مقاله پژوهشی

بررسی اثر تنش کم‌آبی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و فعالیت آنزیمی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) با محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین

مریم مهرآریان و الهام دانایی*

گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴)

چکیده

شمعدانی معطر گیاهی زینتی است که اسانس آن در صنایع عطرسازی، بهداشتی و آرایشی، غذایی و داروسازی کاربرد فراوانی دارد. به‌منظور بررسی کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در گیاه شمعدانی معطر با محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تجاری واقع در شهرستان گرمسار در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. آزمایش به‌صورت گلدانی با اعمال سه سطح تنش کم‌آبی (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی با پرولین و گلوتامین (هر کدام با دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و اثر متقابل آنها، انجام شد. اعمال تنش کم‌آبی پس از استقرار گیاهان و در مرحله شش تا هشت برگی صورت گرفت. محلول‌پاشی با سطوح مختلف پرولین و گلوتامین در دو مرحله انجام شد. در نهایت نمونه‌برداری و ارزیابی صفات، حدود دو هفته پس از آخرین محلول‌پاشی صورت گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی (۷۱/۴۲ و ۹/۱۲ گرم)، آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ (۳/۲۷۶۱ و ۱۶/۴۲۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کمترین نشت یونی غشاء سلول (۵۴/۲۷ درصد) در تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد بود. بیشترین وزن تر و خشک ریشه (۱۶/۳۵ و ۳/۶۷ گرم)، طول بلندترین ریشه (۴۵/۲۸ سانتی‌متر)، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز (به‌ترتیب با ۸/۲۳، ۳/۲۸ و ۱۷/۴۲ واحد آنزیم در گرم وزن تر) و کمترین میزان پرولین (۲/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. بیشترین ماندگاری گل شمعدانی معطر روی بوته (۱۴ روز) در تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و کمترین (هشت روز) در تیمار شاهد در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، بود. در مجموع پرولین و گلوتامین با تنظیم فشار اسمزی، مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها و فسفولیپیدهای غشایی سبب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی در گیاهان محلول‌پاشی شده نسبت به شاهد در ظرفیت زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد، شد. لذا، می‌توان محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین در شرایط تنش کم‌آبی را برای بهبود رشد، کیفیت و گلدهی گیاه شمعدانی معطر توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، شمعدانی معطر، کاتالاز، گلوتامین

مقدمه

شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) گیاهی چندساله، علفی، همیشه‌سبز و گلدار از تیره Geraniaceae و بومی آفریقای جنوبی است (دهخدایی و همکاران، ۱۴۰۰). اسانس

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: dr.edanaee@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

این گیاه به دلیل خواص ضدقارچی، ضدباکتریایی و عطری خوش شبیه بوی رز و سیب به‌طور وسیعی در صنایع عطرسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و داروسازی کاربرد دارد (مومیوند و همکاران، ۱۳۹۸). رشد با کیفیت، گلدهی و میزان اسانس شمعدانی معطر تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ژنتیک گیاه، مراقبت‌های زراعی، تنش‌های محیطی، زمان برداشت و غیره قرار می‌گیرد (حسنوند و رضایی‌نژاد، ۱۳۹۶).

کم‌آبی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که تعیین‌کننده توزیع پوشش گیاهی و محدودیت تولید در بخش کشاورزی می‌باشد و همچنین یک خطر جدی در تأمین امنیت غذایی جهان است (Fàbregas and Fernie, 2019). گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران مکرراً در معرض تنش‌های کم‌آبی و گرمایی قرار می‌گیرند (معینی و زرندی، ۱۴۰۳) که با توجه به مرحله رشد و میزان حساسیت گونه گیاهی آثار متفاوتی بر رشدونمو و عملکرد آنها دارد (Shamsai *et al*., 2021). به‌طورکلی کمبود آب با کاهش سطح برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تنظیم اسمزی و عدم توازن یونی و کاهش ساخت پروتئین و کلروفیل موجب کاهش فتوسنتز و در نهایت افت رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Kapoor *et al*., 2020). همچنین تغییر تعادل هورمونی گیاهان ناشی از تغییر متابولیسم در شرایط کم‌آبی، با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، غیر فعال‌سازی آنزیم‌ها، پراکسیداسیون لیپیدها، تجزیه پروتئین‌ها و آسیب به اسیدهای نوکلئیک منجر به اختلال متابولیسم طبیعی سلول‌های گیاهان می‌شود (Sharma *et al*., 2020). گیاهان برای کاهش اثر سوء تنش کم‌آبی از مکانیسم‌های متابولیسمی مختلفی استفاده می‌کنند (میری و همکاران، ۱۴۰۱)، از جمله تنظیم تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن با سیستم آنتی‌اکسیدان قوی و مسیرهای سم‌زدایی مانند آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی که در همه گیاهان وجود دارد (کیقبادی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین تعدیل اسمزی با سنتز و انباشت موادی نظیر اسیدهای آمینه، قندهای محلول و برخی یون‌های معدنی که به متابولیت‌های سازگار یا مواد تنظیم‌کننده اسمزی مشهور هستند، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب منجر شود (فتاحی و محمدخانی، ۱۴۰۱). در نهایت کاهش پتانسیل اسمزی، محافظت از ساختار مولکول‌های زیستی و غشا سلول و حفظ فشار تورژسانس سلول، امکان تبادلات گازی و رشدونمو گیاهان را در شرایط کم‌آبی فراهم می‌کنند (کیانی و سبکدست، ۱۴۰۳). تحقیقات نشان داده است که در گیاه آفتابگردان زینتی (*Helianthus annuus*)، تنش کم‌آبی منجر به کاهش محتوای آب نسبی نسبت به شاهد می‌شود (Toscano *et al*., 2017). همچنین تنش کم‌آبی در گل ماهور (*Verbascum thapsus*) موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز نسبت به شاهد گردید (Mohammadi *et al*., 2018). بررسی اثر تنش کم‌آبی در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) نیز نشان‌دهنده کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و صفات مورفولوژیک گیاه (شامل ارتفاع گیاه، طول برگ، تعداد برگ، قطر گل، تعداد گل، زمان ظهور گل، طول دوره گلدهی و زمان ظهور تمام گل) با افزایش شدت تنش بود (Mortazaeinezhad and Jarzizadeh, 2017). در گل مریم (*Polianthes tuberosa* L.) تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی و قطر شاخه گل‌دهنده شد (Bahadoran and Salehi, 2015).

یکی از مهمترین راهکارها برای ایجاد مقاومت گیاهان در هنگام تنش‌های محیطی مانند کم‌آبی، ساخت اسیدآمینه در پاسخ به تنش است (Abaspour Esfaden *et al*., 2019)، اما در شرایط نامساعد محیطی بیوسنتز اسیدهای آمینه، دشوار یا متوقف می‌گردد. لذا، استفاده از اسیدهای آمینه به عنوان کودهای زیستی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در کاهش تنش و در نتیجه بهبود رشدونمو گیاهان نقش دارد (خانی و همکاران، ۱۴۰۳). اسیدهای آمینه می‌توانند نقش‌های مختلفی را در گیاهان ایفا کنند. تنظیم اسمزی از طریق تجمع اسیدهای آمینه (مانند گلایسین، پرولین، آلانین و والین)، سمیت‌زدایی گونه‌های اکسیژن فعال، تنظیم درون سلولی pH (زالی و همکاران، ۱۳۹۵)، بیوسنتز ترکیبات آلی مانند رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، آلکالوئیدها، آنزیم‌ها، ترپنوئیدها، کوآنزیم‌ها و بازهای پورینی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

پیریمیدینی، قسمتی از نقش اسیدهای آمینه در تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی است (کاظم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

پرولین و گلوتامین جز اسیدهای آمینه غیرضروری هستند که هر کدام نقش‌های متعددی برای افزایش کارایی گیاهان دارند (Alfosea-Simon *et al*., 2021). پرولین یکی از اسیدآمینه‌های فعال است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه (تنظیم اسمزی) نقش به‌سزایی دارد (پروانک، ۱۳۹۸). همچنین با از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی) و تثبیت ساختار پروتئین‌ها، سلول‌ها را از آسیب‌های تنش حفظ می‌کند، به‌طوری‌که در شرایط تنش نقش حفاظتی چندگانه داشته و افزایش آن منجر به محافظت از غشاهای سلولی شده و از آسیب به آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند (Szabados and Savoure, 2009). گلوتامین یکی از مهمترین اسیدهای آمینه در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی مانند کم‌آبی است که با دو چرخه مهم متابولیکی گیاه (چرخه کربن و نیتروژن) در ارتباط است (Abaspour Esfaden *et al*., 2019). همچنین به دلیل آنکه بر محتوای پروتئین و قندها، کلات‌کنندگی عناصر ریزمغذی و تسهیل جذب و انتقال آن‌ها در گیاهان مؤثر بوده و پیش‌ساز سایر اسیدهای آمینه مانند اسید آسپارتیک، سرین، آلانین، لیزین و پرولین می‌باشد، سبب کنترل اثرات منفی تنش بر رشدونمو گیاهان می‌شود (Kendziorek *et al*., 2012). استفاده از اسید گلوتامیک سبب بهبود ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آگاستاکه (*Agastache foeniculum*) شد (جهانی و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه‌ای محلول‌پاشی اسیدآمینه پرولین اثری افزایشی بر تعداد گل، وزن تر و خشک گل، کلروفیل کل و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) تحت تنش کم‌آبی داشت (Darvizheh *et al*., 2017). در چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) محلول‌پاشی پرولین اثرات مثبتی بر شاخص‌های رشد و کیفیت گیاه در شرایط تنش کم‌آبی داشت (Helaly and Ibrahimi, 2019). همچنین در رژیم‌های مختلف آبیاری، محلول‌پاشی پرولین موجب کنترل اثرات منفی کم‌آبی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اسانس آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak.) شد (کاظم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

با توجه اثرات سو تنش کم‌آبی بر تولید و کیفیت گیاهان، انجام پژوهش در مورد سازوکارهای تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی حائز اهمیت است. بررسی‌ها نشان داد که علی‌رغم نقش مثبت اسیدهای آمینه در تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی، اطلاعات کمی در مورد اثرات پرولین و گلوتامین بر کاهش اثرات منفی تنش در گیاهان زینتی و دارویی وجود دارد. بنابراین، این پژوهش به بررسی تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر صفات مورفوفیزیولوژیک و فعالیت آنزیمی گیاه شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در گیاه شمعدانی معطر با محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین، در گلخانه تجاری واقع در شهرستان گرمسار در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۲± ۲۱ درجه سلیسیوس و رطوبت نسبی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد، در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو عامل شامل تنش کم‌آبی (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی با پرولین و گلوتامین (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به صورت گلدانی و با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش بذور شمعدانی شرکت ساتیمکس آلمان در سینی کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت (۱-۱) کشت شدند. سپس نشاءهای شمعدانی در مرحله چهار تا پنج برگی به گلدان سایز ۱۴ که حاوی خاک لومی، شن و کمپوست به نسبت ۱-۱-۱ بودند، انتقال یافتند. گلدان‌ها تا مرحله شش تا هشت برگی گیاهان با برنامه یکسان آبیاری شدند و تغذیه با محلول غذایی هوگلند نیز هر چهار روز یک‌بار انجام شد. برای تهیه محلول هوگلند محلول‌های پایه شامل نیترات کلسیم ۱ مولار، نیترات پتاسیم ۱ مولار، فسفات پتاسیم (KH_2PO_4) ۱ مولار، سولفات منیزیم ۱ مولار، محلول میکروالمان‌ها ($2.8\ gL^{-1}\ H_3B0_3$, $1.8\ gL^{-1}\ MnCl_2.4H_2O$, $0.2\ gL^{-1}\ ZnSo_4.7H2O$, $0.1\ gL^{-1}\ CuSO_4.5H_2O$, $0.025\ gL^{-1}$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

(H_2MoO_4) و کلات آهن (Fe-EDTA) تهیه شد. برا ی تهیه ۱ لیتر محلول غذایی هوگلند با استفاده از محلول‌های پایه فوق، ۵ میلی‌لیتر از محلول پایه نیترات کلسیم، ۵ میلی‌لیتر نیترات پتاسیم، ۱ میلی‌لیتر فسفات پتاسیم، ۲ میلی‌لیتر سولفات منیزیم، ۱ میلی‌لیتر میکروالمان‌ها و ۱ میلی‌لیتر کلات آهن با آب به حجم نهایی ۱ لیتر رسانده شد. سپس pH محلول حاصله روی ۶/۸ تنظیم شد. اعمال تنش پس از استقرار گیاهان و در مرحله شش تا هشت برگی بر اساس روش وزنی بـود. آبیاری نیز بر اساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به ظرفیت زراعی تعیین شده، صورت گرفت. محلول‌پاشی برگی گیاهان با سطوح مختلف پرولین و گلوتامین در دو مرحله انجام شد. مرحله اول در زمان شروع تنش و مرحله دوم با فاصله زمانی دو هفته‌ای پس از محلول‌پاشی مرحله اول صورت گرفت. برای بهبود سطح تماس اسیدهای آمینه با گیاه، از توین ۲۰ به عنوان مویان استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از جذب خاکی، سطح بستر پیش از محلول‌پاشی پوشانده شد تا فقط جذب از طریق برگ‌ها و ساقه صورت گیرد (الهویردی‌زاده و دانایی، ۱۴۰۲). در نهایت نمونه‌برداری و ارزیابی صفات، حدود دو هفته پس از آخرین محلول‌پاشی انجام شد.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: وزن تر اندام هوایی و ریشه بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک آنها پس از قرارگیری نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد (Abdossi and Danaee, 2019).

طول بلندترین ریشه و نشت یونی غشاء سلول: گیاه توسط متر فلزی اندازه‌گیری گردید (Dareini *et al.*, 2014). درصد نشت یونی غشاء سلول با استفاده از یک گرم گلبرگ و قرائت میزان EC_1 و EC_2 توسط دستگاه EC متر (مدل ۴۵۱۰ ساخت کمپانی JENWAY انگلستان)، انجام شد. در نهایت نشت یونی غشاء سلول با معادله (۱) محاسبه و برحسب درصد بیان شد (Soroori *et al.*, 2021).

$$\text{درصد نشت یونی غشاء سلول} = (EC_1 / EC_2) \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ: محتوای آنتوسیانین گلبرگ‌ها (An) با استفاده از نیم گرم گلبرگ که به کمک محلول استخراج متانول و کلریدریک اسید ۱ نرمال ساییده شده، صورت گرفت. سپس جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر (Spectro Flex 6600) در دو طول‌موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر، خوانده و آنتوسیانین موجود در گلبرگ‌ها با معادله (۲)، محاسبه بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر یادداشت شد (Meng and Wang, 2004). محتوای کلروفیل کل برگ (Total Ch) با خواندن جذب نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با معادله (۳)، اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949) که در هر دو معادله A، میزان جذب نور است.

$$An = A_{530nm} - A_{657nm} \quad (۲)$$

$$Total\ Ch = 20.2(A_{645nm}) + 8.02(A_{663nm}) \quad (۳)$$

پرولین: میزان پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، با قرائت جذب فاز فوقانی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر، اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیان شد. منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های استاندارد پرولین (صفر تا ۵۰ میکرومولار) تهیه شد.

کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، ابتدا عصاره آنزیم بر اساس روش Ezhilmathi و همکاران (۲۰۰۷) از یک گرم گلبرگ تهیه شد. سپس فعالیت آنزیم کاتالاز با روش Aebi (۱۹۸۴) بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Abdossi و Danaee(۲۰۱۸) در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش Mirakhorli و همکاران (۲۰۲۲)، تغییرات جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت فعالیت آنزیم‌ها برحسب واحد آنزیم بر گرم وزن تر یادداشت شد.

ماندگاری گل روی بوته: ماندگاری گل‌های شمعدانی معطر روی بوته از زمان باز شدن گل‌ها و نمایان شدن رنگ تا پژمردگی، رنگ‌پریدگی و ریزش گل‌ها محاسبه و به صورت روز یادداشت گردید (Ezhilmathi, 2007).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

آنالیز داده‌های حاصل از انجام آزمایشات با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۳) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه Duncan در سطح ۱ و ۵ درصد، انجام شد. رسم نمودارها نیز با Excel (۲۰۱۶) صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول بلندترین ریشه و نشت یونی غشا سلول: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم‌آبی و اثر متقابل تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول بلندترین ریشه و درصد نشت یونی غشاء سلول در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اثر ساده محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک ریشه و درصد نشت یونی غشاء سلول در سطح ۱٪ و بر وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و طول بلندترین در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۱).

طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد، وزن تر اندام هوایی با محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) افزایش معنی‌داری داشت و بین تمام سطوح تیمارهای پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول‌پاشی) نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در این ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نشان دادند. استفاده از پرولین و گلوتامین با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد موجب افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) شد که این افزایش در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر بود. وزن خشک اندام هوایی در تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد نشان نداد، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده اثر غلظت‌های بکاررفته پرولین و گلوتامین در بهبود وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) در هر ظرفیت زراعی است. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. وزن تر ریشه در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد نداشت. بین تیمار گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به بیانی در این ظرفیت زراعی محلول‌پاشی غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین و گلوتامین تأثیر معنی‌داری در بهبود وزن تر ریشه نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) نشان نداد. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری داشتند. وزن خشک ریشه در تیمار گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) تحت تنش کم‌آبی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول بلندترین ریشه	نشت یونی غشا سلول
تنش کم‌آبی	۲	۲۴۰/۳۵**	۳۴/۱۲**	۷۳/۵۸**	۱۴/۲۸**	۱۹۸/۴۲**	۳۳۵/۱۳**
اسیدهای آمینه	۴	۸۹/۶۴**	۱۱/۴۲*	۲۲/۳۸*	۷/۳۶**	۷۴/۲۵*	۱۶۹/۴۲**
کم‌آبی × اسیدهای آمینه	۸	۱۴۷/۳۸**	۲۳/۶۴**	۳۹/۷۶**	۱۰/۳۵**	۱۲۶/۳**	۲۱۷/۱۹**
اشتباه آزمایشی	۳۰	۱/۱۴۵	۰/۰۲۳	۰/۶۸	۰/۰۱۴	۰/۰۹۶	۱/۸۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۹/۴۳	۱۰/۶۱	۹/۴۲	۱۰/۶۴	۱۰/۲۵	۹/۴۳

****، *، ns به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار**

تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد با تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند. طول بلندترین ریشه در تیمارهای گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند، به بیانی تفاوتی بین استفاده از غلظت ۵۰ میلی‌گرم پرولین و یا گلوتامین بر افزایش طول بلندترین ریشه مشاهده نشد. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند. درصد نشت یونی غشا سلول در تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما تفاوت بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) معنی‌دار بود. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بین تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم تفاوت معنی‌داری در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد مشاهده نشد، اما تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری داشتند که بیانگر تأثیر محلول‌پاشی غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین و گلوتامین بر کاهش درصد نشت یونی غشا سلول است. همچنین شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد با تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند. بین شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد با تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طورکلی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت پرولین و گلوتامین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در هر سه ظرفیت زراعی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول بلندترین ریشه، افزایش و درصد نشت یونی غشا سلول، کاهش معنی‌داری داشت. همچنین بین هر دو غلظت پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول‌پاشی) نیز در ظرفیت زراعی ۱۰۰، ۷۰ و ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در مجموع نتایج نشان داد که شرایط تنش کم‌آبی موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول بلندترین ریشه و افزایش درصد نشت یونی غشا سلول شد، اما محلول‌پاشی هر دو غلظت اسیدهای آمینه پرولین و گلوتامین در سطوح مختلف آبیاری سبب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول بلندترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف پرولین و گلوتامین در تنش کم‌آبی

ظرفیت زراعی (٪)	اسیدهای آمینه (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول بلندترین ریشه (سانتیمتر)	نشت یونی غشا سلول (درصد)
		(گرم)					
۱۰۰	بدون محلول‌پاشی	۶۱/۲±۷۵/۶۵۱^{e}	۷/۰±۹۴/۳۲۲^{d}	۱۴/۰±۸۷/۱۷۳^{c}	۳/۰±۰۶/۰۴۱^{d}	۳۷/۰±۹۵/۱۵۸^{d}	۶۱/۳±۷۳/۲۴۷^{h}
	پرولین ۵۰	۶۵/۳±۴۷/۱۲۵^{c}	۸/۰±۳۷/۲۷۴^{c}	۱۵/۰±۵۴/۱۲۴^{b}	۳/۰±۳۱/۰۲۸^{c}	۴۰/۰±۷۴/۰۹۶^{c}	۵۹/۲±۸۳/۷۱۳^{i}
	پرولین ۱۰۰	۶۹/۲±۳۱/۷۲۴^{b}	۸/۰±۷۵/۱۱۲^{b}	۱۶/۰±۳۵/۲۴۷^{a}	۳/۰±۶۷/۰۸۲^{a}	۴۵/۰±۲۸/۱۲۴^{a}	۵۶/۳±۳۷/۴۲۸^{j}
	گلوتامین ۵۰	۶۳/۲±۱۹/۶۳۴^{d}	۸/۰±۴۶/۳۵۱^{c}	۱۵/۰±۲۳/۰۸۹^{bc}	۳/۰±۲۴/۰۱۹^{cd}	۴۰/۰±۳۷/۱۳۶^{c}	۵۸/۱±۴۶/۲۶۵^{i}
	گلوتامین ۱۰۰	۷۱/۳±۴۲/۷۸۱^{a}	۹/۰±۱۲/۲۱۶^{a}	۱۶/۰±۱۲/۱۲۵^{a}	۳/۰±۵۲/۰۲۳^{b}	۴۳/۰±۶۹/۰۷۶^{b}	۵۴/۲±۲۷/۶۸۲^{k}
۷۰	بدون محلول‌پاشی	۵۲/۲±۱۶/۹۲۷^{i}	۶/۰±۶۴/۱۲۳^{h}	۱۳/۰±۰۸/۰۹۷^{g}	۲/۰±۴۳/۰۳۵^{i}	۳۲/۰±۳۵/۱۰۳^{h}	۷۳/۳±۸۸/۵۱۹^{d}
	پرولین ۵۰	۵۶/۳±۷۴/۶۹۲^{g}	۷/۰±۰۳/۲۴۷^{g}	۱۳/۰±۵۴/۲۵۶^{fg}	۲/۰±۶۴/۰۵۷^{g}	۳۴/۰±۱۱/۲۱۷^{g}	۶۷/۲±۸۳/۴۵۹^{f}
	پرولین ۱۰۰	۶۰/۲±۴۳/۵۴۹^{f}	۷/۰±۶۸/۱۶۹^{e}	۱۴/۰±۵۳/۱۱۷^{d}	۲/۰±۹۶/۰۱۹^{e}	۳۷/۰±۷۶/۱۵۸^{e}	۶۲/۳±۷۵/۱۲۷^{h}
	گلوتامین ۵۰	۵۵/۲±۳۸/۸۶۳^{h}	۷/۰±۳۵/۳۲۵^{f}	۱۳/۰±۸۷/۱۳۹^{f}	۲/۰±۵۹/۰۶۳^{h}	۳۵/۰±۴۷/۲۲۹^{f}	۷۱/۲±۶۹/۱۴۹^{e}
	گلوتامین ۱۰۰	۵۸/۳±۲۹/۲۷۵^{fg}	۷/۰±۴۴/۱۶۸^{ef}	۱۴/۰±۳۹/۲۶۵^{e}	۲/۰±۸۲/۰۹۲^{f}	۳۶/۰±۶۲/۱۸۴^{ef}	۶۵/۳±۴۲/۲۱۴^{g}
۳۰	بدون محلول‌پاشی	۴۳/۴±۷۶/۰۳۱^{n}	۵/۰±۲۶/۰۹۸^{l}	۱۰/۰±۸۶/۲۱۷^{l}	۱/۰±۹۵/۰۴۷^{l}	۲۹/۰±۰۵/۱۳۷^{k}	۸۱/۳±۲۶/۵۶۱^{a}
	پرولین ۵۰	۴۶/۲±۶۹/۷۴۲^{l}	۵/۰±۷۴/۱۰۵^{j}	۱۱/۰±۷۴/۱۷۴^{j}	۲/۰±۱۷/۰۲۸^{k}	۳۰/۰±۲۸/۲۵۸^{j}	۷۶/۳±۳۲/۱۸۴^{b}
	پرولین ۱۰۰	۵۰/۲±۳۷/۶۵۷^{j}	۶/۰±۱۸/۲۱۸^{i}	۱۲/۰±۸۶/۱۵۹^{h}	۲/۰±۴۱/۰۳۹^{i}	۳۲/۰±۱۴/۱۸۳^{hi}	۷۲/۲±۲۱/۷۶۳^{d}
	گلوتامین ۵۰	۴۲/۲±۲۶/۵۹۶^{m}	۵/۰±۵۲/۰۶۹^{k}	۱۱/۰±۵۳/۲۸۵^{k}	۲/۰±۱۴/۰۴۱^{k}	۳۰/۰±۳۵/۱۶۷^{j}	۷۷/۳±۷۴/۵۶۲^{b}
	گلوتامین ۱۰۰	۴۹/۳±۲۵/۲۱۸^{k}	۶/۰±۱۱/۰۸۳^{i}	۱۲/۰±۴۷/۱۳۶^{i}	۲/۰±۲۱/۰۱۶^{i}	۳۱/۰±۱۷/۱۵۲^{i}	۷۴/۲±۰۹/۶۸۴^{c}

اعداد، میانگین ± انحراف استاندارد هستند. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

ریشه و کاهش درصد نشت یونی غشا سلول نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) در همان ظرفیت زراعی گردید. به نحوی که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب با ۷۱/۴۲ و ۹/۱۲ گرم و کمترین نشت یونی غشا سلول با ۵۴/۲۷ درصد در تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد بود. همچنین بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با ۱۶/۳۵ و ۳/۶۷ گرم و بیشترین طول بلندترین ریشه با ۴۵/۲۸ سانتی‌متر در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). در شرایط تنش، آسیب به غشا سلول و اختلال در فرآیند فتوسنتز از طریق بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش پتانسیل آب در بافت گیاهی موجب کاهش گسترش و رشد سلولی می‌شود (Ma *et al.*, 2020) و در نتیجه دیواره‌های سلولی گیاهان انعطاف‌پذیری خود را از دست می‌دهند که این امر سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه و همچنین افزایش نشت یونی غشا سلول می‌شود (الهویردی‌زاده و دانایی، ۱۴۰۲). گیاهان تیمارشده با مواد ضدتنش از جمله اسیدهای آمینه پرولین و گلوتامین می‌توانند با افزایش فتوسنتز، تولید ماده خشک و عملکرد را افزایش دهند. محلول‌پاشی اسیدهای آمینه موجب افزایش بازده تولید کربن می‌شود. پرولین در مقایسه با دی‌اکسید کربن به دلیل کوچک‌تر بودن به راحتی می‌تواند به عنوان منبع کربن در گیاهان سه کربنه برای افزایش ماده خشک و عملکرد استفاده گردد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین پرولین با فسفولیپیدهای غشا ارتباط برقرار کرده و از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش کم‌آبی، از غشاهای سلولی محافظت می‌کند. بنابراین این احتمال می‌رود که کاهش نشت الکترولیت‌ها در اثر محلول‌پاشی پرولین به علت تخریب کمتر غشا سلول باشد (فتاحی و محمدخانی، ۱۴۰۱).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

دستاوردهای این پژوهش نیز نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول بلندترین ریشه در ظرفیت زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد، کاهش معنی‌داری نسبت به ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد داشت. اما درصد نشت یونی غشا سلول با کاهش ظرفیت زراعی به ۳۰ درصد، افزایش یافت. محلول‌پاشی گلوتامین خصوصاً با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین تأثیر را در وزن تر و خشک اندام هوایی، طول بلندترین ریشه داشت و تا حدودی اثرات منفی تنش کم‌آبی را مهار کرد. بیشترین وزن تر و خشک ریشه و کمترین درصد نشت یونی غشا سلول با محلول‌پاشی پرولین با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که تا حدودی سبب جبران خسارت ناشی از تنش کم‌آبی شد. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات روی سایر گیاهان زینتی مانند گل ماهور (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸)، گل نرگس (ناصری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۸) و آفتابگردان زینتی (Toscano *et al*., 2017)، مطابقت داشت.

آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر ساده تنش کم‌آبی و اثر متقابل تنش کم‌آبی× محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ در سطح ۱٪، معنی‌دار است. اثر ساده محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ در سطح ۱٪ و بر محتوای کلروفیل کل برگ در سطح ۵٪، معنی‌دار بود (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد، بین محتوای آنتوسیانین گلبرگ تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری وجود داشت که بیانگر تأثیر غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم هر دو اسید آمینه بر افزایش محتوای آنتوسیانین گلبرگ نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) است. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد بین تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. محتوای کلروفیل کل برگ در تیمار گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند، به بیانی تفاوتی بین استفاده از غلظت ۵۰ میلی‌گرم پرولین و یا گلوتامین بر افزایش محتوای کلروفیل کل برگ مشاهده نشد.

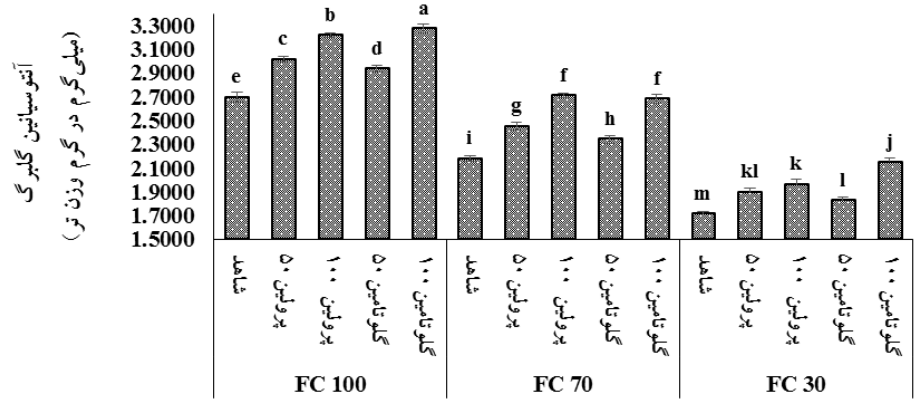
در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود. تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند که می‌توان از هر کدام از تیمارها برای افزایش محتوای کلروفیل کل برگ در این ظرفیت زراعی استفاده کرد. همچنین تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد با تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد از نظر محتوای کلروفیل کل برگ تفاوت معنی‌داری نداشتند. به‌طورکلی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت پرولین و گلوتامین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در هر سه ظرفیت زراعی، محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ افزایش معنی‌داری داشت. همچنین بین هر دو غلظت پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول‌پاشی) نیز در ظرفیت‌های زراعی ۱۰۰، ۷۰ و ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری قابل مشاهده بود. در مجموع نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی محتوای آنتوسیانین و کلروفیل کل برگ کاهش یافت، اما استفاده از سطوح مختلف پرولین و گلوتامین سبب افزایش معنی‌دار رنگریزه‌های گیاهی نسبت به تیمار شاهد در همان ظرفیت زراعی شد. در مجموع بیشترین محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ به ترتیب با ۳/۲۷۶۱ و ۱۶/۴۲۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ به‌دست آمد (شکل ۱ و ۲). کاهش محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به دلیل تحریک نشت یونی غشا سلول، کاهش پتانسیل آب خاک، بسته‌شدن سریع روزنه‌ها، کاهش سطح فتوسنتزی، افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن، پراکسیداسیون رنگریزه‌های گیاهی و تجزیه شیمیایی ژن‌های مربوط به مسیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر صفات بیوشیمیایی و آنزیمی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) تحت تنش کم‌آبی

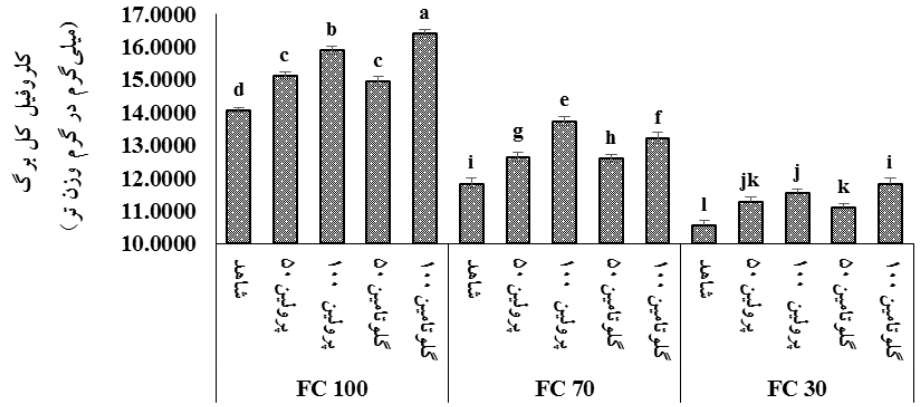
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		آنتوسیانین گلبرگ	کلروفیل کل برگ	پرولین	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	ماندگاری گل روی بوته
تنش کم‌آبی	۲	۱۴/۵۶**	۷۴/۲۸**	۱۷/۳۲**	۲۹/۳۷**	۱۵/۲۳**	۸۲/۲۱**	۷۴/۳۸**
اسیدهای آمینه	۴	۵/۳۷**	۱۸/۶۳*	۶/۵۱**	۱۱/۴۵*	۷/۵۹**	۲۱/۳۸*	۱۵/۴۹**
کم‌آبی × اسیدهای آمینه	۸	۹/۲۸**	۳۹/۴۵**	۱۲/۲۶**	۱۷/۳۹**	۱۱/۶۸**	۴۵/۷۳**	۳۶/۲۵**
اشتباه آزمایشی	۳۰	۰/۰۱۸	۰/۰۶۲	۰/۰۲۳	۰/۰۵۶	۰/۲۱	۰/۰۷۴	۰/۵۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۲۶	۱۰/۴۹	۹/۲۷	۱۰/۴۶	۱۱/۶۲	۱۰/۳۷	۹/۶۸

**، *، ns به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار



تیمار (میلی‌گرم در لیتر)

شکل ۱- تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی



تیمار (میلی‌گرم در لیتر)

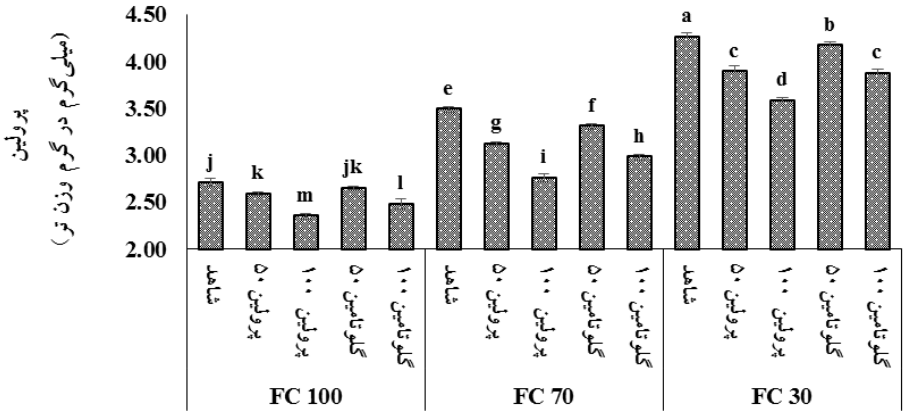
شکل ۲- تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر محتوای کلروفیل کل برگ شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

بیوسنتزی آنها باشد (الهویردی‌زاده و دانایی، ۱۴۰۲). تنش اکسیداتیو و اکسیژن‌های فعال تولیدشده موجب پراکسیداسیون و آسیب به پروتئین‌های ساختاری در فتوسیستم‌ها، می‌شود (Yu *et al.*, 2023). بسته‌شدن سریع روزنه‌ها به‌طور قابل‌توجهی محتوای کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی را کاهش می‌دهد. همچنین افزایش برخی تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اتیلن، اسید آبسزیک و القا بیان ژن آنزیم کلروفیلاز موجب تحریک فعالیت این آنزیم و تجزیه کلروفیل می‌گردد (Tohidi *et al.*, 2021). اسیدهای آمینه موجب تسهیل انتقال عناصر غذایی در سیستم آوندی از طریق بهبود نفوذپذیری غشا سلول می‌شوند و با فراهم‌کردن شرایط تغذیه‌ای مناسب برای گیاه، محتوای رنگریزه‌های گیاهی را افزایش می‌دهند. همچنین اسیدهای آمینه با جلوگیری از تولید آنزیم‌های ضروری برای سنتز اتیلن در بهبود فرآیندهای ساخت رنگیزه‌ها نقش دارند (Saremi *et al.*, 2020). در این پژوهش اعمال تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ به خصوص در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد شد. اما محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف پرولین و گلوتامین به‌طور قابل‌توجهی، اثرات منفی تنش کم‌آبی را کاهش داد. تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تا حد زیادی توانست موجب حفظ رنگریزه‌های گیاهی در ظرفیت‌های زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد شود که با دستاوردهای تحقیقات در مورد گیاه پروانش (عباسپوراسفدن و همکاران، ۱۳۹۸)، مریم‌گلی (پروانک، ۱۳۹۸) و علف گاوی (Liu *et al.*, 2023) مطابق بود.

پرولین: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و اثر متقابل تنش کم‌آبی× محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر میزان پرولین در سطح ۱٪ است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان پرولین در تیمار گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند، به بیانی از نظر آماری محلول‌پاشی غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هر دو اسید آمینه، تأثیری بر افزایش میزان پرولین در شرایط تنش کم‌آبی ندارد. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری داشتند. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد بین تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در این ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. به‌طورکلی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در ظرفیت‌های زراعی مختلف، افزایش غلظت پرولین و گلوتامین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌دار میزان پرولین شد. همچنین بین هر دو غلظت پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در هر سه ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. در مجموع نتایج نشان داد که میزان پرولین در ظرفیت زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد، افزایش یافت، اما استفاده از سطوح مختلف پرولین و گلوتامین سبب کاهش معنی‌دار میزان پرولین نسبت به تیمار شاهد در همان ظرفیت زراعی شد. کمترین و بیشترین میزان پرولین به ترتیب با ۲/۳۵ و ۴/۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و شاهد در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد بود (شکل ۳). یکی از سازوکارهای افزایش مقاومت گیاهان به تنش کم‌آبی، بیوسنتز و تجمع مواد آلی با وزن مولکولی کم از جمله پرولین است. پرولین به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی موجب حفاظت فعالیت آنزیم‌ها و ساختمان ماکرومولکول‌ها در سلول و افزایش بیان پروتئین‌های مرتبط با افزایش تحمل تنش کم‌آبی در گیاهان می‌شود (Cheng *et al.*, 2019). همچنین پرولین با افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی، گیاهان را در برابر خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی محافظت می‌کند (Maurel and Prado, 2017). کاربرد خارجی اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم‌آبی با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب افزایش مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو و در نتیجه کاهش میزان تولید پرولین در گیاهان می‌شود (Khalil and El-Noemani, 2012). دستاوردهای این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۳- تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر میزان پرولین شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی

کم‌آبی، میزان پرولین افزایش یافت. محلول‌پاشی پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را در میزان پرولین داشت و تا حدودی سبب جبران خسارت ناشی از تنش کم‌آبی شد که با یافته‌های تحقیقات روی کاسنی (Mortazaeinezhad and Jarzizadeh, 2017)، گل پروانش (Jaleel *et al.*, 2008) و بابونه آلمانی (Darvizheh *et al.*, 2017)، همخوانی داشت.

کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم‌آبی و اثر متقابل تنش کم‌آبی× محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در سطح ۱٪، معنی‌دار است. اثر ساده محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ و بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در سطح ۵٪، معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد در تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری داشت. بین تیمار گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که بیانگر آن است که در این ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی علظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هر دو اسیدآمینه تأثیر معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش کم‌آبی ندارد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد بین تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در این ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نشان دادند. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری داشت. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که می‌توان از هر یک از اسیدآمینه‌ها در این ظرفیت زراعی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده نمود. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای گلوتامین ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر وجود نداشت. فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری داشت. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تیمار گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد به بیانی در این ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز ندارد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد بین تیمار پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با گلوتامین ۵۰ میلی‌گرم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۴- اثر تنش کم‌آبی و غلظت‌های مختلف پرولین و گلوتامین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*)

ظرفیت زراعی (درصد)	اسیدهای آمینه (میلی‌گرم در لیتر)	کاتالاز (واحد آنزیم در گرم وزن تر)	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز
۱۰۰	بدون محلول‌پاشی	۷/۰±۲۱/۳۱۳^{e}	۲/۰±۷۵/۱۴۸^{d}	۱۵/۰±۱۶/۴۳۹^{e}
	پرولین ۵۰	۷/۰±۸۴/۲۷۹^{c}	۲/۰±۹۶/۰۸۱^{c}	۱۶/۰±۲۸/۲۶۴^{c}
	پرولین ۱۰۰	۸/۰±۲۳/۴۲۵^{a}	۳/۰±۲۸/۲۳۴^{a}	۱۷/۰±۴۲/۳۷۵^{a}
	گلوتامین ۵۰	۷/۰±۵۸/۲۳۸^{d}	۲/۰±۹۳/۱۰۸^{c}	۱۵/۰±۷۳/۲۲۴^{d}
	گلوتامین ۱۰۰	۸/۰±۱۴/۱۲۷^{b}	۳/۰±۱۴/۱۱۵^{b}	۱۹/۰±۰۹/۴۶۳^{b}
۷۰	بدون محلول‌پاشی	۶/۰±۰۳/۳۴۶^{i}	۳/۰±۲۳/۱۵۳^{i}	۱۲/۰±۸۵/۳۸۱^{i}
	پرولین ۵۰	۶/۰±۴۱/۱۶۲^{h}	۲/۰±۴۸/۱۵۶^{g}	۱۳/۰±۳۸/۲۹۴^{h}
	پرولین ۱۰۰	۶/۰±۷۹/۳۷۱^{g}	۲/۰±۶۳/۰۹۷^{e}	۱۴/۰±۹۶/۳۶۲^{g}
	گلوتامین ۵۰	۶/۰±۲۸/۲۳۵^{hi}	۲/۰±۳۷/۱۳۳^{h}	۱۳/۰±۵۷/۱۱۸^{hi}
	گلوتامین ۱۰۰	۷/۰±۰۵/۱۴۹^{f}	۲/۰±۷۱/۲۳۶^{e}	۱۴/۰±۳۲/۳۷۹^{f}
۳۰	بدون محلول‌پاشی	۵/۰±۲۹/۳۲۷^{m}	۱/۰±۷۴/۰۹۵^{m}	۱۰/۰±۶۴/۳۵۸^{m}
	پرولین ۵۰	۵/۰±۵۷/۲۹۶^{l}	۱/۰±۹۵/۱۱۷^{kl}	۱۱/۰±۴۲/۲۷۴^{l}
	پرولین ۱۰۰	۵/۰±۹۸/۲۵۷^{j}	۲/۰±۱۸/۱۴۲^{j}	۱۱/۰±۸۶/۴۲۱^{k}
	گلوتامین ۵۰	۵/۰±۶۲/۲۷۴^{l}	۱/۰±۸۹/۰۸۹^{l}	۱۱/۰±۳۵/۳۴۶^{l}
	گلوتامین ۱۰۰	۵/۰±۸۴/۲۹۳^{k}	۲/۰±۰۶/۰۷۴^{k}	۱۲/۰±۱۷/۴۸۶^{j}

اعداد، میانگین ± انحراف استاندارد هستند. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

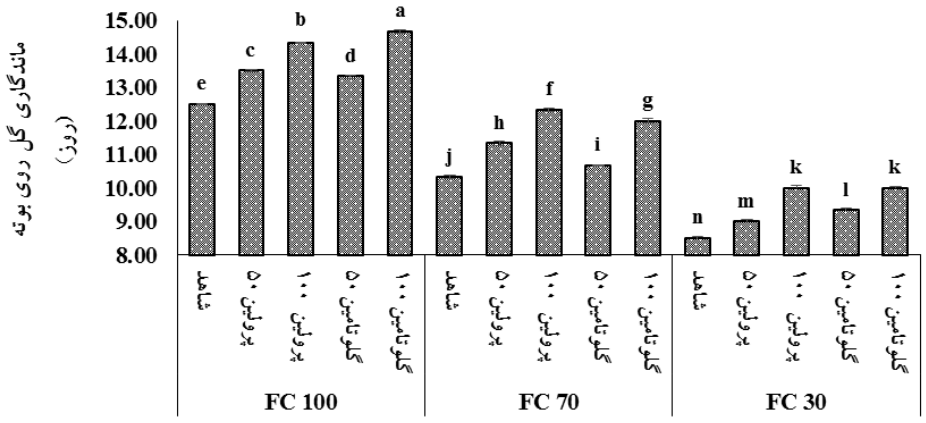
در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طورکلی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان‌دهنده آن است که با افزایش غلظت پرولین و گلوتامین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت‌های زراعی ۱۰۰، ۷۰ و ۳۰ درصد، افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز مشاهده شد. همچنین بین هر دو غلظت پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در هر سه ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در مجموع نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز کاهش یافت، اما استفاده از سطوح مختلف پرولین و گلوتامین سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌ها نسبت به تیمار شاهد در همان ظرفیت زراعی شد. به‌نحوی‌که بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز به ترتیب با ۸/۲۳، ۳/۲۸ و ۱۷/۴۲ واحد آنزیم در گرم وزن تر در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد بود (جدول ۴). قرارگرفتن سلول‌های گیاه در معرض هر گونه تنش اکسیداتیو موجب تولید رادیکال‌های آزاد و تخریب پروتئین می‌شود (Araujo *et al.*, 2019). به‌طور طبیعی گیاهان دارای سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای برای دوری از اثرات مضر گونه‌های اکسیژن فعال هستند. در شرایط تنش‌های محیطی از جمله کم‌آبی میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش می‌یابد. در این شرایط، گیاهانی که دارای سطوح بالای آنتی‌اکسیدانی دائمی یا القایی هستند، در برابر خسارات اکسیداتیو مقاوم‌ترند، زیرا می‌توانند انواع گونه‌های اکسیژن‌های فعال را به صورت‌های مؤثر ساختمانی تبدیل کنند (Hatzig *et al.*, 2018). اسیدهای آمینه به عنوان منبع تأمین نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی در گیاهان تجمع پیدا می‌کنند (Saremi *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

2020) که می‌تواند در آبپوشی لایه‌های احاطه‌کننده فسفولیپیدها نقش داشته باشند و با گروه‌های هیدروکسیل سر فسفولیپیدها واکنش داده و از این طریق از تخریب پروتئین‌ها و فسفولیپیدهای غشایی جلوگیری کند (Soroori *et al.*, 2021). همچنین اسیدآمینه پرولین و گلوتامین قادر هستند رادیکال‌های آزاد اکسیژن را مهار کنند. مکانیسم مولکولی مهار رادیکال‌های آزاد به خصوص توسط پرولین مربوط به ویژگی‌های بیوشیمیایی پرولیدین است که پرولین را قادر می‌سازد با اکسیژن تکی و گروه هیدروکسیل واکنش دهد و اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد را بر مولکول‌های مهم نظیر آنزیم‌ها خنثی می‌کند (Jaleel *et al.*, 2008). در این پژوهش اعمال تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز به خصوص در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد شد. اما استفاده از سطوح مختلف پرولین و گلوتامین به خصوص تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی تا حد زیادی توانست موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز گردد که با نتایج تحقیقات در مورد گیاه ختمی زینتی (اورعی و همکاران،۱۴۰۰)، آویشن دنایی (کاظم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲) و گوجه‌فرنگی (Alfosea-Simon *et al.*, 2021)، مطابق بود.

ماندگاری گل روی بوته: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و اثر متقابل تنش کم‌آبی× محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر ماندگاری گل‌ها روی بوته در سطح ۱٪ است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در ظرفیت زراعی ۱۰۰ و ۷۰ درصد ماندگاری گل‌ها روی بوته تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری داشت که بیانگر آن است که در این دو ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ماندگاری گل‌های شمعدانی معطر روی بوته نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) شد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد بین تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در این ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری داشتند. به‌طورکلی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزایش غلظت پرولین و گلوتامین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت‌های زراعی ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد سبب افزایش معنی‌دار ماندگاری گل‌ها روی بوته شد. همچنین بین هر دو غلظت پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ظرفیت‌های زراعی مختلف، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در مجموع نتایج نشان داد که ماندگاری گل‌ها روی بوته در ظرفیت زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد کاهش یافت، اما استفاده از سطوح مختلف پرولین و گلوتامین سبب افزایش معنی‌دار ماندگاری گل‌ها روی بوته نسبت به تیمار شاهد در همان ظرفیت زراعی شد. بیشترین و کمترین ماندگاری گل‌های شمعدانی معطر روی بوته به ترتیب با ۱۴/۷ و ۸/۵ روز در تیمارهای گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و شاهد در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد به‌دست آمد (شکل ۴). در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب آسیب به پروتئین‌های ساختاری در فتوسیستم‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز و ساخت و انتقال مواد غذایی مورد نیاز گیاه می‌گردد. همچنین تجزیه پروتئین‌ها خود نشانه‌ای از تخریب غشا سلولی و افزایش نشت یونی و در نتیجه کاهش تورژسانس سلول است که در کل منجر به کاهش ماندگاری گل‌ها تحت تنش کم‌آبی می‌شود (Gerailoo *et al.*, 2014). محققان افزایش ماندگاری گل‌ها روی بوته در اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه را به دلیل نقش مستقیم این ترکیبات در انتقال فتوآسیمیلات‌ها، افزایش بازده فتوسنتز و دسترسی گیاه به مقدار بیشتر مواد غذایی نسبت داده‌اند (Heidarzadeh *et al.*, 2021). همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با کاهش تنفس و تولید اتیلن منجر به کاهش سرعت فرآیند پیری گل‌ها می‌گردد (Altunkaya and Gokmen, 2008). دستاوردهای این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، ماندگاری گل‌ها روی بوته کاهش یافت، اما استفاده از اسیدهای آمینه تا حدودی سبب جبران

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



تیمار (میلی‌گرم در لیتر)

شکل ۴- تأثیر محلول‌پاشی پرولین و گلوتامین بر ماندگاری گل شمعدانی معطر روی بوته تحت تنش کم‌آبی

خسارت ناشی از تنش کم‌آبی شد. به خصوص گلوتامین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر که بیشترین تأثیر را در ماندگاری گل‌های شمعدانی معطر روی بوته داشت. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات روی گل میخک (Abdossi and Danee, 2019)، بگونیا (Zhimin *et al.*, 2024) و گل پروانش (Jaleel *et al.*, 2008)، همخوانی داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی حاضر نشان داد که با کاهش سطح آبیاری تا ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و ماندگاری گل‌های شمعدانی معطر روی بوته، کاهش داشت، ولی میزان پرولین و درصد نشت یونی غشا سلول، افزایش یافت. استفاده از اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم‌آبی توانست با کمک به حفظ فشار اسمزی، تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، محافظت از رنگدانه‌ها در برابر تخریب و افزایش کارایی فتوسنتزی، همچنین کاهش درصد نشت یونی غشا سلول و افزایش میزان پرولین، اثرات مخرب تنش کم‌آبی را در گیاه شمعدانی معطر کاهش دهد. البته در شرایط عدم تنش نیز محلول‌پاشی این نوع از اسیدهای آمینه بیشترین تأثیر را بر رشد و عملکرد گیاه داشت. لذا، می‌توان از محلول‌پاشی اسیدهای آمینه پرولین و گلوتامین یا رویکرد کارآمد برای بهبود تحمل گیاه شمعدانی معطر به تنش کم‌آبی و کاهش اثرات منفی آن بر گیاه بهره برد.

منابع

الهویردی‌زاده، صالح، و دانایی، الهام (۱۴۰۲). تأثیر اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست بر برخی شاخص‌های رویشی و میزان پرولین گیاه پروانش (*Catharanthus roseous*) تحت تنش کم‌آبی. *نشریه محیط زیست و مهندسی آب*، ۸(۲)، ۱۴-۱. https://doi.org/10.22034/ewe.2022.333951.1745

اورعی، تکتم، شور، محمود، تهرانی‌فر، علی، و نعمتی، سیدحسین (۱۴۰۰). اثر تنش خشکی بر متغیرهای جوانه‌زنی بذر و صفات فیزیولوژیکی گیاه ختمی زینتی (*Alcea rosea* L.). *نشریه علوم باغبانی*، ۳۵(۴)، ۴۷۹-۴۹۲. DOI: 10.22067/jhs.2021.60838.0

پروانک، کامران (۱۳۹۸). بررسی اثر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس گونه مریم‌گلی سهندی (*Salvia sahendica* L.). *نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۴)، ۱۲۴۹-۱۲۳۷.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

https://doi.org/10.22077/escs.2019.1737.1396
جهانی، رحیمه، حسنی، عباس، و صمدی، عباس (۱۳۹۶). تأثیر محلول‌پاشی اوره، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آگاستاکه (*Agastache foeniculum*). *تحقیقات کاربردی خاک*، ۵(۲)، ۱۰۷-۹۵. https://sid.ir/paper/261867/fa
حسنوند، فاطمه، و رضایی‌نژاد، عبدالحسین (۱۳۹۶). تأثیر سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) در شرایط تنش شوری. *علوم باغبانی ایران*، ۴۸(۴)، ۷۵۲-۷۴۳. DOI: 10.22059/ijhs.2018.210950.1040
خانی، آرزو، برزگر، طاهر، و نیکبخت، جعفر (۱۴۰۳). تأثیر سیلیکات پتاسیم و ال- سیستئین بر عملکرد، کارآیی مصرف آب و کیفیت میوه فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) تحت شرایط کم‌آبی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۴۱-۲۵. https://doi.org/10.22034/13.59.25
دهخدایی، پریا، ریزی، سعید، و قاسمی‌قهساره، مسعود (۱۴۰۰). اثر نورهای مصنوعی (LEDs) و طبیعی بر کمیت و کیفیت نشای اطلسی، شمعدانی و حسن یوسف. *تولیدات گیاهی*، ۴۴(۳)، ۳۸۰-۳۶۹. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.32166.1865
زالی، حسن، حسنلو، طاهره، سفالیان، امید، اصغری، علی، و زین‌العابدینی، مهرشاد (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و تجمع اسیدهای آمینه در کلزا. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۸(۱۸)، ۲۰۳-۱۹۱. DOI:10.29252/jcb.8.18.191
سلیمانی، داوود، نصری، محمد، و اویسی، میثم (۱۳۹۶). بررسی عوامل کاهش‌دهنده تنش خشکی بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.). *پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر*، ۱۴(۲)، ۱۱۰-۱۰۱.
فتاحی، مسعود، و محمدخانی، عبدالرحمان (۱۴۰۱). بررسی تأثیر محلول‌پاشی پرولین بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و اسمولیت‌های پایه UCB1 پسته در شرایط تنش آبی. *نشریه علوم باغبانی*، ۳۷(۲)، ۳۶۲-۳۵۱. DOI: 10.22067/jhs.2022.75455.1145
کاظم‌پور، علی، شرقی، یونس، مدرس‌ثانوی، سیدعلی محمد، زاهدی، حسین، و سفیدکن، فاطمه (۱۴۰۲). اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اسانس آویشن دنایی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۳)، ۹۰-۷۱. DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.5.3
کیانی، هدی‌سادات، و سبکدست، منیژه (۱۴۰۳). اثر هورمون استریگولاکتون بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آویشن دنایی تحت تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۳۰۷-۲۸۹. DOI: 10.22034/13.59.289
معینی، راضیه، و محمودی‌زرندی، مهرناز (۱۴۰۳). اثر پاکلوبوترازول بر برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه شوید (*Anethum graveoelans* L.) تحت تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۲۴۳-۲۱۱. DOI: 10.22034/13.59.211
میری، میررضا، قوشچی، فرشاد، توحیدی‌مقدم، حمیدرضا، لاریجانی، حمیدرضا، و کسرایی، پورنگ (۱۴۰۱). بررسی تأثیر کاربرد گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۵(۳)، ۶۴۰-۶۲۵. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3770.1911
مومیوند، حسن، رضایی‌نژاد، عبدالحسین، تقی‌پور، شیرین، سپهوند، کبری، و مرادی، بهنام (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر زمان خشک‌شدن و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens*). *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۳(۴)، ۶۶۸-۶۵۵. DOI: 10.22067/jhorts4.v33i4.76354
محمدی، زینب، آزادی، پژمان، قنبری‌جهرمی، مرضیه، و غالبی، سعید (۱۳۹۸). ارزیابی مقاومت به تنش کم آبی در گل ماهور (*Verbascum thapsus*) و معرفی آن به عنوان یک گیاه زینتی در فضای سبز شهری. *پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۲۶(۴)، ۲۲۷-۲۴۳. DOI: 10.22069/jopp.2019.15884.2439

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

ناصری‌مقدم، علی، بیات، حسن، امینی‌فرد، محمد، و مرادی‌نژاد، فرید (۱۳۹۸). تأثیر تنش‌های خشکی و شوری بر رشد، گلدهی و برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه نرگس (*Narcissus tazetta* L.). *نشریه علوم باغبانی*، ۳۳(۳)، ۴۶۶-۴۵۱. DOI: 10.22067/jhorts4.v0i0.76772

کیقبادی، ساقی، فتوحی‌قزوینی، رضا، تاجور، یحیی، و صبوری، عاطفه (۱۴۰۱). معرفی مقاومترین ژنوتیپ‌های سرو کوهی (*Juniperus* spp.) به تنش خشکی بر پایه شاخص‌های فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی. *نشریه علوم باغبانی*، ۳۶(۲)، ۳۵۳-۳۴۳. DOI: 10.22067/jhorts4.v39i1.88559

Abaspour Esfaden, M., Kallaterjari, S., & Fateh, F. (2019). The effect of salicylic acid and L-arginine on morpho-physiological properties and leaf nutrients of catharanthus roseus under drought stress. *Journal of Horticultural Science, 33*(3), 417-432. 10.22067/jhorts4.v33i3.73631

Abdossi, V, & Danaee, E. (2019). Effects of some amino acids and organic acids on enzymatic activity and longevity of *Dianthus caryophyllus* cv. tessino on at pre-harvest stage. *Journal of Ornamental Plants*, *9*(2), 93-104.

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Meth Enzymology, 105*, 121-126.

Alfosea-Simon, M., Simon-Grao, S., Zavala-Gonzalez, E. A., Camara-Zapata, J. M., Simon, I., Martinez-Nicolas, J. J., Lidon, V., & Garcia-Sanchez, F. (2021). Physiological, nutritional and metabolomic responses of tomato plants after the foliar application of amino acids aspartic acid, glutamic acid and alanine. *Frontiers Plant Science, 11*, 581234. DOI: 10.3389/fpls.2020.581234

Altunkaya, A, & Gokmen, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, total phenol content and total antioxidant activity lettuce. *Food Chemistry*, *107*(3), 1173-1179. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.046

Araujo, M., Ferreira de Oliveira, J. M. P., Santos, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., & Dias, M. C. (2019). Responses of olive plants exposed to different irrigation treatments in combination with heat shock: Physiological and molecular me chanisms during exposure and recovery. *Planta*, *249*, 1583-1598. DOI: 10.1007/s00425-019-03109-2

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

Bahadoran, M, & Salehi, H. (2015). Growth and flowering of two tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cultivars under deficit irrigation by saline water. *Journal of Agricultural Science and Technology, 17*(2), 415-426.

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

Cheng, Y. T., Zhang, L., & He, S. Y. (2019). Plant-microbe interactions facing environmental challenge. *Cell Host and Microbe, 26*, 183-192. DOI: 10.1016/j. chom.2019.07.009

Danaee, E, & Abdossi, V. (2018). Effect of different concentration and application methods of polyamines (Putrescine, Spermine, Spermidin) on some morphological, physiological, and enzymatic characteristics and vase life of *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita cut flower. *Journal of Ornamental Plants*, *8*(3), 171-182.

Dareini, H., Abdossi, V., & Danaee, E. (2014). Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers (*Gerbera Jamesonii* cv. Sorbet). *European Journal of Experimental Biology, 4*(3), 276-280.

Darvizheh, H., Zavareh, M., & Ghasmanjad, M. (2017). Effects of prolin application on biochemistry characteristics of German chamomil (*Matricaria chamomilla* L.) in water stress. *Journal of Applied Research in Plant Ecophysiology, 4*, 35-60. http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-244-en.html

Ezhilmathi, K., Singh, V. P., Arora, A., & Sairam, R. K. (2007). Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of *Gladiolus* cut flowers. *Plant Growth Regulator*, *51*, 99-108.

Fàbregas, N, & Fernie, A. R. (2019). The metabolic response to drought. *Journal of Experimental Botany*, *70*, 1077-1085. DOI: 10.1093/jxb/ery437

Gerailoo, S., Ghasemnezhad, M., & Shiri, M. (2014). Effect of short time treatment of salicylic acid in delaying flowers senescence in cut rose (*Rosa hybrida*) cv. Yellow Island. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27* (2), 309-299. DOI: 20.1001.1.23832592.1393.27.2.13.3

Hatzig, S. V., Nuppenau, J. N., Snowdon, R. J., & Schiessl, S. V. (2018). Drought stress has transgenerational effects on seeds and seedlings in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *BMC Plant Biology, 18*, 297. DOI: 10.1186/s12870-018-1531-y

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Ebrahimi Esborezi, H. (2021). Effect of priming and foliar application of different amino acids on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in late sowing. *Iranian Journal Pulses Research*, *12*(1), 88-99. DOI: 10.22067/ijpr. v12i1.83900

Helaly, A. A. E, & Ibrahim, F. R. (2019). Influence of iron, zinc and tyrosine acid on growth, yield components and chemical constituents of *Hibiscus sabdariffa* L. plant. *Current Science International*, *8*(1), 128-139.

Jaleel, C. A., Gopi, R., Manivannan, P., Gomathinayagam, M., Murali, P. V., & Panneerselvam, R. (2008). Soil applied propiconazole alleviates the impact of salinity on *Catharanthus roseus* by improving antioxidant status. *Pesticide*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

Biochemistry and Physiology, *90*(2), 135-139. DOI:10.1016/j.pestbp.2007.11.003

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences, 10*(16), 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692

Kendziorek, M., Paszkowski, A., & Zagdanska, B. (2012). Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stresses in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Plant Cell Reports, 31*, 1105-1117. DOI: 10.1007/s00299-012-1231-2

Khalil, S, & El-Noemani, A. A. (2012). Effect of irrigation intervals and exogenous proline application in improving tolerance of garden cress plant (*Lepidium sativum* L.) to water stress. *Journal of Applied Sciences Research*, *8*(1), 157-167.

Liu, M., Guo, L., Yue, Y., Wu, J., Fan, X., Xiao, G., & Teng, K. (2023). Physiological and antioxidant enzyme gene expression differences between female and male *Buchloe dactyloides* plants under drought stress. *Acta Horticulturae Sinica*., *32*, 93-103. https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202310.003

Ma, Y., Celeste Dias, M., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontires in Plant Science, 13*(11), 1-18. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911

Maurel, C, & Prado, K. (2017). Aquaporins and leaf water relations. *Plant Aquaporins, Springer International Publishing*, 155-165. DOI: 10.1007/978-3-319-49395-4_7

Meng, X, & Wang, X. (2004). Relation of flower development and anthocyanin accumulation in *Gerbera hybride*. *Horticultur Science and Biotechnology*, *79*, 131-137.

Mirakhorli, T., Oraghi Ardebili, Z., Ladan-Moghadam, A., & Danaee, E. (2022). Nitric oxide improved growth and yield in soybean (*Glycine max*) by mediating physiological, anatomical, and transcriptional modifications. *Journal of Plant Growth Regulation (JPGR), 41*, 13311-1343. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0256905

Mohammadi, S. M., Rameeh, V., Gerami, M., AsadiSanam, S., & Khoshrooz, M. (2018). Effect of sodium nitroprusside (SNP) on some of biochemical characteristics of purple coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench] under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function, 7*(23), 123-139. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-628-en.html

Mortazaeinezhad, F, & Jarzizadeh, E. (2017). Effects of water stress on morphological and physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Journal of Crop Production and Processing*. *Isfahan University of Technology*, *6*(21), 279-290. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-645-en.html

Saremi, S., Gholipoor, M., Abbasdokht, H., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A., & Asghari, H. (2020). The morphophysiological responses of *Physalis alkekengi* to foliar applications of amino acids under drought stress conditions. *Horticultural Plants Nutrition*, *3*(2), 71-86.

Sharma, A., Wang, J., Xu, D., Tao, S., Chong, S., Yan, D., Li, Z., Yuan, H., & Zheng, B. (2020). Melatonin regulates the functional components of photosynthesis, antioxidant system, gene expression, and metabolic pathways to induce drought resistance in grafted *Carya cathayensis* plants. *Science of The Total Environment, 713*, 136675. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136675

Shamsai, A. A., Aran, M., & Fakheri, B. A. (2021). The effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of rosemary under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *2*(2), 127-140. DOI: 10.22034/csrar.2021.257878.1069

Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, Kh., & Ladan Moghadam, A. R. (2021). The metabolic response and enzymatic activity of *Calendula officinalis* L. to foliar application of spermidine, citric acid and proline under drought stress and in a post-harvest condition. *Journal of Agriculture Scince and Technology*, *23*(6), 1339-1353. http://jast.modares.ac.ir/article-23-42056-en.html

Szabados, L, & Savoure, A. (2009). Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Sciences*, *15*(2), 89-97. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009

Tan, K., Liu, X., Ma, D., & Wang, L. (2022). Physiological response to drought stress and drought resistance evaluation of Taxodium distichum var. imbricatum (Nuttall) cropm seedlings from three provenances. *Shandong Agriculture Science*, *54*, 30-37.

Tohidi, Z., Sobhanian, H., & Baghizadeh, A. (2021). Evaluation and comparison of ten ecotypes of *Teucrium polium* L. in tolerance to drought stress. *Journal of Plant Physiology, 16*(62), 123-138. DOI: 10.30495/iper.2021.679559

Toscano, S., Romana, D., Tribulata A., & Patane, C. (2017). Effect of drought stress on seed germination of ornamental sunflowers. *Acta Physiologiae Plantarum*, *39*, 1-12. DOI:10.1007/s11738-017-2484-8

Yu, S., Luo, Y., Tang, F., Qiu, Y., & Li, Z. (2023). Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence characteristics of *Medicago sativa* L. *Acta Agrestia Sinia*, *31*, 1762-1771. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2023.06.019

Zhimin, Zh., Liu, A., Zhang, Y., Yang, X., Yang, Sh., & Zhao, K. (2024). Effects of progressive drought stress on the growth, ornamental values and physiological properties of *Begonia semperflorens*. *Horticulturae, 10*(4), 405. DOI: 10.3390/horticulturae10040405

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

Investigating the effect of low water stress on Aromatic Geranium (*Pelargonium graveolens*) Morphophysiological traits and enzyme activity with Proline and Glutamine foliar application

Maryam Mehrariyan and Elham Danaee*

Department of Horticulture Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran
(Received: 2024/06/27, Accepted: 2024/10/15)

Abstract

Aromatic geranium is an ornamental plant whose essential oil is widely used in perfumery, health and cosmetic, food and pharmaceutical industries. In order to investigate the reduction of the adverse effects of low water stress in Aromatic Geranium (*Pelargonium graveolens*) plants by proline and glutamine foliar application, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 3 replications in a commercial greenhouse located in Garmsar city in 1402-1403. The experiment was done in pots with 3 levels of low water stress (30, 70 and 100% of field capacity) and spraying with proline and glutamine (each with two levels of 50 and 100 mg/liter) and their interaction. Low water stress was applied after the plant's establishment and in the 6 to 8 leaf stage. Foliar spraying with proline and glutamine at different levels was done in two stages. Finally, sampling and evaluation of traits was done about two weeks after the last spraying. The results showed that the highest fresh and dry weight of shoots (71.42 and 9.12 g), petals anthocyanin and total leaf chlorophyll (3.2761 and 16.4217 mg/g FW) and the lowest ionic leakage of the cell membrane (54.27%) were in glutamine 100 mg/L at 100% FC treatment. The highest root fresh and dry weight (16.35 and 3.67 g), the longest root length (45.28 cm), catalase, superoxide dismutase and peroxidase enzyme activity (8.23, 3.28 and 17.42 U E/g FW) and lowest proline amount was obtained in proline 100 mg/liter at 100% FC treatment. The longest shelf life of aromatic geranium flower on plant was (14 days) in glutamine 100 mg/liter at 100% FC treatment and the lowest (8 days) in control treatment at 30% FC. In total, proline and glutamine with regulating osmotic pressure, inhibiting oxygen free radicals, and preventing membrane proteins and phospholipid degradation, caused a reduction low water stress negative effects in foliar-sprayed plants compared to the control in 70 and 30% FC. Therefore, it is possible to recommend proline and glutamine foliar application under low water stress conditions to improve aromatic geranium (*Pelargonium graveolens*) growth, quality and flowering.

Keywords: Catalase, Glutamine, *Pelargonium graveolens*, Peroxidase, Proline, Superoxide dismutase

Corresponding author, Email: dr.edanaee@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]