



The Effect of Amino Acids on Growth and Flowering Indicators of African Marigold (*Tagetes erecta* L.) Under Deficit Irrigation Conditions

Fatemeh Rahmani^{id} and Elham Danaee*^{id}

Department of Horticulture, Ga.C., Islamic Azad University, Garmsar, Iran

* Corresponding author, Email: dr.edanaee@iau.ac.ir

(Received: 2 July 2025; Revised: 16 August 2025; Accepted: 25 August 2025)

Abstract

Background and Objective: African marigold (*Tagetes erecta* L.) is an annual plant belonging to the Asteraceae family, with ornamental, medicinal, and industrial applications. Water deficit is one of the key factors affecting the quantity and quality of plants. In this context, the use of plant growth stimulators such as amino acids can be beneficial for plants under drought stress. Therefore, the present study aimed to evaluate the effects of foliar application of amino acids arginine, ornithine, and proline on the growth and flowering traits of African marigold under water deficit stress.

Methods: This factorial experiment included water stress consisting of control (no stress), 70%, and 30% of field capacity and foliar application of arginine, ornithine, and proline at three levels (0, 50, and 100 mg L⁻¹), arranged in a completely randomized design with three replications. Water deficit stress was imposed at the 6–8 leaf stage. Foliar applications of amino acids were performed in two stages: the first at the 6-leaf stage, and the second two weeks after the first application. Sampling was conducted at full flowering stage.

Results: The highest fresh and dry weights of aerial parts, flower number, protein content, and flower longevity on the plant were observed under 100% field capacity combined with 100 mg L⁻¹ ornithine. The greatest fresh and dry root weights, longest root length, and activities of catalase, superoxide dismutase, and peroxidase enzymes were recorded under 100% field capacity combined with 100 mg L⁻¹ proline. The tallest plants, highest total chlorophyll content, and carotenoid levels were observed under 100% field capacity combined with 100 mg L⁻¹ arginine. Additionally, the highest membrane ion leakage and proline content were recorded under 30% field capacity.

Conclusion: Based on the results, foliar application of arginine, ornithine, and proline at 100 mg L⁻¹ can effectively mitigate the negative effects of drought stress in African marigold.

Keywords: Arginine, Carotenoid, Drought, Ornithine, Proline.

How to Cite: Rahmani, F., Danaee, E., 2025. The effect of amino acids on growth and flowering indicators of African marigold (*Tagetes erecta* L.) under deficit irrigation conditions. J. Soil Plant Interact. 16(3), 23–38 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.3.21242>



Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.



اثر اسیدهای آمینه بر شاخص‌های رشد و گل‌دهی جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) در شرایط کم‌آبیاری

فاطمه رحمانی و الهام دانائی*

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

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: dr.edanaee@iau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده کاسنی (Asteraceae) و دارای کاربرد های زینتی، دارویی و صنعتی است. کم‌آبی یکی از عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت گیاهان است. در این راستا استفاده از محرک‌های رشد گیاهی مانند اسیدهای آمینه می‌تواند برای گیاهان تحت تنش کم‌آبی مفید باشد. بنابراین پژوهش حاضر به منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه آرژنین، اورنیتین و پرولین بر شاخص‌های رشدی و گل‌دهی گیاه جعفری آفریقایی تحت تنش کم‌آبی انجام شد.

روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل شامل تیمارهای تنش آبی شاهد (بدون تنش)، ۷۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی آرژنین، اورنیتین و پرولین هر یک در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ mg L⁻¹) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار تنش کم‌آبی در مرحله شش تا هشت برگی اعمال شد و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه نیز در دو مرحله انجام شد. اولین محلول‌پاشی در مرحله شش‌برگی و مرحله بعدی با فاصله زمانی دو هفته‌ای پس از محلول‌پاشی مرحله اول اعمال شد. در نهایت نمونه‌برداری در مرحله گل‌دهی کامل انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد بیشترین وزن تازه و خشک شاخساره، تعداد گل، میزان پروتئین و ماندگاری گل روی بوته در تیمار شاهد + اورنیتین ۱۰۰ mg L⁻¹ مشاهده شد. همچنین بیشترین وزن تازه و خشک ریشه، طول بلندترین ریشه و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در تیمار شاهد + پرولین ۱۰۰ mg L⁻¹ به دست آمد. بیشترین ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئیدها مربوط به شاهد + آرژنین ۱۰۰ mg L⁻¹ بود و در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی نیز بیشترین نشت یونی غشا سلول و میزان پرولین به دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه آرژنین، اورنیتین و پرولین با غلظت ۱۰۰ mg L⁻¹ می‌تواند نقش مؤثری در مهار آثار منفی تنش کم‌آبی در گیاه جعفری آفریقایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آرژنین، اورنیتین، پرولین، خشکی، کاروتنوئیدها.



مقدمه

جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده کاسنی Asteraceae است. این گیاه بومی مکزیک و جنوب آمریکا است. گل‌های جعفری آفریقایی به رنگ زرد لیمویی، کرم و نارنجی قهوه‌ای دیده می‌شود و دارای انواع پاکوتاه و پا بلند هستند که انواع پابلند آن‌ها به‌عنوان گل بریدنی استفاده شده و به دلیل تنوع شکل و فرم زیبای آن‌ها در فضای سبز کشت می‌شود (Jafari and Daneshvar, 2017). علاوه بر این، جعفری آفریقایی از نظر صنعتی و دارویی اهمیت زیادی دارد. این گیاه دارای ترکیبات فعال زیستی است که به‌طور گسترده به‌عنوان حشره‌کش، قارچ‌کش و نماتدکش مورد استفاده قرار می‌گیرد. گل آن دارای سطوح بالای کاروتنوئید، کوئرستین، روغن‌های فرار، ساپونین و موسیلاژ است. رنگ‌دانه‌های کاروتنوئید موجود در این گیاه نقش مفیدی برای درمان بیماری‌های پوستی و سرطان در انسان دارد و کشت آن به‌دلیل استفاده تجاری از کاروتنوئید در صنایع داروسازی و طیور مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (Gopi et al., 2012).

کمبود آب یکی از اساسی‌ترین عوامل محیطی محدود کننده تولیدات کشاورزی است که بر فرآیندهای رشد و نمو و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. تنش کم‌آبی از راه کاهش سنتز آنزیم ریبولوز بی‌فسفات و کاهش فعالیت روبیسکو، ظرفیت فتوسنتزی را کاهش داده و با تغییر در الگوی ساخت پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Shafiei et al., 2019). کاهش عملکرد کمی و کیفی در شرایط تنش کم‌آبی در گیاهان پروانش (*Catharanthus roseous*) (AlhverdiZadeh and Danace, 2023) و جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) (Rezasefat et al., 2020) گزارش شده است.

یکی از راه‌های افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی کاربرد اسیدهای آمینه است. زیرا تنش مانع از اثرگذاری آمینواسیدهای درون گیاه شده و کاربرد خارجی اسیدهای آمینه می‌تواند در بهبود شرایط به گیاه کمک کند (Rezasefat et al., 2020). اسیدآمینه آرژنین یکی از اسیدآمینه‌های ضروری است که

علاوه بر تبدیل سوخت و ساز درونی با اسیدآمینه‌های پرولین و گلوتامات، به‌عنوان پیش‌ماده برای سنتز پروتئین، نیتریک اکسید، کراتین، پلی‌آمین‌ها، آگماتین و اوره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dinkeloo et al., 2018). این ماده در مقاومت به تنش به‌عنوان پیش‌ساز برای تشکیل پلی‌آمین‌ها به کار می‌رود (Rezasefat et al., 2020). آرژنین هم به‌عنوان یک اسیدآمینه در مقادیر بسیار کم در گیاهان یافت می‌شود و نقش‌های متعدد در رشد و نمو گیاهان دارد. آرژنین از اسیدآمینه گلوتامات تولید شده و خود به اسیدهای آمینه آرژنین و پرولین تبدیل می‌شود. علاوه بر این، آرژنین نیز پیش‌ساز پلی‌آمین‌هایی مثل پوترسین نیز هست که در تنظیم رشد و نمو گیاهان ضروری است و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی نقش بسزایی در مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده ایفا می‌کنند (Lou et al., 2020). پرولین نیز به‌عنوان یک اسیدآمینه غیرضروری در تنظیم اسمزی سلولی نقش دارد و از گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند. پرولین همچنین به سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های دخیل در پاسخ‌های تنش کمک می‌کند (Soroori et al., 2021). پژوهش‌های مختلفی در زمینه تأثیر اسیدهای آمینه در تعدیل آثار تنش صورت گرفته است. برای مثال کاربرد آرژنین در شرایط تنش خشکی موجب افزایش قطر گل، محتوای کلروفیل کل و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در گل پروانش (*Catharanthus roseous*) شد (Abaspour Esfaden et al., 2019). همچنین Mohammadi et al. (2025) گزارش نمودند محلول‌پاشی آرژنین در شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای نسبی آب، کلروفیل و کاروتنوئید کل، پرولین و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز در مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) شده است. در گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) نیز کاربرد پرولین در شرایط تنش خشکی سبب بهبود محتوای کاروتنوئید، میزان پروتئین کل، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و ماندگاری گل شد (Soroori et al., 2021). با توجه به آثار مفید اسیدهای آمینه در تعدیل پیامدهای

جدول ۱. عناصر غذایی موجود در محلول غذایی هوگلند

Table 1. Nutrient elements in Hoagland nutrient solution

عناصر غذایی	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	کلسیم	گوگرد	منیزیم	بور	منگنز	روی	مس	مولیبدن	آهن
Nutrient elements	N	K	P	Ca	S	M	B	Mn	Zn	Cu	Mo	Fe
غلظت (میلی گرم در لیتر)	224	235	62	160	32	24	0.27	0.11	0.13	0.03	0.05	3
Concentration (mg L ⁻¹)												

تنش های محیطی، این پژوهش به منظور بررسی اثر اسیدهای آمینه آرژنین، اورنیتین و پرولین بر صفات رشد و بیوشیمیایی گل جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) در شرایط کم آبی انجام شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر اسیدهای آمینه بر رشد و گل دهی گیاه جعفری آفریقایی در شرایط تنش کم آبی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه ای با شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۲۳±۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در شهرستان گرمسار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش آبی شاهد (بدون تنش)، ۷۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی آرژنین، اورنیتین و پرولین هر یک در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و اثر برهمکنش آنها بود. ابتدا بذرهای جعفری آفریقایی زرد رنگ (*Tagetes erecta* cv. Moonstruck Yellow) در فروردین ماه در سینی کشت دارای کوکوپیت و پرلیت کشت شد و پس از دو هفته از زمان کاشت، نشاءها به گلدان هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی متر در بستر کاشت دارای ۳۰ درصد کوکوپیت، ۵۰ درصد پیت ماس و ۲۰ درصد پرلایت دانه ریز منتقل شدند. تغذیه با محلول هوگلند نیز یک بار در هفته همراه با آب آبیاری، انجام شد (جدول ۱).

پس از استقرار کامل گیاهان در مرحله شش تا هشت برگی تیمارهای تنش کم آبی به روش وزنی اعمال شد. ابتدا یکی از گلدان ها به طور تصادفی انتخاب شده و به طور کامل آبیاری شد، پس از خروج آب ثقی و ثابت شدن وزن گلدان نمونه ای از خاک گلدان به عنوان وزن خاک مرطوب، برداشت و توزین شد. سپس

نمونه خاک در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و وزن خاک خشک اندازه گیری شد. در نهایت ظرفیت زراعی (گنجایش گلدانی) بر حسب درصد محاسبه شد (Soroori et al., 2021).

محلول پاشی اسیدهای آمینه در دو مرحله انجام شد. اولین محلول پاشی در مرحله شش برگی و مرحله بعدی با فاصله زمانی دو هفته ای پس از محلول پاشی مرحله اول اعمال شد. همچنین گیاهان شاهد با آب مقطر محلول پاشی شدند. سپس دو هفته پس از آخرین محلول پاشی نمونه برداری انجام شده و صفات مورد نظر ارزیابی شد.

صفات مورفولوژیک

وزن تازه شاخساره و ریشه بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک پس از ۷۲ ساعت قرارگیری در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. ارتفاع گیاه و طول ریشه توسط متر فلزی اندازه گیری شد. همچنین تعداد گل های گیاهان با شمارش، محاسبه شده و میانگین آنها ثبت شد (Soroori and Danaee, 2023).

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

نشت یونی غشاء سلول: برای اندازه گیری نشت یونی گلبول ها با استفاده از EC متر رسانایی الکتریکی عصاره (EC₁) اندازه گیری شد و سپس نمونه ها در اتوکلاو به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و مجدداً رسانایی الکتریکی آنها (EC₂) اندازه گیری شد. در نهایت مقادیر نشت یونی با رابطه ۱ زیر محاسبه شد (AlhverdiZadeh and Danaee, 2023):

ترتیب در طول موج‌های ۲۴۰، ۵۶۰ و ۵۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد، و سپس برحسب واحد آنزیم در گرم وزن تازه گلبرگ محاسبه شد.

ماندگاری گل روی بوته: تعداد روز از زمان باز شدن گل‌ها تا رنگ پریدگی و پژمردگی گل‌های جعفری آفریقایی یادداشت شد (Danaee and Abdossi, 2016).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها به وسیله نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۱ و ۵٪ صورت گرفت. برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر کم‌آبی بر کلیه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر تیمار محلول‌پاشی بر وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه، نشت یونی غشاء سلول، میزان پرولین، پروتئین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، در حالی‌که اثر آن بر طول بلندترین ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد گل، محتوای کاروتنوئیدهای گلبرگ، کلروفیل کل برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نیز بر وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه، طول بلندترین ریشه، نشت یونی غشاء سلول، محتوای کاروتنوئید گلبرگ، کلروفیل کل برگ، میزان پرولین، پروتئین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع گیاه و تعداد گل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

صفات مورفولوژیک: مقایسه میانگین داده‌ها در جدول (۳) نشان داد، بیشترین وزن تازه و خشک شاخساره به ترتیب با ۵۹/۳۲ و ۳۶/۵۹ گرم در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + اورنیتین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۱۱/۶۸ و ۷/۳۸ گرم در تیمار

$$(1) \quad MSI = [1 - (EC_1/EC_2)] \times 100$$

کاروتنوئیدهای گلبرگ: محتوای کاروتنوئیدهای گلبرگ‌های جعفری آفریقایی با استفاده از روش (Barnes et al. 1992) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول موج‌های ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر، اندازه‌گیری و توسط رابطه (۲) محاسبه شد. محتوای کاروتنوئیدهای گلبرگ بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه گلبرگ بیان شد:

$$(2) \quad Car = [7.6 (A_{480 \text{ nm}}) - 1.49 (A_{510 \text{ nm}})] \times \text{Volume} / (1000 \times \text{Sample weight})$$

کلروفیل کل برگ: برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل برگ، جذب محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد. در نهایت کلروفیل کل با رابطه (۳) برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ محاسبه شد (Danaee and Abdossi, 2021):

$$(3) \quad \text{Total Chl} = [20.2 (A_{645}) + 8.02 (A_{663})] \times \text{Volume} / (1000 \times \text{Sample weight})$$

پرولین برگ: محتوای پرولین برگ بر اساس روش شرح داده شده توسط (Shabani Fard et al. 2024) استخراج شد و جذب محلول رویی در طول موج ۵۲۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر، قرائت شده و برحسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ بیان شد.

پروتئین گلبرگ: اندازه‌گیری پروتئین گلبرگ با استفاده از روش (Bradford 1976) انجام شد و میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. میزان پروتئین برحسب میکروگرم در میلی‌گرم وزن خشک گلبرگ محاسبه شد.

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز گلبرگ: برای سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز از روش (Dareini et al. 2014) استفاده شد و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز نیز با روش شرح داده شده توسط (Soroori et al. 2021) اندازه‌گیری شد. اعداد جذب به

جدول ۳. اثر برهمکنش محلول پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر صفات مورفولوژیک جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.).

تعداد گل Flower number	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	طول ریشه (سانتی متر) Root height (cm)	وزن خشک ریشه (گرم در گیاه) Root dry weight (g plant ⁻¹)	وزن تازه ریشه (گرم در گیاه) Root fresh weight (g plant ⁻¹)	وزن خشک شاخساره (گرم در گیاه) Shoot dry weight (g plant ⁻¹)	وزن تازه شاخساره (گرم در گیاه) Shoot fresh weight (g plant ⁻¹)	اسیدهای آمینه (میلی گرم در لیتر) Amino acids (mg L ⁻¹)	تنش آبی (ظرفیت زراعی) Water stress (Field capacity)
8.33 ^e	35.74 ^f	35.46 ^f	4.27 ^e	17.92 ^f	10.41 ^e	52.18 ^f	0	
8.50 ^d	37.03 ^d	38.79 ^b	4.51 ^{cd}	18.72 ^d	10.79 ^e	53.76 ^e	Arginine 50	
9.33 ^a	39.42 ^a	36.52 ^{de}	5.04 ^a	19.75 ^b	11.61 ^a	58.34 ^b	Arginine 100	
8.67 ^c	37.14 ^d	38.16 ^c	4.46 ^d	18.49 ^e	10.69 ^{cd}	54.63 ^d	Ornithine 50	Control (100%)
9.33 ^a	39.05 ^b	36.28 ^e	4.89 ^b	19.68 ^b	11.68 ^a	59.32 ^a	Ornithine 100	
8.50 ^d	36.49 ^e	36.85 ^d	4.58 ^c	19.04 ^e	10.61 ^d	54.12 ^{de}	Proline 50	
9.00 ^b	38.67 ^c	39.34 ^a	5.12 ^a	20.16 ^a	11.49 ^b	56.79 ^c	Proline 100	
7.00 ^j	29.45 ^m	31.19 ^m	3.39 ^j	14.45 ^m	8.63 ^l	43.32 ^l	0	
7.33 ⁱ	31.27 ^k	32.16 ^l	3.58 ^j	14.87 ^l	9.05 ^j	45.17 ^k	Arginine 50	
8.00 ^f	34.09 ^h	34.12 ⁱ	3.94 ^g	16.38 ⁱ	10.07 ^g	51.26 ^g	Arginine 100	
7.50 ^h	32.54 ^j	32.67 ^k	3.51 ^k	16.98 ^h	9.42 ⁱ	47.32 ⁱ	Ornithine 50	70%
8.00 ^f	34.69 ^g	34.59 ^h	3.86 ^h	15.37 ^k	10.35 ^f	51.64 ^g	Ornithine 100	
7.33 ⁱ	30.68 ^l	33.28 ^j	3.63 ⁱ	15.89 ^j	8.76 ^k	56.05 ^j	Proline 50	
7.67 ^g	33.56 ⁱ	35.13 ^g	4.05 ^f	17.43 ^g	9.84 ^b	50.38 ^h	Proline 100	
6.00 ⁿ	25.64 ^s	27.18 ^r	2.94 ^q	12.54 ^s	7.38 ^q	36.59 ^r	0	
6.33 ^m	27.03 ^q	28.31 ^q	3.03 ^p	12.91 ^r	7.91 ^q	38.01 ^{pq}	Arginine 50	
7.00 ^j	28.89 ⁿ	29.87 ⁿ	3.25 ⁿ	13.76 ^o	8.51 ^m	41.25 ⁿ	Arginine 100	
6.50 ^l	26.87 ^u	28.37 ^q	3.05 ^q	12.98 ^u	7.97 ^o	38.74 ^p	Ornithine 50	30%
7.00 ^j	28.27 ^o	30.34 ^{po}	3.24 ⁿ	13.39 ^p	8.54 ^m	42.81 ^m	Ornithine 100	
6.50 ^l	26.72 ^r	28.76 ^r	3.08 ^o	13.02 ^q	7.81 ^p	37.57 ^q	Proline 50	
6.65 ^k	27.76 ^p	30.65 ⁿ	3.32 ^m	14.17 ⁿ	7.12 ⁿ	39.84 ^o	Proline 100	

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.
In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.).

میانگین مربعات															
ماندگاری گل روی Longevity of flower on the plant	پراکسیداز Peroxidase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide Dismutase	کاتالاز Catalase	پروتئین Protein	پروترین Proline	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	نشت یونی Ion leakage	تعداد گل Flower number	ارتفاع گیاه Plant height	طول ریشه Root length	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تازه ریشه Root fresh root	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weight
درجه آزادی DF	منبع تغییر Source of variation														
7.25**	7.29**	1.98**	2.75**	28.53**	3.45**	3.48**	2.69**	32.28**	4.41**	16.39**	15.43**	2.46**	7.65**	4.72**	27.39**
35.32**	37.56**	7.65**	11.26**	134.56**	13.69**	9.45*	2.83*	123.75**	16.32*	78.63*	76.25*	9.71**	38.21**	19.46**	119.27**
16.68**	16.45**	4.83**	6.32**	65.73**	5.36**	6.45**	5.37**	71.36**	7.48*	32.54*	34.28**	5.37**	17.43**	10.35**	56.72**
0.076	0.087	0.032	0.068	1.354	0.051	0.054	0.049	1.250	0.063	0.872	0.851	0.043	0.098	0.076	1.128
10.43	10.59	10.73	9.62	10.52	9.36	10.15	9.46	9.61	9.14	10.26	10.65	9.27	9.38	10.25	9.32
ضرب تغییرات (درصد) CV (%)															
خطا Error															
تنش آبی × تیمار × Water stress Treatment															
تنش آبی Water stress															
تیمار Treatment															

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

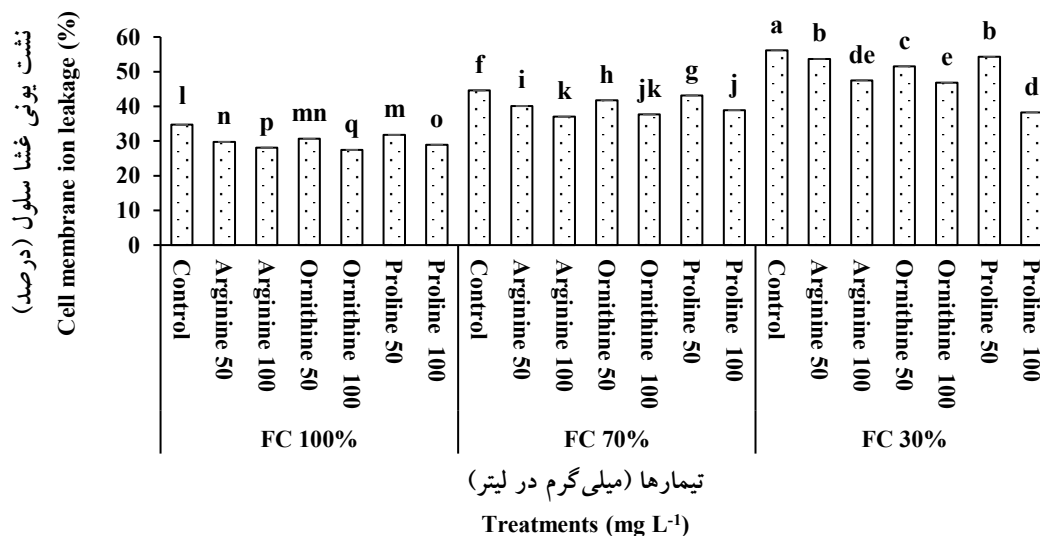
* and ** indicate significant effects at 1 and 5% probability levels, respectively.

گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) نیز کاربرد پرولین وزن تازه و خشک ریشه، طول ریشه و ارتفاع گیاه را در شرایط تنش کم آبی بهبود بخشید (Soroori et al., 2021).

نشت یونی غشاء سلول: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین نشت یونی غشاء سلول با ۵۶/۱۸ درصد در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین با ۲۷/۴۳ درصد در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + اورنیتین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۱). در شرایط تنش کم آبی، گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل افزایش می‌یابند. این ترکیبات با آسیب‌رسانی به غشای پلاسمایی سلول، نفوذپذیری آن را نسبت به یون‌ها بالا می‌برند. در نتیجه، الکترولیت‌های داخل سلولی به بیرون نشت می‌کنند و این امر صدمات جدی به گیاه وارد می‌سازد (Aghaie et al., 2018). مشابه با یافته‌های این پژوهش، در نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) نیز افزایش نشت یونی غشاء سلول در شرایط تنش کم آبی مشاهده شده است (Shahrivar et al., 2020). در این پژوهش کاربرد اورنیتین سبب کاهش نشت یونی غشاء سلول گردید، زیرا اورنیتین پیش‌ساز اصلی پلی‌آمین‌ها است که نقش مهمی در پایداری غشای سلولی و تنظیم نشت یونی دارد. این ترکیبات با تقویت ساختار غشاء، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و برهمکنش با فسفولیپیدها سبب حفظ انسجام غشاء و جلوگیری از نشت یون‌ها در شرایط تنش می‌شوند (Pottosin et al., 2014).

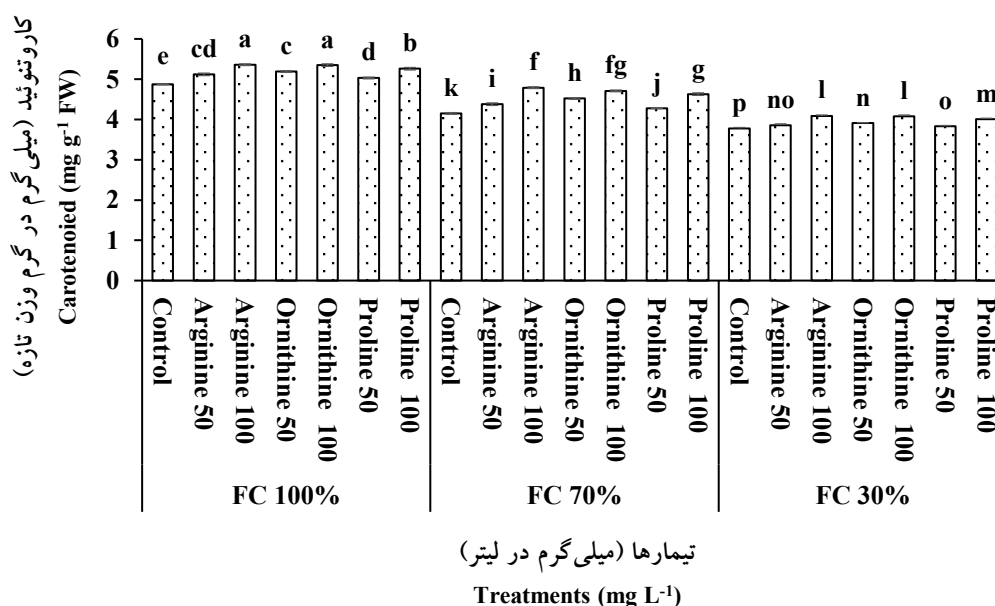
کاروتنوئیدهای گلبرگ: بیشترین محتوای کاروتنوئیدهای گلبرگ با ۵/۳۶ میلی گرم در گرم وزن تازه در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + آرژنین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بود که با تیمار اورنیتین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین با ۳/۷۸ میلی گرم در گرم وزن تازه در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (شکل ۲). کاهش محتوای کاروتنوئیدها در شرایط تنش کم آبی نیز می‌تواند به علت کاهش سطح فتوسنتزی، افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن، پراکسیداسیون این رنگرزه‌ها و تجزیه شیمیایی ژن‌های مربوط به مسیر بیوسنتزی آن‌ها باشد

۳۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. بیشترین وزن تازه ریشه با ۲۰/۱۶ گرم و وزن خشک ریشه با ۱۲/۵۴ گرم در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و کمترین وزن تازه و خشک ریشه به ترتیب با ۱۲/۵۴ و ۲/۹۴ گرم در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود. همچنین بیشترین و کمترین طول ریشه با ۳۹/۳۴ و ۲۷/۱۸ سانتی متر به ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. بیشترین ارتفاع گیاه (۳۹/۳۴ سانتی متر) نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + پرولین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و کمترین آن (۲۵/۶۴ سانتی متر) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. تعداد گل نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + اورنیتین ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، بیشترین (۹/۳۳) و در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، کمترین (۶) بود. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد تنش کم آبی سبب کاهش صفات رشد گیاه شد، زیرا تنش کم آبی با تغییر در محتوای کلروفیل، سبب خسارت به دستگاه فتوسنتزی شده و در نتیجه با کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تثبیت کربن و محدودیت جذب آب و عناصر غذایی صفات رشدی گیاه را کاهش می‌دهد (Qiao et al., 2024). در این پژوهش کاربرد اورنیتین وزن تازه و خشک شاخساره و تعداد گل را افزایش داد که این اثر می‌تواند ناشی از افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید باشد (Luo et al., 2020). همچنین، اورنیتین یک تنظیم‌کننده مهم برای بیوسنتز و تجمع گلوتامین در سلول‌ها است که موجب بهبود جذب کربن و نیتروژن در گیاه و در نهایت افزایش زیست‌توده گیاهی می‌شود (Majumdar et al., 2013). محلول‌پاشی گیاه جعفری آفریقایی توسط پرولین نیز وزن تازه و خشک ریشه، طول بلندترین ریشه و ارتفاع گیاه را بهبود بخشید که دلیل آن می‌تواند مربوط به اثر پرولین بر حفظ فشار اسمزی و افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاه باشد (Darvizheh and Zavareh, 2018). براساس نتایج این آزمایش، در گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) کاربرد اورنیتین در شرایط تنش خشکی وزن خشک شاخساره گیاه را افزایش داد (Cheraghabadi et al., 2025)، همچنین در



شکل ۱. اثر برهمکنش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر نشت یونی غشاء سلول جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

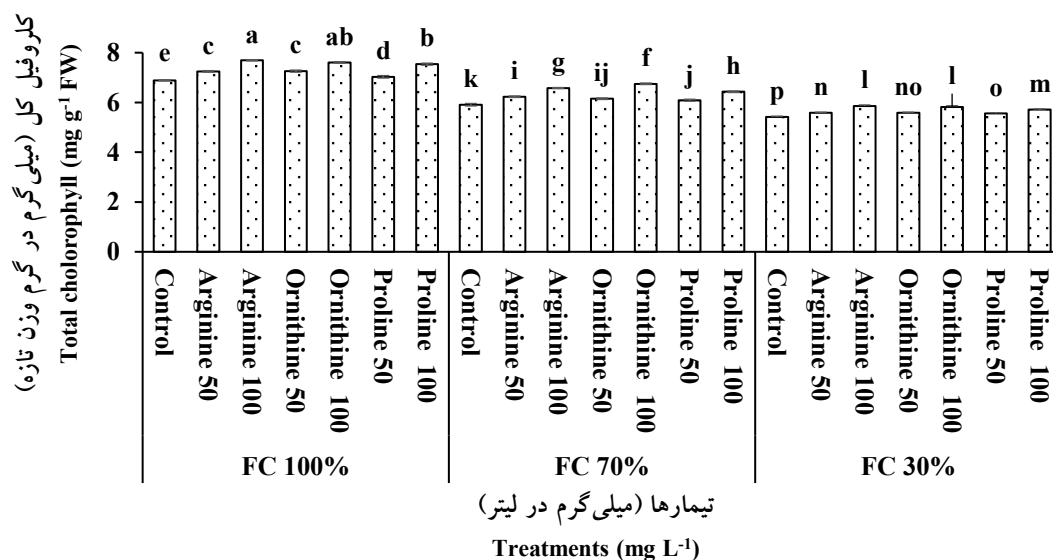
Fig. 1. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on the cell membrane ion leakage of African marigold (*Tagetes erecta* L.). Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).



شکل ۲. اثر برهمکنش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر محتوای کاروتنوئید جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Fig. 2. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on carotenoid content of African marigold (*Tagetes erecta* L.).

Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).



شکل ۳. اثر برهمکنش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر محتوای کلروفیل جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

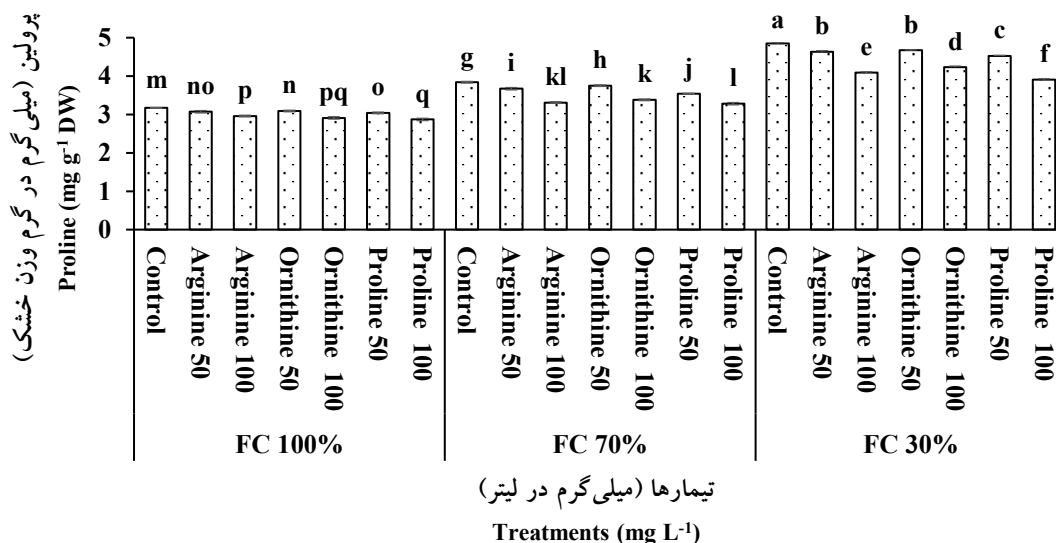
Fig. 3. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on total chlorophyll content of African marigold (*Tagetes erecta* L.). Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

پروتئینی رنگ‌دانه‌های a و b که محافظت‌کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، باشد. علاوه بر این، تنش کم‌آبی با افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از می‌تواند محتوای کلروفیل را در گیاه کاهش دهد (Sanjary Mijani et al., 2015). یافته‌های Alhverdizadeh and Danaee (2023) نشان داد، تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل کل برگ را در گیاه پروانش (*Catharanthus roseus*) کاهش داد که با دستاورد ذکرشده هم‌خوانی دارد. در این پژوهش محلول‌پاشی گیاه توسط اسید آمینه آرژنین محتوای کلروفیل کل را افزایش داد. به دلیل اینکه آرژنین دارای بیشترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن است و منبع نیتروژن آلی بوده که در فرآیند تشکیل کلروفیل نقش دارد و در نتیجه با افزایش غلظت کلروفیل در گیاه افزایش جذب نور و به دنبال آن افزایش فتوسنتز را در پی دارد (Abaspour Esfaden et al., 2019). نتایج این آزمایش با یافته‌های Rezasefat et al. (2020) پیرامون تأثیر آرژنین بر بهبود محتوای کلروفیل جعفری آفریقایی در شرایط تنش کم‌آبی هم‌خوانی دارد.

پرولین: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین محتوای پرولین (۴/۸۵ میلی‌گرم در گرم) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و

هم‌سو با نتایج این آزمایش، کاهش کاروتنوئیدهای گلبرگ در همیشه بهار نیز توسط Khalilzadeh et al. (2020) گزارش شده است. همچنین کاربرد اسید آمینه آرژنین در این شرایط می‌تواند با افزایش تولید نیتریک اکسید و پلی‌آمین‌ها سبب تحریک مسیرهای بیوسنتزی کاروتنوئیدها شوند، زیرا این ترکیبات نقش حفاظتی در برابر آسیب اکسیداتیو داشته و در نتیجه آرژنین از راه تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، تولید کاروتنوئیدها را افزایش می‌دهد (Freitas et al., 2022). در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) نیز محلول‌پاشی گیاه توسط آرژنین محتوای کاروتنوئیدهای گیاه را در شرایط تنش خشکی افزایش داد (Badawy et al., 2025).

کلروفیل کل برگ: همان‌طور که در شکل (۳) نمایان است، بیشترین محتوای کلروفیل کل (۷/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + آرژنین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین (۵/۴۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط کم‌آبی ممکن است ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگ‌دانه کلروفیل و تخریب نوری کمپلکس



شکل ۴. اثر برهمکنش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر میزان پرولین جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

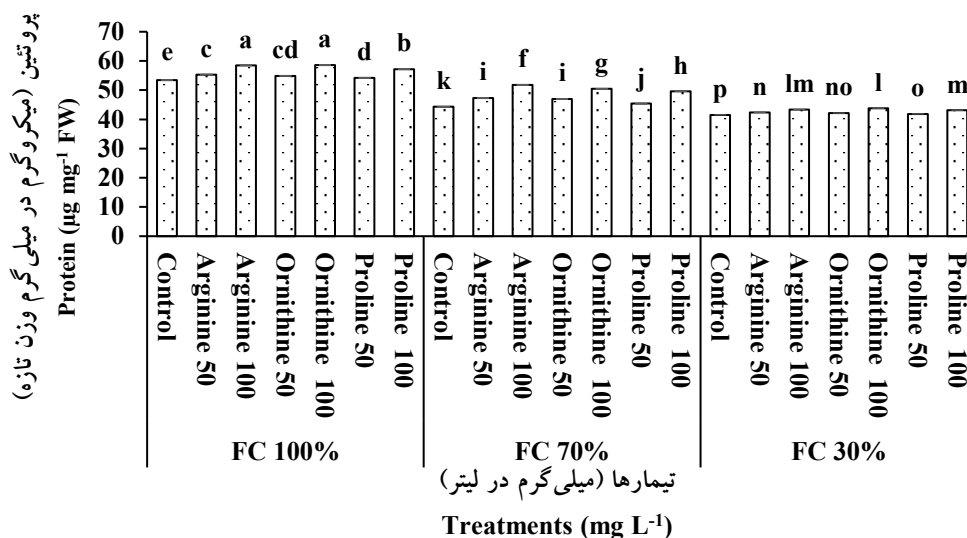
Fig. 4. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on proline content of African marigold (*Tagetes erecta* L.).

Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

پروتئین (۵۸/۶۲ میکروگرم در گرم وزن تازه) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + اورنیتین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن (۴۱/۵۳ میکروگرم در گرم وزن تازه) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (شکل ۵). کاهش میزان پروتئین می‌تواند به‌دلیل کاهش آنزیم رویسکو و فتوسنتز باشد که در نتیجه پیش‌ماده تولیدکننده پروتئین کاهش یافته و در نهایت منجر به کاهش سنتز پروتئین می‌شود. همچنین تنش کم‌آبی بیان ژن‌های کدکننده پروتئین‌های درون‌سلولی را القا کرده و سبب تجزیه پروتئین، تحریک مجدد نیتروژن و سنتز مواد محلول سازگار می‌شود (Setayesh-Mehr and Ganjeali, 2013). در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز کاهش پروتئین در هنگام تنش کم‌آبی گزارش شده است (Rashidy, 2021). همچنین محلول‌پاشی اورنیتین با تأثیر بر متابولیسم نیتروژن، به‌طور غیرمستقیم سنتز اسیدهای آمینه پروتئینی و در نتیجه تشکیل پروتئین‌ها را در گیاهان تسهیل می‌کند و در تنظیم فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز پروتئین نیز نقش دارد (Slocum, 2005). نتایج Hussein et al. (2019) نشان داد که کاربرد

کمترین (۲/۸۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۴). همچنین تنش کم‌آبی سبب افزایش غلظت پرولین در گیاه شد. زیرا یکی از سازوکارهای کارآمد گیاه هنگام مواجهه با خشکی تجمع پرولین است که فراوان‌ترین تنظیم‌کننده اسمزی به‌شمار می‌آید و در حفظ آماس سلولی نقش دارد (Soroori and Danace, 2023). (Mousavi et al. 2019) بیان کردند که افزایش تنش کم‌آبی محتوای پرولین را در دو گونه جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) و فرانسوی (*Tagetes patula* L.) افزایش داده است. همچنین کاربرد بیرونی پرولین نیز تأثیر مثبتی در افزایش غلظت پرولین گیاه داشت، زیرا علاوه بر اینکه سبب جذب مستقیم پرولین توسط گیاه شد در تحریک مسیرهای بیوسنتزی و تنظیم بیان ژن‌ها نیز مؤثر است. هم‌راستا با نتایج این آزمایش، محلول‌پاشی پرولین محتوای پرولین را در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) افزایش داد (Mohammadi, 2020). (Khalifelouiy et al., 2020)

پروتئین: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین میزان



شکل ۵. اثر برهمکنش محلولپاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر محتوای پروتئین جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Fig. 5. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on protein content of African marigold (*Tagetes erecta* L.).

Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

اینکه پرولین به‌عنوان یک اسمولیت عمل می‌کند، دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی نیز بوده و می‌تواند از آسیب اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد جلوگیری کند (Khan et al., 2025). نتایج Soroori et al. (2021) نشان داد محلولپاشی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) با پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در شرایط تنش کم‌آبی افزایش داد.

ماندگاری گل روی بوته: نتایج نشان داد بیشترین ماندگاری گل روی بوته (۱۸/۳۳ روز) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + اورنیتین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن (۱۲/۵۰ روز) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (شکل ۶). افزایش رادیکال‌های آزاد در تنش‌های شدید، سبب تخریب فسفولیپیدها و آزاد شدن اسیدهای چرب شده و پراکسیده‌شدن صورت می‌گیرد که در این حالت نفوذپذیری غشاء افزایش یافته و در نتیجه تخریب غشا منجر به سنتز اتیلن می‌شود و در نهایت ماندگاری گل را کاهش می‌دهد (Soroori and Danaee, 2023). در این پژوهش محلولپاشی اورنیتین ماندگاری گل روی بوته را بهبود بخشید که دلیل آن مربوط به اثر آن بر تأمین سوخت برای چرخه کربس و تولید پلی‌آمین‌ها است که منجر به مهار تولید

اورنیتین در شرایط تنش خشکی میزان پروتئین را در چغندر قند (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) افزایش داد.

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز (به ترتیب ۵/۷۳، ۳/۶۴ و ۱۸/۴۵ واحد آنزیم در گرم وزن تازه) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی + پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن‌ها (به ترتیب ۳/۲۵، ۱/۸۴ و ۶/۴۹ واحد آنزیم در گرم) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش کم‌آبی به دلیل ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش ترکیبات گونه‌های فعال اکسیژن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز برای افزایش مقاومت گیاه افزایش می‌یابد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز رادیکال‌های سمی O_2^- را به H_2O_2 تبدیل می‌کند که این ترکیب توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دیگر مانند کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به O_2 و آب تجزیه می‌شود (Ahmadizadeh et al., 2011). محلولپاشی گیاه توسط پرولین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش داد، زیرا علاوه بر

جدول ۴. اثر برهمکنش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.).

Table 4. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on the antioxidant enzymes activity of African marigold (*Tagetes erecta* L.).

تنش آبی (ظرفیت زراعی)	اسیدهای آمینه (میلی‌گرم در لیتر)	فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد آنزیم در گرم وزن تازه)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیم در گرم وزن تازه)	فعالیت آنزیم پراکسیداز (واحد آنزیم در گرم وزن تازه)
Water stress (Field capacity)	Amino acids (mg/l)	Catalase enzyme activity (Unit enzyme g ⁻¹ FW)	Superoxide dismutase enzyme activity (Unit enzyme g ⁻¹ FW)	Peroxidase enzyme activity (Unit enzyme g ⁻¹ FW)
Control (100)	0	5.19 ^e	3.18 ^e	16.18 ^e
	Arginine 50	5.43 ^c	3.31 ^d	16.74 ^d
	Arginine 100	5.61 ^b	3.62 ^a	17.86 ^b
	Ornithine 50	5.36 ^d	3.41 ^c	16.69 ^d
	Ornithine 100	5.59 ^b	3.57 ^b	18.17 ^{ab}
	Proline 50	5.39 ^{cd}	3.37 ^{cd}	17.15 ^c
	Proline 100	5.73 ⁱ	3.64 ^a	18.45 ^a
70	0	4.23 ^l	2.52 ^m	12.93 ^l
	Arginine 50	4.54 ⁱ	2.71 ^j	13.87 ^j
	Arginine 100	4.81 ^g	2.93 ^h	15.75 ^f
	Ornithine 50	4.35 ^k	2.59 ^l	13.42 ^k
	Ornithine 100	4.72 ^h	2.85 ⁱ	14.87 ^h
	Proline 50	4.47 ^j	2.65 ^k	14.13 ⁱ
	Proline 100	4.92 ^f	3.05 ^g	15.36 ^g
30	0	3.69 ^f	2.19 ^f	11.23 ^q
	Arginine 50	3.76 ^q	2.26 ^p	11.69 ^{op}
	Arginine 100	4.03 ⁿ	2.46 ⁿ	12.03 ⁿ
	Ornithine 50	3.80 ^{pq}	2.22 ^q	11.55 ^p
	Ornithine 100	3.96 ^o	2.39 ^o	12.06 ⁿ
	Proline 50	3.82 ^p	2.27 ^p	11.73 ^o
	Proline 100	4.14 ^m	2.43 ^{no}	12.45 ^m

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

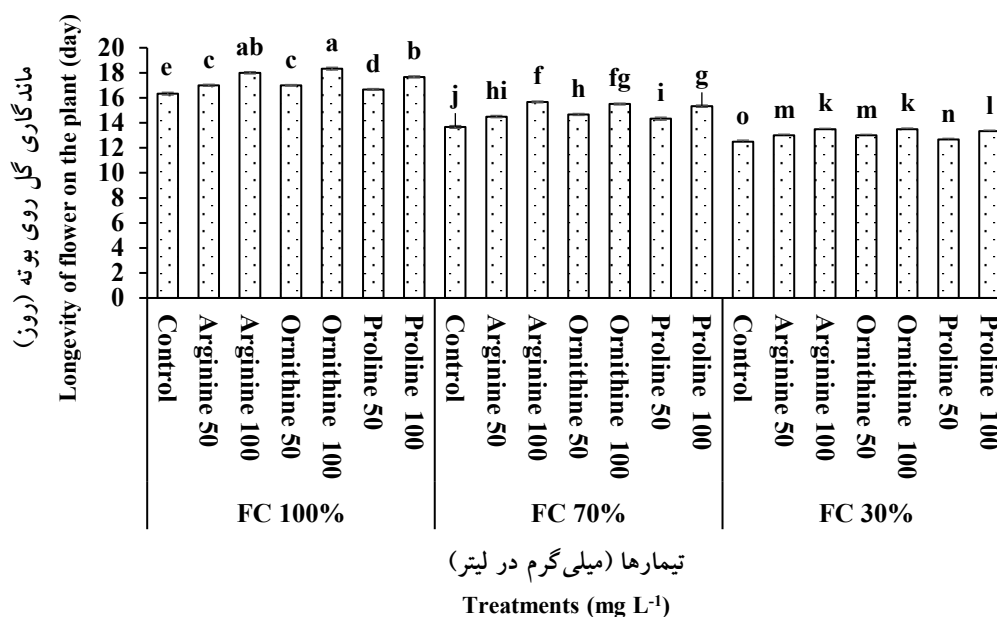
In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

اورنیتین، آرژنین و پرولین می‌تواند برای کاهش آثار منفی تنش، مفید واقع شوند. نتایج این پژوهش نشان داد در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد اسیدهای آمینه اورنیتین، آرژنین و پرولین سبب افزایش کلیه صفات مورد ارزیابی نسبت به شاهد، در سطوح کم‌آبی ۷۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی شد. این نتایج بیانگر نقش مثبت این ترکیبات در بهبود ویژگی‌های رشد و گل‌دهی گیاه جعفری آفریقایی تحت شرایط تنش کم‌آبی است. به‌ویژه مصرف اورنیتین و آرژنین با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط کم‌آبی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش ۱۴ درصدی تعداد گل و

اتیلن و در نتیجه موجب تأخیر در پیری و افزایش ماندگاری اندام‌های زایشی گیاه می‌شود (Liebsch et al., 2022). نتایج این آزمایش با یافته‌های Parveen et al. (2021) در گیاه میخک چینی (*Dianthus chinensis* L.) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تنش کم‌آبی علاوه بر کاهش رشد و گل‌دهی جعفری آفریقایی سبب کاهش صفات بیوشیمیایی و فعالیت آنزیمی در این گیاه شد، درحالی‌که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه



شکل ۶. اثر برهمکنش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و تنش آبی بر ماندگاری گل روی بوته جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Fig. 6. The interactive effect of amino acids spraying and water stress on longevity of African marigold (*Tagetes erecta* L.). Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

ماندگاری گل روی بوته نسبت به تیمار شاهد در همان سطح کم‌آبی شد. از این رو، با توجه به نتایج این پژوهش محلول‌پاشی گیاه جعفری آفریقایی توسط اسیدهای آمینه اورنیتین، آرژنین و پرولین با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند بر بهبود رشد و گل‌دهی آن در شرایط مواجهه گیاه با تنش کم‌آبی مؤثر باشد.

References

منابع مورد استفاده

1. Abaspour Esfaden, M., Kallaterjari, S., Fatehi, F., 2019. The effect of salicylic acid and l-arginine on morpho-physiological properties and leaf nutrients of *Catharanthus roseus* under drought stress. J. Hort. Sci. 33(3), 417–432. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i3.73631>. (In Persian with English abstract)
2. Aghaie, P., Tafreshi, S.A.H., Ebrahimi, M.A., Haerinasab, M., 2018. Tolerance evaluation and clustering of fourteen tomato cultivars grown under mild and severe drought conditions. Sci. Hortic. 232, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.041>.
3. AlhverdiZadeh, S., Danaee, E., 2023. Effect of humic acid and vermicompost on some vegetative indices and proline content of *Catharanthus roseus* under low water stress. Environ. Water Eng. 9(1), 141–152. <https://doi.org/10.22034/ewe.2022.333951.1745>. (In Persian with English abstract)
4. Badawy, A.A., Alshammari, W.K., Salem, N.F.G., Alshammari, W.S., Hussein, H.-A.A., 2025. Arginine and spermine ameliorate water deficit stress in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) by enhancing growth and physio-Biochemical processes. Antioxidants. 14, 329. <https://doi.org/10.3390/antiox14030329>.
5. Barnes, J.D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., Davison, A.A., 1992. A reappraisal of the use of DMSO for

- extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. Environ. Exp. Bot. 32, 85–100. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(92\)90034-Y](https://doi.org/10.1016/0098-8472(92)90034-Y).
6. Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72, 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
 7. Danaee, E., Abdossi, V., 2016. Evaluation of the effect of plant growth substances on longevity of gerbera cut flowers cv. Sorbet. Iran. J. Plant Physiol. 7(1), 1943–1947. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2016.532434>. (In Persian with English abstract)
 8. Danaee, E., Abdossi, V., 2021. Effect of foliar application of iron, potassium and zinc nano-chelates on morphological, physiological and phytochemical traits of Basil (*Ocimum basilicum* L.). J. Food Health. 4(4), 13–20.
 9. 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). Eur. J. Exp. Bio. 4(3), 276–280.
 10. Darvizheh, H., Zavareh, M., 2018. The effect of proline foliar application on reducing the effects of dehydration stress on German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). J. Crop Plants 14 (1), 43–33. (In Persian with English abstract)
 11. Dinkeloo, K., Boyd, S., Pilot, G., 2018. Update on amino acid transporter functions and on possible amino acid sensing mechanisms in plants. Semin. Cell Biol. 74, 105–113.
 12. Freitas, I., Trennepohl, B., Silva Acioly, T., Conceição, V., Mello, S., Neto, R., Alfredo Kluge, N., Azevedo, R., 2022. Exogenous application of l-Arginine improves protein content and increases yield of *Pereskia aculeata* Mill. grown in soilless media container. Hortic. 8(2), 142. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020142>.
 13. Gopi, G., Elumalai, A., Jayasri, P., 2012. A concise on review on *Tagetes erecta*. Int. J. Phytopharm. 2, 16–19.
 14. Hussein, H., Mekki, B., Abd El-Sadek, M., Lateef, E., 2019. Effect of l-ornithine application on improving drought tolerance in sugar beet plants. Heliyon. 5. e02631. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02631>.
 15. Jafari, M., Daneshvar, M H. 2017. Indirect organogenesis of *Tagetes erecta* L. via hypocotyl explant. Flow. Ornam. Plants. 1(2), 34–43.
 16. Khalilzadeh, R., Sharifi, S., Pirzad, A., 2021. Mitigation of drought stress in pot marigold (*Calendula officinalis*) plant by foliar application of methanol. J. Plant Physiol. Breed. 10(1), 71–84. <https://doi.org/10.22034/JPPB.2020.12507>.
 17. Khan, P., Abdelbacki, A.M.M., Albaqami, M., Jan, R., Kim, K-M., 2025. Proline promotes drought tolerance in maize. Biology. 14(1), 41. <https://doi.org/10.3390/biology14010041>.
 18. Liebsch, D., Juvany, M., Li, Z., Wang, H., Ziolkowska, A., Chrobok, D., Boussardon, C, Wen, X., R Law, S., Janečková, H., Brouwer, B., Lindén, P., Delhomme, N., Stenlund, H., Moritz, T., Gardeström, P., Guo, H., Keech, O., 2022. Metabolic control of arginine and ornithine levels paces the progression of leaf senescence, Plant Physiol. 189(4), 1943–1960. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac244>.
 19. Luo, H.W., Xing, P.P., Liu, J.H., Lai, R.F., He, L.X., Zhang, T.T., Tang, X.R., 2020. Application of ornithine-induced regulation in yield formation, grain quality and aroma of fragrant rice. Cereal Res. Commun. 48(4), 485–492. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00075-4>.
 20. Majumdar, R., Shao, L., Minocha, R., Long, S., Minocha, S.C., 2013. Ornithine: The overlooked molecule in the regulation of polyamine metabolism. Plant Cell Physiol. 54(6), 990–1004. <https://doi.org/10.1093/pcp/pct053>.
 21. Mohammadi Khalifelouiy, Z., Abbasifar, A. R., Khadivi, A., Akramian, M., 2020. The effect of proline and 24-epibrassinolide on growth indices and biochemical characteristics of the summer savory (*Satureja hortensis* L.). J. Plant Res. 32(4), 925–940. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1398.32.4.10.9>.
 22. Mohammadi-Cheraghabadi, M., Ghanati, F., Hazrati, S., Karimi, N., 2024. Exogenous d-ornithine enhances drought tolerance in sage (*Salvia officinalis* L.) through modulating water status, photosynthetic performance, osmoprotectants, and defense mechanisms. J. Plant Growth Regul. 44(6):3273–3289 <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11616-0>. (In Persian with English abstract)
 23. Mohammadi-Cheraghabadi, M., Ghanati, F., Karimi, N., Ghorbanpour, M., Hazrati, S., 2025. Ornithine enantiomers modulate essential oil yield and constituents and gene expression of monoterpenes synthase in *Salvia officinalis* under well-watered and drought stress conditions. BMC Plant Biol. 25, 148. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06156-y>.
 24. Mousavi, S. M., Chehrizi, M., Khaleghi, E., 2017. Effect of water stress on trend changes of leaf proline, total soluble sugars, relative water content and soluble protein of two species of pot marigold. J. Hortic. Sci. 31(2), 365–375. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.53077>. (In Persian with English abstract)
 25. Parveen, Sh., Altaf, F., Farooq, S., Ul Haq, A., Lone, M., Inayatullah, T., 2021. Is proline the quintessential sentinel of plants? case study of postharvest flower senescence in *Dianthus chinensis* L. Physiol. Mol. Biol. Plants 27(7), 1597–1607. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01028-9>.
 26. Pottosin, I., Shabala, S., 2014. Polyamines control of cation transport across plant membranes: implications for ion homeostasis and abiotic stress signaling. Front. Plant Sci. 23(5), 154. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00154>.
 27. Qiao, M., Hong, C., Jiao, Y., Hou, S., Gao, H., 2024. Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. Plants 13, 1808. <https://doi.org/10.3390/plants13131808>
 28. Rashidy, S., 2021. The study Effect of treatments salicylic acid and selenium on physiological and agronomic

- characteristics of safflower in drought stress conditions. J. Plant. Environ. Physiol. 16(64), 127–140. <https://doi.org/10.30495/iper.2022.688789>. (In Persian with English abstract)
29. Rezasefat, M., Kalatejari, S., Fatehi, F., Khalighi, A., 2020. The effect of humi-forthi and l-arginine amino acid on growth, physiological and biochemical characteristics of marigold (*Tagetes erecta*) under drought stress. Iranian J. Hortic. Sci. 51(2), 365–373. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.262454.1483>. (In Persian with English abstract)
30. Sanjary Mijani, M., Syrosmehr, A., Fakhery, B., 2015. Effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of hibiscus (*Hibiscus sabdarifa*). Crops Improv. 2, 403–414. <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55189>. (In Persian with English abstract)
31. Shabani Fard, R., Aghaee Hanjani, E., Danaee, E., 2024. Effects of polyamines on morphophysiological traits of *Calendula officinalis* L. under salinity stress caused by potassium chloride and sodium chloride salts. Int. J. Hortic. Sci. 11(2), 189–200. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.357306.630>.
32. Shafiei, N., Khaleghi, E., Moallemi, N., 2019. Effect of salicylic acid on some morphological and physiological characteristics of olive cv. Konservalia under water deficit condition. J. Hortic. Sci. 49(4), 881–890. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.22031.1477>. (In Persian with English abstract)
33. Shahrivar, Z., Abtahi, F., Hatami, M., 2020. Effect of growth regulator salicylate on some physiological and biochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. J. Plant Res. 32(4), 815–830. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1398.32.4.17.6>. (In Persian with English abstract)
34. Slocum, R.D., 2005. Genes, enzymes and regulation of arginine and ornithine biosynthesis in plants. Plant Physiol. Biochem. 43(8), 729–745. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.06.007>.
35. Soroori, S., Danaee, E., 2023. Effects of foliar application of citric acid on morphological and phytochemical traits of *Calendula officinalis* L. under drought stress conditions. Int. J. Hortic. Sci. Technol. 10(3), 361–374. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2022.341462.555>.
36. Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, Kh., Ladan Moghadam A., 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. J. Agri. Sci. Tech. 23(06), 1339–1353. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2021.23.6.6.9>.