

Effects of *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium* spp., and the Amino Acid L-Glutamic Acid on the Photosynthetic Apparatus, Ionic Status, and Floral Traits of *Chrysanthemum* (*Chrysanthemum morifolium*) under Salinity Conditions

Fariba Bagheri Barma¹  | Abdolhossein Rezaei Nejad²  | Mostafa Alifar³  | Hossein Mirzaei Najafgholi⁴ 

1. PhD student in Horticulture, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.
- 2[✉]. Professor of Horticulture, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: rezaeinejad.h@lu.ac.ir
3. Assistant Professor of Horticulture. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.
4. Assistant Professor of Plant Pathology- Bacteriology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.

Introduction

Climate change is causing soil salinization, resulting in crop losses worldwide. Among plant responses to salinity, mechanisms that control ion uptake, transport, and balance, as well as water potential, photosynthesis, cell division, osmotic adjustment, enzymatic activities, polyamine regulation, stress signaling, and formation of root apoplastic barriers play critical roles in salinity tolerance. To enhance plant tolerance to salinity stress, elicitors are employed as a short-term, viable solution to mitigate its adverse effects. *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium* spp., and L-glutamic acid play a vital role in maintaining normal plant growth and metabolism by influencing photosynthesis and respiration processes. These beneficial microorganisms and compounds serve as cofactors for enzymes such as catalase and ascorbate peroxidase, actively contributing to the removal of reactive oxygen species (ROS). *Chrysanthemum morifolium* is globally recognized as one of the most important ornamental plants, valued for both its medicinal and edible uses. Its remarkable diversity in flower types, colors, and plant architecture has secured its prominent position in the floriculture industry. Known as the "Queen of the East," this cut flower belongs to the Asteraceae family. Given the ornamental and medicinal importance of chrysanthemum and the prevalence of salinity stress, this study aims to explore the impact of *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium* spp., and L-glutamic acid spray. Specifically, it investigates how these treatments affect the effects of salinity stress on the Photosynthetic Apparatus, Ionic Status, and Floral Traits of chrysanthemum plants.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted using a completely randomized design with three replications in the research greenhouses of Lorestan University's Faculty of Agriculture. The experimental conditions included daytime temperatures ranging from 20 to 28 °C, nighttime temperatures from 15 to 20 °C, relative humidity maintained at 60-70%, and a light intensity of 400-500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The first factor involved salinity levels at concentrations of 0 (control), 30, 60, and 90 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, while the second factor included five levels: control, L-glutamic acid at 300 and 600 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and growth-promoting bacteria (*Pseudomonas putida* and *Curtobacterium* spp). Four-leaf seedlings were obtained from a standard greenhouse in Pakdasht and planted in 1.5-liter pots, with each pot containing one plant. The growth-promoting bacteria were applied twice: first by root immersion at planting, and then by foliar spraying eight days after planting. L-glutamic acid was applied three times: the first application occurred two weeks after planting, followed by two additional applications at 20-day intervals. All treatments were administered through irrigation every three days at a level corresponding to 90% of the field capacity. The soil mixture comprised an equal ratio of agricultural soil, sheep manure, and sand, maintaining a clay-sand loam texture. Following 128 days of applying salt stress and 45 irrigations, a comprehensive assessment of Photosynthetic Apparatus, Ionic Status, and Floral Traits was carried out. This included the measurement of plant rates of photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, and intercellular carbon dioxide concentration, as well as the maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv /Fm), the chlorophyll stability index, flower diameter, Concentration of sodium and potassium in leaves, and the duration of bud emergence and flower opening.

Results and Discussion

The results demonstrated that with increasing salinity stress, the rates of photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, and intercellular carbon dioxide concentration, as well as the maximum quantum efficiency of

photosystem II (Fv/Fm), the chlorophyll stability index, flower diameter, and the duration of bud emergence and flower opening significantly decreased, while flower wilting significantly increased. Furthermore, sodium concentration increased as a result of sodium chloride application with increasing stress levels. This increase impaired potassium uptake, leading to a reduction in potassium concentration and an increase in the sodium-to-potassium ratio in chrysanthemum leaves. The application of both plant growth-promoting bacterial strains and both concentrations of glutamic acid resulted in a significant improvement in all studied traits compared to the control. At salinity levels of 0 and 30 mmol L⁻¹, glutamic acid at 600 mmol L⁻¹ exhibited the greatest positive effect; however, at higher salinity levels (60 and 90 mmol L⁻¹), glutamic acid at 300 mmol L⁻¹ was more effective. Notably, flowering did not occur at the 90 mmol L⁻¹ salinity level.

Conclusions

The findings of this study indicated that salinity stress induced by sodium chloride significantly inhibited the growth and development of chrysanthemum by disrupting physiological processes. These disruptions included a reduction in the photosynthetic rate, a decline in quantum efficiency (Fv/Fm), a decrease in the chlorophyll stability index, limitations in gas exchange (reduced transpiration and stomatal conductance), and an imbalance in ionic homeostasis (increased leaf sodium and decreased leaf potassium). The consequences of these changes were a decline in flower quality, manifested as reduced flower diameter, delayed flowering, and increased wilting. However, the application of biological and metabolite-based strategies, such as plant growth-promoting bacteria and glutamic acid, was able to mitigate the adverse effects of salinity. These treatments led to an improvement in physiological indices and helped preserve flower quality. Therefore, these results demonstrate that employing these cost-effective and environmentally friendly strategies can be recommended as a scientific and practical approach for managing chrysanthemum cultivation under saline soil and water conditions.

Keywords: Flower wilting, Photosynthesis, Chlorophyll Stability Index, Stomatal conductance

بهبود تحمل به شوری و ویژگی‌های گل‌دهی گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) با کاربرد باکتری‌های محرک رشد و ال-گلوتامیک اسید

فریبا باقری برما^۱ | عبدالحسین رضایی نژاد^۲ | مصطفی عالی فر^۳ | حسین میرزایی نحفلی^۴

۱. دانشجوی دکتری باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
 ۲. استاد تمام علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
 ۳. استادیار علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
 ۴. استادیار علوم حشره‌شناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
- رایانامه نویسنده مسئول: rezaeinejad.h@lu.ac.ir

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش گیاه داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) به تنش شوری و برخی تعدیل‌کننده‌های تنش، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تنش شوری در چهار سطح (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) به همراه آب آبیاری و فاکتور دوم در پنج سطح (شاهد، ال-گلوتامیک اسید در دو غلظت ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار و تلقیح باکتریایی با سویه‌های *Pseudomonas putida* و *Curtobacterium spp.*) بود. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش تنش شوری، میزان فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm) شاخص ثبات کلروفیل، قطر گل، مدت زمان ظهور و باز شدن غنچه کاهش معنی‌دار می‌یابد و پژمردگی گل افزایش می‌یابد. به عنوان مثال شوری ۶۰ میلی‌مولار باعث کاهش ۳۸/۰۷ و ۵۸/۹ درصدی شاخص ثبات کلروفیل و قطر گل نسبت به شاهد شد اما استفاده از مواد محرک رشد افزایش ۴۱/۲۵ و ۲۹/۳۰ درصدی را به همراه داشت. همچنین با افزایش سطح تنش، غلظت پتاسیم کاهش پیدا کرد و به افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در برگ‌های داوودی منجر شد. استفاده از هر دو نوع باکتری و هر دو غلظت ال-گلوتامیک اسید باعث بهبود معنی‌دار تمامی صفات مورد بررسی نسبت به شاهد شد. در سطوح شوری صفر و ۳۰ میلی‌مولار، ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار بیشترین اثر را داشت؛ با این حال، در سطوح شوری بالاتر یعنی در سطوح شوری ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار، ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار موثرتر بود. شایان ذکر است که در سطح شوری ۹۰ میلی‌مولار، گل‌دهی رخ نداد.

واژه‌های کلیدی: پژمرده شدن گل، شاخص ثبات کلروفیل، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

با افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی سالم، گل‌های زینتی و دارویی و تأثیرات تنش‌های محیطی نظیر شوری بر عملکرد و کیفیت آن‌ها، پژوهش‌های کشاورزی معطوف به کشف راهکارهای نوین برای افزایش مقاومت گیاهان ارزشمند شده‌اند. حدود ۴۰ درصد سطح کره‌ی زمین را مناطق خشک تشکیل می‌دهند که این موضوع کشاورزی را به شدت به آبیاری وابسته کرده است. عوامل متعددی از جمله استفاده از این آب‌های شور، نرخ بالای تبخیر و تعرق، ظرفیت محدود شستشوی نمک در برخی خاک‌ها، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و نفوذ آب دریا به سفره‌های آب زیرزمینی و زمین‌های کشاورزی، موجب تشدید مشکل شوری خاک‌های زراعی شده‌اند (Safdar et al., 2019). از مجموع ۱۸ میلیون هکتار اراضی قابل کشت ایران، حدود ۶/۸ میلیون هکتار این اراضی به درجات مختلف شوری مبتلا هستند. بنابراین، محدودیت شوری در منابع خاک و آب از جمله شرایط تنشی مهم حاکم بر کشاورزی ایران محسوب می‌شود (Khosravi, 2016). همچنین کاهش محتوای کلروفیل (Seif et al., 2024)، کاهش کارایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای، CO₂ بین سلولی و انتقال الکترون، کاهش کلی فتوسنتز در گونه‌های گیاهی (Kumar et al., 2023) را به دنبال دارد. مطالعات متعدد بر روی گونه‌های مختلف زینتی نشان می‌دهد که تنش شوری عملکرد دستگاه فتوسنتزی و کیفیت کمی و کیفی گل‌ها را مختل می‌کند. در گل داوودی رقم Palisade White، تنش طولانی‌مدت شوری منجر به کاهش وابسته به دوز در پارامترهای فتوسنتزی شد، به طوری که در بالاترین سطح شوری، نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق حدود ۴۰ درصد کاهش یافت (Bandurska et al., 2022). این پاسخ شامل کاهش هدایت روزنه‌ای و به تبع آن کاهش جذب CO₂ و نرخ فتوسنتز در گیاهان دیگری مانند تاج‌خروس (Gholamzadeh et al., 2022)، ختمی و قرفنل (Ghasemi et al., 2023) نیز گزارش شده است. علاوه بر اختلال در فتوسنتز، تنش شوری ساختار و عملکرد

زایشی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طور مثال در گل نرگس شهلا، با افزایش شوری، قطر گل و عمر گلدانی کاهش معناداری یافت (Naseri Moghadam et al., 2019). این الگوی کاهش در کیفیت گل در گیاهان دیگری چون تاج خروس (Gholamzadeh et al., 2022) و گل رز (Omidi et al., 2022) نیز تأیید شده است. جالب آن‌که در برخی گونه‌ها مانند جعفری و آگراتوم، شوری اگرچه ممکن است منجر به گلدهی زودرس شود، اما این پدیده غالباً با کاهش چشمگیر در اندازه گل، کیفیت ظاهری و طول دوره گلدهی همراه است. افزایش شدت تنش شوری موجب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم و کلسیم در برگ گیاه مورد مطالعه می‌شود. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده در گیاه زینتی قرنفل (Ghasemi et al., 2023)، گونه‌های مریم‌گلی (Aghaei Joubani et al., 2015)، مرزه خوزستانی (Zaremanesh et al., 2021) و رزماری (Hejazi Mehri and Saadatfar, 2019) مطابقت دارند. به‌نظر می‌رسد که تجمع سدیم در شرایط شور، در اثر رقابت یونی موجب کاهش جذب عناصر ضروری مانند پتاسیم و کلسیم شده و در نهایت تعادل یونی گیاه را مختل می‌کند. امروزه جهت کاهش اثر بحران‌های زیست محیطی و بهبود بهره‌وری کشاورزی استفاده از محرک‌های زیستی مانند اسیدهای آمینه و باکتری‌های محرک رشد در مدیریت کشاورزی مدرن قابل توجه می‌باشد (Zandi and Basu., 2016). ال-گلوتامیک اسید به‌عنوان یک اسید آمینه کلیدی، در چندین مسیر متابولیکی گیاهان نقش حیاتی ایفا می‌کند. این ترکیب نه تنها پیش‌ساز سنتز سایر اسیدهای آمینه مانند گلوتامین، پرولین و آرژینین است، بلکه به‌عنوان واسطه در چرخه کربس، سنتز پروتئین‌ها، تنظیم pH سلولی و انتقال نیترژن نقش دارد (Philippe et al., 2019). در شرایط تنش غیرزیستی نظیر شوری، ال-گلوتامیک به گیاهان کمک می‌کند تا با این شرایط نامساعد سازگار شوند. علاوه بر این، ال-گلوتامیک اسید در واکنش‌های ترانس‌آمیناسیون و متابولیسم نیترژن نقش دارد و بر جذب این عنصر در گیاهان تأثیر مستقیم می‌گذارد. کاربرد ال-گلوتامیک می‌تواند سرعت بیوسنتز کلروفیل و بازده فتوسنتز را افزایش دهد. این امر منجر به بهبود رشد گیاهان، به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی می‌شود (Garcia et al., 2018). Caparros & Lao., 2018. در گل ژربرا، مصرف ۸ گرم در لیتر اسید گلوتامیک منجر به افزایش آنتوسیانین، افزایش عمر پس از برداشت و کاهش خمیدگی ساقه شد (Farahmandi et al., 2022). در انگور بی‌دانه رقم تامسون، کاربرد برگی ترکیب اسید گلوتامیک و ویتامین B، غلظت نیترژن، فسفر و پتاسیم برگ‌ها و کیفیت میوه را بهبود بخشید (Abou-Zaid and Eissa, 2019). همچنین، در گیاهچه‌های گندم تحت تنش شوری، استفاده خارجی از اسید گلوتامیک باعث کاهش تجمع سدیم (Na^+) و حفظ سطح مطلوب پتاسیم (K^+) گردید (Li et al., 2020). باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های هم‌افزایی، از جمله تنظیم اسمزی، تحریک تجمع اسمولیت و سیگنال‌دهی هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب مواد مغذی، دستیابی به هموستاز یونی، کاهش تنش اکسیداتیو از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود فتوسنتز (Karimi Sarnavi et al., 2024)، افزایش سنتز ترکیبات آلی فرار (Sudha et al., 2022) می‌توانند تنش ناشی از شوری را در گیاهان کاهش دهد. تلقیح نهال‌های آووکادو در معرض شوری خاک با باکتری‌های محرک رشد گیاه از جنس *Bacillus* و *Pseudomonas* موجب کاهش تجمع یون‌های کلر و سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش محتوای پتاسیم در برگ‌ها گردید (Solórzano-Acosta et al., 2023). گل داوودی یکی از گل‌های شاخه‌بریده پیش‌رو در بازار بین‌المللی است. این گل به خانواده کاسنیان تعلق دارد. ارقام مدرن گل داوودی در تنوع شگفت‌انگیزی از رنگ‌ها، ترکیب‌های رنگی و سبک‌های گلبرگ عرضه می‌شوند. این گیاه روز کوتاه در بیش از ۱۴۰ کشور در مقیاس جهانی کشت می‌شود (Suvija et al., 2016). با توجه به مزایای اسیدهای آمینه و باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش‌های غیرزیستی، مکانیسم‌های اساسی و نقش کاهنده‌ی آنها در تنش شوری به ندرت در باغبانی زینتی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. لذا در این پژوهش، هدف بررسی تأثیر، منابع و غلظت‌های مختلف اسید آمینه و باکتری‌های محرک رشد بر تبادلات گازی، ویژگی‌های فنولوژیکی و جذب برخی عناصر گیاه داوودی تحت تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال ۱۴۰۳ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (خرم‌آباد؛ $33^{\circ}29'$ عرض شمالی، $48^{\circ}22'$ طول شرقی؛ ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا) انجام شد. میانگین دمای روزانه گلخانه ۲۰ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵۰ تا ۷۰ درصد و شدت نور ۴۰۰ تا ۵۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود. نشاهای

چهاربرگی گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) رقم Barca^N از گلخانه‌ی استاندارد شهرستان پاکدشت تهیه و در سینی‌های نشا به گلخانه‌ی دانشگاه لرستان منتقل شدند. قلمه‌ها تحت شرایط کنترل‌شده نوری، دمایی و رطوبتی پرورش یافته و با دقت انتخاب شدند تا از نظر طول و قطر ساقه، تعداد برگ و سلامت ظاهری مشابه بوده و عاری از آفات و بیماری باشند. یک هفته پس از انتقال، در هر گلدان یک گیاه کشت شد و تا استقرار کامل، آبیاری روزانه انجام گرفت. بستر کشت شامل مخلوط ماسه، کود دامی پوسیده گوسفندی و خاک زراعی به نسبت مساوی بود. بافت خاک مورد استفاده لومی رسی-شنی با ترکیب ۷۱/۷۱ درصد شن، ۴/۰۸ درصد سیلت و ۲۴/۲ درصد رس تعیین شد. آزمایش به صورت فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل چهار سطح شوری (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل هدایت الکتریکی ۰/۵) و فاکتور دوم شامل پنج سطح (شاهد، ال-گلوتامیک اسید در دو غلظت ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار و تلقیح باکتریایی با سویه‌های *Pseudomonas putida* و *Curtobacterium spp.*) است. لذا آزمایش دارای ۲۰ ترکیب تیماری با سه تکرار و هر تکرار چهار گلدان در مجموع ۲۴۰ گلدان می‌باشد. اسید آمینه گلوتامیک (تهیه شده از شرکت سیگما-آلدریج) به صورت محلول پاشی و دو باکتری محرک رشد سودوموناس و کورتوباکتریوم جدا شده از ریزوسفر گندم در شهرستان سلسله با جمعیت 10^8 CFU. ml (شمارش شده به روش سری رقت و در نهایت استفاده از میزان جذب در دستگاه اسپکتروفوتومتر) به صورت غوطه‌وری ریشه هنگام کاشت و محلول پاشی (خیس شدن کامل سطح گیاه ۸ روز بعد از کاشت) مورد استفاده قرار گرفت. دو هفته پس از کاشت نشا، اولین مرحله محلول پاشی ال-گلوتامیک اسید انجام شد، بعد از اولین محلول پاشی تیمارهای شوری به همراه آب آبیاری اعمال شد و دو مرحله بعدی اسید آمینه پاشی به فاصله ۲۰ روز تکرار گردید. برای اعمال تیمار تنش شوری فاصله آبیاری ثابت (۳ روز یک‌بار) و مقدار آبیاری ثابت (۳۰۰ سی‌سی) در نظر گرفته شد و از نمک کلرید سدیم خوراکی تصفیه‌شده و بدون ید برای ایجاد تنش شوری استفاده شد. در زمان گلدهی شاخص‌های زیر اندازه‌گیری شدند: خصوصیات گل شامل قطر گل، زمان ظهور غنچه، باز شدن گل (شروع گلدهی) و پژمردگی گل می‌باشد. زمان ظهور غنچه، مصادف با مشاهده‌ی اولیه غنچه از زمان کاشت قلمه چهاربرگی در نظر گرفته شد.

پارامترهای تبادلات فتوسنتزی شامل سرعت فتوسنتز خالص (Net photosynthesis rate)، بر اساس میکرومول (دی‌اکسید کربن) بر مترمربع بر ثانیه، هدایت روزنه‌ای (Stomatal conductance)، برحسب مول (آب) بر مترمربع در ثانیه، سرعت تعرق برگ (Leaf transpiration rate) برحسب میلی‌مول (آب) بر مترمربع بر ثانیه و میزان دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم (ppm) به‌طور همزمان با استفاده از دستگاه قابل‌حمل اندازه‌گیری تبادلات گازی (Handheld Photosynthesis System) مدل CI-340، ساخت شرکت CID Bio-Science آمریکا اندازه‌گیری شدند. اساس کار این دستگاه میزان دی‌اکسید کربن مصرفی توسط گیاه است که از برگ‌های قسمت وسط و توسعه یافته در ساعات آفتابی روز بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح و در شرایط نور ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه فاکتورهای زیر اندازه‌گیری شد. حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm) نیز با استفاده از دستگاه فلوریمتر مدل PAM-2500 ساخت شرکت Walz آلمان، از برگ‌های توسعه یافته قسمت وسط گیاه اندازه‌گیری شد (Tiwari et al., 1998). شاخص ثبات کلروفیل از معادله (۱) به‌دست آمد (Vinaya Rai and Parthiban, 1995):

$$\text{Chlorophyll Stability Index (CSI) (\%)} = \frac{\text{Total chlorophyll contents (stressed)}}{\text{Total chlorophyll contents (control)}} \times 100 \quad (1)$$

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سدیم و پتاسیم، ابتدا بافت گیاهی در کوره با دمای ۵۵۱ درجه سلسیوس به خاکستر تبدیل شد. سپس به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال افزوده گردید تا نمونه‌ها حل شدند. محلول‌های حاصل پس از صاف کردن با کاغذ صافی، با آب مقطر به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. در نهایت غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه شعله‌سنج (Flame Photometer) اندازه‌گیری شد (Musa et al., 2022). تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MinitabV20 صورت گرفت. مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل تنش شوری، محلول پاشی مواد محرک رشد بر قطر گل، زمان ظهور و باز شدن غنچه‌ی گیاه داوودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش شدت تنش شوری شاخص‌های مذکور کاهش یافت؛ به طوری که در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار، کاهش ۳۸/۰۷ درصدی قطر گل نسبت به شاهد را نشان داد. کاربرد مواد محرک رشد، موجب افزایش شاخص‌های فوق در شرایط تنش و بدون تنش شد؛ به گونه‌ای که در شرایط تنش شدید ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار به ترتیب باعث افزایش ۲۹/۳۰، ۱۰/۴۱ و ۷/۷۱ درصدی قطر گل، زمان ظهور و باز شدن غنچه‌ی گل نسبت به شاهد شد. همچنین نتایج نشان داد که در شوری صفر و ملایم (۳۰ میلی‌مولار نمک) غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار ال-گلوتامیک اسید بیشترین تأثیر را داشت. در حالی که در شرایط شوری شدید (۶۰ میلی‌مولار نمک) غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار این اسید آمینه مؤثرتر بود (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده و متقابل تنش شوری، محلول پاشی باکتری‌های محرک رشد و ال-گلوتامیک اسید بر زمان پژمرده شدن گل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تنش شوری موجب تسریع فرآیند پژمرده شدن گل گردید؛ به طوری که در شرایط تنش ملایم و شدید به ترتیب کاهش ۳/۸۲ و ۷/۴ درصدی نسبت به شاهد را نشان داد. کاربرد مواد محرک رشد در شرایط شاهد و تنش شوری، موجب افزایش مدت زمان تا پژمرده شدن گل شد؛ به گونه‌ای که در شرایط تنش شدید، تیمار ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار، افزایش ۷/۴ درصدی نسبت به شاهد نشان داد در شرایط بدون تنش، تیمار ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار، بیشترین تأثیر را در افزایش زمان لازم تا پژمرده شدن گل داشت و موجب افزایش ۱۲/۳۳ روزه نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). تیمار تنش شدید بدون استفاده از مواد محرک رشد، کمترین مدت زمان تا پژمرده شدن گل را نشان داد. نتایج نشان داد، تنش شوری، باعث کاهش قطر گل شد. این یافته با نتایج پژوهش‌های قبلی روی گل جعفری و نرگس شهلا همخوانی دارد (Naseri Moghadam et al., 2019; Behzad et al., 2023). مطالعه سی‌پریانو و همکاران (Cipriano et al., 2018) نشان داد که کاربرد *Pseudomonas putida* در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای موجب افزایش معنی‌دار قطر، تعداد گل و عمر گل داوودی گردید. همچنین، محلول پاشی اسیدهای آمینه بر روی دو رقم گل جعفری آفریقایی (زرد و نارنجی) تأثیر قابل توجهی بر بهبود خصوصیات گل از جمله قطر گل و ویژگی‌های بیوشیمیایی این گل خوراکی در شرایط تنش شوری داشت (Haghparvar et al., 2022).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثرات شوری آب و محلول پاشی برگی مواد محرک رشد بر صفات گل‌دهی گیاه داوودی

Table 1. Analysis of variance of the effects of Water Salinity and foliar application of growth-promoting substances on the Flowering Traits of Chrysanthemum

منبع تغییرات	درجه آزادی	قطر گل	ظهور غنچه گل	باز شدن گل	پژمردگی
Source of variation	DF	Diameter Flower	Flowering	Openflower	Flowerwilting
شوری	3	1772**	240**	236**	351**
تیمارها	4	104**	284*	101**	196**
WS × T	12	12.29**	32**	8.84**	17.88**
خطای آزمایش	40	3.61	6.66	2.80	5.15
ضریب تغییرات (%)		3.85	2.07	1.28	1.66

* و **: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات گل‌دهی گیاه داوودی تحت تیمار تنش شوری و کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium spp* و اسید آمینه ال-گلوتامیک اسید

Table 2. Mean comparison of the gas exchange of chrysanthemum under Water Salinity and the application of growth-promoting substances *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium spp* and amino acid L-glutamic acid

شوری Salinity	ترکیب Compound	غلظت Concentration mM	قطر گل Diameter Flower (mm)	باز شدن غنچه flowering	باز شدن گل open flower	پژمرده شدن گل flower wilting
0	Control	0	54.45 cd	120 de	129 e	139 fgh
	L-glutamic acid	300	59.9 ab	127 bc	134 xbc	146 bcd
	PGPR	600	63.10 a	135 a	138 a	151 a
	<i>Pseudomonas putida</i>		56.88 bc	123 cd	132 cd	142 def
	<i>Curtobacterium spp</i>		60.86 b	131 ab	136 ab	148 ab
	Control	0	49.01 ef	116 efg	125 g	134 i
30	L-glutamic acid	300	48.47 ef	123 cd	130 de	141 efg
	PGPR	600	52.28 de	131 ab	134 bc	147 bc
	<i>Pseudomonas putida</i>		46.28 fg	119 def	128 ef	138 gh
	<i>Curtobacterium spp</i>		50.41 def	127 bc	132 cd	144 cde
	Control	0	33.72 j	112 g	121 h	129 j
	L-glutamic acid	300	43.60 gh	127 bc	130 de	142 efg
60	PGPR	600	40.12 hi	119 def	126 fg	136 hi
	<i>Pseudomonas putida</i>		38.95 i	115 fg	124 g	133 i
	<i>Curtobacterium spp</i>		43.18 ghi	123 cd	129 e	139 fgh

اعداد هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند.

نتایج نشان داد که تنش شوری باعث تسریع در ظهور غنچه گل، باز شدن گل و در نهایت پژمرده شدن گل شد. در مقابل، محلول پاشی مواد محرک رشد، مدت زمان ظهور و باز شدن غنچه و پژمردگی را به تأخیر انداخت. تحقیقات مختلف روی دو گونه گل زینتی جعفری (*Tagetes patula*) و آگراتوم (*Ageratum mexicanum*) با غلظت‌های مختلف NaCl نشان داد که تنش شوری باعث تسریع در ظهور جوانه گل، گلدهی و کاهش دوره گلدهی می‌شود؛ اما این گلدهی زودرس معمولاً با کاهش کیفیت گل، اندازه کوچکتر و کاهش طول عمر گل همراه است (Zapryanova and Atanassova, 2009). همچنین، استفاده از آب شور به عنوان محلول گلدانی برای نگهداری گل شاخه بریده نرگس نشان داد با افزایش مقدار نمک در آب گل شاخه بریده، سرعت باز شدن و پژمردگی گل‌ها افزایش یافته و زمان گلدهی کوتاه‌تر شد (Jezdinsky et al., 2024). باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیزم‌هایی مانند تولید ایندول استیک اسید، انحلال فسفر و پتاسیم، تثبیت نیتروژن و تولید سیدروفور باعث افزایش جذب مواد غذایی، بهبود رشد ریشه، ارتقای رشد رویشی و شرایط فیزیولوژیکی می‌شوند و از گل‌دهی زودرس گیاه جلوگیری می‌کنند (Castiglione et al., 2021). این باکتری‌ها با ایجاد تعادل یونی، بهبود فتوسنتز و افزایش میزان پروتئین‌های دخیل در فتوسنتز (Bandehagh et al., 2018) و افزایش جذب آب، تعادل هورمون‌های گیاهی (تولید اکسین و سایتوکینین) و ترشح ترکیبات دفاعی (Salimi et al., 2021)، همچنین افزایش ایندول استیک اسید (Azarmi-Atajan et al., 2024)، موجب افزایش تحمل گیاه در برابر شوری شده و از گل‌دهی زودرس ناشی از تنش جلوگیری می‌کنند. اسیدهای آمینه نیز با تنظیم هورمون‌های گیاهی (Bajguz et al., 2023)، حفظ تعادل نیتروژن و سنتز پروتئین‌ها (Batista-Silva et al., 2020) و از طریق افزایش پرولین و بهبود تنظیم اسمزی (Heinemann and Hildebrandt, 2021)، به متابولیسم گیاه کمک می‌کنند. همچنین، آن‌ها با تامین پیش‌سازهای لازم برای چرخه‌های انرژی، به تقویت فتوسنتز و تولید انرژی (Araújo et al., 2023)؛ همچنین، آن‌ها با تامین پیش‌سازهای لازم برای چرخه‌های انرژی، به تقویت فتوسنتز و تولید انرژی (Heinemann and Hildebrandt, 2021) کمک کرده و در نهایت، رشد رویشی گیاه را بهبود بخشیده و با به تأخیر انداختن سیگنال‌های رشدی مرتبط، از ورود زودهنگام آن به فاز زایشی جلوگیری می‌کنند (Kawade et al., 2023). در این میان، ال-گلوتامیک اسید به‌عنوان پیش‌ساز گلوتامین و گاما آمینوبوتیریک اسید، ابتدا به گلوتامین و سپس به GABA تبدیل می‌شود؛ ترکیبی که نقش کلیدی در تنظیم پاسخ‌های گیاه به تنش و حفظ رشد رویشی ایفا کرده و می‌تواند فرآیند زود گل‌دهی را به‌تعویق اندازد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر ساده و متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی مواد محرک رشد بر شاخص ثبات کلروفیل گیاه داوودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش تنش شوری، شاخص ثبات کلروفیل کاهش یافت. در غلظت ۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش ۵۸/۹ درصدی مشاهده شد. استفاده از مواد محرک رشد، باعث افزایش شاخص ثبات کلروفیل در شرایط شوری شد (جدول ۲). نتیجه پژوهش ظریفی‌نیا و همکاران (Zarifinia et al., 2018) بر روی ماش نشان داد که تنش محیطی موجب کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل و شاخص ثبات کلروفیل به‌عنوان معیار پایداری رنگیزه‌ها در شرایط تنش شد و ژنوتیپ‌هایی که CSI بالاتری داشتند، مقاومت بیشتری به تنش محیطی نشان دادند. شاکرمی و همکاران (۲۰۲۴) نیز کاهش شاخص ثبات کلروفیل را در تره ایرانی تحت تنش شوری گزارش کردند (Shakarami et al., 2024). در شرایط شوری، افت محتوای کلروفیل ممکن است به‌دلیل تخریب ساختارهای کلروپلاستی، اکسیداسیون نوری رنگیزه‌های کلروفیلی، واکنش‌های مخرب با گونه‌های فعال اکسیژن، و کاهش تولید پیش‌ماده‌های سنتزی رخ دهد. علاوه بر این، فعالیت آنزیم‌هایی نظیر کلروفیل‌از و اختلال در تنظیم هورمون‌های مرتبط با فتوسنتز می‌تواند مانع تولید کلروفیل‌های جدید شوند (Farouk & Al-Amir, 2019). نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ال-گلوتامیک اسید و باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش شاخص ثبات کلروفیل در شرایط تنش شوری گردید. این افزایش بیانگر توانایی گیاه در حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی و پایداری ساختار کلروپلاست تحت شرایط نامساعد است. به نظر می‌رسد ال-گلوتامیک اسید با ایفای نقش در مسیرهای متابولیکی و سنتز پروتئین، از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش داده است. از سوی دیگر، باکتری‌های محرک رشد مانند *Pseudomonas* و *Curtobacterium* تولید هورمون‌های محرک رشد مانند سیتوکینین‌ها و آنزیم ACC دامیناز، سطح اتیلن را کاهش داده و جذب عناصر غذایی را بهبود بخشیدند. این مکانیسم‌ها در مجموع موجب افزایش پایداری کلروفیل و ارتقای شاخص CSI شدند. یافته‌های حاضر با گزارش‌های پیشین همخوانی دارد؛ به‌طور مثال، گورسوی و همکاران (Gürsoy et al., 2022) نشان دادند که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در گل‌گلرنگ تحت شوری موجب افزایش CSI و درصد تحمل شوری گردید. همچنین پینگ و همکاران (Peng et al., 2023) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد با بهبود وضعیت کلروفیل و کاهش اثرات شوری، موجب افزایش شاخص‌های ثبات کلروفیل می‌شوند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر ساده و متقابل تنش شوری، محلول‌پاشی مواد محرک رشد بر کلروفیل فلورسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کلروفیل فلورسانس با افزایش تنش شوری، کاهش یافت؛ به طوری که در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد ۱۷/۹۰ درصد کاهش نشان داد. استفاده از مواد محرک رشد، منجر به افزایش کلروفیل فلورسانس شد. در شرایط تنش شدید، تیمار ال-ال-گلوتامیک اسید ۳۰۰ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را بر مقدار کلروفیل فلورسانس نسبت به تیمار شاهد داشت. در مجموع، بیشترین و کمترین کلروفیل فلورسانس، به‌ترتیب در تیمار در شرایط غیرتنش تیمار ال-گلوتامیک اسید ۶۰۰ میلی‌مولار با ۵۷/۵۰ درصد افزایش و تیمار تنش شدید شاهد به‌دست آمد (جدول ۲). بقای گیاه به فعالیت فتوسنتزی بهینه وابسته است؛ فرآیندی که به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد و یکی از حساس‌ترین واکنش‌های زیستی در برابر تنش شوری محسوب می‌شود (Badawy et al., 2021). فتوسنتز تحت تأثیر دو گروه از عوامل محدودکننده قرار دارد: عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای. در مراحل اولیه تنش، بسته شدن روزنه‌ها موجب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در فضای بین‌سلولی برگ و در نتیجه کاهش انتقال آن به کلروپلاست‌ها می‌شود که افت نرخ فتوسنتز را به دنبال دارد (Garcia-Caparrós & Lao., 2018). در مقابل، تنش شوری طولانی‌مدت با تجمع یون‌های سمی مانند سدیم و کلر در سلول‌ها، محدودیت‌های غیرروزنه‌ای را ایجاد می‌کند که مستقیماً بر متابولیسم و رشد سلولی اثر منفی دارند (Liang et al., 2018). این عوامل شامل کاهش مقدار کلروفیل، افت فعالیت آنزیم روبیسکو، مهار سنتز ریبولوز بیس فسفات و اختلال در انتقال الکترون به فتوسیستم II هستند. همچنین، افزایش پتانسیل اسمزی در ناحیه‌ی ریشه در اثر شوری (Gholami et al., 2023)، موجب تحریک ترشح هورمون آبسزیک اسید (ABA) و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (Kumar et al., 2023).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش شوری و محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida* و *Curtobacterium spp.* و اسید آمینه ال-گلوتامیک اسید بر میزان فتوسنتز خالص گیاه داوودی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش شدت تنش شوری، میزان فتوسنتز کاهش یافت؛ به طوری که در تنش ملایم (۳۰ میلی‌مولار نمک) و شدید (۶۰ میلی‌مولار نمک) به ترتیب کاهش ۳۷/۰۶ و ۶۰/۸۳ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. کاربرد مواد محرک رشد در شرایط شاهد و تنش شوری، موجب افزایش میزان فتوسنتز گردید. در شرایط شاهد و تنش ملایم تیمار ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار، افزایش ۶۷/۳۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد نشان داد. در شرایط تنش شدید تیمار ال-ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار، بیشترین میزان فتوسنتز خالص را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده و متقابل تنش شوری، محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida* و *Curtobacterium spp.* و ال-گلوتامیک اسید بر میزان دی‌اکسید کربن داخلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، غلظت دی‌اکسید کربن داخلی با افزایش تنش شوری، کاهش نشان داد؛ به طوری که در شرایط تنش شدید کاهش ۱۲/۸۹ درصدی نسبت به شاهد را نشان داد. کاربرد مواد محرک رشد، منجر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن داخلی شد. در شرایط تنش شدید شد. تیمار ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را بر مقدار دی‌اکسید کربن داخلی نسبت به تیمار شاهد داشت و باعث افزایش ۳۹/۸۰ درصدی نسبت به شاهد شد. در مجموع، بیشترین و کمترین مقادیر دی‌اکسید کربن داخلی، به ترتیب در شرایط بدون تنش و تیمار ال-گلوتامیک اسید ۶۰۰ میلی‌مولار و تیمار تنش شدید شاهد به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و محلول‌پاشی مواد مختلف بر صفات فیزیولوژیک داوودی

منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص مقاومت کلروفیل	کلروفیل فلورسانس	میزان فتوسنتز	غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی	هدایت روزنه‌ای	میزان تعرق
Source of variation	DF	Chlorophyll Stability Index (%)	Fv/Fm	Photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Internal CO ₂ concentration ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
شوری	3	4091.55**	0.181**	364.21**	13071.4**	2.34**	79349.2**
Water Salinity (WS)							
تیمارها	4	1422.59**	0.065**	28.186*	13207.3**	0.12**	8546.6**
Treatment (T)							
خطای	12	157.77**	0.008**	5.57*	588.7**	0.02**	1285.3**
WS × T							
خطای	40	12.49	0.001	0.665	69.5	0.0049	142.4
Error							
ضریب تغییرات		4.84	5.54	7.74	3.19	8.31	3.35
C.V (%)							

Table 3. Analysis of variance of salinity stress and foliar application of growth-promoting substances on physiological characteristics in chrysanthemum

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده و متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida* و *Curtobacterium spp.* و ال-گلوتامیک اسید بر تعرق و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش شدت تنش شوری، میزان تعرق روزنه‌ای کاهش یافت؛ به طوری که در شرایط تنش شدید، کاهش ۳۰/۸۴ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. کاربرد مواد محرک رشد در شرایط

شاهد و تنش شوری، موجب افزایش تعرق روزنه‌ای گیاه داوودی شدند. در شرایط تنش شدید، تمامی تیمارها، نسبت به شاهد، دارای اثر مثبتی بودند و تیمار ال-گلوتامیک اسید ۶۰۰ میلی‌مولار با افزایش ۳۰/۸۴ درصدی بیشترین تاثیر را داشت (جدول ۴). همچنین مشابه تعرق روزنه‌ای، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری، هدایت روزنه‌ای کاهش یافت؛ به طوری که در شرایط تنش ملایم، شدید و خیلی شدید کاهش ۲۷/۲۷، ۵۸/۱۸، ۶۷/۲۷ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. کاربرد مواد محرک رشد در شرایط شاهد و تنش شوری، موجب افزایش میزان هدایت روزنه‌ای گردید و در تنش شدید و خیلی شدید، به ترتیب افزایش ۵۴/۳، ۵۵/۵۵ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۴).

مطالعات پیشین کاهش ۴۰ درصدی وابسته به دوز نمک را در تبادلات گازی گل داوودی رقم Palisade White گزارش کردند (Bandurska et al., 2022). همچنین آسیب اکسیداتیو در فتوسیستم II در گیاه لیزیانوس تحت تنش شوری مشاهده شده است (Ashrafi et al., 2014). کاهش قابل توجه هدایت روزنه‌ای در تاج‌خروس نیز گزارش شده است (Gholamzadeh et al., 2022). علاوه بر این، کاهش نرخ فتوسنتز خالص، هدایت و تعرق و غلظت CO₂ زیر روزنه در ختمی (*Hibiscus syriacus*) و میخک تحت تنش شوری ثبت شده است (Cao et al., 2025). در نهایت، کاهش معنی‌دار در نرخ فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای در دو رقم قرنفل تحت تنش شوری گزارش شده است (Ghasemi et al., 2023). در پژوهش حاضر کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌ها شد که این امر ناشی از کاهش یون سدیم بود؛ زیرا مقدار کلروفیل ارتباط نزدیکی با نرخ فتوسنتز دارد (Liu et al., 2024). مشابه نتایج این پژوهش، در مطالعات دیگر نیز روند افزایشی محتوای کلروفیل و نرخ فتوسنتز در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد نعنای فلفلی (Karimi Sarnavi et al., 2024)، در کلم چینی (Wen et al., 2021; Fan et al., 2025) و نیشکر (Santos and Rigobelo, 2021) مشاهده شد.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک گیاه داوودی تحت تیمار تنش شوری و کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium spp.* و اسید آمینه ال-گلوتامیک اسید

شاخص	کلروفیل	سرعت فتوسنتز	دی اکسید کربن داخلی	هدایت روزنه‌ای	سرعت تعرق	مقاومت کلروفیل	غلظت	ترکیب	شوری
Chlorophyll Stability Index (%)	Fv/Fm	Photosynthesis rate (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Internal CO ₂ Concentration (μmol mol ⁻¹)	Stomatal conductance (mol m ⁻² s ⁻¹)	Transpiration rate (mol m ⁻² s ⁻¹)	Concentration (mM)	Compound	Salinity (mM)	
54.2m	0.78 cdef	14.3 de	232 e	1.10 cde	375 d	0	Control	0	
108bc	0.82 abc	16.06 abc	343 a	1.20 c	425 ab	300	L-glutamic acid		
115a	0.84 a	16.86 a	349 a	1.56 a	443 a	600	L-glutamic acid		
105cd	0.82 abc	15.20 cd	329 b	1.33 b	402 c	<i>Pseudomonas putida</i>			
112ab	0.83 ab	16.20 ab	348 a	1.43 b	434 ab	<i>Curtobacterium spp.</i>			
73.81 ij	0.75 efg	9.00 hi	323 b	0.80 g	334 fg	0	Control		
89.04 ef	0.79 bsde	11.33 f	318 b	0.92 f	370 de	300	L-glutamic acid	30	
99.91 d	0.81 abcd	15.06 bcd	323 b	1.15 cd	423 b	600	L-glutamic acid		
84.37 fg	0.78 bcdef	10.63 fg	319 b	1.00ef	350 ef	<i>Pseudomonas putida</i>			
90.71 e	0.8 abcde	13.36 e	323 b	1.08 de	384 cd	<i>Curtobacterium spp.</i>			
57.37 gh	0.57 j	5.6 lm	216 f	0.46 klm	259 jk	0	Control	60	
81.04 gh	0.78 bcdef	11.16 fg	283 c	0.71 hjk	339 fg	300	L-glutamic acid		
76.07 hi	0.74 fg	6.93 jkl	274 c	0.60 hij	280 i	600	L-glutamic acid		
67.56 k	0.69 hi	6.5 kl	247 d	0.49 jkl	301 h	<i>Pseudomonas putida</i>			
							PGPR		

320 gh	0.65 hi	256 d	9.86 gh	0.76 def	78.19 hi	<i>Curtobacteriu m spp</i>		
211 m	0.36 m	186 h	5.13 m	0.5 1k	43.03 n	0	Control	
301 h	0.56 ijk	251 d	7.96 ij	0.71 gh	68.56 jk	300	L- glutamic acid	90
249 kl	0.45 klm	246 de	6.7 jkl	0.66 i	57.05 m	600		
234 l	0.40 lm	201 g	5.73 klm	0.65 j	63.93 kl	<i>Pseudomonas putida</i>	PGPR	
270 ij	0.51 jkl	245 de	7.03 jk	0.69 hi	61.11 lm	<i>Curtobacteriu m spp</i>		

Table 4. Mean comparison of the physiological characteristics of chrysanthemum under Water Salinity and the application of of growth-promoting substances *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium* spp and amino acid L-glutamic acid

اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند.

همچنین، محلول پاشی اسیدهای آمینه بر روی برگ‌های گیاه خیار تحت تنش شوری، اثرات نامطلوب شوری بر ساختار دستگاه فتوسنتزی را خنثی کرد و از طریق تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی در کلروپلاست، تنش اکسیداتیو ناشی از نمک را کاهش داد و با بهبود راندمان فتوشیمیایی فتوسنتز همراه بود (Wu et al., 2019). بهبود جذب دی‌اکسید کربن، هدایت روزنه‌ای و کاهش تعرق در شرایط تنش محیطی با کاربرد اسیدهای آمینه در گندم (Maqsood et al., 2022)، کلم (Lee et al., 2017) و برنج (Rizwan et al., 2017) نیز گزارش شده است. تنش شوری با هدف قرار دادن فتوسیستم II، کارایی فتوسنتز را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پدیده از یکسو با تضعیف انتقال الکترون و تخریب مراکز واکنش و از سوی دیگر با مهار آنزیم‌های کلیدی، موجب افت شاخص Fv/Fm می‌شود. در نتیجه، آسیب وارده به دستگاه فتوشیمیایی و کاهش محتوای رنگدانه‌های کلروفیلی، ظرفیت نوری گیاه را کاهش می‌دهد (Peng et al., 2023). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تنش شوری موجب کاهش شاخص Fv/Fm در گیاه جعفری فرانسوی گردیده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Behzad et al., 2023). بهبود کلروفیل فلورسانس در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد، ناشی از نقش محافظتی آنها در حفظ یکپارچگی غشاهای تیلاکوئیدی، تثبیت کمپلکس‌های پروتئینی فتوسیستم II و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست است (Gao et al., 2022; Peng et al., 2023). در واقع، باکتری‌ها از طریق تعدیل شرایط در سطح مولکولی، به گیاه کمک می‌کنند تا سهم بیشتری از انرژی نورانی جذب شده را به‌طور کارآمد در مسیر فتوشیمیایی هدایت کند و از تلفات آن به صورت انرژی گرمایی یا فلورسانس غیرفعال جلوگیری نمایند (Gao et al., 2022). شواهد علمی نشان می‌دهند که کاربرد خارجی ال-گلوتامیک اسید با محافظت از فتوسیستم II، کارایی فتوسنتزی گیاهان تحت تنش شوری را افزایش می‌دهد. این آمینواسید از دو طریق؛ کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و القای تجمع پرولین، موجب بهبود حداکثر کارایی کوانتومی فتوسنتز دو در گیاه کاهو تحت تنش شوری شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش شوری و مواد محرک رشد بر غلظت عناصر سدیم و پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در گیاه داوودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است، درحالی‌که اثر متقابل آنها به ترتیب در سطح احتمال پنج درصد، پنج درصد و یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش تنش شوری، میزان جذب عنصر سدیم در برگ گیاه داوودی افزایش و میزان جذب عنصر پتاسیم کاهش یافت. کاربرد مواد محرک رشد در تمامی سطوح تنش شوری و در تمام غلظت‌های اعمال شده، موجب کاهش غلظت عنصر سدیم و افزایش غلظت عنصر پتاسیم در بافت برگ شد. به‌طوری‌که تیمار ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش و تنش شوری ملایم، به ترتیب کاهش ۴۲/۹ و ۱۴/۷۵ درصدی جذب سدیم و افزایش ۱۳/۹۳ و ۱۹/۹۶ درصدی جذب پتاسیم نسبت به شاهد را نشان داد (جدول ۶). با افزایش شدت تنش شوری، نسبت سدیم به پتاسیم در برگ گیاه به‌طور چشمگیری افزایش یافت؛ اما کاربرد مواد محرک رشد در تمامی سطوح تنش موجب کاهش این نسبت گردید. به‌طوری‌که در شرایط تنش خیلی شدید، تیمار ال-گلوتامیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار، کاهش ۳۴/۴ درصدی نسبت سدیم به پتاسیم را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و محلول پاشی مواد مختلف بر غلظت عناصر گیاه داوودی

Table 5. Analysis of variance of the effects Water Salinity and foliar application of different substances on the concentration of elements of chrysanthemum

پتاسیم / سدیم Na/K	پتاسیم K	سدیم Na	درجه آزادی DF	منبع تغییرات Source of variation
2057.16**	357.73**	3345.59**	3	شوری Water Salinity (WS)
65.47**	58.78*	25.38**	4	تیمارها Treatment
10.34**	2.12**	2.10**	12	WS × T
0.000116	1048270	50943	40	خطای آزمایش Error
6.07	3.08	4.21		ضریب تغییرات C.V (%)

* و **: به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

تنش شوری با ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی، به ویژه از طریق تجمع یون سدیم، تأثیرات عمیقی بر مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه می‌گذارد (Zhao et al., 2023). تجمع Na^+ در بافت‌های گیاهی از طریق رقابت یونی، جذب کاتیون‌های ضروری مانند پتاسیم و کلسیم را مختل می‌کند (Kopittke, 2012). این اختلال در تعادل یونی، با کاهش شادابی برگ، بسته شدن روزنه‌ها و محدودیت فتوسنتز همراه است. از سوی دیگر، کاهش بیش از حد فرودوکسین، منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و بروز آسیب اکسیداتیو به ماکرومولکول‌های سلولی می‌شود. در این شرایط، پتاسیم نقش محوری ایفا می‌کند. پتاسیم نه تنها برای فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین و تنظیم روزنه‌ها ضروری است، بلکه در حفظ هموستاز یونی، تنظیم تعادل اسمزی و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی نیز عمل می‌کند (Hasanuzzaman et al., 2018). بنابراین، کاهش غلظت K^+ در اثر رقابت با Na^+ ، گیاه را در برابر اثرات مخرب شوری آسیب‌پذیرتر می‌سازد. هرچند سدیم ممکن است تا حدی در افزایش فشار تورژسانس نقش داشته باشد، اما قادر به جایگزینی عملکردهای تنظیمی پتاسیم نیست و سمیت آن می‌تواند تا حد زیادی ناشی از ایجاد کمبود پتاسیم و کلسیم باشد (Sato et al., 2006). این یافته‌ها با نتایج گزارش شده در گیاه زینتی قرنفل (Ghasemi et al., 2023)، گونه‌های مریم‌گلی (Aghaei Joubani et al., 2015)، مرزه خوزستانی (Zaremanesh et al., 2021) و رزماری (Hejazi Mehrizi and Saadatfar, 2019) مطابقت دارند. کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Curtobacterium* spp. و *Pseudomonas putida* در مطالعات متعددی از طریق مکانیسم‌هایی مثل تولید فیتوهورمون‌ها (اکسین، جیبرلین)، تولید آنزیم ACC دامیناز (برای کاهش اتیلن تنشی)، حل‌کنندگی فسفات و تسهیل جذب عناصر غذایی حتی در شرایط شوری، موجب بهبود تعادل یونی، کاهش غلظت سدیم، افزایش غلظت پتاسیم و ارتقای تحمل گیاه شده است (Hung et al., 2022). محلول پاشی ال-گلوتامیک اسید در شرایط تنش شوری نیز می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای گیاهان را بهبود بخشد. در مطالعه‌ای بر روی کاهو نشان داده شد که تیمار ال-گلوتامیک اسید موجب افزایش جذب پتاسیم و کلسیم و کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی گردید. این تغییرات به حفظ تعادل یونی و کاهش اثرات منفی شوری بر رشد گیاه منجر شدند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Franzoni et al., 2021).

جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت عناصر گیاه داوودی تحت تیمار تنش شوری و کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida*، *Curtobacterium* spp. و اسید آمینه ال-ال-گلوتامیک اسید

Table 6. Mean comparison of the concentration of elements of chrysanthemum under Water Salinity stress and the application of growth stimulating bacteria *Pseudomonas putida*, *Curtobacterium* spp and amino acid L-glutamic acid

نمک Salinity (mM)	ترکیب Compound	غلظت Concentration (mM)	درصد سدیم %Na	درصد پتاسیم %K	سدیم / پتاسیم Na/ K
0	Control	0	96.77 l	3.22 de	29.96 k
	L-glutamic acid	300	94.61 m	5.38 b	17.56 k
		600	93.75 m	6.24 a	15.00 k

	PGPR	<i>Pseudomonas putida</i>	95.70 lm	4.29 bcd	22.26 k
		<i>Curvobacterium spp</i>	95.09 lm	4.90 bc	19.39 k
30	Control	0	99.39 i	0.60 f	165 h
	L-glutamic acid	300	99.22 jk	0.77 cd	127 ig
		600	99.15 k	0.84 bc	117 j
	PGPR	<i>Pseudomonas putida</i>	99.37 i	0.62 f	157 h
		<i>Curvobacterium spp</i>	99.30 ij	0.69 e	142 i
	Control	0	99.61 de	0.38 hi	261 e
60	L-glutamic acid	300	99.50 h	0.49 f	200 g
		600	99.53 gh	0.46 f	213 g
	PGPR	<i>Pseudomonas putida</i>	99.60 ef	0.39 ef	250 ef
		<i>Curvobacterium spp</i>	99.57 fg	0.42 gh	235 f
90	Control	0	99.74 a	0.25 k	385 a
	L-glutamic acid	300	99.60 d	0.39 g	252 ef
		600	99.64 c	0.35 ghi	284 d
	PGPR	<i>Pseudomonas putida</i>	99.70 ab	0.29 j	339 b
		<i>Curvobacterium spp</i>	99.67 bc	0.32 i	307 c

اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تنش شوری ناشی از کلرید سدیم با ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک شامل کاهش نرخ فتوسنتز، افت کارایی کوانتومی (Fv/Fm)، کاهش شاخص ثبات کلروفیل، محدودیت در تبادلات گازی (کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای) و برهم‌زدن تعادل یونی (افزایش سدیم و کاهش پتاسیم برگ)، اثرات بازدارنده‌ی قابل‌توجهی بر رشد و نمو داوودی دارد. پیامد این تغییرات، کاهش کیفیت گل از طریق کاهش قطر، تأخیر در گلدهی و افزایش پژمردگی بود. با این حال، استفاده از راهکارهای زیستی و متابولیت‌محور مانند باکتری‌های محرک رشد و ال-گلوتامیک اسید، توانست اثرات منفی شوری را تعدیل کرده و موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک و حفظ کیفیت گل گردد. بنابراین، این نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از این راهکارهای مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد علمی و عملی در مدیریت کشت داوودی در شرایط خاک و آب شور توصیه شود.

References

- Abou-Zaid, E. A. A., & Eissa, M. A. (2019). Thompson seedless grapevines' growth and quality as affected by glutamic acid, vitamin B, and algae. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 725–733. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00072-5>
- Aghaei Joubani, K., Taqi, N., & Kanani, M. R. (2015). Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. *Journal of Plant Process and Function*, 3(9), 85–96. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1393.3.9.8.5>
- Araújo, W. L., Nunes-Nesi, A., Fernie, A. R., & Tohge, T. (2023). Amino Acid Catabolism in Plants: A Bridge Between Stress and Energy Production. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1157640. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.09.005>
- Ashrafi, E., Razmjoo, J., Zahedi, M., & Pesarakli, M. (2014). Selecting alfalfa cultivars for salt tolerance based on some physiochemical traits. *Agronomy Journal*. 106(5), 1758–1764. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0569>
- Azarmi-Atajan, A. (2024). Isolation of Salinity and Drought-Tolerant Bacteria from the Rhizosphere of Plants and Evaluation of Some of Their Growth-Promoting Properties. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 2(3), 85-96. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.8513.1091>. [In Persian].
- Badawy, S. A., Zayed, B. A., Bassiouni, S. M., Mahdi, A. H., Majrashi, A., Ali, E. F., & Seleiman, M. F. (2021). Influence of nano silicon and nano selenium on root characters, growth, ion selectivity, yield, and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity conditions. *Plants*. 10(8), 1657. <https://doi.org/10.3390/plants10081657>
- Bajguz, A., & Piotrowska-Niczyporuk, A. (2023). Biosynthetic Pathways of Hormones in Plants. *Metabolites*, 13(8), 884. <https://doi.org/10.3390/metabo13080884>
- Bandehagh, A., Toorchi, M., Farajzadeh, D., Dehghanian, Z., & Pirzad, S. (2018). Effect of *Pseudomonas fluorescens* FY32 bacteria on the leaf proteome pattern of rapeseed under salinity stress. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*. 7(2), 203–216. <https://www.magiran.com/p2000912>

Bandurska, H., Breś, W., Tomczyk, A., Zielezińska, M., & Borowiak, K. (2022). How chrysanthemum (*Chrysanthemum grandiflorum*) Palisade White deals with long-term salt stress. *AoB Plants*, 14(3), 1-10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plac015>

Batista-Silva W., da Fonseca-Pereira P., Martins A.O., Zsogon A., Nunes-Nesi A. e Araujo W.L. (2020). Engineering Improved Photosynthesis in the Era of Synthetic Biology. *Plant Comm*, 1, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2020.100032>

Behzad, K.; Ehteshami-Nia, A.; Raji, M. R.; Moomivand, H.; & Alikhani, M. (2023). Effect of foliar application of silver nanoparticles on physico-biochemical responses of French marigold (*Tagetes patula* L.) under salinity stress. *Journal of Crop Production and Horticulture*, 55(2), 313–330. <http://ijhs.ut.ac.ir/>

Cao, Y., Yan, R., Sun, M., Guo, J., & Zhang, S. (2025). Effects of exogenous chitosan concentrations on photosynthesis and functional physiological traits of hibiscus under salt stress. *BMC Plant Biology*. 25(1), 419. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06424-x>

Castiglione, S., Oliva, G., Vigliotta, G., Novello, G., Gamalero, E., Lingua, G., & Guarino, F. (2021). Effects of compost amendment on glycophyte and halophyte crops grown, promoting features and high salt resistance. *Applied Sciences*, 11(5), 2125. <https://doi.org/10.3390/app11052125>

Cipriano, M. A., & Freitas, S. S. (2018). Effect of *Pseudomonas putida* on chrysanthemum growth under greenhouse and field conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 13(6), 302-310 <http://www.academicjournals.org/AJAR>

Fan, X., Yao, W., Liu, T., Wang, Y., Lu, Y., Yang, H., & Zhang, Y. (2025). Optimization of composite microbial agents containing plant inter-root growth-promoting bacteria and verification using mini Chinese cabbage (*Brassica Rapa* L. ssp. *Pekinensis*). *Frontiers in Plant Science*, 16, 1563932. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1563932>

Farahmandi, S. R., Samavat, S., Mostafavi, M., Torkashvand, A. M., & Kalatejari, S. (2022). Changes in physiological properties and vase life of Gerbera (*Gerbera jamesonii*) under co-application of foliar-applied L-glutamic acid, nitrogen, and potassium. *Journal of Ornamental Plants*, 12(4), 287–295. https://jornamental.rasht.iau.ir/article_696831.html

Farouk, S., & Al-Amri, S. M. (2019). Ameliorative roles of melatonin and/or zeolite on chromium-induced leaf senescence in marjoram plants by activating antioxidant defense, osmolyte accumulation, and ultrastructural modification. *Industrial Crops and Products*, 142, 111823. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111823>

Franzoni, G., Cocetta, G., & Ferrante, A. (2021). Effect of glutamic acid foliar applications on lettuce under water stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(5), 1059-1072. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00984-6>

Gao, Y., Zou, H., Wang, B., & Yuan, F. (2022). Progress and applications of plant growth-promoting bacteria in salt tolerance of crops. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(13), 7036. <https://doi.org/10.3390/ijms23137036>

García-Caparrós, P., & Lao, M. T. (2018). The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae*, 240, 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.022>

Ghasemi, V., Ehteshami-Nia, A., Rezaei-Nejad, A., & Moomivand, H. (2023). Investigation of growth indices and gas exchanges in two cultivars of Sweet William (*Dianthus barbatus*) under salinity stress. *Journal of Horticultural Science*, 37(1), 75–88. <http://doi.org/10.22067/jhs.2021.71942.1081>. [In Persian].

Gholami, A., Tahmasebi-Shamansouri, M., Babaeinejad, T., Payandeh, Kh., & Goosheh, M. (2023). Distribution of soil salt and pollution of nitrate and boron of different depths affecting wheat and rice yields in the Khuzestan province. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(3), 105- 124. [10.22077/JDCR.2023.6523.1030](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6523.1030). [In Persian].

Gholamzadeh, A. A., MOUSAVI, F. S., & Rezaei, N. A. (2022). Morphological and physiological characteristics for evaluation of salicylic acid effects on *Celosia argentea* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 12(1), 4027-4037. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2022.689078>. [In Persian].

Gürsoy M. (2022). Enhancing germination performance, early seedling growth, chlorophyll stability index, and salt tolerance percentage of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seeds by application of different plant growth regulators under salinity stress. *Agricultural Studies*, 56(1), 82-92.

Haghpardar, F. R., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2022). Effect of arginine, proline, and glutamine amino acids on morphological and physiological traits of two African marigold (*Tagetes erecta* L.) cultivars. *Plants Ornamental of Journal*, 12(3), 191-202. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.28210093.2022.12.3.2.0>

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>

Heinemann, B., & Hildebrandt, T. M. (2021). The role of amino acid metabolism in signaling and metabolic adaptation to stress-induced energy deficiency in plants. *Journal of Experimental Botany*, 72(13), 4634–4645. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab182>

Hejazi Mehrizi, M.; & Saadatfar, A. (2019). Interactive effects of salinity and zinc and copper nutrition on some biochemical and physiological traits of rosemary in a calcareous soil. *Agricultural Engineering*, 42(3), 49–61. <https://doi.org/10.22055/agen.2019.28866.1484>

Hung, S. H. W., Chiu, M. C., Huang, C. C., & Kuo, C. H. (2022). Complete genome sequence of *Curtobacterium* sp. C1, a beneficial endophyte with the potential for in-plant salinity stress tolerance. *Microbiology Resource Announcements*, 11(1), 11-21. <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-22-0027-A>

Ježdinský, A., Ježdinská Slezák, K., Vachůn, A., Pokluda, R., & Uher, J. (2024). Effect of saline water on the vase life of *Narcissus poeticus* L. flowers. *Folia Horticulturae*, 36, 95–117. <https://sciendo.com/journal/FHORT>

Karimi Sarnavi, M.; Rezaeinejad, A.; Mousavifard, S.; Mirzaei Najafgholi, H.; & Beiranvand, F. (2024). Effect of growth-promoting bacteria *Pseudomonas putida* and *Curtobacterium* sp. strain WLU on growth and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) under deficit irrigation stress. *Plant Process and Function*, 13(31), 407–431. <https://doi.org/10.22034/13.63.407>

Kawade, K., Tabet, H., Ferjani, A., & Hirai, M. Y. (2023). The roles of functional amino acids in plant growth and development. *Plant and Cell Physiology*, 64(12), 1482-1493. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcad071>

Khosravi H. (2016). Application of beneficial soil bacteria in crop production management under saline and drought stress via decreasing ethylene. *Land Management Journal*, 4(1), 33–43. <https://doi.org/10.22092/lmj.2016.115843>

Kopittke, P. M. (2012). Interactions between Ca, Mg, Na, and K: alleviation of toxicity in saline solutions. *Plant and Soil*, 352, 353–362. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1001-x>

Kumar, A., & Verma, J. P. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): A new era of sustainable agriculture. *Biotech*, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1271034>

Lee, H. J., Kim, J. S., Lee, S. G., Kim, S. K., Mun, B., & Choi, C. S. (2017). Glutamic acid foliar application enhances antioxidant enzyme activities in the leaves treated with low air temperature. *Horticultural Science and Technology*, 35, 700–706. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170074>

Li, C., Wang, Y., Zhang, L., Wu, H., & Zhang, W. (2020). Exogenous glutamic acid alleviates salt stress in wheat seedlings by regulating ionic balance and antioxidant defense. *Plant Growth Regulation*, 90(3), 459–470. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04523-2>

Liang, W., Ma, X., Wan, P., & Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: a review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 495, 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>

Liu, C., Jiang, X., & Yuan, Z. (2024). Plant responses and adaptations to salt stress: A review. *Horticulturae*, 10(11), 1221. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111221>

Maqsood, M. F., Shahbaz, M., Kanwal, S., Kaleem, M., Shah, S. M. R., Luqman, M., & Farhat, F. (2022). Methionine promotes the growth and yield of wheat under water deficit conditions by regulating the antioxidant enzymes, reactive oxygen species, and ions. *Life*, 12(7), 969. <https://doi.org/10.3390/life12070969>

Musa, D. E., Augustine, U. A., & Akpomie, T. M. (2022). Flame photometric determination of potassium (K) and sodium (Na) in agricultural wastes: Bean pods, groundnuts, and melon shells. *Journal of the Chemical Society of Nigeria*. 47(5), 1148–1155. <https://doi.org/10.46602/jcsn>

Naseri Moghadam, A.; Bayat, H.; Aminifard, M. H.; & Moradinejad, F. (2019). Effects of drought and salinity stresses on growth, flowering, and some biochemical traits of narcissus (*Narcissus tazetta* L.). *Horticultural Science*, 33(3), 451–466. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.76772>

Omid, A., Delir, N., Rahnamaee, R., & Babaei, A. (2022). [Modulation of salinity stress by foliar application of calcium carbonate nanoparticles in 'Delsoita' rose]. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(4), 825–834. <https://www.magiran.com/p2420039>. [In Persian].

Peng, M., Jiang, Z., Zhou, F., & Wang, Z. (2023). From salty to thriving: plant growth-promoting bacteria as nature's allies in overcoming salinity stress in plants. *Frontiers in microbiology*, 14, 1169809. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1169809>

Philippe, F., Verdu, I., Morère-Le Paven, M. C., Limami, A. M., & Planchet, E. (2019). Involvement of *Medicago truncatula* glutamate receptor-like channels in nitric oxide production under short-term water deficit stress. *Journal of Plant Physiology*, 236, 1–6. <https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>

Rizwan, M., Ali, S., Zaheer Akbar, M., Shakoor, M. B., Mahmood, A., Ishaque, W., & Hussain, A. (2017). Foliar application of aspartic acid lowers cadmium uptake and Cd-induced oxidative stress in rice under Cd stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21938–21947. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9860-1>

Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Natural Science*, 17, 34–40. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>

Salimi, A., Etemadi, M., Eshghi, S., Karami, A., & Alizargar, J. (2021). The effects of *Halomonas* sp. and *Azotobacter* sp. on ameliorating the adverse effects of salinity in purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Preprints*. 15, 1-27. <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0391.v1>

Santos, R. M. D., & Rigobelo, E. C. (2021). Growth-promoting potential of rhizobacteria isolated from sugarcane. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 596269. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.596269>

- Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H., & Ikeda, H. (2006). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae*, 109, 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.05.003>
- Seif, Z., Etemad, V., & Javanmiri Pour, M. (2024). Effect of Drought and Salinity Stress on Chlorophyll and Carotenoid Content in Russian Olive Leaves (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Drought and Climate Change Research*, 2(3), 32–48. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7645.1069> .[In Persian].
- Shakarami, F., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., & Beiranvand, F. (2024). Effect of the foliar application of copper nanoparticles on the growth and yield of Persian Leek (*Allium ampeloprasum* subsp. *Persicum*) under salinity stress. *Journal of Horticultural Science*, 38 (4), 727–743. <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.86565.1323>
- Solórzano-Acosta, R.; Toro, M.; Zúñiga-Dávila, D. (2023). Plant growth-promoting bacteria and Arbuscular mycorrhizae improve the growth of *Persea americana* var. *zutano* under salt stress conditions. *Journal of Fungi*, 9(2), 233, 2023. <https://doi.org/10.3390/jof9020233>
- Sudha, A., Durgadevi, D., Archana, S., Muthukumar, A., Suthin Raj, T., Nakkeeran, S., & Sayyed, R. Z. (2022). Unraveling the tripartite interaction of volatile compounds of *Streptomyces rochei* with grain mold pathogens infecting sorghum. *Frontiers in Microbiology*, 13. 923360. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.923360>
- Suvija, N. V., Suresh, J., Kumar, R. S., & Kannan, M. (2016). Evaluation of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) genotypes for loose flower, cut flower, and pot, mums. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS)*, 3(4), 100–104.
- Tiwari, H. S., Agarwal, R. M., & Bhatt, R. K. (1998). Photosynthesis, stomatal resistance, and related characteristics as influenced by potassium under normal water supply and water stress conditions in rice (*Oryza sativa* L), *Indian Journal of Plant Physiology*, 3(4), 314–316.
- Vinaya Rai, R.S., & Parthiban, K.T. (1995). Studies on the drought tolerance of Eucalyptus at the seedling stage. *Journal Tropical For Science*, 8(2), 155–160. <https://www.jstor.org/stable/43582472>
- Wen, D., Wang, X., Sun, K. N., Wang, K. A., Gao, J. W., Zhang, W., & Yang, N. (2021). Effects of different forms of microbial agents on the growth and quality of *Brassica rapa*. *The Journal of Applied Ecology*, 32(5), 1777–1782. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202105.021>
- Wu, Y., Hu, L., Liao, W., Dawuda, M. M., Lyu, J., Xie, J., & Yu, J. (2019). Foliar application of 5-aminolevulinic acid (ALA) alleviates NaCl stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings through the enhancement of the ascorbate-glutathione cycle. *Scientia Horticulturae*, 257, 108761. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108761>
- Zandi, P., & Basu, S. K. (2016). Role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers in stabilizing agricultural ecosystems. In: *Organic Farming for Sustainable Agriculture*. 71–87. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26803-3_3
- Zapryanova, N., & Atanassova, B. (2009). Effects of salt stress on growth and flowering of ornamental annual species. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(1), 177–179. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818394>
- Zaremanesh, H.; Eisavand, H. R.; Akbari, N.; Esmaili, A.; & Feyzian, M. (2021). Effect of humic acid on changes in nutrient concentrations of leaf, root, and stem of Khuzestani savory under salinity stress. *Plant Process and Function*, 10(41), 1–16. <https://jispp.iut.ac.ir/article-1-1428-fa.html> .[In Persian].
- Zarifinia, N.; Farzadi, H.; & Khorramian, M. (2018). Evaluation of potassium sulfate effect on chlorophyll concentration and drought tolerance index of mung bean genotypes in Khuzestan. *Plant Ecophysiology Journal*, 10(33), 68–78. <https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.7.4>
- Zhao, X., Yuan, X., Xing, Y., Dao, J., Zhao, D., Li, Y., & Wang, Z. (2023). A meta-analysis on morphological, physiological, and biochemical responses of plants with PGPR inoculation under drought stress. *Plant, Cell and Environment*, 46(1), 199–214. <https://doi.org/10.1111/pce.14466>