Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Effect of deficit irrigation on visual quality, physiological responses, and water use efficiency of *Ranunculus asiaticus* L.

Nahid Balasemi[1], Zeynab Roein[*2], Atefeh Sabouri[3], Ahmad Reza Dadras[4]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: n.balasemi1358@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: z.roein@ilam.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: a.sabouri@guilan.ac.ir
4. Research Assistant Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Olive Research Station of Tarom, Zanjan, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran. E-mail: a.dadras@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 06.21.2022
Revised: 08.10.2022
Accepted: 09.01.2022

Keywords:
Intracellular CO_2 concentration,
Low deficit irrigation,
Morphological plant responses,
Ranunculus,
Transpiration

ABSTRACT

Background and Objectives: Water scarcity is one of the major environmental stresses that adversely affect physiological processes and plant growth. Deficit irrigation (DI) is one of the important irrigation management strategies that has been proposed to conserve water, whereas plants are exposed to a certain degree of water stress. The purpose of the present study was to identify physiological and morphological responses of *Ranunculus* to different levels of deficit irrigation.

Materials and Methods: The pot experiment was arranged in the greenhouse in a completely randomized design with four replicates. Plants were irrigated under four water regimes included (1) the control (100% SWC), with full irrigation, (2) the low deficit irrigation (75% SWC), (3) the moderate deficit irrigation (50% SWC), and (4) severe deficit irrigation (25% SWC). In this study growth parameters (plant height, number of leaves, number of buds, flowers and petals, petiole length, fresh and dry weight of shoots and underground organs), physiological attributes (electrolyte leakage, relative water content), photosynthesis parameters (transpiration rate, leaf temperature, intercellular CO_2 concentration, ambient CO_2 concentration), water use efficiency (WUE) and degree of tolerance to deficit irrigation stress of *Ranunculus* plants were evaluated.

Results: The results showed that severe DI reduced plant height (34.5%), leaf number (57%), petiole length (47%), bud number (233%), flower diameter (23%), number of petals (17%), fresh and dry weight of aerial parts (59%, 53%), fresh and dry weight of underground parts (69%, 77%) compared to stress-free conditions (100% SWC). These symptoms indicated the adverse effects of deficit irrigation on the plant. As a consequence of this, leaf temperature (31.90 °C), ambient CO_2 concentration (479.06 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), and intracellular CO_2 (479.47 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) were higher in severe DI. Plants subjected to full irrigation, and low deficit irrigation (75% SWC) had more flowers bud than moderate and severe water stress. Findings of the experiments revealed that low deficit irrigation slightly decreased the plant height, leaf number, petal number, and plant biomass than full irrigation conditions. Also, the highest transpiration rate (0.88 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) was observed at a moderate DI (50% SWC). In addition, plants submitted to an irrigation water deficit have lower values

relative water content (RWC) than those of fully irrigated plants. Severe DI (25% SWC) caused a remarkable increase in electrolyte leakage followed by 50% SWC. It was found that WUE decreased with an increase in water stress levels. The WUE was higher (37.5%) in full irrigation than in moderate and severe deficit irrigation. Moreover, by implementing DI, irrigation at 25% SWC for *Ranunculus* plants saved 45.78% of water.

Conclusion: In general, these results show that *Ranunculus* is sensitive to severe deficit irrigation stress and is moderately tolerant to 75% SWC. Therefore, low deficit irrigation (75% SWC) stress, but not moderate or severe, could be imposed in *Ranunculus* to reduce water consumption, still maintaining plant ecophysiological performances and ornamental quality.

Cite this article: Balasemi, Nahid, Roein, Zeynab, Sabouri, Atefeh, Dadras, Ahmad Reza. 2023. Effect of deficit irrigation on visual quality, physiological responses, and water use efficiency of *Ranunculus asiaticus* L. *Journal of Plant Production Research*, 30 (1), 165-186.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20330.2945
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

اثر کم‌آبیاری بر کیفیت ظاهری، پاسخ‌های فیزیولوژیک و کارآیی مصرف آب آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.)

ناهید بلاسمی[۱]، زینب روئین*[۲]، عاطفه صبوری[۳]، احمدرضا دادرس[۴]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گیاهان زینتی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: n.balasemi1358@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: z.roein@ilam.ac.ir

۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: a.sabouri@guilan.ac.ir

۴. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران. رایانامه: a.dadras@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰

واژه‌های کلیدی:
آلاله،
پاسخ‌های مورفولوژیک گیاه،
تعرق،
غلظت CO_2 درون سلولی،
کم‌آبیاری ملایم

چکیده

سابقه و هدف: کمبود آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. کم‌آبیاری از راهکارهای مهم مدیریت در آبیاری است زیرا از طریق مواجهه گیاهان با سطوح مشخصی از تنش آبی، در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. هدف از مطالعه حاضر شناسایی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی آلاله به سطوح مختلف کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. گیاهان با چهار رژیم آبیاری مواجهه شامل (۱) شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت گلدان) با آبیاری کامل، (۲) کم‌آبیاری ملایم (۷۵ درصد ظرفیت گلدان)، (۳) کم‌آبیاری متوسط (۵۰ درصد ظرفیت گلدان) و (۴) کم آبیاری شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدان) شدند. در این پژوهش، شاخص‌های رشدی (ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد غنچه، گل و گلبرگ، طول دمبرگ، وزن تر و خشک شاخساره و اندام زیرزمینی)، ویژگی‌های فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی)، شاخص‌های فتوسنتزی (شدت تعرق، دمای برگ، میزان دی‌اکسیدکربن درون سلولی و محیط)، کارآیی مصرف آب و درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری گل آلاله مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش شدید کم‌آبیاری موجب کاهش ارتفاع گیاه (۳۴/۵ درصد)، تعداد برگ (۵۷ درصد)، طول دمبرگ (۴۷ درصد)، تعداد غنچه گل (۲۳۳ درصد)، قطر گل (۲۳

درصد)، تعداد گلبرگ (۱۷ درصد)، وزن‌تر و خشک اندام هوایی (۵۹ درصد و ۵۳ درصد)، وزن‌تر و خشک اندام زیرزمینی (۶۹ درصد و ۷۷ درصد) نسبت به سطح بدون تنش شد. این علائم نشان‌دهنده اثرات سوء کم‌آبیاری بر گیاه بود. در نتیجه این موضوع، بیش‌ترین میزان دمای برگ (۳۱/۹۰ درجه سلیسیوس)، غلظت CO_2 محیط (۴۷۹/۰۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و غلظت CO_2 درون‌سلولی (۴۷۹/۷۴ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) از سطح تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان به‌دست آمد. گیاهانی که در معرض آبیاری کامل و تنش ملایم کم آبیاری (۷۵ درصد ظرفیت گلدان) قرار گرفتند جوانه گل بیش‌تری نسبت به تنش آبی متوسط و شدید داشتند. یافته‌های آزمایش نشان داد که کم آبیاری ملایم اندکی باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد گلبرگ و زیست‌توده گیاه نسبت به شرایط آبیاری کامل می‌شود. براساس نتایج، بیش‌ترین شدت تعرق (۰/۸۸ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) در تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان مشاهده شد. علاوه بر این، گیاهانی که در معرض کمبود آب آبیاری قرار گرفتند، محتوای نسبی آب (RWC) کم‌تری نسبت به گیاهان کاملاً آبیاری شده داشتند. کم آبیاری شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدان) و متوسط (۵۰ درصد ظرفیت گلدان) باعث افزایش قابل‌توجهی در نشت الکترولیت شد. مشخص شد که کارآیی مصرف آب با افزایش سطح تنش آبی کاهش یافت. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل کارآیی مصرف آب بیش‌تر (۳۷/۵ درصد) از شرایط کم‌آبیاری متوسط و شدید بود. علاوه بر این، با اجرای کم‌آبیاری، اعمال تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان موجب ذخیره آب آبیاری به میزان ۴۵/۷۸ درصد شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد که گل آلاله حساس به تنش شدید کم‌آبیاری است و نسبت به تنش ملایم کم‌آبیاری، نیمه‌متحمل است. تنش ملایم کم‌آبیاری (۷۵ درصد ظرفیت گلدان)، اما نه متوسط یا شدید، می‌تواند برای کاهش مصرف آب اعمال شود و هم‌چنان عملکرد اکوفیزیولوژیکی و کیفیت زینتی گل آلاله حفظ شود.

استناد: بلاسمی، ناهید، روئین، زینب، صبوری، عاطفه، دادرس، احمدرضا (۱۴۰۲). اثر کم‌آبیاری بر کیفیت ظاهری، پاسخ‌های فیزیولوژیک و کارآیی مصرف آب آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۱)، ۱۸۶-۱۶۵.
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20330.2945

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

کمبود آب در بسیاری از نقاط جهان منجر به توسعه راهبردهای آبیاری جدید مانند کم‌آبیاری تنظیم شده[1] و کم‌آبیاری پایدار[2] شده است (۱). کم‌آبیاری[3] (DI) از راهکارهای مهم مدیریت در آبیاری است که از طریق مواجهه گیاهان با سطوح مشخصی از تنش آبی، ضمن تامین نیاز گیاه برای رشد بهینه در مصرف آب نیز صرفه‌جویی می‌شود. در شرایط کم‌آبیاری، آب آبیاری کم‌تری نسبت به نیاز آبی کامل در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این عملیات می‌تواند در مراحل مختلف رشد گیاه (یا مراحل حساس رشد) یا گاهی اوقات در کل فصل رشد اعمال شود (۲). اجرای این تکنیک که در ظاهر نامطلوب به‌نظر می‌رسد، امکان دسترسی منطقه ریشه گیاه به آب را افزایش می‌دهد. هم‌چنین بدون کاهش چشمگیر در کیفیت و عملکرد گیاه، سبب مدیریت میزان مصرف آب کشاورزی می‌شود. به‌طوری‌که مقدار قابل‌توجهی آب آبیاری را می‌توان ذخیره نمود (۳). قابل ذکر است که مدیریت آبیاری در گیاهان گلدانی به‌دلیل حجم محدود بستر کشت برای ریشه، سخت‌تر از گیاهان کاشته شده در مزرعه است، به طوری که گیاهان گلدانی سریع‌تر در معرض نوسانات حرارتی قرار می‌گیرند که تأثیر محسوسی بر رطوبت بستر کشت دارد (۱).

الگوی رشد و ریخت‌شناسی گیاهان زینتی شاخص‌های مهمی هستند که ارزش زیبایی‌شناختی دارند و نقش زیادی در ارزیابی و انتخاب توسط مصرف‌کننده را ایفا می‌کنند (۴). کم‌آبیاری رشد گیاه را کنترل می‌کند به‌طوری‌که اثر آن در طول رشد گیاهان زینتی به‌صورت کاهش ارتفاع بوته، تعداد گل، کاهش سطح برگ، کاهش طول ساقه، افزایش طول و تراکم ریشه، افزایش نسبت ریشه به ساقه و افزایش زردی و پژمردگی برگ، بر کیفیت گیاه نمایان می‌شود. این اثرات به ویژه برای محصولات زینتی مضر است؛ زیرا ارزش آن‌ها تا حد زیادی به ظاهر آن‌ها بستگی دارد (۱ و ۵). از این‌رو مقدار آب آبیاری را باید به‌گونه‌ای کاهش داد که تأثیر منفی بر کیفیت ظاهری گیاهان زینتی نداشته باشد. سطح قابل‌قبولی از کم‌آبیاری می‌تواند اثرات مفیدی مانند رشد متعادل‌تر و فشرده‌تر شدن گیاهان زینتی را ایجاد کند، اما اگر محدودیت دسترسی ریشه به آب خیلی شدید باشد، اثرات روی ظاهر گیاه می‌تواند منفی باشد. بنابراین سطح تنش و مدت تنش آبی تحمیل شده در هر گونه زینتی برای بهینه‌سازی سطوح کاهش آب در گونه‌های مختلف ضروری است (۶). واکنش گیاهان به تحمل تنش آبی و سازگاری با کمبود آب، علاوه بر بهبود کارآیی مصرف آب[4] (WUE)، می‌تواند از طریق تغییر در شاخص‌های مختلف مانند سازگاری فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی در گیاهان رخ دهد (۳). علاوه بر افزایش کارآیی مصرف آب، افزایش نسبت ریشه به ساقه و تراکم ریشه باعث استقرار سریع‌تر گیاهان زینتی در محیط‌های باغ یا مناظر می‌شود (۱). برخلاف بخش کشاورزی، در فضای سبز و گیاهان زینتی بهبود کارآیی مصرف آب لزوماً به معنای بهبود عملکرد یا رشد کلی نیست. هدف نهایی دستیابی به استفاده کارآمدتر از آب همراه با حفظ ظاهر و تناسب گیاه است. بنابراین، کارآیی مصرف آب می‌تواند به عنوان شاخصی از توانایی گونه‌های گیاهی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط خشک در نظر گرفته شود (۷). مطالعات متعدد نشان داده‌اند تحمل به خشکی گیاهان زینتی در بین گونه‌ها بسیار متفاوت است و تنش کم‌آبیاری می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، میزان اسید آمینه پرولین و کارآیی مصرف آب گیاهان زینتی را بهبود بخشد (۷، ۸، ۹ و ۱۰). بهبود سیستم

1- Regulated deficit irrigation
2- Sustained deficit irrigation
3- Deficit irrigation
4- Water use efficiency

ریشه و حفظ شدت گلدهی و رنگ برگ (۱۱)، کنترل رشد بیش از حد و تولید گیاه فشرده‌تر (۱۲) از دیگر اثرات مثبت کم‌آبیاری بر گیاهان زینتی است. از طرف دیگر، کم‌آبیاری شدید باعث کاهش رشد گیاه، کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در لوپین (۱۳)، کاهش شاخص‌های تبادل گازی در پامچال (۱۴)، کاهش زیست‌توده خشک گل کاغذی (۸) و کاهش تعداد گل در بوته گیاه داودی (۱۵) شد.

گل آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.) یک ژئوفیت چندساله با ریشه‌های غده‌ای و از خانواده Ranunculaceae است (۱۶). این گونه بومی منطقه مدیترانه است و در مناطق معتدل پراکنش دارد (۱۷). گل آلاله آسیایی یک گیاه زینتی با ارزش است که به‌دلیل داشتن گل‌های جذاب (با رنگ‌های مختلف قرمز، صورتی، نارنجی و زرد) برای مصارف زینتی کاربرد دارد و از آن به عنوان گل شاخه بریده و گیاه گلدانی (۱۶)، و در تزئین باغچه و طراحی مناظر (۱۸) استفاده می‌شود. افزونش تجاری آن از طریق بذر انجام می‌شود. علاوه بر این، گل آلاله به‌صورت رویشی از طریق تقسیم ریشه‌های غده‌ای افزونش می‌یابد (۱۶). اطلاعات کمی در مورد شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در محصولات زینتی که در معرض شرایط کم‌آبیاری رشد می‌کنند، در دسترس است. علاوه بر این تاکنون اثر کم‌آبیاری بر رشد و گلدهی آلاله ارزیابی نشده است. بنابراین، شناسایی نحوه مصرف آب این گیاه زینتی برای استفاده مؤثر از آب در طول دوره رشد گیاه لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد. در نتیجه، هدف از مطالعه حاضر، شناسایی تغییرات رشد، گلدهی و برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی آلاله در شرایط مواجهه با سطوح مختلف کم آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار با پنج گلدان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش کم آبیاری در چهار سطح بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت گلدان)، تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت گلدان)، تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت گلدان) و تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بودند. هر تیمار شامل ۲۰ بوته بود و در مجموع ۸۰ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام پژوهش، ابتدا بذر گل آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus*) تهیه گردید. سپس بذرها در سینی کشت با آمیخته‌ای از کوکوپیت و پرلیت (۱:۱) کاشته شدند و در گلخانه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۲ ± ۷۵ درصد و با میزان نور ۱۰ ساعت روشنایی و ۱۴ ساعت تاریکی نگهداری شدند. آبیاری روزانه برای مرطوب نگه‌داشتن بستر کشت تا زمان جوانه‌زدن بذرها انجام شد. پس از جوانه‌زنی، گیاهان هر دو روز یکبار آبیاری شدند. گیاهچه‌های ۴۰ روزه‌ای که چهار تا شش برگ داشتند به گلدان‌های پلاستیکی سیاه رنگ (قطر دهانه داخلی ۱۲ و ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر) حاوی ۳۰۰ گرم بستر کشت با ترکیبی از پیت، پرلیت و کوکوپیت (۱:۱:۱) انتقال یافتند. گلدان‌های کاشته شده با فاصله ۲۵ سانتی‌متری از هم چیده شده و با همان شرایط محیطی ذکر شده در بالا، زیر نور طبیعی خورشید در گلخانه رشد کردند. قابل ذکر است که در این دوره (رشد اولیه گیاهچه‌ها تا استقرار در گلدان) دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به طور معمولی- به محض خشک شدن سطح گلدان- آبیاری شدند. پس از ۳۰ روز وقتی که گیاهان به طور کامل استقرار یافتند، تیمارهای آزمایش در کل دوره رشد اعمال شدند. برای به حداقل رساندن تبخیر و آب از دست‌دهی از سطح گلدان‌ها، سطح تمام گلدان‌ها با ورق آلومینیومی پوشانده شد (۹).

برای اعمال تنش کم‌آبیاری و تعیین میزان آب مورد نیاز هر گلدان ابتدا چهار گلدان با وزن و اندازه یکسان انتخاب و درون تمام آن‌ها به میزان مساوی با بستر کشت پر شد و به اندازه کافی با آب اشباع گردید. سپس سطح گلدان‌ها به وسیله ورق آلومینیومی پوشانده شد تا آب فقط از طریق نیروی ثقل خارج گشته و هر ۲۴ ساعت یکبار وزن آن‌ها یادداشت شد. بعد از ثابت شدن وزن آن‌ها، بستر کشت گلدان‌ها درون آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از آن گلدان‌ها چندین بار با فواصل زمانی مشخص (هر ۱۲ ساعت) تا رسیدن به وزن ثابت، توزین شد و مقدار وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان رطوبت بستر کشت با استفاده از رابطه زیر تعیین شد و با وزن شدن روزانه گلدان‌ها براساس کمبود آب نسبت به سطح مربوطه میزان آب آبیاری به هر کدام از سطوح اضافه گردید (۱۹، ۲۰ و ۲۱).

$$(SWC\ \%) = [(FW - DW)/DW] \times 100$$

که در آن، SWC میزان آب در حد ظرفیت گلدان، FW وزن‌تر بستر کشت در ظرفیت گلدان، DW وزن خشک بستر کشت می‌باشد.

ارزیابی صفات ریخت‌شناسی: نمونه‌برداری از گیاهان به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری گیاه در مرحله گلدهی گیاه آلاله انجام شد. بدین‌ترتیب ارتفاع گیاه و طول دمبرگ با استفاده از خط‌کش و اندازه‌گیری قطر گل با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل Guanglu با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) انجام شد. تعداد برگ، غنچه، گل و تعداد گلبرگ در هر بوته شمارش شد. هم‌چنین پس از گلدهی، وزن‌تر و خشک گیاه با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. برای این منظور گیاهان را به همراه ریشه از گلدان خارج نموده، قسمت‌های هوایی و زیرزمینی گیاه برداشت و وزن‌تر آن‌ها ثبت شد. سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در داخل دستگاه آون قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها نیز به دست آمد (۹).

ارزیابی شاخص‌های فتوسنتزی: تمام اندازه‌گیری‌های مربوط به شاخص‌های فتوسنتزی در زمان گلدهی گیاه انجام گرفت. اندازه‌گیری دمای برگ[1] بر اساس درجه سلسیوس، میزان تعرق[2]، غلظت دی‌اکسیدکربن محیط[3]، غلظت دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی[4] بر اساس میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه توسط دستگاه فتوسنتزمتر (Plant Photosynthesis Meter- Korea Tech, Korea) بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ قبل از ظهر اندازه‌گیری شد و داده‌های مربوطه ثبت شد. به این صورت که برگ‌ها درون اتاقک اندازه‌گیری دستگاه فتوسنتزمتر، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ برای دریافت نور کافی به طرف بالا بود.

ارزیابی صفات فیزیولوژیک: محتوای نسبی آب برگ[5] (RWC) از روش ریچی و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد (۲۲). بدین‌منظور ابتدا از برگ‌های میانی ساقه که کاملاً توسعه یافته بود، به طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن‌تر آن‌ها اندازه‌گیری شد (FW). سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت پنج ساعت در یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس قرار گرفت. در نهایت وزن تورژسانس آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DW) به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند.

1- Leaf temperature (Tleaf)
2- Transpiration rate (Tr)
3- Ambient CO_2 concentration
4- Intercellular CO_2 concentration (Ci)
5- Relative water content

بدین‌ترتیب محتوای آب نسبی برگ‌ها از طریق رابطه RWC (%)=(FW− DW)/(TW− DW)× 100 محاسبه شد.

برای تعیین میزان نشت یونی[1] (EC) از برگ‌های توسعه یافته قسمت میانی ساقه نمونه‌برداری شده و قطعات مربعی با تعداد یکسان تهیه شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر قرار گرفتند و هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از EC متر (مدل GLP 31 ساخت کشور اسپانیا) اندازه‌گیری شد (EC1). سپس لوله‌های آزمایش در دستگاه بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از سرد شدن لوله‌ها، مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). در نهایت درصد نشت یونی با استفاده از رابطه EC (%)= EC1/ EC2× 100 محاسبه شد (۲۳).

ارزیابی کارآیی مصرف آب و میزان تحمل به تنش کم‌آبیاری: محاسبه کارآیی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایش نیز با استفاده از رابطه زیر و بر اساس نسبت میزان کل ماده خشک تولید شده (DW) به آب مصرفی خالص گیاه در طول فصل رشد (WU) بر حسب گرم بر میلی‌لیتر تعیین شد (۲۴).

WUE= DW/WU

درجه تحمل به تنش آبی گل آلاله بر اساس درصد کاهش وزن خشک گیاه در شرایط تنش کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد (بدون تنش) بر اساس رابطه زیر تعیین شد (۱ و ۲۵).

۱۰۰ × [(میزان وزن خشک شاهد)/ (وزن خشک شاهد – وزن خشک در تنش کم‌آبیاری)] = درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری (درصد)

میزان آب ذخیره شده: برای محاسبه میزان آب ذخیره شده در شرایط تنش از رابطه زیر بر اساس میزان آب مصرفی گیاه در طول فصل رشد در شرایط تنش کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد استفاده شد (۲۶).

۱۰۰ × [(میزان آب مصرفی شاهد)/ (میزان آب مصرفی شاهد – میزان آب مصرفی تنش کم‌آبیاری)] = میزان آب ذخیره شده (درصد)

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات ریخت‌شناسی: نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر تنش کم‌آبیاری بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، طول دمبرگ، تعداد غنچه گل، قطر گل، تعداد گلبرگ، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و وزن‌تر و خشک اندام زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما بر تعداد گل کامل باز شده اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری (شکل ۱ الف) نشان داد، بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار بدون تنش و با میانگین ۲۸/۲۱ سانتی‌متر و حداقل آن مربوط به تیمار کم‌آبیاری شدید با میانگین ۱۸/۴۸ سانتی‌متر بود.

1- Electrolyte leakage

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبیاری بر صفات ریخت‌شناسی گل آلاله.

Table 1. Analysis of variance of the effect of deficit irrigation stress on morphological traits of *Ranunculus asiaticus*.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square										
		ارتفاع گیاه Plants height	تعداد برگ Leaf number	طول دمبرگ Petiole length	تعداد غنچه گل Flower bud number	تعداد گل کامل بازشده Number of fully opened flower	قطر گل Flower diameter	تعداد گلبرگ Petal number	وزن‌تر اندام هوایی Aerial fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Aerial dry weight	وزن‌تر اندام زیرزمینی Underground fresh weight	وزن خشک اندام زیرزمینی Underground dry weight
تنش کم‌آبیاری Deficit irrigation stress	3	67.07**	73.20**	61.30**	21.06**	0.23ns	93.20**	4.89**	48.81**	0.67**	52.13**	0.51**
خطا Error	12	3.15	2.01	2.01	1.10	0.23	4.02	0.98	2	0.05	1.47	0.01
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.60	12.62	9.91	21.83	36.47	4.30	8.12	14.41	17.96	17.81	19.06

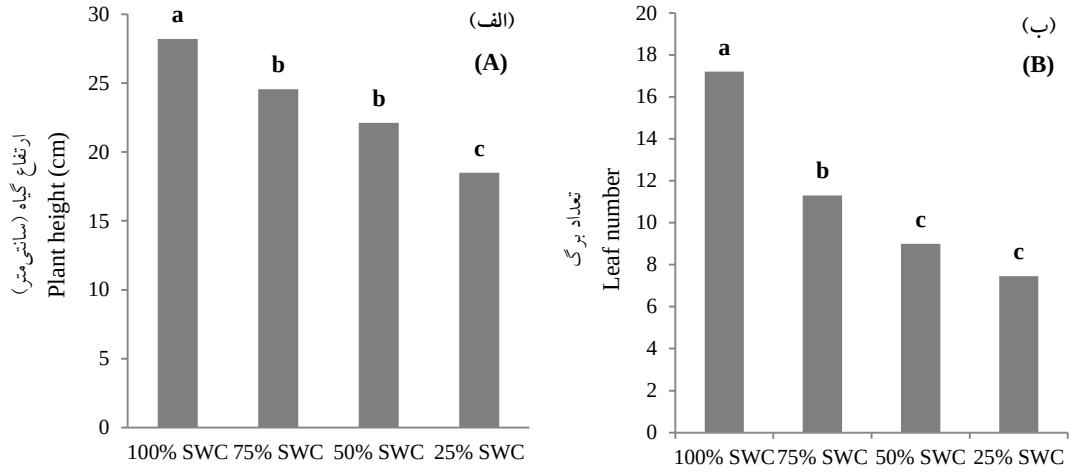
ns و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد

ns and ** non-significant and 1% probability levels, respectively

رشد از طریق تقسیم سلول، بزرگ شدن و تمایز سلولی انجام می‌شود که شامل رویدادهای ژنتیکی، فیزیولوژیکی، اکولوژیکی، ریخت‌شناسی و تعاملات پیچیده بین آن‌ها است. کیفیت و کمیت رشد گیاه به این رویدادها بستگی دارد که خود از کمبود آب تأثیر می‌پذیرند. رشد سلولی یکی از فرآیندهای فیزیولوژیکی حساس به خشکی است که زیر تأثیر کاهش فشار تورژسانس سلول قرار می‌گیرد. از دست رفتن فشار تورژسانس در شرایط کمبود آب سبب محدود کردن تقسیم میتوز و کاهش طول سلول می‌شود (۲۷). ارتفاع بوته ارتباط نزدیکی با بزرگ شدن سلول و پیری برگ دارد. کاهش ارتفاع گیاه عمدتاً به دلیل اختلال در تقسیم میتوز، کاهش طول و انبساط سلول، هم‌چنین کاهش سطح برگ در شرایط خشکی است (۲۷ و ۲۸). کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش کم‌آبیاری در سایر گیاهان از جمله چهار گونه *Sedum* نیز گزارش شده است (۲۹). در مطالعه سالومه و همکاران (۲۰۲۰) نیز تنش کم‌آبی ارتفاع بوته بادمجان را کاهش داد که دلیل آن را دلیل اختلال در روند فتوسنتز در دوره کمبود آب دانستند. (۳۰).

بر اساس نتایج، تنش شدید و متوسط کم‌آبیاری نسبت به شرایط بدون تنش منجر به کاهش تعداد برگ گیاه آلاله به ترتیب حدود ۱۰ و ۸ برگ در بوته شد؛ به طوری که بیش‌ترین تعداد برگ (۱۷/۲ برگ در بوته) در سطح بدون تنش مشاهده شد که نسبت به تنش شدید ۲۵ درصدی و تنش متوسط ۵۰ درصدی ظرفیت گلدان کاهش ۵۶/۶۸ و ۴۷/۶۷ درصدی نشان داد (شکل ۱ ب). نتایج مشابه در گل برگ بیدی (۳۱) و گل آهار (۳۲) گزارش شده است. کاهش تعداد برگ در زمان تنش کم‌آبی می‌تواند عاملی برای پیری زودرس باشد که در رسیدگی زودتر از موعد گیاه و کاهش فتوسنتز نقش مهمی دارد (۳۳). هم‌چنین تنش خشکی از طریق کاهش جذب مواد محلول خاک توسط ریشه و در نتیجه کاهش طول و نمو سلول‌های گیاهی موجب کاهش تعداد برگ و سطح برگ می‌شود (۳۴).

در مطالعه حاضر طول دمبرگ با افزایش تنش کم‌آبیاری کاهش یافت. کم‌ترین طول دمبرگ در سطح تنش شدید با میانگین ۱۰/۰۹ میلی‌متر و بیش‌ترین طول دمبرگ در سطح بدون تنش با میانگین ۱۸/۹۲ میلی‌متر مشاهده شد (جدول ۲). دمبرگ بلندتر بر اندازه برگ تأثیر مثبتی دارد؛ زیرا دمبرگ‌های بلند به گیاهان اجازه می‌دهند تا هنگام محدود شدن آب، برگ را در برابر نور مستقیم خورشید بچرخانند (۳۵). علاوه بر این، کوچک‌ترین وزش باد که برگ را تکان می‌دهد، موجب کاهش لایه مرزی شده وتغییر دمای برگ می‌شود. تغییر دمای برگ ممکن است عامل مهمی در کنترل وضعیت آب برگ در شرایط تنش خشکی باشد. گونه‌های مقاوم به خشکی با کاهش تلفات آب، کارآیی مصرف آب را حفظ می‌کنند (۲۷).



شکل ۱- اثر تنش کم‌آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر ارتفاع بوته (الف) و تعداد برگ (ب) گل آلاله. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 1. The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on plants' height (A) and leaf number (B) of *Ranunculus asiaticus*. Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels based on LSD test.

بر اساس نتایج تعداد غنچه‌های گل روی بوته زیر تأثیر مقدار دسترسی ریشه به آب قرار گرفت، به‌طوری‌که با کاهش مقدار آب بستر کشت تعداد غنچه‌های گل کاهش یافت (جدول ۲). در تنش ملایم با تولید ۵/۷ عدد غنچه نسبت به شرایط بهمینه دسترسی به آب (۱۰۰ درصد ظرفیت گلدان)، ۳۱/۵۷ درصد کاهش را نشان داد. افزایش شدت تنش به ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان سبب شد که تعداد غنچه گل به ترتیب ۱۰۰ درصد و ۲۳۳ درصد کاهش یابد و تعداد غنچه گل به کم‌تر از ۳/۷۵ و ۲/۲۵ عدد روی بوته برسد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، بین همه تیمارها از نظر تعداد گل کامل باز شده روی بوته تفاوتی وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری سبب کاهش معنی‌دار قطر گل و تعداد گلبرگ گل آلاله نسبت به سطح بدون تنش می‌شود که بیش‌ترین قطر گل در سطح بدون تنش (۵۲/۰۳ میلی‌متر) و کم‌ترین میزان آن در سطح تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان (۴۰/۳۰ میلی‌متر) مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین تعداد گلبرگ مربوط به سطح ۲۵ درصد ظرفیت گلدان بود که کاهش ۱۶/۹۸ درصدی نسبت به شرایط بدون تنش داشت (جدول ۲). یکی از مهم‌ترین اثرات تنش خشکی در گیاهان زینتی تأثیر منفی آن بر کیفیت ظاهری گیاهان است که بستگی به گونه گیاه و میزان پاسخ به تنش آبی دارد (۳۶). نتایج نشان می‌دهد که تنش آبی بر تعداد غنچه گل و ساختار آن اثر می‌گذارد به‌طوری‌که این شاخص‌ها انعطاف‌پذیری ریخت‌شناسی تطبیقی از خود نشان می‌دهند. گلدهی یکی از حساس‌ترین مراحل به تنش آبی است (۱۴) که با سطح کربوهیدرات در برگ، آوند آبکش و آوند چوبی همبستگی مثبت دارد (۳۷). کاهش گلدهی یک مکانیسم دفاعی است، زیرا گیاهان زیر تنش‌های مختلف، به ویژه خشکی، گلدهی را کاهش می‌دهند تا مواد جذب شده برای بقای خود ذخیره شوند (۳۸). مهار رشد رویشی و کاهش ماده خشک زیر تنش خشکی ممکن است باعث کاهش دسترسی مواد فتوسنتزی به سمت تشکیل ساختارهای زایشی گیاه شده که موجب کاهش آغازش، رشد و توسعه گل،

قطر گل و تعداد گلبرگ‌ها می‌شود (۱۲). همان‌طور که قبل‌تر در نتایج اشاره شد محدود کردن دسترسی ریشه به آب باعث کاهش ارتفاع گیاه، طول دمبرگ و تعداد برگ شد. این بدین‌معنی است که سطح فتوسنتزکننده آلاله کاهش پیدا کرده که به دنبال آن روی اندازه و تعداد ساختارهای زایشی نیز اثرگذار بوده است. براساس نتایج، ساختار گل و تعداد غنچه‌های گل زیر تأثیر تنش آبی قرار گرفته است. این تغییرات ممکن است با تغییر در بیان ژن‌های مرتبط با نمو گل در ارتباط باشد (۳۹). کاهش صفات زایشی ناشی از تنش کم‌آبی در گل آلاله در تطابق با گزارش سایر پژوهش‌گران است، چنان‌چه تنش کم‌آبی در گل داودی (۳۹) و گل سوسن (۹) نیز سبب کاهش صفات زایشی شد. مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر، در گل‌های میخک گلدانی (۱۲)، پامچال (۱۴)، گل حنا (۳۸) و گل جعفری (۴۰) نیز با اعمال تنش خشکی از تعداد گل کاسته شد.

بررسی نتایج نشان داد که همه سطوح تنش کم‌آبیاری (به جز شرایط بدون تنش) اثر منفی روی وزن‌تر و خشک اندام هوایی گل آلاله داشته است. شکل ۲ نمای کلی از کیفیت ظاهر گیاهان را در سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری نشان می‌دهد. تنش شدید کم‌آبیاری موجب کاهش ۵۸/۶۱ و ۵۲/۸۷ درصدی وزن‌تر و خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. هم‌چنین نتایج آزمایش بیانگر کاهش وزن تر و خشک اندام زیرزمینی به دنبال افزایش میزان تنش کم‌آبیاری است؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن تر (۱۱/۴۶ گرم) و وزن خشک (۱/۰۳ گرم) اندام زیرزمینی در شرایط بدون تنش به دست آمد و کم‌ترین میزان آن نیز به ترتیب ۳/۵ گرم و ۰/۲۴ گرم در سطح تنش کم‌آبیاری شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان ثبت شد (جدول ۲). از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن خشک گیاه در طول دوره تنش کم‌آبی می‌توان به اثر نامطلوب تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل رشد رویشی، تأثیر بر سیستم فتوسنتزی، کاهش توانایی ریشه در جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به اندام هوایی و متابولیسم نیتروژن مرتبط دانست (۲۷). در شرایط تنش خشکی، فشار تورژسانس سلول‌های ساقه در حال رشد طولی کاهش می‌یابد و تولید مواد اصلی حاصل از فتوسنتز نیز کم می‌شود، بنابراین طول میانگره‌های ساقه و ارتفاع بوته کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش وزن سلول‌ها و وزن‌تر بوته است (۴۱). همراه با شدت یافتن سطح تنش و کاهش دسترسی ریشه به آب، تغییرات ظاهری زیادی از جمله کاهش اندازه گیاه چه از نظر بخش‌های فتوسنتزکننده و چه از نظر بخش زایشی گیاه آلاله نیز مشاهده شد. بنابراین با کوچک شدن اندازه گیاه در مرحله رویشی کاهش وزن تر و خشک ساختار هوایی و زیرزمینی قابل‌انتظار است. در پژوهش حاضر بیش‌ترین میزان وزن‌تر و خشک اندام هوایی و زیرزمینی آلاله در سطح بدون تنش مشاهده شد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که در گیاهانی که آب کافی دریافت کرده‌اند به‌دلیل رشد بهتر اندام‌های هوایی، تولید ماده خشک به نحو مطلوبی صورت گرفته است. در این راستا ضیغمی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که وزن‌تر و خشک برگ و ریشه نهال لیمو ترش زیر تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (۴۲). آن‌ها گزارش کردند که کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه باعث کاهش جذب، انتقال و مصرف مواد مغذی می‌شود، که منجر به کاهش ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌شود.

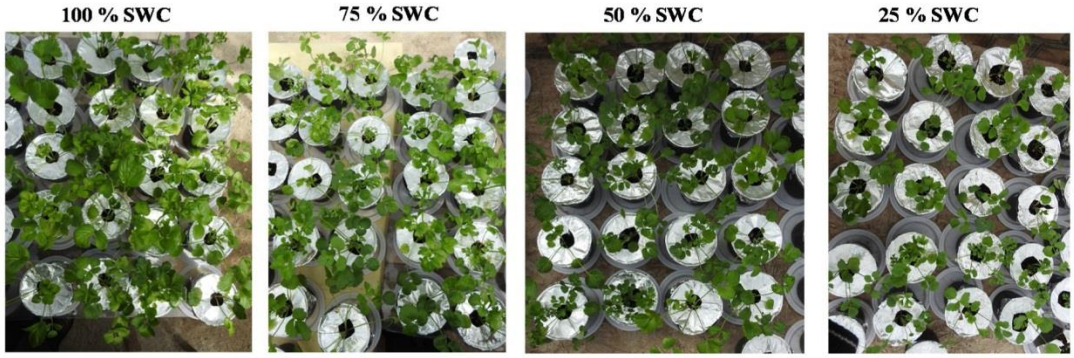
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش کم‌آبیاری بر صفات ریخت‌شناسی گل آلاله.

Table 2. Mean comparison of the effect of deficit irrigation stress on morphological traits of *Ranunculus asiaticus.*

تنش کم‌آبیاری DI (%SWC)	طول دمبرگ Petiole length (mm)	تعداد غنچه گل Flower bud number	تعداد گل کامل باز شده Number of fully opened flower	قطر گل Flower diameter (mm)	تعداد گلبرگ Petals number	وزن تر اندام هوایی Aerial fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Aerial dry weight (g)	وزن‌تر اندام زیرزمینی Underground fresh weight (g)	وزن خشک اندام زیرزمینی Underground dry weight (g)
بدون تنش (۱۰۰ درصد) Full irrigation (100%)	18.92[a]	7.50[a]	1.50[a]	52.03[a]	13.25[a]	13.87[a]	1.74[a]	11.46[a]	1.03[a]
تنش ملایم (۷۵ درصد) Low DI (75%)	16[b]	5.70[b]	1.50[a]	47.12[b]	13[ab]	11.15[b]	1.48[a]	7.78[b]	0.69[b]
تنش متوسط (۵۰ درصد) Moderate DI (50%)	12.28[c]	3.75[c]	1.25[a]	47.22[b]	11.50[bc]	8.5[c]	1.07[b]	4.46[c]	0.36[c]
تنش شدید (۲۵ درصد) Severe DI (25%)	10.09[d]	2.25[c]	1.00[a]	40.30[c]	11[c]	5.74[d]	0.82[b]	3.5[c]	0.24[c]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Means each column followed by a similar letter (s) is not significantly different at 5% probability levels based on LSD test



شکل ۲- اثر تنش کم‌آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر کیفیت ظاهری گل آلاله.

Fig. 2. The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on visual quality of *Ranunculus asiaticus*.

شاخص‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم‌آبیاری بر دمای برگ، غلظت دی‌اکسیدکربن محیط و غلظت دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی در سطح احتمال یک درصد و بر شدت تعرق برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها تنش کم‌آبیاری در سطح ۷۵ درصد از نظر شدت تعرق تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، اما تنش در سطح ۵۰ درصد ظرفیت گلدان، میزان تعرق برگ افزایش یافت؛ سپس در سطح ۲۵ درصد ظرفیت گلدان دوباره شروع به کاهش نمود. به‌طوری‌که بیش‌ترین شدت تعرق برگ مربوط به تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان (۰/۸۸ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به افزایش ۱۱۰ درصدی تعرق برگ نسبت به

وضعیت بدون تنش (۰/۴۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) شد (جدول ۴). کاهش تعرق در اثر تنش آبی مکانیسمی برای جلوگیری از اتلاف آب است. در هنگام تنش خشکی، گیاه برای اجتناب از خشکی و نهایت استفاده از مقدار آب محدودی که در اختیار دارد، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌نماید تا از هدرروی آب جلوگیری شود. بنابراین با شروع دوره خشکی تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه می‌دارد؛ ولی با تداوم دوره خشکی اقدام به تنگ نمودن روزنه و در نهایت بستن آن‌ها می‌نماید (۴۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبیاری بر شاخص‌های فتوسنتزی- فیزیولوژیک و کارآیی مصرف آب گل آلاله.

Table 3. Analysis of variance of the effect of deficit irrigation stress on photosynthesis-physiologic parameters and WUE of *Ranunculus asiaticus.*

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square						
		شدت تعرق Transpiration rate	دمای برگ Leaf temperature	میزان دی‌اکسید کربن محیط Ambient CO_2 concentration	میزان دی‌اکسید کربن درون سلولی Intercellular CO_2 concentration	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	نشت یونی Electrolyte leakage	کارآیی مصرف آب Water use efficiency
تنش کم آبیاری Deficit irrigation stress	3	0.18*	3.05**	1392.14**	1399.43**	80.17**	1594.45**	0.000005**
خطا Error	12	0.03	0.05	27.90	39.75	5.68	21.34	0.0000007
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	31.21	0.70	1.16	1.38	3.82	7.99	12.29

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به دمای برگ نشان داد که کم‌ترین میزان دمای برگ مربوط به سطح بدون تنش بود و با افزایش تنش کم‌آبیاری به دمای برگ افزوده شد، به گونه‌ای که بیش‌ترین دمای برگ مربوط تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان (۳۱/۹۰ درجه سلیسیوس) بود که افزایش ۷ درصدی نسبت به شرایط بدون تنش داشت (جدول ۴). از دمای برگ می‌توان به عنوان یک صفت فیزیولوژیک برای تعیین وضعیت آب گیاه استفاده کرد. افزایش دمای برگ در شرایط کم‌آبی با کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای مرتبط است (۴۴). معمولاً کمبود آب منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود و این امر باعث افزایش دمای برگ در گیاهان می‌شود. دمای بالای برگ برای فعالیت‌های آنزیمی در گیاهان نامطلوب است و هم‌چنین باعث مهار فعالیت فتوسیستم II، غیرفعال شدن روبیسکو و اختلال در غشای سلولی می‌گردد (۳). بنابراین در سطوح شدیدتر تنش آبی در گل آلاله دمای برگ افزایش یافت که می‌تواند به اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک گیاه مرتبط باشد.

به‌طور مشابه با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، افزایش معنی‌داری در میزان غلظت دی‌اکسیدکربن محیط ایجاد شد. به‌طوری‌که کم‌ترین میزان غلظت دی‌اکسیدکربن محیط مربوط به شرایط بدون تنش (۴۳۵/۲۴ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و بیش‌ترین میزان آن مربوط به وضعیت تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان (۴۷۹/۰۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به افزایش ۱۰ درصدی نسبت به سطح بدون تنش شد (جدول ۴). نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر دی‌اکسیدکربن درون سلولی به ترتیب از سطح بدون تنش و تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان به میزان ۴۳۴/۷۵ و ۴۷۹/۷۴ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه به‌دست آمد و باعث افزایش ۱۰ درصدی تنش شدید نسبت به تیمار بدون تنش شد.

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن محیط در اثر تنش کم‌آبی را می‌توان به کوچک شدن دهانه روزنه‌ها (محدودیت روزنه‌ای) و محدودیت‌های غیرروزنه‌ای (شامل فرایندهای انتشار مانند کاهش هدایت مزوفیل و فرایندهای متابولیک مانند محدودیت‌های فتوشیمیایی و آنزیمی) و در نهایت کاهش فتوسنتز (۳، ۲۷ و ۴۵) و تقویت تنفس ارتباط داد که منجر به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن می‌شود (۴۶). غلظت دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی نشان‌دهنده فقدان یا مصرف دی‌اکسیدکربن در چرخه کلوین است و میزان آسیب به عوامل تثبیت‌کننده آن را نشان می‌دهد. در وضعیت تنش خشکی، آسیب وارد شده به عوامل بیوشیمیایی تثبیت دی‌اکسیدکربن سبب می‌شود که آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن کاهش و در نتیجه دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی افزایش یابد (۴۷). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴، به نظر می رسد که نزدیک بودن دو عدد مربوط به غلظت دی‌اکسیدکربن محیط و غلظت دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی در شرایط تنش نشان‌دهنده هر دو نوع محدویت روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای برای فرایند فتوسنتز باشد. همان‌طور که نتایج حاضر نشان دادند، در گیاه آلاله تغییرات ظاهری و کاهش در اندازه گیاه از تغییرات در شاخص‌های فتوسنتزی تاثیر پذیرفته است. احتمال می‌رود که کاهش دسترسی به دی‌اکسیدکربن، افزایش شدت تعرق و به دنبال آن افزایش دمای برگ سبب اختلال در فرایند فتوسنتز، کاهش مقدار انباشت‌های فتوسنتزی در نهایت کاهش اندازه گیاه می‌شود.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش کم‌آبیاری بر شاخص‌های فتوسنتزی گل آلاله.

Table 4. Mean comparison the effect of deficit irrigation stress on photosynthesis parameters of *Ranunculus asiaticus*.

تنش کم آبیاری DI (%SWC)	شدت تعرق Transpiration rate ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)	دمای برگ Leaf temperature (°C)	میزان دی‌اکسیدکربن محیط Ambient CO_2 concentration ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)	میزان دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی Intercellular CO_2 concentration ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)
بدون تنش (۱۰۰ درصد) Full irrigation (100%)	0.42^{b}	29.85^{d}	435.24^{d}	434.75^{c}
تنش ملایم (۷۵ درصد) Low DI (75%)	0.55^{b}	30.35^{c}	445.94^{c}	449.8^{b}
تنش متوسط (۵۰ درصد) Moderate DI (50%)	0.88^{a}	30.85^{b}	454.34^{b}	455.89^{b}
تنش شدید (۲۵ درصد) Severe DI (25%)	0.45^{b}	31.90^{a}	479.05^{a}	479.74^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

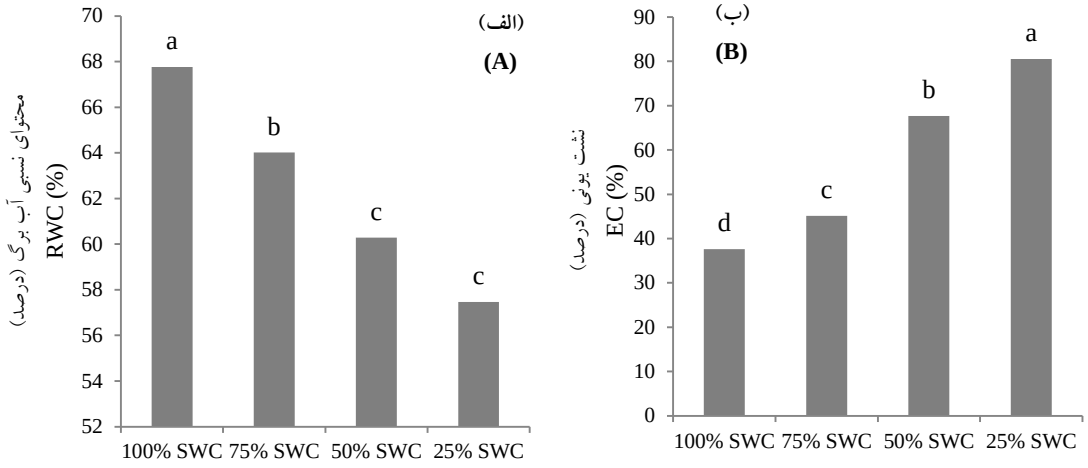
Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels based on LSD test

صفات فیزیولوژیک: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، محتوای نسبی آب برگ زیر تأثیر تیمار تنش کم‌آبیاری در بین تیمارهای اعمال شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که محتوای نسبی آب برگ با اعمال تنش کم‌آبیاری در طول دوره رشد کاهش یافت، به‌گونه‌ای که تنش کم‌آبیاری در سطح تنش متوسط ۵۰ درصد و تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان، محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب به میزان ۱۱/۰۶ و ۱۵/۲۲ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳ الف). این نتایج مطابق با نتایج امیدیان و همکاران (۲۰۲۲) و سروندی و همکاران (۲۰۲۰) بود (۹ و ۴۸). محتوای نسبی آب برگ یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به تنش خشکی است که نشان‌دهنده میزان آب موجود در اندام‌های گیاهی بوده و قابلیت یک گیاه در حفظ آب در شرایط تنش را مشخص می‌نماید (۴۹). کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل عدم تعادل آب در گیاه باشد؛ زیرا در شرایط تنش، دسترسی ریشه گیاه به آب محدود شده و شدت تعرق بیش‌تر از جذب و انتقال آب توسط ریشه است که در نهایت آب از دست رفته در اثر تعرق جبران نمی‌شود و محتوای آب برگ کاهش می‌یابد (۵۰).

بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر تنش کم‌آبیاری بر نشت یونی در بین تیمارهای اعمال شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۳). در شرایط تنش کم‌آبیاری، افزایش معنی‌داری در نشت یونی برگ مشاهده شد، به‌طوری‌که گیاهان به‌ترتیب میزان ۶۷/۶۹ و ۸۰/۵۵ درصد نشت یونی در سطح تنش متوسط ۵۰ درصد و تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان نشان دادند. این افزایش‌ها به ترتیب برابر با ۷۹/۸۸ و ۱۱۴/۰۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش بود (شکل ۳ ب). یکپارچگی ساختاری غشاهای سلولی برای بقا در دوره‌های خشکی شدید یا در شرایطی که خشکی‌های تصادفی رخ می‌دهد، مهم است (۵۱). به‌طورکلی تنش خشکی باعث کاهش پایداری غشای سلول و در نتیجه افزایش نشت یون‌ها از سلول می‌شود (۴۱). از طرف دیگر افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یونی نشان‌دهنده آسیب اکسیداتیو، کاهش سیالیت غشاء و تغییر هموستازی یون به‌دلیل تجمع سریع گونه‌های فعال اکسیژن است (۵۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد زمانی که گیاهان در معرض تنش شدید کم‌آبیاری قرار گرفتند، نشت یونی افزایش معنی‌داری داشت که مطابق با نتایج گائو و همکاران (۲۰۲۰) روی دو گونه آدونیس بود (۵۳).

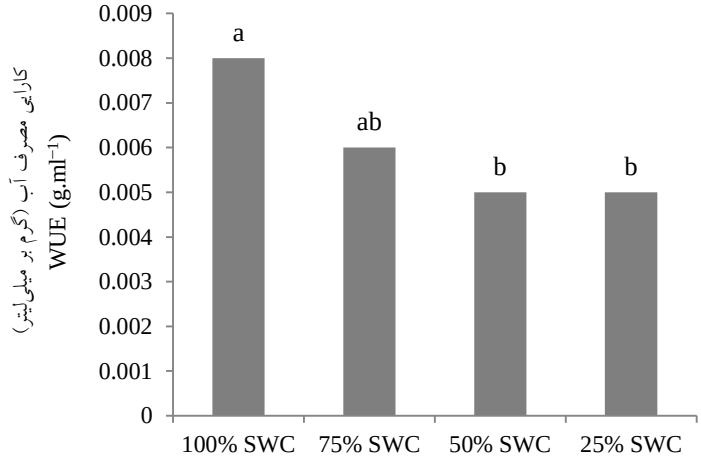
کارآیی مصرف آب: بر اساس جدول ۳، تنش کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر کارآیی مصرف آب گل آلاله در سطح احتمال یک درصد داشت. نتایج نشان داد کارآیی مصرف آب گل آلاله با افزایش تنش کم‌آبیاری از سطح بدون تنش (۰/۰۰۸ گرم بر میلی‌لیتر) به سطح تنش شدید ۲۵ درصد (۰/۰۰۵ گرم بر میلی‌لیتر) و تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان (۰/۰۰۵ گرم بر میلی‌لیتر)، به میزان ۳۷/۵ درصد کاهش یافت (شکل ۴). هر عاملی که روی عملکرد و میزان ماده خشک گیاه اثر منفی بگذارد، بر کارآیی مصرف آب نیز اثر منفی دارد (۵۴)؛ از این‌رو کاهش میزان آب آبیاری چون بر کاهش میزان زیست توده گیاه آلاله اثر داشته، میزان کارآیی را نیز کاهش داده است. در پژوهش حاضر اختلاف معنی‌دار بین سطح بدون تنش و تنش ملایم کم‌آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت گلدان مشاهده نشد؛ در حالی‌که در تنش شدید کم‌آبیاری میزان کارآیی مصرف آب کاهش یافت. بنابراین اعمال کم‌آبیاری ملایم ممکن است موجب کاهش ناچیزی در عملکرد و کیفیت گل آلاله شود. با این وجود، می‌تواند بهبود کارآیی مصرف آب را به‌دنبال داشته باشد. کارآیی مصرف آب با افزایش تنش کم‌آبیاری کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش بیش‌تر وزن خشک کل گیاه آلاله در مقایسه با آب

مصرفی است. از طرفی در شرایط تنش به دلیل کاهش رشد و کاهش سطح فتوسنتزکننده، میزان فعالیت‌های فتوستنز گیاه کاهش می‌یابد و گیاه از مواد تولیدی مصرف می‌کند؛ در نتیجه وزن خشک و کارآیی مصرف آب کاهش می‌یابد. نتایج گلدانی و همکاران (۲۰۲۱) در همین راستا نشان داد که با افزایش دور آبیاری، میزان کارآیی مصرف آب گل همیشه بهار کاهش قابل‌توجهی داشت و بیش‌ترین میزان کارآیی مصرف آب از دور آبیاری سه روز و کم‌ترین میزان کارآیی از دور آبیاری ۱۲ روز به‌دست آمد (۵۵).



شکل ۳- اثر تنش کم‌آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر محتوای نسبی آب برگ (الف) و نشت یونی (ب) گل آلاله. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on relative water content (A) and electrolyte leakage (B) of *Ranunculus asiaticus*. Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels based on LSD test.



شکل ۴- اثر تنش کم‌آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر کارآیی مصرف آب گل آلاله.

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 4. The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on water use efficiency of *Ranunculus asiaticus*. Means in each column followed by a similar letter (s) is not significantly different at 5% probability levels based on LSD test.

میزان تحمل به تنش کم‌آبیاری و میزان آب ذخیره شده: بررسی درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری در گل آلاله بر اساس کاهش وزن خشک نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبیاری، میزان تحمل به تنش کاهش پیدا می‌کند؛ به‌طوری‌که گل آلاله در سطح تنش شدید با میزان ۶۱/۷۳ درصد کاهش نسبت به شاهد یک گیاه حساس به تنش کم‌آبیاری محسوب می‌شود. در حالی‌که در سطح تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان با میزان ۴۸/۳۷ درصد جز گیاهان نیمه حساس طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۵).

نتایج مربوط به میزان آب ذخیره شده گل آلاله نشان داد که مقدار آب مورد نیاز در طی دوره رشد گیاه معادل ۳۳۲ میلی‌لیتر برای سطح بدون تنش (۱۰۰ درصد)، و برای تیمارهای تنش ملایم (۷۵ درصد)، تنش متوسط (۵۰ درصد) و تنش شدید (۲۵ درصد) به‌ترتیب معادل ۳۱۷، ۲۴۳ و ۱۸۰ میلی‌لیتر بود. با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، میزان وزن خشک گیاه کاهش و میزان آب ذخیره شده افزایش یافت، به‌گونه‌ای که آبیاری گل آلاله با تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان در طول فصل رشد در مقایسه با تیمار بدون تنش موجب ذخیره ۲۶/۸۰ درصدی آب آبیاری شد؛ اما میزان وزن خشک بوته را ۴۸/۳۷ درصد کاهش داد. به‌علاوه تنش ۲۵ درصد ظرفیت گلدان منجر به کاهش شدید وزن خشک کل بوته شده، اما به شدت موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شد و میزان ذخیره آب ۴۵/۷۸ درصد بود.

جدول ۵- درجه تحمل گل آلاله به تنش- آبی در سطوح مختلف تیمار تنش کم‌آبیاری.

Table 5. Degree of water stress tolerance of *Ranunculus asiaticus* at different levels of deficit irrigation.

تنش کم آبیاری Deficit irrigation stress (% SWC)	کل وزن خشک بوته (گرم) Total plant dry weight (g)	درصد تحمل تنش کم‌آبیاری Percentage of tolerance to deficit irrigation stress (%)	*درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری Degree of tolerance to deficit irrigation stress *
بدون تنش (۱۰۰ درصد) Full irrigation (100%)	2.77	-	-
تنش ملایم (۷۵ درصد) Low deficit irrigation (75%)	2.17	27.64	نیمه متحمل moderately tolerant
تنش متوسط (۵۰ درصد) Moderate deficit irrigation (50%)	1.43	48.37	نیمه حساس moderately sensitive
تنش شدید (۲۵ درصد) Severe deficit irrigation (25%)	1.06	61.73	حساس sensitive

* خیلی حساس: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بیش‌تر از ۸۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ حساس: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بین ۶۰ تا ۸۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ نیمه حساس: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بین ۴۰ تا از ۶۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ نیمه متحمل: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بین ۲۰ تا ۴۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ متحمل: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک کم‌تر از ۲۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته (۱)

* Very sensitive, showing more than 80% reduction in total dry weight; sensitive, showing between 60 and 80% reduction in total plant dry weight; moderately sensitive, between 40 and 60% reduction in total plant dry weight; moderately tolerant, showing between 20 and 40% reduction in total plant dry weight; tolerant, showing less than 20% reduction in total plant dry weight (1)

نتیجه‌گیری کلی

درک واکنش‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاهان نسبت به مدیریت مصرف آب برای بهینه‌سازی تولید با کیفیت بالا و بدون به خطر انداختن ارزش اقتصادی محصول، ضروری است. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبیاری (در سطوح متوسط و شدید) موجب کاهش صفات رویشی و زایشی گل آلاله شد. کارآیی مصرف آب گل آلاله با افزایش تنش کم‌آبیاری کاهش یافت و مشخص شد که این گیاه در سطح تنش ملایم، یک گیاه نیمه متحمل می‌باشد و تنش ملایم تأثیر ناچیزی روی خصوصیات ظاهری گل آلاله داشته است. بنابراین توصیه می‌شود برای صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کارآیی آن و نیز رشد بهینه گل آلاله بدون ایجاد کاهش قابل‌توجه در ارزش زینتی آن از تنش ملایم ۷۵ درصد ظرفیت گلدان استفاده شود.

منابع

1. Sánchez-Blanco, M.J., Ortuño, M.F., Bañon, S. and Álvarez, S. 2019. Deficit irrigation as a strategy to control growth in ornamental plants and enhance their ability to adapt to drought conditions. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94: 137-150.
2. Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, S., Liao, Z., Zhang, F. and Wang, Y. 2021. A global meta-analysis of yield and water use efficiency of crops, vegetables and fruits under full, deficit and alternate partial root-zone irrigation. Agric. Water Manage. 248: 106771.
3. Parkash, V., Singh, S., Deb, S.K., Ritchie, G.L. and Wallace, R.W. 2021. Effect of deficit irrigation on physiology, plant growth, and fruit yield of cucumber cultivars. Plant Stress. 1: 100004.
4. Giordano, M., Petropoulos, S.A., Cirillo, C. and Rouphael, Y. 2021. Biochemical, physiological, and molecular aspects of ornamental plants adaptation to deficit irrigation. Hort. 7: 107.
5. Nordstedt, N.P. and Jones, M.L. 2020. Isolation of rhizosphere bacteria that improve quality and water stress tolerance in greenhouse ornamentals. Front. Plant Sci. 11: 826.
6. Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S., Atkinson, C.J. and Judd, H.L. 2006. Regulated deficit irrigation–a means to control growth in woody ornamentals. J. Hort. Sci. Biotechnol. 81: 435-443.
7. Álvarez, S., Gómez-Bellot, M.J., Acosta-Motos, J.R. and Sánchez-Blanco, M.J. 2019. Application of deficit irrigation in *Phillyrea angustifolia* for landscaping purposes. Agric. Water Manage. 218: 193-202.
8. Cirillo, C., Rouphael, Y., Caputo, R., Raimondi, G. and De Pascale, S. 2014. The influence of deficit irrigation on growth, ornamental quality, and water use efficiency of three potted *Bougainvillea* genotypes grown in two shapes. Hort. Sci. 49: 1284-1291.
9. Omidian, M., Roein, Z. and Shiri, M.A. 2022. Effect of foliar application of 24-epibrassinolide on water use efficiency and morpho-physiological characteristics of *Lilium* LA hybrid under deficit irrigation. J. Plant Growth Regul. 41: 1547-1560.
10. Zarrinabadi, I.G., Razmjoo, J., Mashhadi, A.A. and Boroomand, A. 2019. Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. Ind. Crops Prod. 139: 111488.
11. Álvarez, S. and Sánchez-Blanco, M.J. 2013. Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted *Callistemon citrinus* plants in response to different levels of water deficit. Sci. Hort. 156: 54-62.
12. Álvarez, S., Navarro, A., Bañón, S. and Sánchez-Blanco, M.J. 2009. Regulated deficit irrigation in potted Dianthus plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. Sci. Hort. 122: 579-585.

13. Sadak, M.S. and Ramadan, A.A.E.M. 2021. Impact of melatonin and tryptophan on water stress tolerance in white lupine (*Lupinus termis* L.). Physiol. Mol. Biol. Plant. 27: 469-481.
14. Caser, M., Lovisolo, C. and Scariot, V. 2017. The influence of water stress on growth, ecophysiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* 'Heidy'plants. New insights to increase water use efficiency in plant production. Plant Growth Regul. 83: 3. 361-373.
15. Vijayakumar, S., Laxman, R.H., Nair, S.A. and Nair, A.K. 2020. Effect of Different Moisture Regimes on the Yield, Quality and Water Use Efficiency of *Chrysanthemum* var. Marigold. Int. J. Curr. Microbial. 9: 3138-3151.
16. Carillo, P., Arena, C., Modarelli, G.C., De Pascale, S. and Paradiso, R. 2019. Photosynthesis in *Ranunculus asiaticus* L.: the influence of the hybrid and the preparation procedure of tuberous roots. Front. Plant Sci. 10: 241.
17. Jabbar, M.A.A. and Hussein, J.K. 2020. Effect of bio-fertilizers and humic acid on the growth of ranunculus (*Ranunculus asiaticus*) plant. Plant Arch. 20: 2201-2207.
18. Beruto, M., Rabaglio, M., Viglione, S., Van Labeke, M.C. and Dhooghe, E. 2018. *Ranunculus*. In: Van Huylenbroeck, J. (eds) Ornamental Crops. Handbook of Plant Breeding, Springer, Cham. 11: 649-671.
19. Biabi, H., Mehdizadeh, S.A. and Salmi, M.S. 2019. Design and implementation of a smart system for water management of *Lilium* flower using image processing. Comput. Elec. Agric. 160: 131-143.
20. Ogbaga, C.C., Stepien, P. and Johnson, G.N. 2014. Sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties adopt strongly contrasting strategies in response to drought. Physiol. Plant. 152: 2. 389-401.
21. Talaat, N.B., Shawky, B.T. and Ibrahim, A.S. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. Environ. Exp. Bot. 113: 47-58.
22. Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30: 105-111.
23. Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. J. Ann. Bot. 78: 389-398.
24. Kalamartzis, I., Dordas, C., Georgiou, P. and Menexes, G. 2020. The use of appropriate cultivar of basil (*Ocimum basilicum*) can increase water use efficiency under water stress. Agron. 10: 1. 70.
25. Chikha, M.B., Hessini, K., Ourteni, R.N., Ghorbel, A. and Zoghlami, N. 2016. Identification of barley landrace genotypes with contrasting salinity tolerance at vegetative growth stage. Plant Biotechnol. 33: 287-295.
26. Ismail, S.M. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annuum* L.). Met. Env. Arid Land Agric. Sci. 21: 29-43.
27. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N.S.M.A., Fujita, D.B.S.M.A. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29: 185-212.
28. Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S. 2021. Response mechanism of plants to drought stress. Hort. 7: 50.
29. Koźmińska, A., Al Hassan, M., Wiszniewska, A., Hanus-Fajerska, E., Boscaiu, M. and Vicente, O. 2019. Responses of succulents to drought: comparative analysis of four *Sedum* (Crassulaceae) species. Sci. Hort. 243: 235-242.
30. Sallume, M.O., Abood, M.A., Hamdi, G.J. and Sarheed, B.R. 2020. Influence of foliar fertilization of amino decanate® on growth and yield of eggplant (*Solanum melongena*) under water stress conditions. Res. Crops. 21: 557-562.

31.Haroon, M., Hai-yan, Y., Hailan, C. and Xiang-ju, L. 2019. Growth and seed production response of *Commelina Communis* L. to water stress. Gesunde Pflanzen. 71: 4. 281-288.
32.El-Nashar, Y. and Hassan, B.A. 2020. Effect of saline irrigation water levels on the growth of two *Zinnia elegans* L. cultivars. Sci. J. Flowers Ornam. Plants. 7: 425-445.
33.Ahmadpour, R. and Bahrami, T. 2016. Influence foliar application of compost tea under water deficit stress of lentil plant by assessment of morphological parameters. Iran. J. Plant Physiol. Biochem. 1: 40-51. (In Persian)
34.Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E., L., Awad, A. and Abdelaal, K. 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. Agron. 10: 5. 630.
35.Owart, B.R., Corbi, J., Burke, J.M. and Dechaine, J.M. 2014. Selection on crop-derived traits and QTL in sunflower (*Helianthus annuus*) crop-wild hybrids under water stress. PLoS One. 9: 7. 102717.
36.Rafi, Z.N., Kazemi, F. and Tehranifar, A. 2019. Effects of various irrigation regimes on water use efficiency and visual quality of some ornamental herbaceous plants in the field. Agric. Water Manag. 212: 78-87.
37.Pingping, W.U., Chubin, W.U. and Biyan, Z.H.O.U. 2017. Drought stress induces flowering and enhances carbohydrate accumulation in *Averrhoa Carambola*. Hort. Plant J. 3: 60-66.
38.Antonić, D.D., Subotić, A.R., Dragićević, M.B., Pantelić, D., Milošević, S.M., simonović, A.D. and Momčilović, I. 2020. Effects of Exogenous Salicylic Acid on Drought Response and Characterization of Dehydrins in *Impatiens walleriana*. Plants. 9: 11. 1589.
39.Sahithi, B.M., Razi, K., Al Murad, M., Vinothkumar, A., Jagadeesan, S., Benjamin, L.K., Jeong, B.R. and Muneer, S. 2021. Comparative physiological and proteomic analysis deciphering tolerance and homeostatic signaling pathways in chrysanthemum under drought stress. Physiol. Plant. 172: 289-303.
40.Umar, S., Sharma, M.P., Khan, W. and Ahmad, S. 2017. Variation in ornamental traits, physiological responses of *Tagetes erecta* L. and *T. patula* L. in relation to antioxidant and metabolic profile under deficit irrigation strategies. Sci. Hort. 214: 200-208.
41.Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. and Tran, L.S.P. 2014. Response of plants to water stress. Front. Plant Sci. 5: 86.
42.Zeighami Nejad, K., Ghasemi, M., Shamili, M. and Damizadeh, G.R. 2020. Effect of mycorrhiza and vermicompost on drought tolerance of lime seedlings (*Citrus aurantifolia* cv. Mexican Lime). Int. J. Fruit Sci. 20: 646-657.
43.Nahar, S., Sahoo, L. and Tanti, B. 2018. Screening of drought tolerant rice through morpho-physiological and biochemical approaches. Biocatal. Agric. Biotechnol. 15: 150-159.
44.Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2018. Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. J. Integr. Agric. 17: 11. 2426-2437.
45.Ghassemi, S., Farhangi-Abriz, S., Faegi-Analou, R., Ghorbanpour, M. and Lajayer, B.A. 2018. Monitoring cell energy, physiological functions and grain yield in field-grown mung bean exposed to exogenously applied polyamines under drought stress. Soil Sci. Plant Nutr. 18: 4. 1108-1125.
46.Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H. and Mei, L. 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. Biol Open. 7: 11. bio035279.
47.Zhang, Y., Chen, Q. and Tang, H. 2018. Variation on photosynthetic performance in kiwifruit seedling during drought stress and rewatering. In 2018 International Workshop on Bioinformatics, Biochemistry, Biomedical Sciences. Atlantis Press. pp. 56-59.

48.Sarvandi, S., Ehtesham Nia, A., Rezaei Nejad, A. and Azimi, M.H. 2020. Morpho-Physiological Responses of Some Iris Cultivars under Drought and Salinity Stresses. J. Agric. Sci. Technol. 22: 535-546.
49.Kiani, R., Nazeri, V., Shokrpour, M. and Hano, C. 2020. Morphological, physiological, and biochemical impacts of different levels of long-term water deficit stress on *Linum album* Ky. ex Boiss. accessions. Agron. 10: 12. 1966.
50.Zahedyan, A., Jahromi, A.A., Zakerin, A., Abdossi, V. and Torkashvand, A.M. 2021. Nitroxin bio-fertilizer improves growth parameters, physiological and biochemical attributes of cantaloupe (*Cucumis melo* L.) under water stress conditions. J. Saudi Soc. Agric. 21: 1. 8-20.
51.Oraee, A. and Tehranifar, A. 2020. Evaluating the potential drought tolerance of pansy through its physiological and biochemical responses to drought and recovery periods. Sci. Hort. 265: 109225.
52.Cherono, S., Ntini, C., Wassie, M., Mollah, M.D., Belal, M.A., Ogutu, C. and Han, Y. 2020. Exogenous application of melatonin improves drought tolerance in coffee by regulating photosynthetic efficiency and oxidative damage. J. Am. Soc. Hort. Sci. 1: 1-9.
53.Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W. and He, X. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. Sci. Hort. 259: 108795.
54.Sajadi, F., hezarjaribi, A. and Jamali, S. 2020. The effects of different irrigation regimes on yield and yield components Of Sweet pepper (*Capsicum annum*) under greenhouse conditions. Irrig. Water Eng. 11: 321-333. (In Persian)
55.Goldani, M., Dolatkhahi, A., Parsa, M., Vahdati, N. and Rasouli, Z. 2021. Investigation of improving the drought tolerance in Persian petunia (*Petunia* sp.) by exogenous application of salicylic acid and gibberellic acid. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 20: 37-48.