Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer 2023, Vol 7, No 13(1), Pages 01-22

Ilam University

doi: 10.22034/IUVS.2022.561148.1232 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Growth, Physiological Responses and Water Use Efficiency of Eggplant to Foliar Spray of L-cysteine and Calcium Lactate under Deficit Irrigation Condition

Malihe Farhangpour[1], Taher Barzegar[2*], Fatemeh Nekounam[3] and Jaefar Nikbakht[4]

1- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

[*]**Corresponding author:** tbarzegar@znu.ac.ir

(**Received:** 29 August 2022 **Revise:** 11 October 2022 **Accepted:** 21 October 2022)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Water stress is the most prominent abiotic stress limiting agricultural crop growth and productivity. Deficit irrigation stress as a consequence of the progressive decrease in water availability has been a hot topic regarding food security during the last two decades. Growth and development of plants are influenced by reduction in turgor that results in decreased nutrient acquisition from dry soil. Due to the threat of climate change, there is a need to limit the use of water resources in arid and semi-arid climates. It is therefore important to find new approaches to avoid crop productivity losses in 'limited fresh-water' areas. Eggplant (*Solanum melongena* L.) is an important non-climacteric fruit grown in tropical and subtropical regions. The estimated total world production for eggplants in 2019 was 51287210 tons. Foliar application of agro-chemicals has widely been used in agriculture as a rapid, low-cost and effective way for enhancing growth and productivity of many vegetable crops under water deficit conditions. Ca is an essential macronutrient for plant growth and development, and is considered as an important intracellular messenger, mediating responses to hormones, stress signals and a variety of developmental processes. Amino acids are important bio-regulators which have promotive effects on plant growth and productivity. Cysteine is the precursor molecule of glutathione, the predominant non-protein thiol, which plays an important role in plant stress responses.
2. **Materials and Methods:** The field experiment was carried out at the Research Farm of Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran, during 2021. The experiment was performed using a split plot based on a randomized complete blocks design with three irrigation regimes (60, 80 and 100 %ETc) as the main plot and foliar spray of two levels of calcium lactate (CaL) (1 and 2 g L^{-1}) and L-cystein (Cys) (0.15 and 0.5 %) as the sub-plot in three replicates. Distilled water was used as a control. Eggplant (cv. Greta RZ) seedlings were transplanted at the 4-5 leaf stage with 35 cm spacing within row and 100 cm spacing between rows. After plant establishment, eggplants were sprayed with different concentrations of CaL and Cys at 6-7 leaf stage. Second and third times of foliar application were performed at 10 and 20 days after the first spraying. Irrigation treatments were applied one week after the first spraying. Number of branch per plant, plant height and leaf area were measured as growth parameters in harvest stage. Total chlorophyll and carotenoid contents, proline, leaf relative water content, stomatal conductance and electrolyte leakage were measured as physiological characteristics. Also plant fruit yield and water use efficiency (WUE) were evaluated.
3. **Results and Discussion:** As the results showed, plant growth, physiological indices and WUE significantly affected by deficit irrigation. Water deficit stress significantly reduced plant length, leaf area and chlorophyll content, and increased carotenoid content. Decreased plant growth may be due to limited cell division, cell enlargement due to turgor loss, and inhibition of various growth metabolites. Foliar spray of CaL and Cys improved plant growth, fruit yield and physiological indices. Leaf relative water content (LRWC) is among the main physiological criteria affecting plant water relations and have been used for assessing drought tolerance. Based on the findings, deficit irrigation caused a significant reduction in LRWC and stomatal conductance, which is due to the reduction of leaf water potential and the decrease of root water absorption rate under drought conditions. The highest value of LRWC and

stomatal conductance were obtained in plants sprayed with CaL 2 g L^{-1} under irrigation 100 %ETc. Free proline is one of the most important osmolytes whose accumulation is a common physiological response to drought stress in higher plants and is probably associated with osmotic regulation and membrane stability under stress condition. WUE, the physiological parameter of crop, describes the relationship between plant water consumption and dry matter production. The proline content and WUE increased under deficit irrigation treatments; in particular with sever deficit irrigation (60 %ETc). The maximum proline content and WUE were observed in plants treated with CaL 2 g L^{-1} and Cys 0.5 % under deficit irrigation of 60 %ETc. The results showed that deficit irrigation led to a significant increase in electrolyte leakage compared to control, and foliar application of CaL and Cys decreased electrolyte leakage under normal and deficit irrigation conditions. Water deficit stress caused significant reductions in yield. The highest fruit yield was obtained under irrigation of 100 %ETc along with application of CaL 2 g L^{-1} and Cys 0.5 %.

4. **Conclusion:** Water deficit has been shown to adversely affect plant growth and fruit yield. Foliar application of CaL and Cys positively improved plant growth, physiological traits and fruit yield, as well as WUE. According to the results, application of CaL 2 g L^{-1} or Cys 0.5 % can be proposed to improve growth, fruit yield and WUE of eggplant.

Keywords: Electrolyte leakage, Leaf area, Proline, Stomatal conductance

Citation: Farhangpour, M., Barzegar, T., Nekounam, F. & Nikbakht, J. (2023). Growth, physiological responses and water use efficiency of eggplant to foliar spray of L-cysteine and calcium lactate under deficit irrigation condition. *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 01-22. doi: 10.22034/IUVS.2022.561148.1232

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۷، دوره ۱۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات (۲۲-۰۱)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/IUVS.2022.561148.1232

پاسخ‌های رشدی، فیزیولوژیکی و کارآیی مصرف آب گیاه بادمجان به محلول‌پاشی ال-سیستئین و لاکتات کلسیم تحت شرایط کم آبیاری

ملیحه فرهنگ‌پور[۱]، طاهر برزگر[۲*]، فاطمه نکونام[۳] و جعفر نیکبخت[۴]

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*نویسنده مسئول: tbarzegar@znu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر رشد و شاخص‌های فیزیولوژیکی بادمجان (*Solanum melongena* cv. Greta RZ) آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دانشگاه زنجان در طی سال ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار محلول‌پاشی در پنج سطح شامل دو سطح لاکتات‌کلسیم (۱ و ۲ گرم در لیتر)، دو سطح ال-سیستئین (۰/۱۵ و ۰/۵ درصد) و آب مقطر به‌عنوان شاهد بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری رشد، شاخص‌های فیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار داد. کاربرد لاکتات کلسیم و اسیدآمینه سیستئین به‌طور فزاینده‌ای رشد بوته، شاخص‌های فیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب را در شرایط آبیاری بهینه و کم‌آبیاری بهبود بخشید. بیشترین ارتفاع بوته، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد میوه در بوته در گیاهان تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر تحت آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد که با تیمارسیستئین ۰/۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار پرولین و کارایی مصرف آب به‌ترتیب در بوته‌های تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد تحت آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج حاضر، کاربرد لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و یا سیستئین ۰/۵ درصد به‌صورت جداگانه جهت بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب گیاه بادمجان در شرایط آبیاری بهینه و کم‌آبیاری پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سطح برگ، نشت یونی، هدایت روزنه‌ای

استناد: فرهنگ‌پور، م.، برزگر، ط.، نکونام، ف. و نیکبخت، ج. (۱۴۰۲). پاسخ‌های رشدی، فیزیولوژیکی و کارآیی مصرف آب گیاه بادمجان به محلول‌پاشی ال-سیستئین و لاکتات کلسیم تحت شرایط کم آبیاری. *علوم سبزی‌ها*، ۱۳(۱)، ۲۲-۱.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena* L.) متعلق به خانواده Solanaceae، که دارای حدود ۳۰۰۰ گونه مختلف در ۹۰ جنس است (Vorontsova & Knapp, 2012). سطح زیر کشت بادمجان در جهان حدود ۱/۷۹ میلیون هکتار با تولید ۵۱/۲۸ میلیون تن است (FAO, 2019).

خشکی یکی از محدودیت‌های اصلی در کشاورزی آبی است که به‌طور جدی بر تولید محصول تأثیر می‌گذارد و درنتیجه امنیت غذایی را تهدید می‌کند. این تنش محیطی به‌دلیل پویایی دما، شدت نور و بارندگی کم رخ می‌دهد. با وجود این، اثر تجمعی و ماهیت چند بُعدی آن به‌شدت بر خصوصیات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه تأثیر می‌گذارد و تأثیر منفی بر ظرفیت فتوسنتز دارد (Seleiman *et al*., 2021). در برخی موارد گیاهان قادر به جذب آب از خاک نیستند، حتی اگر رطوبت کافی در ناحیه ریشه وجود داشته باشد، این پدیده به‌عنوان خشکسالی فیزیولوژیکی یا شبه خشکی شناخته می‌شود (Daryanto *et al*., 2020). خشکی باعث محدود شدن رشد، توسعه و عملکرد محصولات می‌شود، همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، مقدار کاروتنوئید و پرولین می‌شود که منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Rodan *et al*., 2020). تنش کم‌آبی اثرات مضری بر غشاء و مقدار و کیفیت پروتئین‌ها گذاشته و از لحاظ مولکولی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تغییرات زیادی را در گیاهان ایجاد نموده و بر نمو و تولید محصول تأثیر منفی دارد (Harb *et al*., 2010). تنش خشکی و کاهش رطوبت خاک می‌تولند جذب مواد مغذی گیاه را از طریق کاهش عرضه مواد مغذی از طریق کانی‌سازی و انتشار مواد مغذی در خاک کاهش دهد (Sanaullah *et al*., 2012). کم‌آبیاری یک راهبرد برای تولید پایدار محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب است (Khani *et al*., 2020).

کاهش عملکرد در نتیجه کم‌آبی ممکن است به‌دلیل عدم رطوبت کافی خاک در منطقه ریشه باشد که در نتیجه آن، فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله جذب مواد غذایی، رشد گیاه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک گیاهی کاهش می‌یابد و این منعکس‌کننده عملکرد کمتر در اثر تنش کم‌آبی است (Aslani *et al*., 2019). افزایش محتوای نسبی آب به‌معنای افزایش ظرفیت نگهداری آب است که می‌تواند از هدر رفتن آب در برگ‌ها در محیط خشک جلوگیری کند (Khani *et al*., 2020). تجمع پرولین با کاهش در محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، افزایش پیدا می‌کند که نتیجه آن حفظ پایداری غشای سلولی است (Kavas *et al*., 2013). تنش آبی به‌دلیل ممانعت از فتوسنتز در گیاهان، تغییرات قابل توجهی در محتوا و اجزای کلروفیل ایجاد می‌کند (Birgin *et al*., 2021). گزارش شده است که میزان کلروفیل گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) تحت تنش خشکی کاهش یافت (Ashraf & Arfan, 2005). تنش کم‌آبی در کاهو (*Lactuca sativa* L.)، وزن تر، وزن خشک، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد اما منجر به افزایش پرولین شد (Khani *et al*., 2019).

اسیدهای آمینه یکی از معروف‌ترین محرک‌های زیستی هستند که اثرات متعددی بر روی گیاهان دارند، که برخی از مهم‌ترین این اثرات عبارتند از اثر مثبت بر رشد، افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه، کاهش قابل ملاحظه صدمات ناشی از تنش‌های غیرزیستی و تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه (Kahlel & Sultan, 2019). سیستئین یک اسید آمینه حاوی گوگرد است که به‌طور گسترده در باکتری‌ها، مخمرها، گیاهان، حیوانات و برخی تک سلولی‌ها توزیع شده است. سیستئین در سیتوزول، پلاستیدها و میتوکندری‌ها از سرین سنتز می‌شود و پیش‌ساز پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، کوفاکتورها، آنتی‌اکسیدان‌ها مانند گلوتاتیون و برخی ترکیبات دفاعی است (Sogvar *et al*., 2020). ال-سیستئین به‌طور

گسترده در تسهیل تحمل به محرک‌های مختلف محیطی، از جمله فلزات سنگین و تنش خشکی نقش ایفا می‌کند (Zhou *et al*., 2021). استفاده از اسیدهای آمینه از جمله پرولین، بتائین و کولین سبب افزایش تحمل گیاه به کم‌آبی می‌شود و بدین ترتیب افزایش فاصله آبیاری را در پی دارد که در نتیجه آن مصرف آب در زمان برای تولید محصول کاهش خواهد یافت (Zhou *et al*., 2021). در شرایط نامساعد محیطی عمل ساخت اسیدهای آمینه دشوار یا متوقف می‌شود که مصرف اسیدهای آمینه به‌صورت کود، نیاز ساخت آن را توسط گیاه برطرف می‌کند و این امکان را به گیاه می‌دهد که انرژی ذخیره شده خود را صرف رشد بیشتر و افزایش عملکرد و کیفیت محصول کند (Naghdi Badi *et al*., 2015). پژوهشگران بیان کرده‌اند که استفاده اسید آمینه در گیاهان گشنیز (Aminifard *et al*., 2020) و پسته (Rahdari *et al*., 2013) شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه را بهبود بخشید.

کلسیم (Ca^{2+})، یکی از عناصر پرمصرف و کاملاً غیرمتحرک در گیاهان می‌باشد که جذب آن از طریق ریشه صورت می‌گیرد و در شرایط خشکسالی تحت تأثیر شرایط نامطلوب برای دسترسی محدود به آب قرار می‌گیرد (Naeem *et al*., 2017). کلسیم یکی از عناصر ضروری برای رشد و توسعه و فرآیندهای گیاهی است که کمبود آن در گیاه کاهو سبب آسیب‌های فیزیولوژیکی شده و بازارپسندی محصول را کاهش می‌دهد (Borghesi *et al*., 2013). از نمک‌های مهم کلسیم می‌توان به لاکتات کلسیم و کلرید کلسیم اشاره کرد. لاکتات کلسیم ($C_6H_{10}CaO_6$) پودر سفید و قابل حل در آب می‌باشد که در مراحل قبل و پس از برداشت استفاده می‌شود (Yang *et al*., 2017). بین نمک‌های کلسیم، لاکتات کلسیم این مزیت را دارد که باعث تلخی و بوی نامطبوع در میوه و سبزی‌ها نمی‌شود (Barzegar *et al*., 2018c). لاکتات کلسیم برای افزایش رشد و حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شود. در پژوهشی تیمار کلسیم موجب افزایش عملکرد، سفتی بافت و حفظ کیفیت در کلم بروکلی (*Brassica oleracea* L.) شد (Kou *et al*., 2015). گزارش شده است کاربرد لاکتات کلسیم به‌عنوان یک عامل تقویت‌کننده باعث حفظ بافت و کیفیت کاهو و هویج گردید (Martin-Diana *et al*., 2005). کلسیم همچنین اثرات مضر تنش را با تنظیم متابولیسم آنتی-اکسیدانی کاهش می‌دهد (Ahmad *et al*., 2015).

باتوجه به اهمیت بادمجان به‌عنوان یک سبزی مهم در سبد غذایی خانوار، به‌ویژه به روش ارگانیک و کم شدن منابع آبی، هدف از انجام این پژوهش، مطالعه اثرات محلول‌پاشی برگی ال-سیستئین و لاکتات کلسیم بر برخی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی بادمجان در شرایط تنش کم‌آبیاری بود.

مواد و روش ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر لاکتات کلسیم و ال-سیستئین بر رشد و صفات فیزیولوژیکی میوه بادمجان، بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. اواخر اردیبهشت ماه نشاءهای بادمجان (cv. Greta RZ) از گلخانه‌ای در هشتگرد تهیه شد و در مرحله چهار-پنج برگی با فاصله بین ردیفی ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ای ۳۵ سانتی‌متر در مزرعه کشت شدند. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار محلول‌پاشی در پنج سطح شامل: دو سطح لاکتات‌کلسیم (۱ و ۲ گرم در لیتر)، دو سطح ال-سیستئین (۰/۱۵ و ۰/۵ درصد) و آب مقطر به‌عنوان شاهد بود. پس از استقرار اولیه گیاهان در مرحله شش تا هفت برگی، اولین محلول‌پاشی برگی لاکتات کلسیم و اسید آمینه ال-سیستئین صورت گرفت و محلول‌پاشی‌های بعدی در دو مرحله با فاصله ۱۰ روز یکبار در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت. تیمارهای آبیاری یک هفته پس از اولین محلول‌پاشی اعمال شد. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ـ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table1- Soil physical and chemical parameters of the experiment location

بافت خاک Soil texture	ماده آلی Organic matter	پتاسیم Potassium (g kg^{-1})	سدیم Sodium (g kg^{-1})	کلسیم Calcium (g kg^{-1})	نیتروزن Nitrogen (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH
لوم رسی Lomy clay	0.94	0.20	0.13	0.12	0.07	1.49	7.4

نیاز آبی گیاه با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های روزانه و داده‌های سال جاری هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید (جدول۲).

رابطه ۱ $$ET_c = ET_0 \times K_c$$

در این رابطه ET_c، نیاز آبی بادمجان (میلی‌متر در روز) ET_0، تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و K_c، ضریب گیاهی بادمجان هستند. لازم به توضیح است مقادیر ET_0 بر اساس روش استاندارد فائو- پنمن-مانتیث برآورد شد. پس از محاسبه مقادیر ET_c، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه بادمجان بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای-نواری) و دور آبیاری (دو روز) برآورد شد و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد (Vaziri *et al*., 2017). در طول فصل رشد وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول۲ـ میانگین بلند مدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه بادمجان

Table2- Long-term average of meteorological parameters of Zanjan synoptic station during the growth period of eggplant plant

ماه Month	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	ساعات آفتابی Sunny hours	سرعت باد Wind speed (m S^{-1})	کمترین دما Minimum temperature (°C)	میانگین دما Average temperature (°C)	بالاترین دما Maximum temperature (°C)
خرداد June	12.4	28	11.7	2.2	22.8	13	32.6
تیر July	7.9	31	11.4	2	25.3	16.2	34.5
مرداد August	8.8	41	9.8	1.9	24.7	16.3	33.1
شهریور September	0	31	10.9	1.9	22.7	16.7	32.8
مهر October	0.5	43	9.8	1.8	15.5	6.7	24.3

صفات مورد ارزیابی

در هر واحد آزمایشی از پنج بوته نمونه‌برداری شد. میوه‌های بادمجان در مرحله بلوغ تجاری برداشت گردید و صفات رشدی و فیزولوژیکی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان فصل رشد بعد از اینکه محصول برداشت شد، به‌طور تصادفی از هر تیمار سه بوته انتخاب و تعداد شاخه‌های فرعی شمارش شد و ارتفاع بوته نیز به سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری سطح برگ، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (DELTA_T DEVIECE

LTD, ENGLAND) انجام شد و درنهایت میانگین سطح برگ برحسب سانتی‌متر مربع محاسبه گردید.

برای سنجش محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید از روش Arnon (۱۹۶۷) استفاده شد. برای اندازه‌گیری، ۰/۱ گرم از نمونه‌ها در هاون چینی با ۱۰میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سابیده شد تا به‌صورت یک محلول یکنواخت درآید. سپس با دور ۵۰۰۰ به‌مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب محلول روشناور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (SAFAS MONACO-RS232) در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل و در طول موج‌های ۵۱۰ و ۴۸۰ نانومتر برای کاروتنوئید قرائت شد. در نهایت غلظت آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه گردید. در این رابطه (V) بیانگر حجم نهایی عصاره کلروفیل و کارتنوئید در استون ۸۰ درصد، (W) وزن تازه بافت استخراج شده، (A) جذب در طول موج مشخص می‌باشد.

رابطه ۲

کلروفیل کل= $[20.2 \times (A_{645}) + 8.02 \times (A_{663})] \times {}^{V}/_{W} \times 1000$

رابطه ۳

کارتنوئید= $[7.6 \times (A_{480}) - 1.49 \times (A_{510})] \times {}^{V}/_{W} \times 1000$

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (LRWC)، ابتدا وزن تر (FW) برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد و سپس به‌منظور تعیین وزن در حالت اشباع (TW)، به‌مدت ۲۰ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق، داخل آب مقطر قرار داده شدند و سپس وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن آماس، در پایان به منظور تعیین وزن خشک (DW)، برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (Ritchie *et al*., 1990). محتوای نسبی آب برگ‌ها از رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه ۴ $LRWC = (FW - DW)/(TW - DW) \times 100$

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (MK, Delta, UK) بین ساعات ۱۰ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر انجام شد (Mujdeci *et al*., 2011). بدین منظور از هر واحد آزمایشی سه بوته و از هر بوته پنج برگ انتخاب شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان هدایت روزنه‌ای در واحد سطح برگ (برحسب میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) ثبت شد.

برای سنجش میزان آسیب به غشاء و میزان نشت یونی (EL) از روش Ben Hamed و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد (رابطه ۵). یک گرم از بافت سالم و تازه برگ گیاه را بعد از شستشو با آب مقطر برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه درون لوله‌ی آزمایش در پیچ‌دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه گردید. سپس لوله‌های آزمایش را به‌مدت دو ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از EC متر مدل Metrhom (ساخت کشور سوئیس) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) مجدداً اندازه‌گیری گردید.

رابطه ۵ $EL = EC_1 \times EC_2 \times 1$

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، مقدار ۰/۵ گرم برگ تازه به قطعات کوچکتر از ۵ میلی‌متر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر، اسید سولفوریک سه درصد در یک هاون چینی کوچک به‌مدت سه دقیقه سائیده شد. سپس دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده با دو میلی‌لیتر از معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک در یک لوله آزمایش ریخته شد و برای مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار داده شد، سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش پس از سرد شدن چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و لوله آزمایش مربوطه برای مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه به‌شدت به هم زده شد. سپس جذب نوری محلول رویی واکنش از طریق دستگاه اسپکتروفتومتر (SAFAS MONACO-RS232) در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از محلول بلانک تولوئن خوانده شد و میزان آن برحسب میلی‌گرم

بر گرم وزن‌تر نمونه محاسبه گردید (Bates *et al.*, 1973).

در زمان برداشت، عملکرد بوته برحسب کیلوگرم به‌دست آمد. کارآیی مصرف آب در تولید وزن‌تر و خشک گیاه برای هر یک از تیمارها با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید (Zotarelli *et al.*, 2009). در این رابطه، Y: عملکرد (کیلوگرم)، W: میزان آب مصرفی (متر مکعب) و WUE: کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) است.

رابطه ۶ $$WUE = Y/W$$

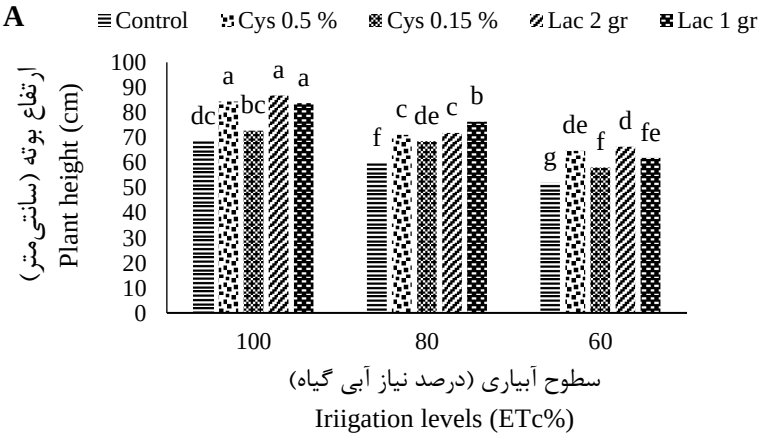
آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS V9 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

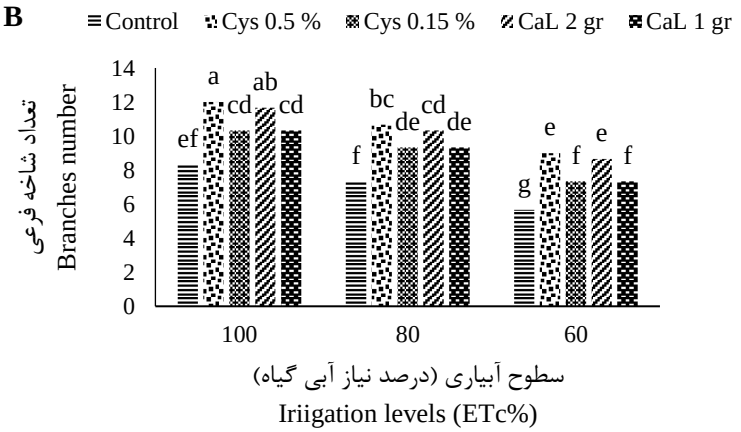
نتایج و بحث

ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱)، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی با کاربرد تیمارهای ال-سیستئین و لاکتات کلسیم در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبیاری افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد. بیشترین ارتفاع بوته (۸۶/۸۳ سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر تحت آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد که با تیمارهای ال-سیستئین ۰/۵ درصد و لاکتات کلسیم ۱ گرم تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار در گیاهان شاهد (۵۱/۸۸ سانتی‌متر) تحت آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد (شکل ۱A). همچنین بیشترین تعداد شاخه فرعی به‌ترتیب در تیمارهای ال-سیستئن ۰/۵ درصد و لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و کمترین در گیاهان شاهد مشاهده شد (شکل ۱B).

محققان گزارش کردند که کاهش طول بوته در اثر تنش خشکی به‌دلیل کاهش جذب آب، سطح برگ، فتوسنتز، و در نتیجه کاهش میزان آسیمیلات می‌باشد (Taghdosinia *et al.*, 2020). در بررسی صورت گرفته در هندوانه ابوجهل (*Citrullus colocynthis* L.) (Sanikhani *et al.*, 2019) و خیار رقم سوپر دامینوس (*Cucumis sativus* L.) (Najafi *et al.*, 2022) نیز کاربرد اسیدهای آمینه در افزایش طول بوته نقش موثری داشتند. گزارش شده است که تیمار ال-سیستئین در گوجه فرنگی باعث افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی شد (Hoza *et al.*, 2019). به‌طور کلی، کاربرد اسیدهای آمینه پیوستگی بالایی با فرآیندهای متابولیکی مختلف در سلول‌ها دارد که باعث رشد گیاهان می‌شود (Sadak *et al.*, 2020). با کاربرد غلظت‌های مختلف اسید آمینه بر روی گیاه ریحان نیز نتایج مثبتی بر روی ارتفاع بوته بدست آمد (Reham *et al.*, 2016).





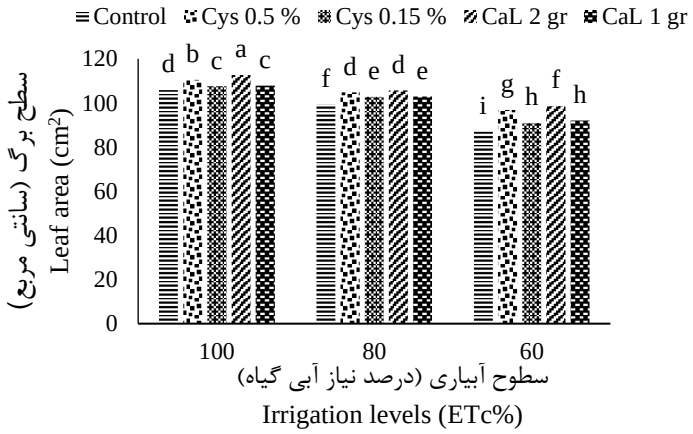
شکل۱- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر ارتفاع بوته (A) و تعداد شاخه فرعی (B) گیاه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Figure 1- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on height (A) and branches number (B) of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

سطح برگ

با توجه به نتایج (شکل ۲)، سطح برگ با کاربرد تیمارهای ال-سیستئین و لاکتات کلسیم در شرایط آبیاری بهینه و تنش آبیاری افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبیاری باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان سطح برگ شد و کاربرد برگی لاکتات کلسیم و ال-سیستئین اثرات منفی تنش را کاهش داد. بیشترین سطح برگ (۱۱۲/۶ سانتی‌متر مربع) در تیمار لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین آن (۸۶/۸ سانتی‌متر مربع) در گیاهان شاهد تحت آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد.

سطح برگ یکی از ویژگی‌های بسیار مهم در رشد گیاهان است، به‌طوری که هر چقدر سطح برگ افزایش یابد، مقدار فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد. اثر سطوح متفاوت کم‌آبیاری بر سطح برگ گیاه خیار تأثیر معنی‌دار داشته و باعث کاهش سطح برگ گردید (Nikbakht *et al.*, 2020). کاهش رشد گیاه به‌هنگام تنش، یکی از سازوکارهای گیاه برای بقاء در شرایط تنش است. بسته شدن روزنه‌های برگ به‌منظور ممانعت از هدررفت آب گیاه و کاهش سطح برگ با کاهش در میزان فتوسنتز در گیاه همراه است (Jalilian & Heydarzadeh, 2015). گزارش شده است که تنش کم‌آبیاری باعث کاهش سطح برگ در هندوانه ابوجهل (Parkhideh *et al.*, 2018a)، طالبی (Ahmadi-Mirabad *et al.*, 2014) و خربزه (Barzegar *et al.*, 2018a) شد. تحقیقات پیشین نشان دادند که کاربرد کلسیم در شرایط تنش خشکی باعث بهبود سطح برگ گیاه بادمجان (Ghahremani *et al.*, 2021b) و کاهو (Khani *et al.*, 2019) گردید. گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی لاکتات کلسیم، تاثیر معنی‌داری بر سطح برگ گیاه فلفل دلمه‌ای داشت (Fateh *et al.*, 2019).



شکل۲- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر سطح برگ گیاه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

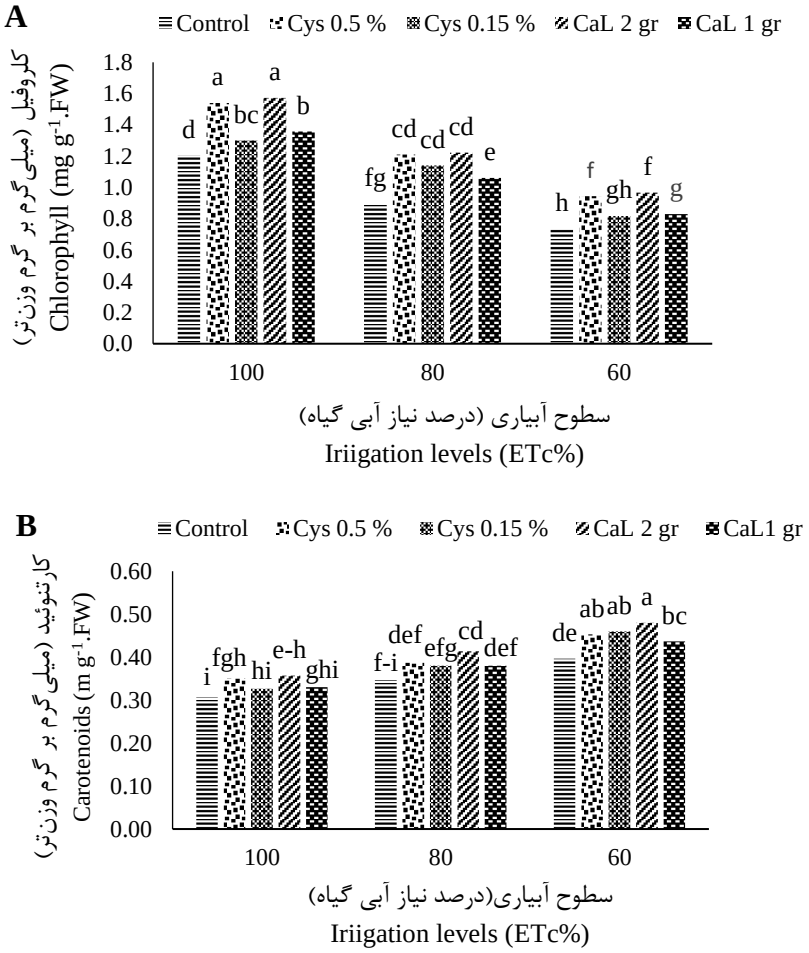
Figure 2- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on leaf area of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ

تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل برگ را بطور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۳A). با توجه به نتایج، بیشترین محتوای کلروفیل کل برگ (۱/۵۷ و ۱/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به‌ترتیب با محلول‌پاشی لاکتات کلسیم ۲ گرم و ال-سیستئین ۰/۵ درصد در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد و کمترین مقدار کلروفیل (۰/۷۳ میلی‌گرم بر وزن‌تر) در گیاهان شاهد تحت تنش کم آبیاری ۶۰ درصد مشاهده گردید. اعمال تنش کم آبیاری محتوای کاروتنوئید برگ را افزایش داد. با توجه به نتایج (شکل ۳B)، بیشترین مقدار کاروتنوئید برگ (۰/۴۸، ۰/۴۶ و ۰/۴۵ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر) به‌ترتیب با کاربرد لاکتات کسیم ۲ گرم در لیتر و ال-سیستئین ۰/۱۵ و ۰/۵ درصد تحت شرایط کم آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد.

تنش خشکی به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سطح برگ می‌تواند به‌تدریج میزان جذب CO_2 را کاهش دهد و در نتیجه محتوای رنگدانه فتوسنتزی و فعالیت آن را کاهش دهد (Kumudini *et al*., 2010). گزارش شده است که تنش کم‌آبیاری منجر به کاهش محتوای کلروفیل برگ خیار شد (Ghahremani *et al*., 2021a). با اعمال تنش کم‌آبی در کاهو، محتوای کلروفیل برگ کاهش و مقدار کاروتنوئید برگ افزایش یافت. همچنین کاربرد لاکتات کلسیم باعث افزایش محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید گردید (Khani *et al*., 2020). گزارش کردند که کاربرد کلسیم افزایش معنی‌داری بر محتوای کلروفیل در برگ گیاهان کاهوی تیمار شده با سطوح بالای لاکتات کلسیم داشت (Niazi *et al*., 2021). کاهش مقدار کلسیم در محلول غذایی در گیاه خیار (*C. sativus* L.) منجر به کاهش محتوای کلروفیل گردید (He *et al*., 2018). همچنین محلول‌پاشی اسید آمینه سیستئین، محتوای کلروفیل برگ را در گوجه‌فرنگی افزایش داد (Hoza *et al*., 2019). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر گیاه فیسالیس (*Physalis alkekengi* L.)، میزان کاروتنوئبد برگ را افزایش داد (Saremi *et al*., 2021). طبق تحقیقات انجام شده محلول‌پاشی با سیستئین به‌طور چشم‌گیری باعث افزایش کلروفیل برگ شد (Elkelish *et al*., 2021). علاوه بر این، اسیدهای آمینه می‌توانند به‌عنوان یک منبع کربن و انرژی باشند و هنگامی که گیاه دچار کمبود کربوهیدرات می‌شود وارد چرخه کربس شده که به آزاد شدن انرژی از طریق تنفس منجر می‌شوند. مشخص شده است که اسیدهای آمینه به‌عنوان منابع نیتروژن می‌توانند بیوسنتز کلروفیل

و سایر رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش دهند (Reham *et al*., 2016). تحقیقات نشان داد که کاربرد اسیدهای آمینه روی گیاهان مارچوبه سبب افزایش جذب اغلب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در اندام‌های هوایی و ریزوم‌ها شد و از طرف دیگر باعث افزایش کلروفیل در ساقه‌های خوراکی گردید (Tejada & Gonzalez, 2003).



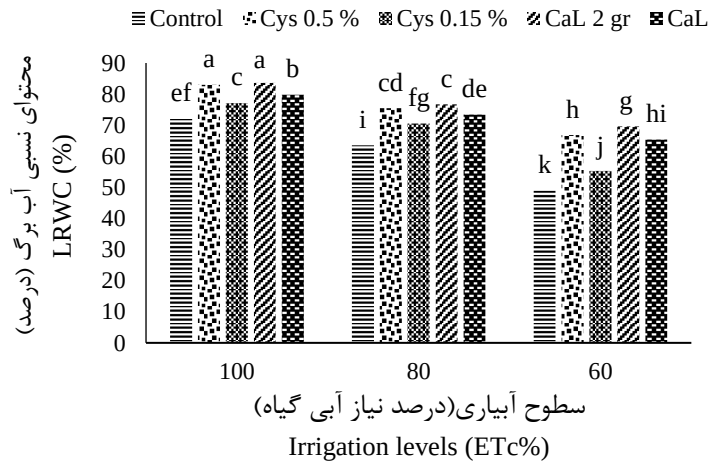
شکل۳- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر محتوای کلروفیل کل (A) و کارتنوئید (B) برگ بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Figure 3- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on total chlorophyll (A) and carotenoids (B) contents of eggplant leaves under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

محتوای نسبی آب برگ

همانطور که نتایج نشان می‌دهد اعمال تنش کم‌آبیاری، محتوای نسبی آب برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و کاربرد لاکتات کلسیم و اسیدآمینه سیستئین باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری بهینه و کم‌آبیاری شدند (شکل۴). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۳/۵ و ۸۲/۹ درصد) به‌ترتیب در گیاهان تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (شکل ۴).

محتوای نسبی آب یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به تنش خشکی است که نشان‌دهنده میزان آب موجود در اندام‌های گیاه یا شادابی آن بوده و قابلیت یک گیاه در حفظ آب تحت شرایط تنش را مشخص می‌نماید (Hosseini *et al*., 2020). محتوای نسبی آب برگ از جمله معیارهای فیزیولوژیکی است که بر روابط آبی گیاه تأثیر دارد و برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر این اساس استفاده از کلسیم به‌طور قابل توجهی محتوای نسبی آب را در کاهو بهبود بخشید (Khani *et al*., 2020). کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش کم‌آبی به بسته شدن روزنه‌های گیاه در پی افزایش تجمع هورمون اسید آبسیزیک در برگ و کاهش رطوبت خاک مرتبط است (Khan *et al*., 2007). اثرات تنش کم‌آبی در گیاه سویا منجر به کاهش محتوای نسبی آب بافت و پتانسیل آب برگ گردید و با کاربرد اسید آمینه سیستئین، محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت (Sadak *et al*., 2020). تحت تنش خشکی، به‌دلیل تعرق زیاد، گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای نسبی برگ و فتوسنتز کاهش می‌یابد (Farooq *et al*., 2012).



شکل۴- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر محتوای نسبی برگ بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

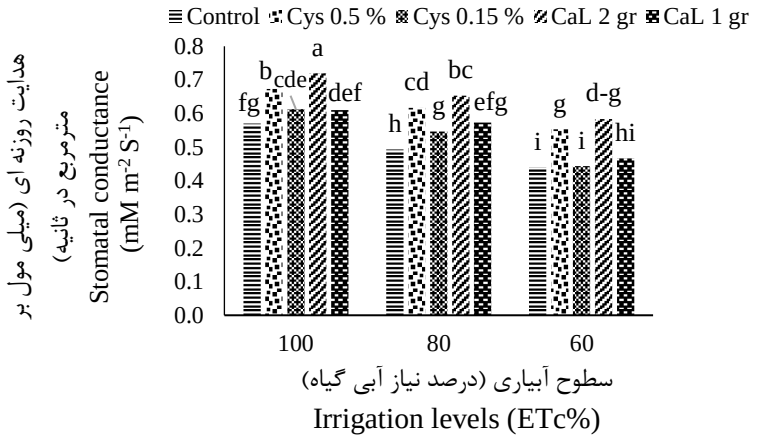
Figure 4- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on leaf relative water content (LRWC) of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

هدایت روزنه‌ای

اعمال تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای را کاهش داد، همچنین کاربرد لاکتات کلسیم و ال-سیستئین در شرایط آبیاری بهینه و تنش کم‌آبیاری هدایت روزنه‌ای را افزایش داد (شکل۵). حداکثر هدایت روزنه‌ای با کاربرد لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به تیمارهای شاهد و سیستئین ۰/۱۵ درصد در سطح آبیاری ۶۰ درصد بود.

در زمان کمبود آب، میزان آب برگ کاهش می‌یابد و کاهش پتانسیل آب برگ موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد که این امر در نهایت باعث کاهش سرعت فتوسنتز و به‌دنبال آن کاهش رشد می‌شود (Flexas *et al*., 2013). کاهش شدید هدایت روزنه‌ای با تغییر محتوای نسبی آب بیانگر آن است که سیگنال‌های ارسالی از ریشه در شرایط تنش خشکی، عامل بسته شدن روزنه و کاهش فتوسنتز است (Signarbieux & Feller, 2011). طبق تحقیقاتی که

در این رابطه انجام شد مشخص گردید که با افزایش تنش کم‌آبی هدایت روزنه‌ای در گیاه گوجه‌فرنگی کاهش یافت (Aslani *et al*., 2019).



شکل۵- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر هدایت روزنه‌ای بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

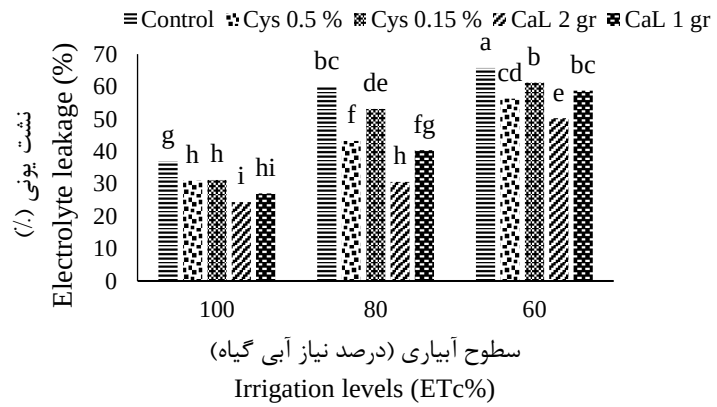
Figure 5- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on stomatal conductance of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

نشت یونی

تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری درصد نشت یونی را افزایش داد و کاربرد ال-سیستئن و لاکتات کلسیم تأثیر معنی‌دار مثبتی در کاهش نشت یونی و حفظ پایداری غشاء سلولی داشتند، به‌طوری که بیشترین میزان نشت یونی (۶۵/۷ درصد) در گیاهان شاهد تحت تنش کم-آبیاری ۶۰ درصد و کمترین میزان نشت یونی (۲۴/۳ درصد) در گیاهان تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد (شکل۶).

تنش خشکی باعث اختلال در فعالیت‌های غشای سلول و منجر به کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان می‌شود که در نتیجه باعث نشت یونی از داخل سلول به بیرون آن می‌شود (Harb *et al*., 2010). بر اساس نتایج مطالعات پیشین، تنش کم‌آبی موجب افزایش نشت یونی و کاهش پایداری غشاء لوبیا سبز (Hosseini *et al*., 2020) و هندوانه (Barzegar *et al*., 2018b) گردید.

افزایش سطوح گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش باعث تخریب لیپیدهای غشاء و در نتیجه افزایش نشت املاح از سلول خواهد شد. نقش مثبت اسید آمینه سیستئین در کاهش نشت یونی را می‌توان به محصول آن، مانند گلوتاتیون، که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی است، نسبت داد. گلوتاتیون باعث افزایش فعالیت آنزیم فنل پراکسیداز و جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه حفظ یکپارچگی غشاء سلولی می‌شود (Sadak *et al*., 2017). گزارش شد که کاربرد سیستئین در گیاه سویا، میزان نشت یونی را تحت شرایط تنش خشکی کاهش داد (Sadak *et al*., 2020).



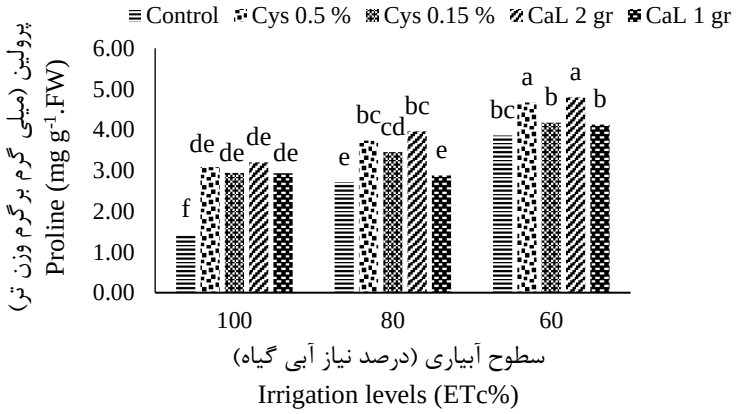
شکل۶- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر نشت یونی بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Figure 6- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on electrolyte leakage of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

محتوای پرولین

میزان پرولین برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد لاکتات کلسیم و ال-سیستئین افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل۷). با توجه به نتایج، بالاترین مقدار پرولین (۴/۷۹ و ۴/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به‌ترتیب با محلول‌پاشی لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد و کمترین مقدار (۱/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در گیاهان شاهد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد.

پرولین از جمله تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که در پاسخ به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و دماهای بالا تجمع می‌یابد. پرولین به‌عنوان محافظ اسمزی در گیاهان تحت تنش، در غلظت‌های بالا در سلول‌های گیاه بدون ایجاد اختلال در ساختار سلولی و متابولیسم، تجمع می‌یابد. بنابراین تجمع پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن و یکپارچگی غشای سلولی گیاهان تحت شرایط تنش ایفا می‌کند (Demiralay *et al.*, 2013). گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پرولین (پرولین اکسیداز) در گوجه فرنگی گردید که نتیجه آن تجمع پرولین در شرایط تنش است (Fujita *et al.*, 2003). گزارش شده است که با افزایش تنش کم‌آبی، محتوای پرولین در بافت برگ هندوانه (Barzegar *et al.*, 2018b)، لوبیا سبز (Hoseini *et al.*, 2020)، فلفل دلمه‌ای (Ghanbari *et al.*, 2021) و خربزه (Kavas *et al.*, 2013) افزایش یافت که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. اسید آمینه سیستئین مولکول پیش‌ساز گلوتاتیون، تیول غیر پروتئینی عمده است که نقش مهمی در پاسخ به تنش گیاه ایفا می‌کند (Sadak *et al.*, 2020). کاربرد ال-سیستئین (۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر)، محتوای پرولین را در برگ سویا تحت شرایط تنش خشکی و غیر تنش افزایش داد (Sadak *et al.*, 2020).



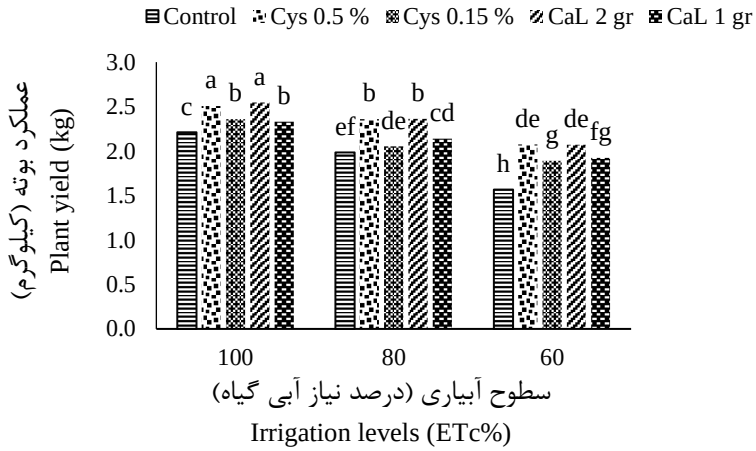
شکل۷- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر محتوای پرولین بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Figure 7- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on proline content of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

عملکرد بوته

تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری عملکرد بوته را کاهش داد و کاربرد اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم منجر به افزایش عملکرد بوته شد (شکل ۸). با توجه به نتایج، بیشترین عملکرد میوه در بوته (۲/۵ کیلوگرم) در گیاهان محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و ال-سیستئین ۰/۵ درصد در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد (شکل ۸).

خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی باعث کاهش قابل توجه عملکرد و کیفیت محصولات می‌شود. محققان گزارش کردند که در اثر تنش کم‌آبیاری، عملکرد میوه در بامیه (Barzegar *et al*., 2016)، خربزه (Barzegar *et al*., 2018a)، فلفل دلمه‌ای (Ghanbari *et al*., 2021) و هندوانه (Barzegar *et al*., 2018b) کاهش یافت. کاربرد اسیدهای آمینه ارتباط زیادی با فرآیندهای متابولیکی مختلف در سلول‌ها دارند که باعث رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. اثر افزایشی اسید آمینه سیستئین بر عملکرد گیاه را می‌توان به سنتز گلوتاتیون از سیستئین نسبت داد (Nasibi *et al*., 2016). تنش کم‌آبی به‌همراه تیمار کلسیم در افزایش عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی نقش به‌سزایی داشتند و کاربرد کلسیم راهبرد مفیدی برای افزایش تحمل به خشکی این گیاه و جلوگیری از کاهش عملکرد می‌باشد (Birgin *et al*., 2021). طبق تحقیقات انجام شده، محلول‌پاشی با لاکتات کلسیم در گیاه بادمجان، عملکرد بوته را افزایش داد (Ghahremani *et al*., 2021) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



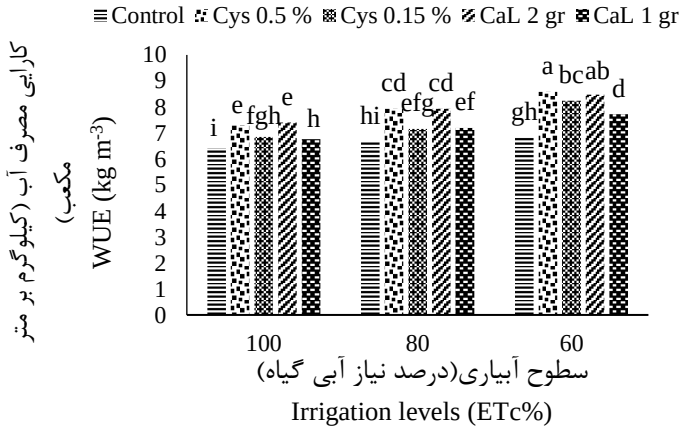
شکل۸- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر عملکرد بوته بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Figure 8- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on yield of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

کارایی مصرف آب

نتایج به‌دست آمده نشان داد با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری و کاربرد تیمارهای ال-سیستئین و لاکتات کلسیم، کارایی مصرف آب گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۹). با توجه به نتایج، بیشترین مقدار کارایی مصرف آب (۸/۵۸ و ۸/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در بوته‌های تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد تحت آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد.

کارایی مصرف آب با توانایی یک گیاه برای جذب غلظت‌های بالاتری از کربن همراه است و از دست دادن آب را از طریق کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها محدود می‌کند (Flexas *et al*., 2013). محققان دلیل افزایش کارایی مصرف آب را تحت تنش کم‌آبی، از دست دادن برگ‌های اضافی و کاهش سطح برگ و بستن یا نیمه باز بودن روزنه‌ها برای کاهش هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق اعلام نموده‌اند، در نتیجه گیاه از آب مصرفی برای تولید ماده خشک استفاده بهینه می‌کند که این امر موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Farahani *et al*., 2008). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش کم‌آبیاری روی برخی توده‌های خربزه ایرانی گزارش شد که با افزایش شدت کم‌آبیاری میزان کارایی مصرف آب افزایش یافت (Heydarian *et al*., 2017). همچنین کاربرد لاکتات کلسیم در کاهو سبب افزایش کارایی مصرف آب گردید (Khani *et al*., 2020). کلسیم به‌طور چشمگیری در فرآیندهای فتوسنتز دخالت دارد و کمبود آن از طریق کاهش کارایی کربوکسیلاسیون و فتوسنتز باعث کاهش قابل توجه بیوماس گیاه می‌شود (Borghesi *et al*., 2013).



شکل۹- اثر محلول‌پاشی ال-سیستئین (Cys) و لاکتات کلسیم (CaL) بر کارایی مصرف آب (WUE) گیاه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Figure 9- The effect of foliar application of L-cysteine (Cys) and calcium lactate (CaL) on water use efficiency (WUE) of eggplant under different irrigation levels. Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج، شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه بادمجان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری قرار گرفتند. تنش کم‌آبیاری موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل و افزایش محتوای کاروتنوئید برگ، نشت یونی، پرولین، محتوای نسبی آب برگ گردید. همانطور که نتایج نشان داد تنش کم‌آبیاری عملکرد میوه را کاهش داد و باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید. کاربرد تیمارهای ال-سیستئین و لاکتات کلسیم بخصوص در غلظت‌های بالاتر با افزایش تجمع پرولین، محتوای نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سطح برگ و حفظ ساختار غشاء سلولی و در نتیجه کاهش نشت یونی منجر به افزایش رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری بهینه و تنش کم‌آبیاری شد. بنابراین با توجه به نتایج، کاربرد اسید آمینه سیستئین ۰/۵ درصد و لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر جهت بهبود رشد، شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه بادمجان پیشنهاد می‌گردد.

References

- Ahmadi-Mirabad, A., Lotfi, M. & Roozban, M.R. (2014). Growth, yield, yield components and water-use efficiency in irrigated cantaloupes under full and deficit irrigation. *Electronic Journal of Biology*, 10(3), 79-84.
- Aminifard, M.H., Gholami, M., Bayat, H. & Moradi Nezhad, F. (2020). The effect of fulvic acid and amino acid application on physiological characteristics, growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology,* 12(3), 373-388.
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy journal*, 23, 112-121.
- Ashraf, M. & Arfan, M. (2005). Gas exchange characteristics and water relations in two cultivars of Hibiscus esculentus under waterlogging. *Biologia Plantarum*, 49(3), 459-462.

- Aslani, S., Barzegar, T. & Nikbakht, J. (2019). Effect of humic acid on physiological and biochemical indices and yield of tomato under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, 21(2), 221-232. (In Farsi).
- Barzegar T., Moradi P., Nikbakht J. & Ghahremani Z. (2016). Physiological response of okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(2), 187-197.
- Barzegar, T., Heidaryan, N., Lotfi, H. & Ghahremani, Z. (2018a). Yield, fruit quality and physiological responses of melon cv. Khatooni under deficit irrigation. *Advances in Horticultural Science*, 32(4): 451-458.
- Barzegar, T., Parkhideh, J., Nekounam, F. & Nikbakht, J. (2018b). Evaluation of growth, yield and physiological responses of some watermelon accessions to water deficit stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10(2), 73-88. (In Farsi).
- Barzegar, T., Fateh, M. & Razavi, F. (2018c). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae*, 241, 293-303.
- Bates, L.S. (1973). Rapid determination of free proline water stress studies. *Plant Soil*. 39(1), 205-207.
- Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. & Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plants Growth Regulation*, 53(3), 185-194.
- Birgin, Ö., Akhoundnejad, Y. & Dasgan, H. Y. (2021). The effect of foliar calcium application in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought dtress in greenhouse conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(4), 2971-2982.
- Borghesi, E., Carmassi, G., Uguccioni, M. C., Vernieri, P. & Malorgio, F. (2013). Effects of calcium and salinity stress on quality of lettuce in soilless culture. *Journal of plant nutrition*, 36(5), 677-690.
- Daryanto, S., Wang, L. & Jacinthe, P. A. (2020). Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. Agricultural Water Management, 179, 18-33.
- Elkelish, A., El-Mogy, M. M., Niedbała, G., Piekutowska, M., Atia, M. A., Hamada, M. M. & Ibrahim, M.F. (2021). Roles of exogenous α-Lipoic acid and cysteine in mitigation of drought stress and restoration of grain quality in wheat. *Plants*, 10(11), 2318.
- FAOSTAT. 2019. Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC
- Farahani, A., Lebaschi, H., Hussein, M., Hussein, S. A., Reza, V. A. & Jahanfar, D. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 2, 125-131.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A. & Siddique, K.H.M. (2012). Drought stress in plants: An overview. In: Aroca, R. (eds) Plant responses to drought stress. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1
- Fateh, M., Barzegar, T. & Razavi, F. (2019). The effect of foliar

application of ascorbic acid and calcium lactate on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. *Journal of Horticulture Science*, 33(1), 79-87. (In Farsi).

- Flexas, J., Niinemets, U., Galle, A., Barbour, M.M., Centritto, M., Diaz-Espejo, A., Douthe, C., Galmes, J., Ribas Carbo, M., Rodriguez, P.L. & Rossello, F. (2013). Diffusional conductances to CO_2 as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water use efficiency. *Photosynthesis Research*, 117, 45-59.
- Fujita, T., Maggio, A., Garcia-Rios, M., Stauffacher, C., Bressan, R.A. & Csonka, L.N. (2003). Identification of regions of the tomato γ-glutamyl kinase that are involved in allosteric regulation by proline. *Journal of Biological Chemistry*, 278(16), 14203-14210.
- Ghahremani, Z., Mikaealzadeh, M., Barzegar, T. & Ranjbar, M.E. (2021a). Foliar application of ascorbic acid and gamma aminobutyric acid can improve important properties of deficit irrigated cucumber plants (*Cucumis sativus* cv. Us). *Gesunde Pflanzen*, 73(1), 77-84.
- Ghahremani, Z., Norouzi, M., Barzegar, T. & Ranjbar, M.E. (2021b). Calcium lactate and salicylic acid foliar application influence eggplant growth and postharvest quality parameters. *Acta Agriculturae Slovenica*, 117(2), 1-10.
- Ghanbari, F., Cheraghi, M. & Erfani Moghadam, J. (2021). The effect of kaolin on drought stress tolerance and some physiological responses of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 5(1), 63-75. (In Farsi)
- Harb, A., Krishnan, A., Ambavaram, M. M. & Pereira, A. (2010). Molecular and physiological analysis of drought stress in Arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. *Plant physiology*, 154(3), 1254-1271.
- Heydarian, N., Barzegar, T. & Ghahremani, Z. (2017). Effect of water deficit stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of some Iranian melon accessions. *Agricultural Crop Management*, 19(2), 287-302. (In Farsi)
- Hoseini, Z., Barzegar, T., Ghahremani, Z. & Nikbakht, J. (2020). Physiological responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Sanry) to foliar spray of salicylic acid and biostimulant megafol under deficit irrigation stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), 845-855. (In Farsi).
- Hoza, G., Jasim, M. M., Neata, G., Dinu, M., Becherescu, A., Apahidean, I. A. & Shalal, H. H. (2019). Effect of foliar spraying with arginine and cysteine and the number of stems on the growth and yield of cherry tomatoes grown in protected culture. *Scientific Papers-Series B, Horticulture*, 63(1), 417-423.
- Jalilian, J. & Heydarzadeh, S. (2015). Effect of cover crops, organic and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus Tinctorius*). *Journal of Agricultural Science*, 25(4), 71-85. (InFarsi)
- Kahlel, A.M.S. & Sultan, F.I. (2019). Response of four potato cultivars to soil application with organic and amino acid compounds. *Research on Crops*, 20(1), 101-108.
- Kavas, M., Baloglu, M. C., Akca, O., Kose, F. S. & Gokcay, D. (2013). Effect of drought stress on oxidative

damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. *Turkey Journal of Biology*, 37(4), 491-498.
- Khan, H.U., Link, W., Hhocking, T. & Stoddard, F. (2007). Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in fababean (*vicia faba* L.). *Plant and Soil*, 292, 205-217.
- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J. & Ghahremani, Z. (2019). Effect of foliar spray of calcium lactate on physiological characteristics, antioxidant activity and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under deficit irrigation. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 649-665. (In Farsi).
- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, 34(1), 11-24.
- Kou, L., Yang, T., Liu, X. & Luo, Y. (2015). Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *HortScience*, 50(12), 1801-1808.
- Martin-Diana, A., Rico, D., Barry-Ryan, C., Jesu, M. F., Mulcahy, J. & Gary, T. M. (2005). Comparison of calcium lactate with chlorine as a washing treatment for fresh-cut lettuce and carrots: quality and nutritional parameters. *Food and Agriculture*, 85, 2260-2268.
- Mujdeci, M., Senol, H., Cakamakci, T. & Celikok, P. (2011). The effects of different soil water matric suction on stomatal resistance. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 9, 1027-1029.
- Naeem, M., Naeem, M. S., Ahmad, R. & Ahmad, R. (2017). Foliar applied calcium induces drought stress tolerance in maize by manipulating osmolyte accumulation and antioxıdatıve responses. *Pakistan Journal of Botany*, 49(2), 427-434.
- Naghdi Badi, H., Labbafi, M.R., Qavami, N., Qaderi, A., Abdossi, V., Agharebparast M.R. & Mehrafarin, A.(2015). Responses of quality and quantity yield of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) to foliar application of bio-stimulator based on amino acids and methanol. *Journal of Medicinal Plant*, 14(2-54), 146-194. (In Farsi).
- Najafi, M., Arouiee, H., & Aminifard, M.H. (2022). Effects of folic acid and amino acid application on some morphophysiological characteristics of (*Cucumis sativus* L.) under deficit irrigation conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 12(4), 19-36. (In Farsi).
- Nasibi, F., Kalantari, K.M., Zanganeh, R., Mohammadinejad, G. & Oloumi, H. (2016). Seed priming with cysteine modulates the growth and metabolic activity of wheat plants under salinity and osmotic stresses at early stages of growth. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21(3), 279-286.
- Niazi, H., Barzegar, T., Ghahremani, Z. & Nadirkhanlou, L. (2021). Effect of light duration and calcium on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* cv. New Red Fire). *Journal of Vegetables Sciences*, 4(2), 111-131. (In Farsi).
- Nikbakht, J., Mohammadi, E. & Barzegar, T. (2020). Effect of salicylic acid foliar application under deficit irrigation conditions on yield and water use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* cv. Kish F_1). *Iranian Journal of Soil and*

- Sadak, M.S., Abd El-Hameid, A.R., Zaki, F.S., Dawood, M.G. & El-Awadi, M.E. (2020). Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max* L.) to cysteine application under sea salt stress. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 1-10.
- Sanaullah, M., Rumpel, C., Charrier, X. & Chabbi, A. (2012). How does drought stress influence the decomposition of plant litter with contrasting quality in a grassland ecosystem?. *Plant and Soil*, 352(1), 277-288.
- Sanikhani, M., Akbari, A. & Kheiry, A. (2020). Effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological characteristics in colocynth (*Citrullus colocynthis* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 9(35), 317-328. (In Farsi).
- Saremi, S., Gholipoor, M., Abbasdokht, H., Naghdi Badi, H.A., Mehrafarin, A. & Asghari, H. (2021). Evaluation of effect of foliar application of various amino acids on the bochemical responses of *Physalis alkekengi*. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 9(2), 39-52. (In Farsi).
- 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.
- Signarbieux, C. & Feller, U. (2011). Non-stomatal limitations of photosynthesis in grassland species under artificial drought in the field. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 192-197.
- Sogvar, O.B., Razavi, F., Rabiei, V. & Gohari, G. (2020). Postharvest application of L-cysteine to prevent enzymatic browning of "Stanley" plum fruit during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14788.

Water Research, 51(3), 553-561. (In Farsi).
- Parkhideh, J., Barzegar, T., Nekonam, F. & Nikbakht, J. (2018a). The evaluate of growth, yield and physiological responses of bitter apple (*Citrullus colocynthis*) under deficit irrigation stress condition. *Journal of Crops Improvement*, 20(2), 357-369. (In Farsi).
- Rahdari, P., Mozafari, A. & Panahi, B. (2013). Evaluation of foliar treatment of free amino acids effect on some of quantitative and qualitative parameters in pistachio (*Pistachia vera* L.) Ohadi (Fandoghi) cultivar. *Iranian Journal of Biology*, 25(4), 606-617. (In Farsi)
- Reham M.S., Khattab M.E., Ahmed S.S. & Kandil M.A.M. (2016). Influence of foliar spray with phenylalanine and nickel on growth, yield quality and chemical composition of genoveser basil plant. *African Journal of Agricultural Research*, 11(16), 1398-1410.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111.
- 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.
- Sadak, M.S., Abd Elhamid, E.M. & Ahmed, M.M.R.M. (2017). Glutathione induced antioxidant protection against salinity stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plant. *Egyptian Journal of Botany*, 57(2), 293-302.

- Vaziri, Z.H., Salamat, A., Ansari, M., Masihi, M., Heydari, N. & Dehghani Sanich, H. (2008). Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants) (Translation). Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, printing, Tehran. (In Farsi).
- Vorontsova, M.S. & Knapp, S. (2012). A new species of Solanum (*Solanaceae*) from South Africa related to the cultivated eggplant. *PhytoKeys*, 8, 1-11.
- Yang, H., Wu, Q., Ng, L. Y. & Wang, S. (2017). Effects of vacuum impregnation with calcium lactate and pectin methylesterase on quality attributes and chelate-soluble pectin morphology of fresh-cut papayas. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 901-913.
- Zhou, H., Zhou, Y., Zhang, F., Guan, W., Su, Y., Yuan, X. & Xie, Y. (2021). Persulfidation of nitrate reductase is involved in l-cysteine desulfhydrase-regulated rice drought tolerance. *International journal of molecular sciences*, 22(22), 12119.
- Zotarelli, L., Scholberg, J.M., Dukes, M.D., Munoz-Carpena, R. & Icerman, J. (2009). Wheat yield, biomass accumulation, root distribution andirrigation water use efficiency on a sandy soil, asaffected by nitrogen rate and irrigations cheduling. *Agricultural Water Management*, 961, 23-34.