

بررسی اثر تنش کم آبی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و فعالیت آنزیمی گیاه شمععدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) با محلول پاشی 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. به منظور بررسی کاهش اثرات نامطلوب تنش کم آبی در گیاه شمععدانی معطر با محلول پاشی 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 به صورت گلدانی با اعمال سه سطح تنش کم آبی (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول پاشی با پرولین و گلوتامین (هر کدام با دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و اثر متقابل آنها، انجام شد. اعمال تنش کم آبی پس از استقرار گیاهان و در مرحله شش تا هشت برگی صورت گرفت. محلول پاشی با سطوح مختلف پرولین و گلوتامین در دو مرحله انجام شد. در نهایت نمونه برداری و ارزیابی صفات، حدود دو هفته پس از آخرین محلول پاشی 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 میلی گرم در گرم وزن تر) و کمترین نشت یونی غشاء سلول (۵۴/۲۷ درصد) در تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم 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 سانتی متر)، فعالیت آنزیم های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز (به ترتیب با ۸/۲۳، ۳/۲۸ و ۱۷/۴۲ واحد آنزیم در گرم وزن تر) و کمترین میزان پرولین (۲/۳۵ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد به دست آمد. بیشترین ماندگاری گل شمععدانی معطر روی بوته (۱۴ روز) در تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم 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 رادیکال های آزاد اکسیژن و جلوگیری از تخریب پروتئین ها و فسفولیپیدهای غشایی سبب کاهش اثرات منفی تنش کم آبی در گیاهان محلول پاشی شده نسبت به شاهد در ظرفیت زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد، شد. لذا، می توان محلول پاشی پرولین و گلوتامین در شرایط تنش کم آبی را برای بهبود رشد، کیفیت و گلدهی گیاه شمععدانی معطر توصیه نمود.

واژه های کلیدی: پراکسیداز، پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، شمععدانی معطر، کاتالاز، گلوتامین

مقدمه

علفی، همیشه سبز و گلدار از تیره Geraniaceae و بومی

آفریقای جنوبی است (دهخدايي و همکاران، ۱۴۰۰). اسانس

شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) گیاهی چندساله،

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 می‌کند (کیانی و سبکدست، ۱۴۰۳). تحقیقات نشان داده است که در گیاه آفتابگردان زیتنی (*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 اسیدآمین در پاسخ به تنش است (Abaspour Esfaden et al., 2019)، اما در شرایط نامساعد محیطی بیوستز 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)، بیوستز ترکیبات آلی مانند رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، آلکالوئیدها، آنزیم‌ها، تریپتوئیدها، کوآنزیم‌ها و

این گیاه به دلیل خواص ضدقارچی، ضدباکتریایی و عطری خوش شبیه بوی رز و سبب 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 زرنندی، 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،

پرولین موجب کنترل اثرات منفی کم‌آبی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اسانس آویشن دانایی (*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 زبیتی 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 21 ± 2 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

بازهای پورینی و 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 (Kendziorok *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 Ibrahim, 2019). همچنین در رژیم‌های مختلف آبیاری، محلول‌پاشی

$$(1) \quad (EC_1 / EC_2) \times 100 = \text{درصد نشت یونی غشاء سلول}$$

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 طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر، خوانده و آنتوسیانین موجود در گلبرگها با معادله (۲)، محاسبه بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر یادداشت شد (Meng and Wang, 2004). محتوای کلروفیل کل برگ (Total Ch) با خواندن جذب نمونهها در طول موجهای ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با معادله (۳)، اندازه گیری شد (Arnon, 1949) که در هر دو معادله A، میزان جذب نور است.

$$(2) \quad An = A_{530nm} - A_{657nm}$$

$$(3) \quad Total Ch = 20.2(A_{645nm}) + 8.02(A_{663nm})$$

پرولین: میزان پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، با قرائت جذب فاز فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر، اندازه گیری و بر حسب میلی گرم 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 طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Abdossi و Danaee (۲۰۱۸) در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه گیری شد. در سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش Mirakhorli و همکاران (۲۰۲۲)، تغییرات جذب نمونهها در طول موج ۵۳۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت فعالیت آنزیمها بر حسب 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

میکروالمانها ($2.8 \text{ gL}^{-1} \text{ H}_3\text{B}_3\text{O}_3$, $1.8 \text{ gL}^{-1} \text{ MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $0.2 \text{ gL}^{-1} \text{ ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0.1 \text{ gL}^{-1} \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $0.025 \text{ gL}^{-1} \text{ H}_2\text{MoO}_4$) و کلات آهن (Fe-EDTA) تهیه شد. برای تهیه ۱ لیتر محلول غذایی هوگلد با استفاده از محلولهای پایه فوق، ۵ میلی لیتر از محلول پایه نترات کلسیم، ۵ میلی لیتر نترات پتاسیم، ۱ میلی لیتر فسفات پتاسیم، ۲ میلی لیتر سولفات منیزیم، ۱ میلی لیتر میکروالمانها و ۱ میلی لیتر 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 برگگی بر اساس روش وزنی بود. آبیاری نیز بر اساس تغییر وزن خاک گلدانها نسبت به ظرفیت زراعی تعیین شده، صورت گرفت. محلول پاشی برگگی 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 هفته ای پس از محلول پاشی مرحله اول صورت گرفت. برای بهبود سطح تماس اسیدهای آمینه با گیاه، از توپین ۲۰ به عنوان مویان استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از جذب خاکی، سطح بستر پیش از محلول پاشی پوشانده شد تا فقط جذب از طریق برگها و ساقه صورت گیرد (الهیوردی زاده و دانایی، ۱۴۰۲). در نهایت نمونه برداری و ارزیابی صفات، حدود دو هفته پس از آخرین محلول پاشی 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 دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه گیری شد (Abdossi and Danaee, 2019).

طول بلندترین ریشه و نشت یونی غشاء سلول: گیاه توسط متر فلزی اندازه گیری 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 بر حسب درصد بیان شد (Soroori et al., 2021).

پژمردگی، رنگ پریدگی و ریزش گل‌ها محاسبه و به صورت روز یادداشت گردید (Ezhilmathi, 2007).

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 کم آبی و اثر متقابل تنش کم آبی × محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول بلندترین ریشه و درصد نشت یونی غشاء سلول در سطح ۱٪، معنی دار بود. اثر ساده محلول پاشی 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٪، معنی دار بود (جدول ۱).

طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد، وزن تر اندام هوایی با محلول پاشی پرولین و گلوتامین نسبت به شاهد (بدون محلول پاشی) افزایش معنی داری داشت و بین تمام سطوح تیمارهای پرولین و گلوتامین با شاهد (بدون محلول پاشی) نیز تفاوت معنی داری مشاهده شد. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی داری نداشتند، اما تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول پاشی) در این ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نشان دادند. استفاده از پرولین و گلوتامین با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد موجب افزایش معنی دار وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد (بدون محلول پاشی) شد که این افزایش در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بیشتر بود. وزن خشک اندام هوایی در تیمار پرولین ۵۰ میلی گرم در لیتر و گلوتامین ۵۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی داری در ظرفیت زراعی ۱۰۰

درصد نشان نداد، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول پاشی) تفاوت معنی داری وجود داشت که نشان دهنده اثر غلظت‌های بکاررفته پرولین و گلوتامین در بهبود وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش کم آبی نسبت به شاهد (بدون محلول پاشی) در هر ظرفیت زراعی است. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با تیمارهای گلوتامین ۵۰ میلی گرم در لیتر و پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تیمار گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تفاوت معنی داری نداشتند، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول پاشی) تفاوت معنی داری مشاهده شد. وزن تر ریشه در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی داری در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد نداشت. بین تیمار گلوتامین ۵۰ میلی گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول پاشی) تفاوت معنی داری مشاهده نشد. به بیانی در این ظرفیت زراعی محلول پاشی غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر پرولین و گلوتامین تأثیر معنی داری در بهبود وزن تر ریشه نسبت به شاهد (بدون محلول پاشی) نشان نداد. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، تیمار پرولین ۵۰ میلی گرم در لیتر با تیمارهای گلوتامین ۵۰ میلی گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول پاشی) تفاوت معنی داری نشان نداد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول پاشی) تفاوت معنی داری داشتند. وزن خشک ریشه در تیمار گلوتامین ۵۰ میلی گرم در لیتر با تیمارهای پرولین ۵۰ میلی گرم در لیتر و شاهد (بدون محلول پاشی) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد تفاوت معنی داری نداشت. در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد بین تمام تیمارها با یکدیگر و با شاهد (بدون محلول پاشی) تفاوت معنی داری مشاهده شد. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد تیمارهای پرولین ۵۰ میلی گرم در لیتر با گلوتامین ۵۰ میلی گرم در لیتر و تیمارهای پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند، اما بین تمام تیمارها با شاهد (بدون محلول پاشی)

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

میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
نشت یونی	طول بلندترین ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی		
۳۳۵/۱۳**	۱۹۸/۴۲**	۱۴/۲۸**	۷۳/۵۸**	۳۴/۱۲**	۲۴۰/۳۵**	۲	تنش کم‌آبی
۱۶۹/۴۲**	۷۴/۲۵*	۷/۳۶**	۲۲/۳۸*	۱۱/۴۲*	۸۹/۶۴**	۴	اسیدهای آمینه
۲۱۷/۱۹**	۱۲۶/۳**	۱۰/۳۵**	۳۹/۷۶**	۲۳/۶۴**	۱۴۷/۳۸**	۸	کم‌آبی × اسیدهای آمینه
۱/۸۱۲	۰/۰۹۶	۰/۰۱۴	۰/۰۶۸	۰/۰۲۳	۱/۱۴۵	۳۰	اشتباه آزمایشی
۹/۴۳	۱۰/۲۵	۱۰/۶۴	۹/۴۲	۱۰/۶۱	۹/۴۳		ضریب تغییرات (%)

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

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 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

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 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. در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد 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

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)
بدون محلول‌پاشی	۶۱/۷۵±۲/۶۵۱ ^e	۶/۹۴±۰/۳۲۲ ^d	۱۴/۸۷±۰/۱۷۳ ^c	۳/۰۶±۰/۰۴۱ ^d	۳۷/۹۵±۰/۱۵۸ ^d	۶۱/۷۳±۳/۲۴۷ ^h	
پرولین ۵۰	۶۵/۴۷±۳/۱۲۵ ^c	۸/۳۷±۰/۲۷۴ ^c	۱۵/۵۴±۰/۱۲۴ ^b	۳/۳۱±۰/۰۲۸ ^c	۴۰/۷۴±۰/۰۹۶ ^c	۵۹/۸۳±۲/۷۱۳ ⁱ	
پرولین ۱۰۰	۶۹/۳۱±۲/۷۲۴ ^b	۸/۷۵±۰/۱۱۲ ^b	۱۶/۳۵±۰/۲۴۷ ^a	۳/۶۷±۰/۰۸۲ ^a	۴۵/۲۸±۰/۱۲۴ ^a	۵۶/۳۷±۳/۴۲۸ ^j	۱۰۰
گلوتامین ۵۰	۶۳/۱۹±۲/۶۳۴ ^d	۸/۴۶±۰/۳۵۱ ^c	۱۵/۲۳±۰/۰۸۹ ^{bc}	۳/۲۴±۰/۰۱۹ ^{cd}	۴۰/۳۷±۰/۱۳۶ ^c	۵۸/۴۶±۱/۲۶۵ ⁱ	
گلوتامین ۱۰۰	۷۱/۴۲±۳/۷۸۱ ^a	۹/۱۲±۰/۲۱۶ ^a	۱۶/۱۲±۰/۱۲۵ ^a	۳/۵۲±۰/۰۲۳ ^b	۴۳/۶۹±۰/۰۷۶ ^b	۵۴/۲۷±۲/۶۸۲ ^k	
بدون محلول‌پاشی	۵۲/۱۶±۲/۹۲۷ ⁱ	۶/۶۴±۰/۱۲۳ ^h	۱۳/۰۸±۰/۰۹۷ ^e	۲/۴۳±۰/۰۳۵ ⁱ	۳۲/۳۵±۰/۱۰۳ ^h	۷۳/۸۸±۳/۵۱۹ ^d	
پرولین ۵۰	۵۶/۷۴±۳/۶۹۲ ^e	۷/۰۳±۰/۲۴۷ ^e	۱۳/۵۴±۰/۲۵۶ ^{fg}	۲/۶۴±۰/۰۵۷ ^e	۳۴/۱۱±۰/۲۱۷ ^e	۶۷/۸۳±۲/۴۵۹ ^f	
پرولین ۱۰۰	۶۰/۴۳±۲/۵۲۹ ^f	۷/۶۸±۰/۱۶۹ ^e	۱۴/۵۳±۰/۱۱۷ ^d	۲/۹۶±۰/۰۱۹ ^e	۳۷/۷۶±۰/۱۵۸ ^e	۶۲/۷۵±۳/۱۲۷ ^h	۷۰
گلوتامین ۵۰	۵۵/۳۸±۲/۸۶۳ ^h	۷/۳۵±۰/۳۲۵ ^f	۱۳/۸۷±۰/۱۳۹ ^f	۲/۵۹±۰/۰۶۳ ^h	۳۵/۴۷±۰/۲۲۹ ^f	۷۱/۶۹±۲/۱۴۹ ^e	
گلوتامین ۱۰۰	۵۸/۲۹±۳/۲۷۵ ^{fg}	۷/۴۴±۰/۱۶۸ ^{ef}	۱۴/۳۹±۰/۲۶۵ ^e	۲/۸۲±۰/۰۹۲ ^f	۳۶/۶۲±۰/۱۸۴ ^{ef}	۶۵/۴۲±۳/۲۱۴ ^g	
بدون محلول‌پاشی	۴۳/۷۶±۴/۰۳۱ ⁿ	۵/۲۶±۰/۰۹۸ ^l	۱۰/۸۶±۰/۲۱۷ ^l	۱/۹۵±۰/۰۴۷ ^l	۲۹/۰۵±۰/۱۳۷ ^k	۸۱/۲۶±۳/۵۶۱ ^a	
پرولین ۵۰	۴۶/۶۹±۲/۷۴۲ ^l	۵/۷۴±۰/۱۰۵ ^l	۱۱/۷۴±۰/۱۷۴ ^j	۲/۱۷±۰/۰۲۸ ^k	۳۰/۲۸±۰/۲۵۸ ⁿ	۷۶/۳۲±۳/۱۸۴ ^b	
پرولین ۱۰۰	۵۰/۳۷±۲/۶۵۷ ⁱ	۶/۱۸±۰/۲۱۸ ⁱ	۱۲/۸۶±۰/۱۵۹ ^h	۲/۴۱±۰/۰۳۹ ⁱ	۳۲/۱۴±۰/۱۸۳ ^{hi}	۷۲/۲۱±۲/۷۶۳ ^d	۳۰
گلوتامین ۵۰	۴۲/۲۶±۲/۵۹۶ ^m	۵/۵۲±۰/۰۶۹ ^k	۱۱/۵۳±۰/۲۸۵ ^k	۲/۱۴±۰/۰۴۱ ^k	۳۰/۳۵±۰/۱۶۷ ^j	۷۷/۷۴±۳/۵۶۲ ^b	
گلوتامین ۱۰۰	۴۹/۲۵±۳/۲۱۸ ^k	۶/۱۱±۰/۰۸۳ ⁱ	۱۲/۴۷±۰/۱۳۶ ⁱ	۲/۲۱±۰/۰۱۶ ⁱ	۳۱/۱۷±۰/۱۵۲ ⁱ	۷۴/۰۹±۲/۶۸۴ ^c	

اعداد، میانگین \pm انحراف استاندارد هستند. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه و همچنین افزایش نشت یونی غشا سلول می‌شود (اله‌ویردی‌زاده و دانایی، ۱۴۰۲). گیاهان تیمار شده با مواد ضد تنش 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).

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 به دست 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

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 گلوتامین ۵۰ 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 رنگرزه‌های 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 رنگرزه‌های گیاهی و تجزیه شیمیایی ژن‌های مربوط به مسیر

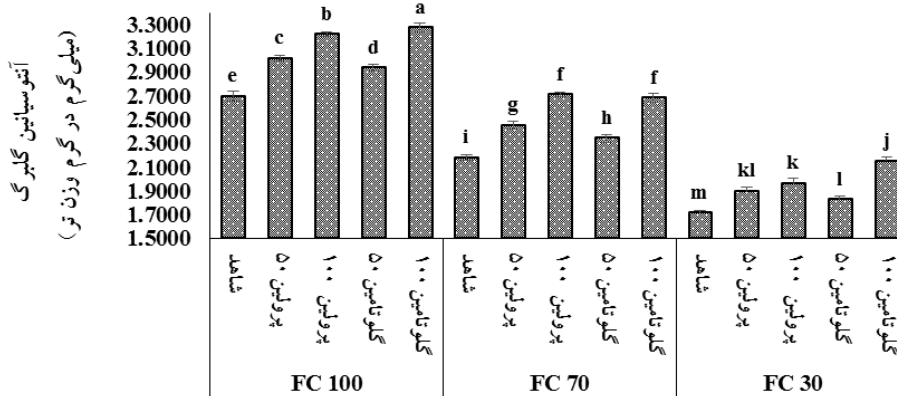
دستاوردهای این پژوهش نیز نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول بلندترین ریشه در ظرفیت زراعی ۷۰ و ۳۰ درصد، کاهش معنی‌داری نسبت به ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد داشت. اما درصد نشت یونی غشا سلول با کاهش ظرفیت زراعی به ۳۰ درصد، افزایش یافت. محلول‌پاشی گلوتامین خصوصاً با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین 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

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی پرولین و گلوتامین بر صفات بیوشیمیایی و آنزیمی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) تحت تنش کم آبی

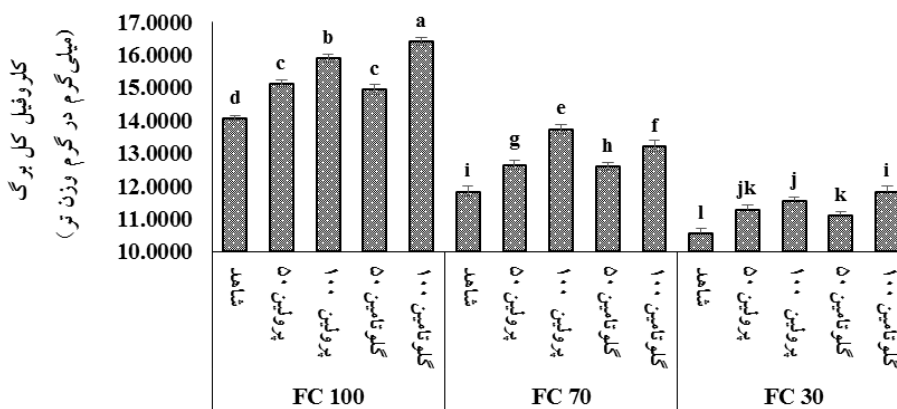
میانگین مربعات							درجه آزادی	منبع تغییرات
ماندگاری گل روی بوته	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	پرولین	کلروفیل کل برگ	آنتوسیانین گلبرگ		
۷۴/۳۸**	۸۲/۲۱**	۱۵/۲۳**	۲۹/۳۷**	۱۷/۳۲**	۷۴/۲۸**	۱۴/۵۶**	۲	تنش کم آبی
۱۵/۴۹**	۲۱/۳۸*	۷/۵۹*	۱۱/۴۵*	۶/۵۱**	۱۸/۶۳*	۵/۳۷**	۴	اسیدهای آمینه
۳۶/۲۵**	۴۵/۷۳**	۱۱/۶۸**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

***، **، * ns به ترتیب، معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی دار



تیمار (میلی گرم در لیتر)

شکل ۱- تأثیر محلول پاشی پرولین و گلوتامین بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ شمعدانی معطر تحت تنش کم آبی



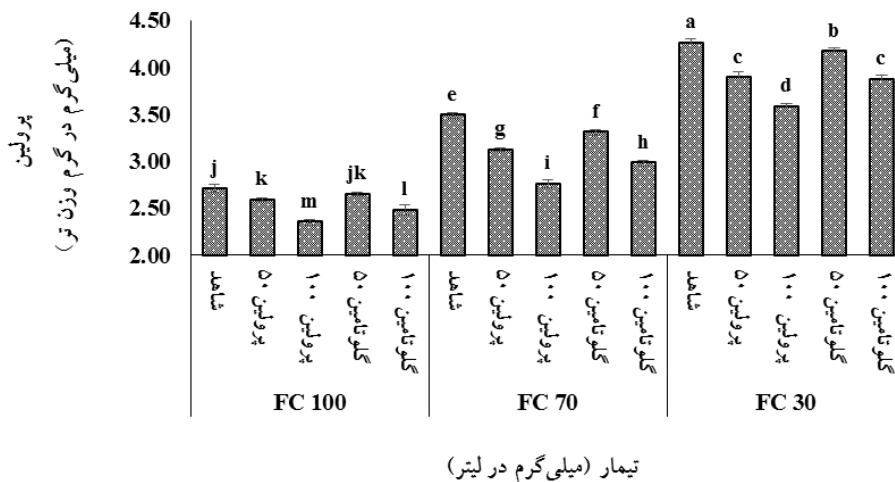
تیمار (میلی گرم در لیتر)

شکل ۲- تأثیر محلول پاشی پرولین و گلوتامین بر محتوای کلروفیل کل برگ شمعدانی معطر تحت تنش کم آبی

بیوسنتزی آنها باشد (الهویردی زاده و دانایی، ۱۴۰۲). تنش اکسیداتیو و اکسیژن‌های فعال تولیدشده موجب پراکسیداسیون و آسیب به پروتئین‌های ساختاری در فتوسنتزم‌ها، 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 آسبزیک 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 رنگرزه‌های گیاهی را افزایش می‌دهند. همچنین اسیدهای آمینه با جلوگیری از تولید آنزیم‌های ضروری برای سنتز اتیلن در بهبود فرآیندهای ساخت رنگرزه‌ها 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 رنگرزه‌های 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



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

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 اسیدآمینها 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

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 غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هر دو اسیدآمین تأثیر معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش کم‌آبی ندارد. در ظرفیت

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

اعداد، میانگین ± انحراف استاندارد هستند. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

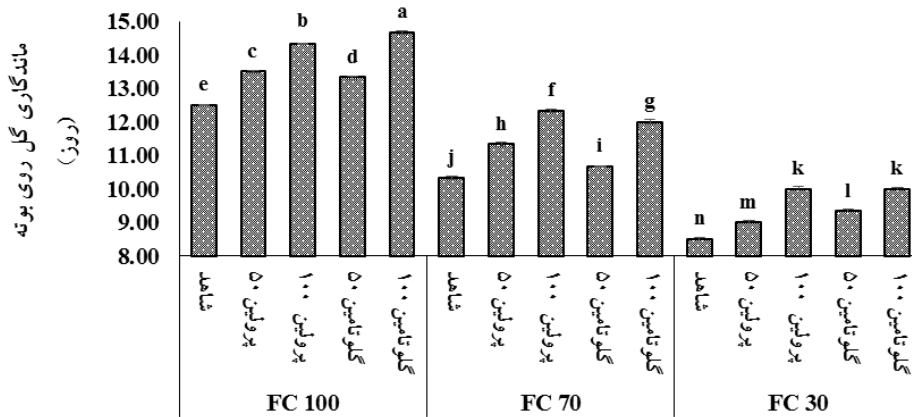
آنزیم در گرم وزن تر در تیمار پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد بود (جدول ۴). قرارگرفتن سلول‌های گیاه در معرض هر گونه تنش اکسیداتیو موجب تولید رادیکال‌های آزاد و تخریب پروتئین می‌شود. (Araujo et al., 2019). به‌طور طبیعی گیاهان دارای سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای برای دوری از اثرات 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.,

در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی 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 محلول پاشی) 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. به‌نحوی که بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز به ترتیب با ۸/۲۳، ۳/۲۸ و ۱۷/۴۲ واحد

2020) که می‌تواند در آبیوشی 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 اسیدآمین 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 زیتنی (اورعی و همکاران، ۱۴۰۰)، آویشن دناپی (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 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 ساختمانی 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



تیمار (میلی گرم در لیتر)

شکل ۴- تأثیر محلول پاشی پرولین و گلوتامین بر ماندگاری گل شمعدانی معطر روی بوته تحت تنش کم آبی

ولی میزان پرولین و درصد نشت یونی غشا سلول، افزایش یافت. استفاده از اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم آبی توانست با کمک به حفظ فشار اسمزی، تقویت سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی، محافظت از رنگدانه‌ها در برابر تخریب و افزایش کارایی فتوسنتزی، همچنین کاهش درصد نشت یونی غشا سلول و افزایش میزان پرولین، اثرات مخرب تنش کم آبی را در گیاه شمعدانی معطر کاهش دهد. البته در شرایط عدم تنش نیز محلول پاشی این نوع از اسیدهای آمینه بیشترین تأثیر را بر رشد و عملکرد گیاه داشت. لذا، می‌توان از محلول پاشی اسیدهای آمینه پرولین و گلوتامین یا رویکرد کارآمد برای بهبود تحمل گیاه شمعدانی معطر به تنش کم آبی و کاهش اثرات منفی آن بر گیاه بهره برد.

خسارت ناشی از تنش کم آبی شد. به خصوص گلوتامین ۱۰۰ میلی گرم 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.

منابع

- الهوردی زاده، صالح، و دانایی، الهام (۱۴۰۲). تأثیر اسید هیومیک و ورمی کمپوست بر برخی شاخص‌های رویشی و میزان پرولین گیاه پروانش (*Catharanthus roseous*) تحت تنش کم آبی. *نشریه محیط زیست و مهندسی آب*، ۸(۲)، ۱-۱۴. <https://doi.org/10.22034/ewe.2022.333951.1745>
- اورعی، تکتم، شور، محمود، تهرانی فر، 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 فیزیولوژیکی، درصد و عملکرد اسانس گونه مریم‌گلی سهندی (*Salvia sahendica* L.). *نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۴)، ۱۲۴۹-۱۲۳۷.

<https://doi.org/10.22077/escs.2019.1737.1396>

جهانی، رحیمه، حسنی، عباس، و صمدی، عباس (۱۳۹۶). تأثیر محلول پاشی اوره، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آگاستاکه (*Agastache foeniculum*). *تحقیقات کاربردی خاک*، ۵(۲)، ۹۵-۱۰۷.

<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-سیستین بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کیفیت میوه فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) تحت شرایط کم آبی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۴۱-۲۵.

<https://doi.org/10.22034/13.59.25>

دهخدایی، پریا، ریزی، سعید، و قاسمی‌فهاره، مسعود (۱۴۰۰). اثر نورهای مصنوعی (LEDs) و طبیعی بر کمیت و کیفیت نشای اطلسی، شمعدانی و حسن یوسف. *تولیدات گیاهی*، ۴۴(۳)، ۳۶۹-۳۸۰.

<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)، ۱۹۱-۲۰۳.

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 محلول پاشی پرولین بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و اسمولیت‌های پایه UCB1 پسته در شرایط تنش آبی. *نشریه علوم باغبانی*، ۲۷(۲)، ۳۵۱-۳۶۲.

DOI: 10.22067/jhs.2022.75455.1145

کاظم‌پور، علی، شرقی، یونس، مدرس‌ثانوی، سیدعلی محمد، زاهدی، حسین، و سفیدکن، فاطمه (۱۴۰۲). اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اسانس آویشن دناپی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۳)، ۷۱-۹۰.

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 دناپی تحت تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۲۸۹-۳۰۷.

DOI: 10.22034/13.59.289

معینی، راضیه، و محمودی‌زرنندی، مهرناز (۱۴۰۳). اثر پاکلوبوترازول بر برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) تحت تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۲۱۱-۲۴۳.

DOI: 10.22034/13.59.211

میری، میررضا، قوشچی، فرشاد، توحیدی‌مقدم، حمیدرضا، لاریجانی، حمیدرضا، و کسرابی، پورنگ (۱۴۰۱). بررسی تأثیر کاربرد گلاسیسین 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)، ۶۲۵-۶۴۰.

<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)*، ۲۳(۴)، ۶۵۵-۶۶۸.

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

- ناصری مقدم، علی، بیات، حسن، امینی فرد، محمد، و مرادی نژاد، 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)، ۴۵۱-۴۶۶.
DOI: 10.22067/jhorts4.v0i0.76772
- کیقبادی، ساقی، فتوحی قزوینی، 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)، ۳۴۳-۳۵۳.
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. DOI: 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 mechanisms 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*

- 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>
- Kendziorrek, 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. *Frontiers 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 hybrida*. *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 Science 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

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