳ سطح آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم شامل بسترهای کشت در پنج سطح خاک زراعی معمولی (۱)، خاک زراعی۷۰ درصد+۳۰ درصد کود دامی پوسیده (۲)، خاک زراعی۷۰ درصد+۳۰ درصد کمپوست خاک برگ (۳)، خاک زراعی۷۰ درصد+۳۰ درصد لیکا (پوکه صنعتی فرآوری شده با جذب بسیار بالای آب) (۴) و خاک زراعی۷۰ درصد+۳۰ درصد پیت ماس و کوکوپیت (۵) و فاکتور سوم شامل محلول پاشی با ملاتونین در دو سطح قبل از تیمار آبیاری و به فواصل ده روز یکبار با غلظت ۲۰۰ میکرومولار و آب مقطر به عنوان محلول پاشی شاهد جهت تعیین اثرات ملاتونین استفاده شد.

مواد اولیه بستر پس از الک شدن با الک ۴ میلی‌متری آماده و طبق نسبت‌ها مخلوط شدند. ویژگی‌های فیزیکی بستر شامل ظرفیت نگهداری آب و تخلخل کل به روش گرایومتریک اندازه‌گیری شد (Black, 1965) . گلدان‌ها ضدعفونی و با ۱/۸ کیلوگرم از بستر پر شدند. بذرها در بستر پرلیت—کوکوپیت کشت شدند. گیاهچه‌های ۶–۴ برگی انتخاب و به گلدان‌ها منتقل شدند. دو هفته آبیاری یکنواخت برای استقرار گیاهچه‌ها انجام شد. در طول آزمایش از آب با Ec کمتر از یک dS/m استفاده شد. میزان آب مورد نیاز در هر بار آبیاری به روش وزنی تعیین شد (Klute, 1986) . در ابتدای آزمایش ظرفیت زراعی خاک به‌کار رفته مشخص گردید. جهت انجام این کار از روش دستی استفاده شد، بدین‌صورت که نمونه‌ای از خاک مورد استفاده در آزمایش را در دستگاه آون و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک نموده و سپس با ریختن ۱/۸ کیلوگرم از خاک کاملاً خشک در گلدان به تدریج به آن آب اضافه شد. پس از اشباع کامل و شروع خروج آب از انتهای گلدان، اضافه نمودن آب قطع و پس از سپری شدن زمان هشت ساعت و خروج آب‌های اضافی، گلدان مجدداً وزن گردید. این وزن برابر با وزن خاک در حالت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. در طی آزمایش وزن روزانه گلدان‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. در هر تیمار آبیاری پس از کاهش ۲۰٪ از وزن هر گلدان، آبیاری تا رسیدن رطوبت به سطح تیمار انجام شد. دوره تنش شش هفته بود. ملاتونین ۹۹٪ در مقدار کمی اتانول ۷۰٪ حل و با آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شد. محلول‌پاشی چهار نوبت با فاصله هفت‌روزه و در ساعات صبح انجام شد.

در پایان تنش، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد گل، قطر گل، وزن‌تر و خشک اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها برای وزن خشک در آون ۷۲ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. همچنین کلروفیل و کاروتنوئیدها به روش آرنون اندازه‌گیری شدند (Arnon, 1949) . مقدار ۱/۰

گرم برگ در استون ۸۰٪ استخراج و جذب در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر ثبت شد. از طرفی مقدار پرولین طبق روش بیتس اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973) . ۱/۰ گرم برگ با اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ استخراج، با نینهیدرین واکنش داده و جذب فاز تولوئن خوانده شد. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ (RWC) ، وزن تازه (FW)، وزن تورژسانس (TW) (پس از ۴ ساعت غوطه‌وری در آب) و وزن خشک (DW) نمونه‌ها ثبت شد. RWC طبق فرمول Barr & Weatherley (1962) محاسبه شد:

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

فعالیت کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) به‌ترتیب طبق روش‌های Chance & Maehly (1955) تعیین شد. استخراج پروتئین در بافر فسفات ۱/۰ مولار سرد انجام شد. میزان نشت یونی با روش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد (Lutts et al., 1996) :

$$EL = EC1 / EC2 \times 100$$

به این منظور هدایت اولیه (EC1) و نهایی پس از جوشاندن (EC2) ثبت و درصد نشت یونی با استفاده از فرمول محاسبه شد. تحلیل واریانس چندعامله با نرم افزار آماری SAS V9 انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ صورت گرفت. نمودارها با Excel تهیه شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سه فاکتور اصلی آبیاری، بستر کشت و ملاتونین و نیز اغلب اثرات متقابل آن‌ها تأثیر کاملاً معنی‌داری بر بیشتر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل رعنا زیبا داشتند. تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل، کاهش شدید و معنی‌داری در صفاتی مانند تعداد گل، قطر گل، ارتفاع ساقه، وزن‌تر و خشک شاخساره و ریشه و کلروفیل ایجاد کرد که بیانگر حساسیت قابل توجه این گیاه به کمبود آب است. در مقابل، اثرات بستر کشت بسیار چشمگیر بود؛ از سوی دیگر، ملاتونین سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز) و در نهایت شاخص‌های رشد شد. این نتایج بیانگر کارایی بالای ملاتونین در کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از خشکی است. اثر متقابل آبیاری × بستر × ملاتونین نیز در اکثر صفات (تعداد گل، وزن خشک، رنگیزه‌ها و شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی) معنی‌دار بود و نشان داد که بهترین عملکرد زمانی حاصل می‌شود که بسترهای غنی آلی همراه با ملاتونین تحت تنش خشکی استفاده شوند. همچنین ضریب تغییرات پایین در اکثر صفات نشان‌دهنده دقت مناسب آزمایش و قابل اتکا بودن نتایج است (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات تحت بررسی در گل رعنا زیبا تحت تیمارهای مختلف آبیاری، بستر کاشت و ملاتونین

صفات	میانگین مربعات (Ms)							ضریب تغییرات (٪)
	سطوح آبیاری df=2	بستر کاشت df=4	ملاتونین df=1	آبیاری× بستر کاشت df=8	سطوح آبیاری× ملاتونین df=2	بستر کاشت× ملاتونین df=4	آبیاری× بستر کاشت× ملاتونین df=8	خطا df=61	
تعداد گل	۵۸۰۳/۲ **	۳۳۵/۷ **	۳۱۲/۷ **	۳۶۵/۸ **	۴۵۵/۹ **	۲۹۶/۹ **	۲۱۰/۸ **	۸/۶۶	۱۲/۵
گلدهی روزانه	۳۱۷۴/۵ **	۳۷۲/۷ **	۱۲۰/۵ **	۳۶۱/۸ **	۳۵۷/۲ **	۱۳۳/۸ **	۱۶۶/۳ **	۵/۹	۱۵/۴
قطر گل	۷۷۸/۹ **	۴۲۰۱/۸ **	۱۲۲۴ **	۹۴/۳ **	۱۱/۱ ns	۹۶/۲ *	۲۰۵/۵ **	۲۶/۶	۱۱/۸
ارتفاع ساقه	۲۹۱۴۶۲ **	۷۷۲۶۶ **	۳۴۴۴۲۴ **	۱۹۳۹۳ **	۷۵۸/۷ ns	۶۳۸۸/۳ **	۲۱۶۰۶ **	۸۱۱	۵
قطر ساقه	۰/۴۶ ns	۴/۶۹ **	۱۸/۴ **	۳/۵۷ **	۷/۲۸ **	۳/۷۹ **	۰/۷۶ **	۰/۱۷	۶/۶
تعدادبرگ در بوته	۲۱۵۰۲۸ **	۱۴۴۰۶۸/۹ **	۳۳۸۵۲ **	۵۲۲۳۶ **	۲۱۹۹۹۲ **	۱۳۶۷۱۳/۳ **	۶۷۱۳۹ **	۴۴۹/۲	۴/۴
وزن ترهوایی	۲۸۱۹۶۴ **	۱۵۰۴۵۰ **	۲۳۳۸۶۳ **	۶۳۱۷۱ **	۸۲۱۸۵ **	۲۲۳۳۲۵ **	۹۸۴۵۶ **	۱۷۱/۴	۱/۶۲
وزن خشک هوایی	۲۷۰۰۲ **	۱۴۷۴۵ **	۲۳۸۲۶ **	۵۶۶۷ **	۶۹۶۰/۱ **	۲۰۵۵۰ **	۹۴۷۱/۲ **	۸۳/۴	۳/۷
وزن تر ریشه	۲۲/۳ **	۱۲/۶ **	۳/۹۹ **	۱/۴۷ **	۴/۹۷ **	۲۲/۴۱ **	۸/۳۱ **	۰/۲۲	۸
وزن خشک ریشه	۱۲/۹ **	۴/۰۲ **	۲/۰۴ **	۱/۲۹ **	۲/۴۴ **	۵/۰۱ **	۱/۷۲ **	۰/۲۱	۱۶/۵
کلروفیل a	۳۷/۵ **	۰/۳۱۵ **	۴/۶۳ **	۰/۱۲۹ **	۳/۴۷ **	۰/۰۳۱ *	۰/۲۷۶ **	۰/۰۱	۱/۹
کلروفیلb	۲/۹۹ **	۰/۵۸۴ **	۲/۸۸ **	۰/۶۶۶ **	۰/۶۴۹ **	/۵۸۶ **	۰/۴۹ **	۰/۰۰۳	۲/۶
کارتنوئید	۱۲/۱۰ **	۰/۰۹۵۱ **	۰/۹۵۱ **	۰/۰۹۳ **	۰/۴۹۳ **	۰/۰۸۴ **	۰/۰۶۱ **	۰/۰۰۰۹۲	۱/۶۴
پرولین	۱۷۶/۲ **	۸/۶۲ **	۸۹/۶ **	۲/۵۹ **	۱۴/۲ **	۰/۷۲۶ **	۱/۲ **	۰/۰۰۰۷	۱/۲
کاتالاز	/۰۲۷ **	۰/۰۰۱۲ **	۰/۰۱۸ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۴ **	۰/۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۱۶ **	۰/۰۰۰۳	۲۲/۷
فلاونوئید	۱/۷۲ **	۰/۰۸۳ **	۱/۶۲ **	۰/۰۳۳ **	۰/۳۳ **	۰/۰۰۹۷ **	۰/۰۰۸۳ **	۰/۰۰۰۶	۳/۹
محتوی نسبی اب	۳۱۹۶ **	۹۲/۵ **	۱۲۴/۱ **	۳۱/۱ **	۲۹/۱ **	۸۵/۲ **	۳۲/۶ **	۰/۰۹۶	۲/۲

* و ** بترتیب معنی دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد

مقایسه میانگین‌ها

با توجه به معنی دار شدن اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه گانه فاکتورها در تمام صفات تحت بررسی، تنها به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، بستر کشت و محلول‌پاشی ملاتونین اشاره می‌شود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، بستر کشت و کاربرد ملاتونین (جدول ۲) نشان داد که پاسخ گل رعنا زیبا به این عوامل، بسته به نوع صفت (زایشی یا فیزیولوژیک)، الگوی متفاوتی داشت. در بررسی صفات زایشی، بیشترین تعداد گل (۵۷ عدد در بوته) در تیمار آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی × بستر خاک زراعی + ۳۰ درصد کمپوست برگ × بدون مصرف ملاتونین مشاهده شد. در همین بستر و سطح آبیاری، کاربرد ملاتونین موجب کاهش تعداد گل به ۴۲ عدد گردید که بیانگر آن است که مصرف ملاتونین در شرایط بهینه بستر و آبیاری، الزاماً منجر به افزایش گلدهی نمی‌شود.

در بستر پیت‌ماس–کوکوپیت نیز الگوی مشابهی مشاهده شد؛ به‌طوری‌که در آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، تیمار بدون ملاتونین با ۷/۴۵ گل در بوته عملکرد زایشی بالاتری نسبت به تیمار دارای ملاتونین با ۱۱ گل در بوته داشت. این کاهش شدید نشان داد که اثر ملاتونین بر گلدهی نه‌تنها وابسته به سطح آبیاری، بلکه به ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی بستر نیز وابستگی بالایی دارد. در مقابل، در شرایط تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، تعداد گل در تمامی بسترها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و حتی کاربرد ملاتونین نیز نتوانست افت شدید گلدهی را جبران کند؛ به‌طوری‌که در بستر کمپوست برگ، تعداد گل از ۷/۱۵ عدد (بدون ملاتونین) به ۳/۱۴ عدد (با ملاتونین) رسید.

در حالی‌که پاسخ صفات زایشی به ملاتونین ناپایدار و وابسته به شرایط محیطی بود، بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک نشان داد که ملاتونین نقش مؤثرتری در بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه ایفا کرده است. برای مثال، در تیمار آبیاری ۷۰ درصد × بستر کمپوست برگ، کاربرد ملاتونین موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ از ۲/۸۸ به ۱/۸۹ درصد، افزایش پرولین از ۸/۵ به ۱/۷ و افزایش فلاونوئید از ۵/۰ به ۹/۰ شد. این افزایش‌ها نشان‌دهنده تقویت مکانیسم‌های تنظیم اسمزی و دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه در حضور ملاتونین است. الگوی مشابهی در بستر پیت‌ماس–کوکوپیت نیز مشاهده شد؛ به‌طوری‌که با وجود کاهش گلدهی، مقادیر پرولین و فلاونوئید در تیمارهای دارای ملاتونین بالاتر از تیمارهای بدون ملاتونین بود.

در مجموع، نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد زایشی گل رعنا زیبا تحت آبیاری متوسط (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و بسترهای غنی از ماده آلی حاصل شد، در حالی‌که نقش اصلی ملاتونین بیشتر در بهبود وضعیت فیزیولوژیک، افزایش توان دفاعی و حفظ محتوای نسبی آب برگ نمود پیدا کرد. بنابراین، اثر متقابل سه‌گانه این عوامل نشان‌دهنده آن است که پاسخ گیاه به تنش خشکی حاصل برهم‌کنش پیچیده مدیریت آبیاری، کیفیت بستر ریشه و تنظیم فیزیولوژیک ناشی از ملاتونین بوده و نمی‌توان انتظار داشت که مصرف ملاتونین به‌طور یکنواخت و در تمامی شرایط موجب افزایش صفات زایشی شود.

برتری معنی‌دار برخی تیمارهای سه‌گانه نشان می‌دهد که پاسخ گل رعنا زیبا به تنش خشکی حاصل برهم‌کنش هم‌زمان وضعیت آبی، ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی بستر کشت و تنظیم فیزیولوژیک ناشی از کاربرد ملاتونین است. با این حال، نتایج جدول ۲ نشان داد که بیشترین عملکرد زایشی لزوماً در تیمارهای دارای ملاتونین مشاهده نشد و نقش این ترکیب بیش از آنکه به‌عنوان محرک مستقیم گلدهی باشد، در بهبود وضعیت فیزیولوژیک و افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی نمود پیدا کرد. بیشترین تعداد گل در تیمار آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی × بستر کمپوست برگ بدون مصرف ملاتونین ثبت شد که بیانگر اهمیت نقش آبیاری متوسط و بستر غنی از ماده آلی در تحریک رشد زایشی است.

در مقابل، در تیمار آبیاری ۷۰ درصد × بستر کمپوست برگ، کاربرد ملاتونین موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله افزایش محتوای نسبی آب برگ، پرولین و فلاونوئید شد که نشان‌دهنده تقویت مکانیسم‌های تنظیم اسمزی و دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه است. افزایش هم‌زمان این شاخص‌ها، بدون افزایش متناسب تعداد گل، بیانگر تغییر الگوی تخصیص منابع از رشد زایشی به حفظ پایداری فیزیولوژیک در حضور ملاتونین است. چنین الگویی پیش‌تر نیز برای گیاهان تحت تنش خشکی گزارش شده و به نقش استرس‌محور ملاتونین در اولویت‌دهی به بقا نسبت به تولید زایشی اشاره دارد (Zhao et al., 2021؛ Sharma & Zheng, 2019).

در بستر پیت‌ماس–کوکوپیت، اگرچه در آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مقادیر نسبتاً بالای RWC و وزن خشک مشاهده شد، تعداد گل به‌طور معنی‌داری کمتر از بستر کمپوست برگ بود. این تفاوت می‌تواند به محدودیت‌های تغذیه‌ای، تفاوت در پویایی عناصر غذایی و فعالیت زیستی کمتر ریزوسفر در بسترهای فاقد ماده آلی فعال نسبت داده شود. گزارش‌ها نشان می‌دهند که بسترهای کمپوستی علاوه بر بهبود نگهداری آب، از طریق افزایش فعالیت میکروبی و کارایی جذب عناصر، نقش مؤثرتری در تحریک رشد زایشی ایفا می‌کنند (Singh

.(Chen et al., 2022؛et al., 2022

در شرایط تنش شدید خشکی (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اگرچه در برخی تیمارهای دارای ملاتونین افزایش محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد، این بهبود آبی با افزایش متناسب تعداد گل همراه نبود. این نتایج نشان می‌دهد که حفظ وضعیت آبی برگ به‌تنهایی برای تداوم عملکرد زایشی کافی نیست و محدودیت در فتوسنتز خالص و انتقال فتوسنتات‌ها به اندام‌های زایشی نقش تعیین‌کننده‌تری دارد. این پدیده که به‌عنوان جدایی پاسخ‌های فیزیولوژیک و زایشی تحت تنش خشکی شناخته می‌شود، در مطالعات اخیر نیز گزارش شده است (.(Rodan et al., 2020؛Seleiman et al., 2021

ضعف عملکرد خاک زراعی ساده، حتی در حضور ملاتونین، تأیید می‌کند که اثر این ترکیب به‌شدت وابسته به کیفیت محیط ریشه و توان بستر در تأمین هم‌زمان آب و عناصر غذایی است. یافته‌های مشابه نشان داده‌اند که ملاتونین در بسترهای فقیر، اگرچه می‌تواند آسیب اکسیداتیو را کاهش دهد، اما قادر به جبران محدودیت‌های ساختاری و تغذیه‌ای محیط ریشه نیست (Singh et al., 2022). در مجموع، نتایج اثر متقابل سه‌گانه جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشینه‌سازی عملکرد زایشی در گل رعنا زیبا عمدتاً به مدیریت آبیاری و کیفیت بستر وابسته است، در حالی‌که ملاتونین نقش مکملی در افزایش پایداری فیزیولوژیک و تحمل تنش خشکی ایفا می‌کند؛ نتیجه‌ای که با چارچوب‌های نوین مدیریت تنش در گیاهان زینتی همخوانی دارد (Chen et al., 2022؛ Zhao et al., 2021).

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین صفات تحت تاثیر متقابل سه گانه آبیاری-نوع بستر کشت-کاربرد ملاتونین

آبیاری	بستر کشت	ملاتونین	تعداد گل	گلدهی روزانه	قطر گل (mm)	ارتفاع ساقه(mm)	وزن ترهوایی(gr)	کلروفیلb	کارتنوئید	پرولین	فلاونوئید	محتوی نسبی اب
1	1	1	۱۲j	۸/۷ ij	۳۴/۳ e	۳۳۳/۳ i	۷۱۷ cd	۲/۷ bc	۱/۱ g	۰/۵ g	۰/۳ d	۶۲ d
1	1	2	۲۰hi	۱۵/۳ f	۴۹/۳ bc	۶۴۵ e	۷۲۵ cd	۲ c	۱/۱ g	۰/۶ g	۰/۳ d	۶۵/۵ cd
1	2	1	۱۶i	۱۰/۳ h	۴۶/۳ c	۷۵۲/۷ c	۷۱۶ cd	۲/۳ bc	۱/۲ g	۰/۷ g	۰/۳ d	۶۶ cd
1	2	2	۱۹/۳hi	۱۵/۳ f	۵۵/۷ b	۸۱۱/۷ a	۶۳۴ e	۲/۸ bc	۱/۱ g	۰/۹ g	۰/۴ d	۶۹ cd
1	3	1	۲۱hi	۱۲/۷ g	۳۹/۳ cd	۶۳۹/۳ e	۶۴۹ e	۲/۳ bc	۱/۲ g	۰/۳ g	۰/۳ d	۶۹ cd
2	3	1	۲۶/۶f g	۲۲/۳ e	۵۲ b	۷۵۹/۷ c	۷۳۳ cd	۲/۵ bc	۱/۱ g	۰/۹ g	۰/۴ d	۶۸/۵ cd
1	4	1	۲۵fg	۲۰ e	۵۴ b	۶۵۳/۷ e	۶۴۴ e	۲/۵ bc	۱/۲ g	۰/۳ g	۰/۳ d	۶۹ cd
2	4	1	۲۳gh	۱۷ f	۵۵/۷ b	۷۱۳/۶ d	۶۹۱ de	۲/۸ bc	۱/۲ g	۰/۹ g	۰/۴ d	۶۹/۳ cd
1	5	1	۳۴de	۳۰ d	۵۳/۳ b	۷۳۵/۳ cd	۶۵۳ e	۲/۷ bc	۱/۵ f	۰/۳ g	۰/۳ d	۶۸ cd
2	5	1	۳۷d	۳۴/۷ c	۴۵/۴ c	۷۵۰/۴ c	۷۴۴ cd	۲/۷ bc	۱/۴ f	۱ g	۰/۳ d	۶۹ cd
1	1	2	۳۷d	۲۵/۳ d	۴۳/۷ c	۳۱۲/۲ i	۹۷۲ bc	۲/۲ c	۲/۴ bc	۲/۶ f	۰/۴ d	۸۸a
2	1	2	۱l	۴۳/۳ b	۴۸/۳ bc	۵۰۶/۷ g	۸۰۷ cd	۲/۶ bc	۳ a	۷ b	۰/۸ ab	۸۶a
1	2	2	۱l	۲۲ e	۳۵/۷ e	۴۴۳ h	۳۲۱ g	۲ c	۲/۳ bc	۶/۳ c	۰/۶ bc	۷۱ cd
2	2	2	۳۱ef	۱۵/۷ f	۴۱ cd	۶۰۰ f	۱۰۹۵ c	۲/۴ bc	۲/۷ ab	۸/۳ a	۰/۹ ab	۸۹/۲a
1	3	2	۵۷a	۴۸/۷ a	۳۸/۷ de	۵۴۷ g	۹۹۶ bc	۲/۱ c	۲/۳ bc	۵/۸ c	۰/۵ bc	۸۸/۲a
2	3	2	۴۲c	۳۲ c	۴۳/۳ de	۵۴۰ g	۱۰۸۹ ab	۲/۳ bc	۲/۷ ab	۷ b	۰/۹ ab	۸۹a
1	4	2	۴۲c	۲۴/۳e	۴۱/۳ cd	۴۱۳ hi	۷۹۵ cd	۲ c	۲/۲ bc	۲/۵ ef	۰/۵ bc	۸۶a
2	4	2	۱۴/۷ij	۱۰d	۵۰	۵۴۳ g	۸۲۰ cd	۲/۳ bc	۲/۵ abc	۵/۸ c	۰/۸	۸۶a
1	5	2	۴۵/۷bc	۳۳/۳c	۳۲ e	۳۴۷ i	۶۵۷ e	۲ c	۲/۱ cd	2/6 ef	۰/۶ bc	۸۳ ab
2	5	2	۱۱j	۷ij	۵۹ a	۵۴۴ g	۱۰۴۶ ab	۲/۶ bc	۳ a	۷ b	۰/۹ ab	۸۹a
1	1	3	۱۱/۳j	۱۰ d	۲۲ f	۵۲۲ g	۱۱۶۷ a	۱/۴ cd	۱/۶ d	۱/۸ f	۰/۴ c	۹۰a
2	1	3	۵/۷k	۲/۷ h	۴۲ cd	۴۸۴ h	۵۹۴ e	۲/۲ c	۲/۲ bc	۴/۶ d	۱ ab	۸۲ ab
1	2	3	۵/۳k	۱/۷ h	۳۳ e	۴۶۲ h	۴۵۸ f	۱/۸ cd	۲ cd	۲/۴ ef	۰/۸ ab	۷۷ b
2	2	3	۶/۷jk	۳/۷ k	۵۲ b	۶۴۸ e	۶۴۵ e	۳/۹ a	۲ cd	۵/۵ c	۱/۱ a	۸۳ ab
1	3	3	۱۵/۷ij	۱۱/۳ g	۳۸/۳ de	۵۵۸ fg	۸۰۰ cd	۱/۸ cd	۱/۹ cd	۲/۴ ef	۰/۸ ab	۸۶a
2	3	3	۱۴/۳ij	۸/۷ ij	۳۵ e	۶۲۳ e	۱۰۳۰ ab	۱/۷ cd	۱/۸ d	۴/۸ d	۱/۱ a	۸۸a
1	4	3	۸/۷jk	۵/۳j	۳۹ de	۵۳۳ g	۹۷۷ bc	۱/۴ d	۱/۵ d	۰/۷ g	۰/۴ c	۸۸a
2	4	3	۳/۳k	۱/۳ k	۴۴/۳ c	۷۷۳ b	۹۸۷ bc	۱/۶ cd	۱/۸ d	۳/۴ de	۰/۸ ab	۸۸/۱a
1	5	3	۱۱j	۵/۷ j	۴۰ de	۴۸۳ h	۷۵۱7 de	۱/۶ cd	۱/۸ d	۲/۲ f	۰/۷ bc	۸۵a
2	5	3	۷jk	۴/۳ j	۳۶ e	۶۷۹ de	۱۱۳۴ a	۱/۷ cd	۱/۹ cd	۴/۱ d	۱/۱ a	۸۹/۵a

در هر ستون، اعداد دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال اشتباه ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

بستر ۱: خاک زراعی کمپوست خاک برگ **بستر ۲: خاک زراعی ۷۰ درصد+۳۰ درصد کود دامی پوسیده** **بستر ۳: خاک زراعی ۷۰ درصد+۳۰ درصد**

بستر ۴: خاک زراعی ۷۰ درصد+۳۰ درصد لیکا **بستر ۵: خاک زراعی ۷۰ درصد+۳۰ درصد پیت ماس و کوکوپیت**

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که پاسخ‌های مورفولوژیک، رشدی و فیزیولوژیک گل رعنا زیبا (*Gaillardia grandiflora*) به تنش خشکی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل سطوح آبیاری، بستر کشت و مصرف ملاتونین قرار دارد. کاهش سطح آبیاری موجب افت قابل توجه در صفاتی نظیر تعداد گل، میانگین گلدهی روزانه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و برخی شاخص‌های فتوسنتزی شد که این نتایج با گزارش‌های پیشین درباره اثر منفی تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان زینتی و زراعی همخوانی دارد (محدثی و همکاران، ۱۴۰۲).

در شرایط تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، کاهش شدید تعداد گل و افت شاخص‌های فتوسنتزی همراه با کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده محدودیت توان سیستم فتوسنتزی در حفظ تعادل آبی و انرژی است. کاهش کلروفیل a و b همزمان با افزایش پرولین و نشت یونی، بیانگر تشدید آسیب اکسیداتیو و کاهش پایداری غشاهای سلولی در این شرایط می‌باشد. با این حال، بسترهای حاوی کمپوست برگ و پیت‌ماس–کوکوپیت توانستند تا حدی از شدت این پاسخ‌ها بکاهند که این امر احتمالاً ناشی از افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، بهبود ساختار فیزیکی بستر و توسعه مناسب‌تر سیستم ریشه است. افزایش نسبی RWC و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این بسترها نشان می‌دهد که ترکیب مناسب بستر نقش مهمی در حفظ عملکرد فیزیولوژیک گیاه تحت خشکی شدید ایفا می‌کند.

بررسی اثر متقابل آبیاری و بستر کشت نشان داد که بسترهای غنی از ماده آلی، به‌ویژه کمپوست برگ و پیت‌ماس–کوکوپیت، توانستند اثرات منفی تنش آبی را به‌طور معنی‌داری تعدیل کنند. حفظ بهتر شاخص‌های فتوسنتزی و بهبود نسبی صفات رشدی در این بسترها احتمالاً ناشی از افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود تهویه و فراهم شدن شرایط مطلوب‌تر برای گسترش ریشه است. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های رسایی (۱۳۹۳) در ژربرا و جوادیان و همکاران (۱۴۰۲) در گیاهان زینتی فضای سبز همخوانی دارد که نقش کلیدی بسترهای آلی را در افزایش تحمل تنش خشکی گزارش کرده‌اند. همچنین گزارش شده است که بسترهای سبک و آلی با افزایش کارایی مصرف آب، موجب حفظ فعالیت فتوسنتزی در شرایط کم‌آبی می‌شوند (Singh et al., 2022) .

اثر متقابل سطوح آبیاری و ملاتونین نشان داد که مصرف ملاتونین بیش از آنکه به‌عنوان محرک مستقیم رشد زایشی عمل کند، نقش مؤثرتری در تعدیل پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه به تنش خشکی دارد. بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله محتوای نسبی آب برگ و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای دارای ملاتونین، به‌ویژه در آبیاری متوسط، نشان‌دهنده نقش حفاظتی این ترکیب در کاهش آسیب اکسیداتیو و حفظ تعادل آبی سلول‌ها است. با این حال، افزایش این شاخص‌ها همواره با افزایش متناسب تعداد گل همراه نبود که بیانگر اولویت‌یافتن مکانیسم‌های بقا نسبت به رشد زایشی در حضور ملاتونین است. چنین الگویی با گزارش‌های Sharma & Zheng (2019) و Zhao et al. (2021) همخوانی دارد که ملاتونین را به‌عنوان تنظیم‌کننده پاسخ‌های استرسی معرفی کرده‌اند، نه محرک یکنواخت عملکرد زایشی.

در بررسی اثر متقابل بستر کشت و ملاتونین نیز مشخص شد که بیشترین کارایی ملاتونین در بسترهایی مشاهده شد که از نظر فیزیکی و شیمیایی شرایط مناسبی برای رشد ریشه فراهم کرده بودند. بسترهای غنی از ماده آلی در ترکیب با ملاتونین به بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک منجر شدند، در حالی‌که در خاک زراعی ساده حتی با مصرف ملاتونین، بهبود محدودی در صفات مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که اثر ملاتونین به‌شدت وابسته به کیفیت محیط ریشه و توان بستر در تأمین هم‌زمان آب و عناصر غذایی است و به‌تنهایی قادر به جبران محدودیت‌های ساختاری و تغذیه‌ای بسترهای فقیر نیست؛ موضوعی که پیش‌تر نیز گزارش شده است(Chen et al., 2022) .

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار رشد، گلدهی و وضعیت فیزیولوژیک گل رعنا زیبا (*Gaillardia grandiflora*) می‌شود. استفاده از بسترهای غنی از ماده آلی نقش مؤثری در تعدیل اثرات منفی کم‌آبی ایفا کرد و موجب بهبود رشد رویشی و حفظ شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه شد. مصرف ملاتونین عمدتاً از طریق بهبود وضعیت آبی برگ و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، تحمل گیاه به تنش خشکی را افزایش داد، هرچند این بهبود همواره با افزایش متناسب گلدهی همراه نبود. بیشترین عملکرد زایشی عمدتاً در شرایط آبیاری متوسط و بسترهای آلی مشاهده شد، در حالی‌که ملاتونین نقش مکملی در افزایش پایداری فیزیولوژیک گیاه ایفا کرد. در مجموع، مدیریت هم‌زمان آبیاری و بستر کشت، همراه با کاربرد هدفمند ملاتونین، می‌تواند راهکاری مؤثر برای تولید پایدار گیاهان زینتی

در شرایط کم‌آبی باشد (Sharma & Zheng, 2019, Zhao et al., 2021 & Singh et al., 2022).

با وجود نتایج قابل توجه این پژوهش، انجام آزمایش در شرایط گلخانه‌ای، استفاده از یک غلظت ثابت ملاتونین و بررسی یک گونه زینتی از جمله محدودیت‌های تحقیق محسوب می‌شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین، بررسی گونه‌های زینتی متنوع‌تر و ارزیابی این راهکارها در شرایط مزرعه‌ای و فضای سبز شهری مورد توجه قرار گیرد. همچنین بررسی جنبه‌های اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی استفاده از بسترهای آلی می‌تواند به تدوین دستورالعمل‌های کاربردی برای مدیریت فضای سبز در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند.

بر اساس نتایج اثر متقابل سه‌گانه، می‌توان یک مدل مفهومی تلفیقی برای تبیین پاسخ گل رعنا زیبا به تنش خشکی ارائه داد که در آن آبیاری متوسط به‌عنوان عامل تنظیم‌کننده اصلی، بسترهای غنی از ماده آلی به‌عنوان بهبوددهنده محیط ریشه و ملاتونین به‌عنوان تنظیم‌کننده فیزیولوژیک عمل می‌کنند. برهم‌کنش این عوامل موجب بهبود وضعیت آبی، حفظ فعالیت فتوسنتزی و افزایش پایداری فیزیولوژیک گیاه می‌شود، در حالی‌که حذف هر یک از این مؤلفه‌ها کارایی سامانه را کاهش می‌دهد. این مدل تأکید می‌کند که مدیریت تنش خشکی در گیاهان زینتی نیازمند رویکردی تلفیقی و سامانه‌محور است، نه تمرکز بر یک عامل به‌صورت مجزا.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات انجام شد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله: «مفهوم‌سازی، پیام جوادیان و وحید عبدوسی؛ روش‌شناسی، وحید عبدوسی؛ نرم‌افزار، سپیده کلاته جاری و الهام دانایی، اعتبارسنجی، وحید عبدوسی و سپیده کلاته جاری؛ تحلیل صوری، وحید عبدوسی و الهام دانایی، منابع، سپیده کلاته جاری و الهام دانایی؛ گردآوری داده‌ها، الهام دانایی؛ نگارش پیام جوادیان، تهیه پیش‌نویس اصلی، سپیده کلاته جاری و الهام دانایی؛ بررسی و ویرایش نگارش، وحید عبدوسی؛ مصورسازی، وحید عبدوسی؛ نظارت، الهام دانایی؛ مدیریت پروژه، وحید عبدوسی؛ همه نویسندگان نسخه منتشر شده مقاله را خوانده و با آن موافقت کرده‌اند. همه نویسندگان به طور مساوی در مفهوم‌سازی مقاله و نگارش پیش‌نویس‌های اصلی و بعدی مشارکت داشته‌اند. »

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

متن اعلامیه: در طول تهیه این اثر، نویسنده(گان) از هیچ دستیار هوش مصنوعی یا ابزار/خدمات مرتبط یا مشابه استفاده نکرده‌اند. این بیانیه در مورد استفاده از ابزارهای اساسی برای بررسی دستور زبان، املا، ارجاعات و غیره صدق نمی‌کند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

– داده‌های این مطالعه بنا به درخواست نویسندگان در دسترس هستند.

– داده‌های مربوط به این مقاله در چارچوب علوم باز (Open Science Framework) موجود است.

سپاسگزاری

– نویسندگان از معاونت پژوهشی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی به خاطر حمایت مالی و معنوی‌شان در انجام این پژوهش کمال تشکر را دارند.

– نویسندگان از همه شرکت‌کنندگان در این مطالعه، به ویژه کارشناسان سازمان فضای سبز و منظر شهرداری قم، تشکر می‌کنند.

– نویسندگان از داوران ناشناس به خاطر پیشنهادات ارزشمندشان در اصلاح نسخه خطی تشکر می‌کنند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان از هرگونه جعل داده، تحریف، سرقت ادبی و هرگونه تخلف اجتناب کردند.

این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران، تأیید شده است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

جواهری، سهیلا، زارعی، حسین.، موحدی نایینی، علیرضا و روشنی، قربانعلی. (۱۳۹۲). مقایسه تاثیر هفت نوع بستر کشت بر ویژگی‌های کیفی چمن بهاره در سه سطح فشردگی. به زراعی کشاورزی (مجله کشاورزی پردیس ابوریحان)، ۱۵(۳)، ۶۵-۷۶. https://sid.ir/paper/209228/fa

حسن زاده قورتپه، عبدالله.، امیرنیا، رضا.و حیدرزاده، سعید. (۱۳۹۹). تاثیر کاربرد کود دامی بر صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) در واکنش به تنش خشکی. دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)، ۳۰(۳)، ۱۳۳-۱۴۶ https://sid.ir/paper/396804/fa

رسایی، قنبر. (۱۳۹۳). تأثیر بسترهای مختلف کشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی ژربرا. *همایش ملی علوم و فناوری‌های نوین در کشاورزی*.

جوادیان، پیام، عیدی، امید و قربانی، محمدباقر. (۱۴۰۲). اثر بسترهای کاشت بر خصوصیات کمی و کیفی گل مغربی صورتی (*Oenothera spiciosa*)، اولین همایش ملی راهبردهای توسعه فضای سبز در شهرهای حاشیه کویر،قم، https://civilica.com/doc/2097359

شریفی عاشورآبادی، ابراهیم، لباسچی، محمدحسین، نادری، بهروز و اله وردی ممقانی، بهاره. (۱۳۹۸). بررسی تاثیر کمبود آب بر عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L.). علوم محیطی، ۷(۱)، ۱۹۳-۲۰۴. https:..sid.ir.paper/117636/fa

محدثی، عباس و شیرمردی، مصطفی. (۱۴۰۲). مقایسه تأثیر بیوچار و ورمی‌کمپوست بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گل مغربی (*Oenothera biennis*)تحت تنش خشکی. دانش کشاورزی و تولید پایدار. دوره ۳۳. شماره ۱.

REFERENCES

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiology*, 24(1), 1–15.

Barr, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413–428.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–207.

Black, C. A. (1965). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. Methods in Enzymology, 2, 764–775.

Chen, Y., et al. (2022). Root zone environment and drought tolerance mechanisms in ornamental plants. *Scientia Horticulturae*, 293, 110698.

Chen, Y., Liu, Z., Wang, J., & Li, X (2022). Effects of substrate moisture and physical properties on morphological adaptation of plants under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 301, 111094.

Dresboll, D. B. (2010). Effect of growing media composition on growth, quality and water use efficiency of ornamental plants. *Scientia Horticulturae*, 126, 56–63.

Hassanzadeh Ghortepeh, A., Amirnia R. & heydarzadeh, S. (2020). The effect of manure application on physiological traits of *cichorium intybus* in response to drought stress. Journal of agricultural science and sustainable production (journal of agricultural science), 30(3), 133-146. Sid. Https://sid.ir/paper/396804/en. (In Persian).

Javadian, P., Eidi, O. and Ghorbani, M. (1402). The effect of planting beds on the quantitative and qualitative characteristics of pink evening primrose (*Oenothera spiciosa*), First National Conference on Green Space Development Strategies in Desert Cities, Qom, https://civilica.com/doc/2097359Javahery, S., Zarei, H., Movahedi Naeini, A. and Roshani, Ghorban A. (2013). Comparison of seven types of medium in three compactness levels on qualitative characteristics of Spring Lawn. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture), 15(3), 65-76. Sid. Https://Sid.Ir/Paper/209228/En. (In Persian).

Klute, A. (1986). Methods of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical methods. ASA-SSSA.

Li, H., Chang, J., Chen, H., Wang, Z., Gu, X., Wei, C., & Zhang, Y. (2017). Exogenous melatonin confers drought stress tolerance to lettuce (*Lactuca sativa* L.) by regulating antioxidant defense system. Scientia Horticulturae, 224, 389–398. https:..doi.org.10.1016.j.scienta.2017.06.052

Liu, C., et al. (2011). Pigments and drought response in woody plants. Environmental and Experimental Botany, 71, 174–183.

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., & Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 71, 174–183.

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in rice leaves. Journal of Plant

Physiology, 149, 425–432.
Mohaddisi, A. and Shirmardi, M. (1402). Comparison of the effect of biochar and vermicompost on some morphophysiological characteristics of evening primrose (*Oenothera biennis*) under drought stress. Agricultural Knowledge and Sustainable Production. Volume 33. Number 1. (In Persian).
Rasaei, Q. (2014). The effect of different cultivation media on morphological characteristics of Gerbera. National Conference on Modern Sciences and Technologies in Agriculture. (In Persian).
Rodan, M.A., Hassandokht, M.R., Sadeghzadeh-Ahari, D. & Mousavi, A. (2020). Mitigation of drought stress in eggplant by date straw and plastic mulches. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(7), 492-498.
Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y. & Battaglia, M.L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, 10(2), 259.
Sharifi Ashourabadi e., Lebaschi M. H., Naderi B. & Alah Verdi M. (2009). Effect of water deficit on yield and essential oil in (*Achillea millefolium* l.). Environmental sciences, 7(1), 193-204. Sid. Https://sid.ir/paper/117636/en. (In Persian).
Sharma, A., & Zheng, B. (2019). Melatonin mediated regulation of drought stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 550–561.
Sharma, A., & Zheng, B. (2019). Melatonin-mediated regulation of drought stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany*, 70(15), 4135–4148.
Singh, A., Sharma, S., & Kumar, P. (2022). Role of growing media in improving water holding capacity and drought tolerance of ornamental plants. *Horticultural Plant Journal*, 8, 45–55.
Singh, M., et al. (2022). Organic substrates and drought mitigation in ornamental crops. *Horticultural Plant Journal*, 8, 301–312.
Tas, S., & Tas, B. (2007). Physiological drought responses in wheat. World Journal of Agricultural Sciences, 3, 178–183.
Wilkins, H., & Dole, J. (1999). Floriculture: Principles and Species. Prentice Hall.
Zhao, H., Zhang, K., Zhou, X., Xi, L., Wang, Y., Xu, H., & Pan, T. (2021). Melatonin alleviates drought stress in maize by regulating photosynthesis and antioxidant metabolism. Plant Physiology and Biochemistry, 166, 949–961.