Eco-phytochemical
Journal of Medicinal Plants
Print ISSN: 2322-3235
Online ISSN: 2783-4697
Islamic Azad University
Gorgan Branch
Iranian Society
of Medical Plants

Effect of L-phenylalanine foliar application on the growth, morphophysiological and phytochemical characteristics of red or chili pepper (*Capsicum anuum*) under different irrigation treatments

Samira Sghari Lalemi[1], Abdollah Ghasemi Pirbalouti[2*], Fariborz Moater[3,4], Faezeh Rajabzadeh[4]

[1] Department of Agronomy and Medicinal Plants, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
[2] Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: a.ghasemi@iautmu.ac.ir
[3] Faculty of Pharmacy, University of Isfahan Medical Sciences, Isfahan, Iran
[4] R & D, Goldaru Herbal Pharmaceutical Company, Isfahan, Iran
[4] Department of Agronomy, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article type:
Research article

Article history
Received: 29-6-2022
Revised: 17-7-2022
Accepted: 11-8-2022

Keywords
Chili pepper
irrigation method
reduced irrigation
degree of intensity
vitamin C
total phenol

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of L-phenylalanine foliar application on morpho-physiological and phytochemical properties of red pepper under different irrigation treatments (type and amount) in the filed experimental at Goldaru Herbal Pharmaceutical Company, Isfahan as a split-split plot experimental in the randomized complete block design (RCBD) in 2018. Experimental factors included: moisture conditions (optimum and reduced irrigation), irrigation methods (drip and flood irrigation) and different levels of the foliar application (negative control; positive control or water as solvent; L-phenylalanine at 2000 and 4000 ppm). The results indicated that the highest the plant height was related to the application of 2000 ppm phenylalanine optimum irrigation (69.3 cm), the highest values of the fresh and dry fruit weights were related to 2000 ppm L-phenylalanine × reduced irrigation × drip irrigation (6.60 g/m^2) and L-phenylalanine (at 2000 ppm) × optimum and reduced irrigation × drip irrigation (2.18 g/m^2), respectively. Results of the biochemical traits showed that the highest degree of intensity was under L-phenylalanine (at 2000 ppm) × reduced irrigation × flood irrigation (449 g/m^2). In addition, the maximum values of vitamin C and total phenol were related to the water foliar application × optimum and reduced irrigation conditions (0.82 and 0.72 mg/g dry weight) and the water foliar application × reduced irrigation × drip irrigation (2.15 mg GAE/ g dry weight), respectively. In general, the results of this study showed the negative effect of drought stress or reduced irrigation on the growth traits of red pepper, however, reduced irrigation enhanced the degree of intensity, vitamin C and total phenol. In conclusion, the foliar application of L-phenylalanine (at 2000 ppm) could improve the quality and reduced the negative effects reduced irrigation on the growth and yield of red pepper under arid and semiarid climate.

Cite this article as: Sghari Lalemi, S., Ghasemi Pirbalouti, A., Moater, F., Rajabzadeh, F. (2023). Effect of L-phenylalanine foliar application on the growth, morphophysiological and phytochemical characteristics of red or chili pepper (Capsicum anuum) under different irrigation treatments. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants.*, 11(3): 115-127.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/ejmp.2022.1962149.1695 Dor: 20.1001.1.23223235.1402.11.3.8.3

اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی
شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۳۲۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۹۷
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان
انجمن گیاهان دارویی ایران ثبت ۱۸۹۶۳

اثر محلول‌پاشی اِل فنیل آلانین بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژی و فیتوشیمی فلفل قرمز (*Capsicum annuum* L.) تحت تیمارهای مختلف آبیاری

سمیرا اصغری لالمی[۱]، عبداله قاسمی پیربلوطی[۲*]، فریبرز معطر[۳]، فائزه رجب زاده[٤]

[۱] دانشجوی دکتری گیاهان دارویی، گروه زراعت و گیاهان دارویی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

[۲] دانشکده علوم دارویی، واحد علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، **رایانامه:** a.ghasemi@iautmu.ac.ir

[۳] دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و واحد تحقیق و توسعه شرکت داروسازی گل دارو

[٤] گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱٤۰۱/۰٤/۸
تاریخ بازنگری:۱٤۰۱/۰٤/۲٦
تاریخ پذیرش:۱٤۰۱/۰۵/۲۰

واژه‌های کلیدی:
فلفل تند
روش آبیاری
کم آبیاری
درجه تندی
فنل کل
ویتامین ث

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی اِل فنیل آلانین بر خصوصیات رشدی و فیتوشیمی فلفل قرمز (*Capsicum annuum* L.) تحت شرایط تیمارهای آبیاری در مزرعه تحقیقاتی شرکت گل دارو اصفهان به صورت طرح آزمایشی کرت دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۹۷ اجرا شد. شرایط رطوبتی (آبیاری مطلوب و کم آبیاری)، روش آبیاری (قطره ای و غرقابی) و محلول‌پاشی اِل فنیل آلانین (شاهد منفی، شاهد مثبت یا حلال آب، و اِل فنیل آلانین در دو سطح ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ پی پی ام) فاکتورهای مورد آزمایش بودند. نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع بوته مربوط محلول پاشی اِل فنیل آلانین (۲۰۰۰ پی پی ام) × آبیاری مطلوب، بالاترین وزن تر میوه مربوط به محلول پاشی اِل فنیل آلانین (۲۰۰۰ پی پی ام) × کم آبیاری × آبیاری تحت فشار و بیشترین وزن خشک میوه مربوط به آبیاری تحت فشار × هر دو شرایط آبیاری × محلول‌پاشی (غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام اِل فنیل آلانین) بود. هم‌چنین بیشترین درجه تندی بر حسب میزان کاپسایسین مربوط به تیمار آبیاری غرقابی × محلول‌پاشی (غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام اِل فنیل آلانین) × کم آبیاری بود. بیشترین میزان ویتامین ث مربوط به محلول‌پاشی با آب × هر دو شرایط آبیاری و بالاترین میزان فنل کل در آبیاری قطره ای × کم آبیاری × محلول‌پاشی با آب مشاهده شدند. به طور کلی، نتایج بیانگر اثرات منفی کم آبیاری بر صفات رشدی فلفل قرمز بود، البته تحت این شرایط برخی خصوصیات فیتوشیمی شامل تندی، ویتامین ث و میزان فنل کل افزایش داشتند. در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که محلول‌پاشی اِل فنیل آلانین با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام و آبیاری از نوع تحت فشار توانستند سبب بهبود کیفیت و کاهش اثرات منفی تنش خشکی ناشی از کم آبیاری بر ویژگی‌های عملکردی فلفل قرمز در شرایط خشک و نیمه خشک شود.

استناد: اصغری لالمی، سمیرا؛ قاسمی پیربلوطی، عبداله؛ معطر، فریبرز؛ رجب زاده، فائزه. (۱٤۰۲). اثر محلول‌پاشی اِل فنیل آلانین بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژی و فیتوشیمی فلفل قرمز (*Capsicum annuum* L.) تحت تیمارهای مختلف آبیاری. *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۱ (۳)، ۱۲۷-۱۱۵.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.
Doi: 10.30495/ejmp.2022.1962149.1695
Dor: 20.1001.1.23223235.1402.11.3.8.3

مقدمه

اندام‌های مختلف گیاهان دارویی و معطر، منابع غنی از ترکیبات موثره طبیعی بوده که در انواع صنایع مختلف آرایشی- بهداشتی، دارویی و غذایی و همچنین فرآورده‌های طب سنتی و طعم دهنده‌ها و چاشنی مواد غذایی به صورت سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rezaei and Ghasemi Pirbalouti, 2019). با توجه به این‌که بخش اعظم بازار گیاهان دارویی دنیا به تولید و عرضه متابولیت‌های ثانویه مشتق از این گیاهان مربوط می‌شود؛ لذا این ترکیبات طبیعی از اهمیت اقتصادی و ارزش افزوده بالایی برخوردارند (Zhao et al., 2005).

فلفل قرمز با نام علمی Caspicum *annuum* L. از تیره تاج ریزی[1] گیاهی علفی و حساس به سرما است که در نواحی معتدله به صورت یک‌ساله و در نواحی گرمسیری ممکن است چند ساله رشد کند (Bagheri et al., 2017). این گیاه یکی از شناخته شده‌ترین گیاهان است که به عنوان سبزی، ادویه و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به همین دلیل در بسیاری از نقاط مختلف جهان به ویژه چین، مکزیک و ترکیه کشت می‌شود (Keshavarz et al., 2019). بر اساس آمار منتشره حدود ۲ میلیون هکتار با متوسط عملکرد میوه ۱۶ تن در هکتار، سطح زیر کشت این گیاه گزارش شده است (FAO-STATE, 2017). سطح زیر کشت *C. annuum* در ایران حدود ۶ هزار هکتار با میانگین عملکرد میوه ۱۱ تن در هکتار بوده است (FAOSTATE, 2017). استان‌های حاشیه کویر از مناطق تولید این گیاه ارزشمند هستند و عمدتاً در ایران برای مصرف تازه خوری یا سبزی، ادویه و در چند سال اخیر در تولید فرآورده‌های طب سنتی و صنایع داروسازی به دلیل داشتن اثرات محرک و تقویت سیستم ایمنی، ضد اسپاسم، ضد نفخ، معرق، ضد عفونی کننده و قرمز کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاپساسینوئید[2] معروف به کاپسائیسین[3] حدود ۳۰ درصد، کاروتنوئیدها بین ۰/۵ تا ۱ درصد (کاپسانتین، آلفا-کاروتن، استرهای اسیدهای چرب و غیره)، فلاونوئیدها، ساپونین‌های استروئیدی و اسانس یا روغن فرار (حدود ۰/۱ درصد) از مهمترین ترکیبات در میوه فلفل قرمز هستند. طعم تند میوه این گیاه مربوط به ماده کاپسائیسین است (Koleva-Gudeva et al., 2013; Kumar and Tata, 2009). نتایج بررسی‌های حاکی از وجود ویتامین‌های A، C، B_2 و B_{11} و ترکیبات آنتی اکسیدان‌های قوی مانند کاروتن را در میوه فلفل بودند که به واسطه ترکیبات شیمیایی موجود، در تحریک سیستم ایمنی و هم‌چنین حمله عوامل عفونی نقشی موثر ایفا می‌کند (Sinisgalli et al., 2020; Speranza et al., 2019).

بیوسنتز ترکیبات ثانویه در گیاهان دارویی و معطر تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر ژنتیکی (گونه، زیر گونه، رقم، شیمیوتیپ، جمعیت، اندام گیاهی و مرحله فنولوژیکی)، جغرافیایی و اکولوژیکی (اقلیمی و ادافیکی)، مدیریتی شامل تولید و فرآوری (کاشت، داشت، برداشت و فرآیندهای پس از برداشت) و اثرات متقابل آن‌ها است (Memarzadeh et al., 2020; Azarkish et al., 2021; Hamedi et al., 2022; Gharakhani-Beni et al., 2021; Maghsoudi et al., 2020). هم‌چنین این عوامل نقش عمده‌ای بر رشد، نمو و تولید گیاهان دارویی و معطر دارد. رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی و باغی است. از بین عوامل اکولوژیکی، تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده به ویژه تنش کم آبی و خشکی در تولید کمی و کیفی مواد موثره گیاهان دارویی نقش بسیار مهمی دارد (Malekpoor et al., 2017; Khosh Eqbal et al., 2020; Karimi et al., 2020; Babaei et al., 2021; Alavi Samani et

1.Solanaceae

2.Capsaicinoids

3.Capsaicin

al., 2021; Ahmadi and Akbari, 2021). تنش کمبود آب از طرق مختلف چرخه‌ی رشدی گیاه را مختل می‌کند. در واقع شرایط کم آبی ضمن کاهش محتوای رطوبت در بافت‌های گیاهان سبب محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد و صدماتی به رشد، نمو و حتی بر سنتز برخی ترکیبات ثانویه گیاهان دارویی وارد می‌سازد (Kumar et al., 2018). در این راستا، Gonzalez Dugo و همکاران (۲۰۰۷) با اعمال دو تیمار کم‌آبیاری پایدار در طول فصل رشد و کم آبیاری در انتهای فصل رشد گیاه فلفل گزارش دادند که رشد رویشی فلفل به مقدار زیادی به آب وابسته است. همچنین، در هر دو سطوح کم آبیاری، سطح برگ و وزن تر و خشک محصول کاهش پیدا کرد. Ferrara و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر کم آبیاری طی دوره‌های مختلف رشد گیاه فلفل در تیمارهای آبیاری کامل، کم آبیاری طی دوره رشد رویشی و کم آبیاری در دوره رشد زایشی، میزان عملکرد را به ترتیب ۵٦٤٤، ۲۰٤۰ و ۸۷۵ گرم بر متر مربع گزارش دادند. از طرفی محققان در تحقیقات خود نشان دادند که اگرچه کاهش رطوبت یک عامل محدود کننده برای تولید گیاهان دارویی و معطر است ولی مشخص شده است که در اغلب گیاهان دارویی و معطر برخی مواد موثره با القای کم آبی از نظر کیفیت ارتقا می‌یابند البته این موضوع بسته به مدت، نوع، زمان و مرحله تنش، ژنوتیپ و رقم و مدیریت تولید و غیره دارد (Yang et al., 2018). در حقیقت تولید این متابولیت‌ها به عنوان یک راهکار بقاء در برابر تنش‌های محیطی مطرح می‌شود. از آنجا که تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان به وسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش رطوبتی نیز عامل مؤثری در رشد و همچنین سنتز ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد (Reddy et al., 2004). لذا ارائه روش‌هایی که بتواند گیاهی ماده مؤثره بیشتر تولید نماید، ضروری به نظر می‌رسد و باید به‌طور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد.

یکی از روش‌هایی که به منظور افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه به کار می‌رود، بهره گیری از الیسیتورهای زیستی و غیرزیستی است (Samani et al., 2019; Alavi Samany et al., 2022; Zhao et al., 2005). الیسیتورها ترکیباتی با منشأ زیستی یا غیرزیستی می‌باشند که از طریق القای سیستم دفاعی باعث بیوسنتز و انباشت متابولیت‌های ثانوی و همچنین تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان می‌شوند (Ghasemi Pirbalouti et al., 2014). فنیل آلانین یکی از مهمترین اسیدآمینه‌ها در سنتز پروتئین گیاهی است که در تولید عطر و ترکیبات آروماتیک، آنتی اکسیدان‌ها و لیگنین، ترکیبات اصلی موجود در دیواره سلولی گیاهان و به عنوان یک حامل در تولید اتانول سلولزی نقش دارد (Vogt, 2010; Aghaei et al., 2019). کشور ایران در بخشی از کره زمین قرار گرفته که در بسیاری از نقاط آن نزولات جوی نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی را تأمین نمی‌کند (Hassani and Omidbeigi, 2003) و به خصوص طی چند سال اخیر کاهش بارندگی منجر به خشک‌سالی و سبب خسارات فراوانی بر تولید محصولات کشاورزی در کشور شده است؛ لذا بررسی اثرات محلول پاشی اسید آمینه فنیل آلانین بر ویژگی های گیاه مهم دارویی و خوراکی فلفل قرمز در شرایط کم آبیاری در اقلیم خشک اصفهان از اهداف این مطالعه است.

مواد و روش‌ها

محل تحقیق و تیمارها: پژوهش حاضر بر اثر تیمارهای محلول پاشی فنیل آلانین بر خصوصیات رشدی و فیتوشیمیایی گیاه فلفل قرمز یا چیلی تحت شرایط رطوبتی و روش آبیاری مختلف در مرکز

پژوهشی شرکت گل دارو واقع در فلاورجان، غرب اصفهان با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و ۵۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و ۵۱ دقیقه و ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. نتایج آمار هواشناسی در زمان اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

برای عملیات کاشت، با توجه به ریز بودن بذور فلفل قرمز و حساس بودن مرحله جوانه‌زنی آن، عملیات کاشت داخل سینی کشت در گلخانه آزمایشی (با میانگین دمای روزانه ۱۸ درجه سانتی گراد) انجام شد. نشاها پس از ۷ هفته (زمانی که گیاه به مرحله ۶ یا ۷ برگی شدن) به زمین اصلی انتقال یافتند. قبل از انتقال نشاهای کاشته شده، به طور تصادفی، از چند نقطه از مزرعه آزمایشی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) نمونه‌برداری از خاک انجام و به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل و برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). سپس بر اساس نتایج آزمون خاک و دستورالعمل فنی کاشت فلفل قرمز، کودهای مورداستفاده در این آزمایش به خاک اضافه شد.

آزمایش به صورت کرت دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل: روش آبیاری (آبیاری قطره‌ای و غرقابی) در کرت اصلی، شرایط رطوبتی خاک (آبیاری مطلوب و کم آبیاری) در کرت‌های فرعی و سطوح مختلف محلول‌پاشی (شاهد منفی یا بدون محلول پاشی، شاهد مثبت محلول پاشی فقط حلال یا آب، محلول پاشی ال – فنیل آلانین با دو غلظت ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ پی پی ام) در کرت‌های فرعی فرعی بود. آبیاری واحدهای آزمایشی بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و با در نظر گرفتن میزان رطوبت خاک انجام شد. بدین منظور، اطلاعات مربوط به تبخیر روزانه از ایستگاه هواشناسی جمع‌آوری و تبخیر تجمعی محاسبه شد. بر این اساس میزان ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی به عنوان شرایط شاهد و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر به عنوان تنش خشکی در نظر گرفته شد. روش آبیاری به دو صورت آبیاری قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ و آبیاری مرسوم (نشتی) انجام شد. محلول‌پاشی با کمک دستگاه مه پاش، بر روی نمونه‌های مشخص شده در مرحله رویشی، سه بار به فواصل ۱۰ روز یک‌بار (کامل برروی برگ‌های پوششی) انجام شد. بدین منظور ابتدا، پاشش اول کالیبره شد که چقدر نیاز به پاشش به سطح برگ در یک مترمربع نیاز است و براساس آن محلول ها ساخته شد. نمونه شاهد و محلول پاشی با آب نیز با سه تکرار در هر کرت انجام شد. برای تهیه محلول‌های فنیل آلانین ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام، با حل کردن به ترتیب یک گرم و دو گرم در یک لیتر آب حاصل شد.

برای بررسی صفات مورفولوژیک در انتهای دوره رشد، تعداد سه بوته از هر واحد آزمایشی به‌صورت تصادفی برای اندازه‌گیری صفات رویشی انتخاب شدند. برای برآورد ارتفاع بوته، از محل طوقه تا انتهای بلندترین سرشاخه با کمک خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع بوته لحاظ شد. برای برآورد تعداد میوه در هر بوته، شاخه اصلی و شاخه‌ی فرعی، میانگین تعداد میوه‌ها، شاخه‌های اصلی و فرعی سه بوته در هر واحد آزمایشی شمارش و ثبت شد. اندازه‌گیری طول میوه از دستگاه کولیس استفاده شد. به منظور برآورد صفات وزن تر و خشک میوه، از بوته‌های برداشت شده، سه عدد میوه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از جداسازی اندام‌های اضافی، بلافاصله وزن‌تر آن‌ها با کمک ترازوی حساس دیجیتال با دقت یک‌هزارم اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان شاخص وزن تر میوه در نظر گرفته شد؛ سپس در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی گراد به مدت

۲٤ ساعت خشکانده و مجدداً توسط ترازوی دقیق توزین و به‌عنوان شاخص وزن خشک میوه در نظر گرفته شدند.

به‌منظور مطالعه صفات بیوشیمیایی نظیر میزان فنل کل میوه عصاره اتانولی فلفل از روش رنگ سنجی فولین شیکالتو[1] (Menichini et al, 2009) استفاده شد و بر اساس میلی گرم اسید گالیک به عنوان استاندارد در ورن خشک تعیین شد. برای اندازه گیری محتوی اسید آسکوربیک یا ویتامین ث در میوه فلفل قرمز با استفاده از معرف ۲،٤ دی‌نیتروفنیل هیدرازین (Kumar and Tata, 2009)؛ فعالیت آنتی اکسیدان بر اساس روش DPPH (Rezaei and Ghasemi Pirbalouti, 2019) و در نهایت میزان کاپسایسین در نمونه‌ها با اندازه‌گیری اسپکتروفتومتری اجزای رنگی آبی تشکیل شده در نتیجه کاهش اسید فسفومولیبدیک به اسیدهای پایین مولیبدن بر اساس روش Ademoyegun و همکاران (۲۰۱۱) محاسبه شد و براساس منحنی استاندارد در ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش شد. برای تجزیه و تحلیل آماری مشاهدات، ایتدا تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری $SAS_{9.4}$، مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با Excel انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از وجود برهمکنش معنی‌دار عوامل روش آبیاری × کم آبیاری × محلولپاشی از نظر صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین صفات نشان از تغییرات زیاد صفت ارتفاع بوته تحت تأثیر سطوح مختلف تیماری داشت. بر این اساس مشخص شد که بیشترین میانگین ارتفاع بوته مربوط به سطوح تیماری کاربرد ۲۰۰۰ پی پی ام اِل-فنیل آلانین در شرایط آبیاری مطلوب (۶۹/۳ سانتی‌متر) و روش آبیاری غزقابی بود. در مقابل، نتایج حاضر نشان داد که کمترین میزان ارتفاع بوته مربوط به محلول‌پاشی ۲۰۰۰ پی پی ام اِل- فنیل آلانین × کم آبیاری ×آبیاری به روش غرقابی (با میانگین ٤٤ سانتی‌متر) بود که البته با سطوح محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ پی پی ام اِل-فنیل آلانین × آبیاری طلوب و کم آبیاری × آبیاری قطره ای (به ترتیب ٤٤/۷ و ٤٥ سانتی‌متر) اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ٤). همچنین در دید کلی میانگین ارتفاع بوته در شرایط آبیاری مطلوب به جهت فراهمی آب و منابع در دسترس، ارتفاع بوته بیشتری مشاهده شد که می‌توان به سرعت رشد بهتر تحت این شرایط نسبت داد که البته از این نظر کاربرد غلظت‌های مختلف محلولپاشی تأثیرات متفاوتی بر این صفت داشت. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کاهش آب در دسترس سبب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت (Basu et al., 2016). با کاهش یافتن رشد سلول‌ها اندازه اندام نیز محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Babaee et al., 2010). در تحقیق حاضر کاربرد اِل-فنیل آلانین سبب افزایش ارتفاع شد که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت که علت آن را به واسطه نقشی که در تجمع قندها دارد و قندها به عنوان تثبیت کننده اسمزی عمل می‌کنند سبب بهبود پتانسیل آب و رشد گیاهان و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Sanikhani et al., 2020).

[1] Folin-Ciocalteu

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد شاخه اصلی تحت تأثیر معنی‌داری از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. نتایج تحقیق حاضر حاکی از تأثیرپذیری صفت تعداد میوه در بوته از برهمکنش عوامل روش آبیاری × کم آبیاری × محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بود. بیشترین میانگین تعداد میوه در بوته مربوط به محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام ال- فنیل آلانین × آبیاری مطلوب و کم آبیاری × آبیاری تحت فشار بود. بررسی تأثیرپذیری صفت تعداد میوه در بوته نشان داد که میانگین تعداد میوه در شرایط آبیاری مرسوم برابر با ٤٧/٦ میوه بود که در روش آبیاری تحت فشار با ٧/٤ درصد افزایش به میانگین ٥١/٤ میوه رسید. در این راستا، قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2021) گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری تعداد میوه فلفل دلمه ای در بوته به طور معنی‌داری کاهش یافت. این محققان هم‌چنین گزارش دادند که تحت این شرایط کاربرد محلول‌پاشی کائولین در سطح غلظت ۲/٥ درصد سبب افزایش تعداد میوه در بوته نسبت به شاهد شد.

در بین عوامل آزمایشی تنها اثر اصلی محلول‌پاشی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر صفت طول میوه داشت (شکل ۱). میانگین صفت طول میوه نشان داد که بین سطوح شاهد و غلظت‌های ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ پی پی ام ال-فنیل آلانین تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. روش آبیاری × میزان آبیاری × محلول‌پاشی بر صفت وزن تر میوه در سطح یک درصد اثر معنی داری داشت (جدول ۳). بیشترین وزن تر میوه مربوط به محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام ال-فنیل آلانین × کم آبیاری × آبیاری تحت فشار (٦/٦۰ گرم در متر مربع) و محلول‌پاشی با آب × آبیاری مطلوب × تحت فشار یا قطره ای (٦/٥۳ گرم در متر مربع) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشته و دارای میانگین بالاتری نسبت به سایر سطوح آزمایشی داشتند (جدول ٤). در مقابل کمترین میزان وزن تر میوه مربوط به روش آبیاری غرقابی × کم آبیاری × سطوح محلول‌پاشی شاهد و غلظت ٤۰۰۰ پی پی ام ال-فنیل آلانین (۲/۹۳ و ۳ گرم در متر مربع) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با سایر سطوح تیماری داشت (جدول ٤). به طور کلی نتایج تأثیرپذیری صفت وزن تر میوه از سطوح تیمارهای آزمایشی نشان داد که در شرایط آبیاری تحت فشار میانگین وزن خشک بوته ۲۳ درصد نسبت به روش آبیاری مرسوم یا غرقابی بالاتر بود. هم‌چنین تغییرات این صفت تحت شرایط کم آبیاری سبب کاهش میانگین وزن تر میوه شد؛ به طوری که در شرایط آبیاری غرقابی و تحت فشار به ترتیب ۱۲ و ۱۹درصد میانگین وزن تر را نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش داد. هم‌چنین به طور کلی در بین سطوح محلول‌پاشی نیز مشاهده شد که سطوح محلول‌پاشی ال-فنیل آلانین دارای میانگین وزن تر میوه بالاتری نسبت به محلول‌پاشی شاهد و آب داشتند (جدول ٤).

از نظر وزن خشک میوه فلفل مشاهده شد که برهمکنش معنی‌داری بین تیمارها در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بالاترین وزن خشک میوه مربوط به روش آبیاری تحت فشار در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و کم آبیاری در و کاربرد محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام ال-فنیل آلانین (۲/۱۸ گرم در مترمربع در شرایط کم آبیاری و ۲/۱٤ گرم در متر مربع در شرایط آبیاری مطلوب) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ٤). در مقابل کمترین میزان وزن خشک میوه مربوط به روش آبیاری غرقابی × کم آبیاری × شاهد محلول‌پاشی (۰/٦۱ گرم در مترمربع) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با سایر سطوح تیماری داشت (جدول ٤). به‌طورکلی نتایج تأثیرپذیری صفت وزن خشک بوته از سطوح تیمارهای آزمایشی نشان

داد که در شرایط آبیاری تحت فشار میانگین وزن خشک میوه ۲۳ درصد نسبت به روش آبیاری غرقابی بالاتر بود. از طرفی اعمال تنش سبب کاهش میانگین وزن خشک میوه شد؛ به طوری که در شرایط غرقاب میانگین وزن خشک میوه از ۱/۳۱ گرم در متر مربع تحت شرایط آبیاری مطلوب به ۱/۱۵ گرم در متر مربع در شرایط کم آبی کاهش یافت. این روند در روش آبیاری تحت فشار نیز مشاهده شد به طوری که میانگین وزن خشک از ۱/۷۰ گرم در متر مربع در شرایط آبیاری مطلوب به ۱/٤۷ گرم در متر مربع کاهش یافت. در بین سطوح محلول‌پاشی نیز مشاهده شد که تمامی سطوح محلول‌پاشی اِل-فنیل آلانین دارای میانگین وزن خشک میوه بالاتری نسبت به دو سطح محلول‌پاشی شاهد و آب داشتند (جدول ٤).

رشد و عملکرد گیاه به طور عمده به میزان دریافت نور، حاصلخیزی خاک، میزان رطوبت خاک و وجود عوامل تنش‌زا مانند خشکی بستگی دارد (Khazaei et al., 2014). از طرفی نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که تنش خشکی نقش مهمی در کاهش جذب مواد غذایی توسط گیاه و کاهش تحرک آنها در خاک دارد (Karimi et al., 2020; Babaei et al., 2021). مکانیسم‌های جذب و انتقال مواد غذایی در خاک مانند جریان‌های انتشار، جریان توده‌ای و از جمله اسمز، همگی تابع مقدار رطوبت در خاک هستند و در شرایط کم شدن آب خاک، جذب و انتقال عناصر غذایی کاهش و این محدودیت سبب کاهش فتوسنتز و رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Karimi et al., 2020; Babaei et al., 2021)؛ این در حالی است که استفاده از ترکیباتی نظیر فنیل آلانین می‌تواند تأثیر زیادی روی رشد رویشی و زایشی گیاه در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی لازم گیاه داشته باشد (Samani et al., 2019; Aghaei et al., 2019).

صفات فیتوشیمیایی: نتایج تجزیه واریانس صفت تندی نشان داد که برهمکنش روش آبیاری × میزان آبیاری × محلول‌پاشی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان تندی یا همان میزان کاپسیسین داشت (جدول ۳). کاربرد اِل-فنیل آلانین با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام × آبیاری غرقابی و همچنین محلول‌پاشی شاهد مثبت یا آب و غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام فنیل آلانین دارای میانگین بالاتری نسبت به سایر سطوح تیماری بودند و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۲ الف). در بررسی اثرات برهمکنش تیمارهای میزان آبیاری × محلول‌پاشی نیز مشاهده شد که بیشترین میانگین این صفت مربوط به تیمار اِل-فنیل آلانین با غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام (٤٤۹ گرم کاپسیسین در متر مربع) بود و از این نظر نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی‌داری داشت. به طور کلی این نتایج نشان داد که میانگین درجه تندی در شرایط آبیاری مطلوب برابر با ۲٤۷ گرم کاپسیسین در مترمربع بود که تحت شرایط کم آبیاری با ۲۳ درصد افزایش به میانگین ۳۲۵ واحد رسید (شکل ۲ ب). نتایج بررسی ها نشان داده است که اگرچه رطوبت خاک یک عامل محدود کننده برای تولید گیاهان می‌باشد، اما تنش کم آبی می‌تواند باعث افزایش متابولیت ثانویه در گیاهان دارویی شود. کمبود رطوبت، گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف متابولیکی و فعالیت ژن‌های خاص و غیره می‌کند (Malekpoor et al., 2017). مهمترین ترکیب در این گروه متابولیت‌های ثانویه، از ترکیبات فعال بیولوژیکی گونه‌های فلفل مشتق می‌شود که گروه آلکالوئیدی کپسایسینوئید است و از بنزیل آمین مشتق می‌شود (Koleva-Gudeva et al., 2013). این ماده یک

آلکالوئید منحصر به فرد است که اصولاً در میوه‌ی جنس فلفل یافت می‌شود و طعم تند آن را فراهم می‌کند. در واقع علت تندی فلفل به جهت وجود کپسایسینوئید می‌باشد. هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، محققان گزارش دادند که اعمال تنش خشکی بر گیاه فلفل نیز باعث افزایش ترکیب‌های فنلی و افزایش تندی آن گردید (Estrada et al., 1999). همچنین نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت ال-فنیل آلانین بر درجه تندی فلفل بود که بیانگر افزایش سطح کپسایسینوئید در اثر کاربرد محلولپاشی این ترکیب مهم می‌باشد.

اثر متقابل شرایط رطوبتی × محلول‌پاشی بر میزان ویتامین ث در میوه فلفل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین محتوی ویتامین ث مربوط به محلول‌پاشی با آب در هر دو شرایط رطوبتی خاک (به ترتیب ۰/۸۲۰ و ۰/۷۲۰ میلی‌گرم بر گرم) بود (شکل ۳). نتایج نشان داد که میزان ویتامین ث در شرایط کم آبی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب ۲۱ درصد کاهش یافت. Khazaei and Estaji (2021) در بررسی تحمل به تنش خشکی در فلفل گزارش دادند که محتوای آسکوربیک اسید تحت تنش خشکی به طور قابل توجهی افزایش یافته و تحت این شرایط کاربرد ترکیبات هورمونی نظیر سالیسیلیک اسید نقش مهمی در افزایش اجزای غیر آنزیمی مانند آسکوربیک اسید ایفا می‌کند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تنش خشکی نه تنها رشد گیاهان را کند می‌کند، بلکه غلظت برخی از متابولیت ها مانند آسکوربیک اسید را افزایش می‌دهد (Shan et al., 2011). افزایش محتوای آسکوربیک اسید نقش موثری در حذف گونه‌های اکسیژن واکنشگر از طریق واکنش آسکوربات پراکسیداز ایفا می‌کند (Caverzan et al., 2019).

میزان فنل کل در میوه تنها تحت تاثیر معنی‌دار اثر متقابل روش آبیاری × میزان آبیاری × محلول‌پاشی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان فنل کل مربوط به روش آبیاری قطره‌ای × کم آبیاری × محلول‌پاشی با آب (۲/۱۵ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک) بود که برتری معنی‌داری نسبت به سایر سطوح آزمایشی داشتند (جدول ٤). به طور کلی تغییرات این صفت تحت سطوح آزمایشی نشان داد که میانگین میزان فنل در شرایط آبیاری غرقابی برابر با ۱/۲۷ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک بود که در روش آبیاری تحت فشار با ۵ درصد افزایش به میانگین ۱/۳٤ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک رسید. هم‌چنین مشاهده شد که سطوح محلول‌پاشی در شرایط رطوبتی مختلف تأثیر متفاوتی بر میزان فنل کل میوه داشت (جدول ٤). نتایج مطالعات نشان داده است که تنش‌های محیطی باعث افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌شود، Malekpoor و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که تحت تنش خشکی ترکیبات فنلی در گیاهان تجمع می‌یابند. در پژوهش حاضر، با افزایش تنش خشکی میزان فنل کل افزایش یافت که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت. وقتی فنل‌ها در این واکنش‌ها به صورت آنتی اکسیدان شرکت می‌کنند، به رادیکال فنوکسیل اکسید تبدیل می‌شوند و سپس با واکنش با آسکوربات به حالت اولیه بر می‌گردند. علت افزایش ترکیبات فنلی، از افزایش فعالیت و میزان آنزیم‌های بیوسنتزی ترکیبات فنلی مانند فنیل آلانین آمونیالیاز ناشی می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس گویای تأثیرپذیری DPPH از برهمکنش روش آبیاری × تنش × محلولپاشی در سطح یک درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین از نظر میزان آنتی اکسیدان میوه نشان داد که بیشترین روش آبیاری غرقابی در شرایط آبیاری مطلوب× محلول‌پاشی با ۲۰۰۰ پی پی ام فنیل آلانین (۰/۲٦) بود میانگین DPPH 2000 مربوط به روش آبیاری غرقابی

× آبیاری مطلوب × محلول‌پاشی شاهد (۰/۵۲) بود (جدول ٤). به طور کلی نتایج این بررسی تغییرات این صفت نشان داد که میانگین DPPH در روش آبیاری غرقابی برابر با ۰/۳٦۰ بود که در آبیاری قطره ای با ۱۵ درصد افزایش به میانگین ۰/٤۲رسید. در بررسی سطوح مختلف محلول‌پاشی نیز مشاهده شد که سطوح محلول‌پاشی تحت فاکتورهای آبیاری تأثیرات متفاوتی بر میزان DPPH گذاشت (جدول ٤).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیرپذیری صفات مختلف مورد بررسی فلفل قرمز یا چیلی از سطوح تیماری بود. براساس نتایج حاصله مشخص شد که روش آبیاری تحت فشار یا قطره ای به واسطه تأثیر مثبت بر صفات وزن تر و خشک فلفل و هم-چنین افزایش متابولیت‌های ثانویه مورد بررسی، نسبت به روش آبیاری غرقابی وضعیت بهتری برای گیاه فلفل قرمز فراهم نموده است. همچنین نتایج این پژوهش به خوبی نمایانگر تأثیر منفی تنش خشکی بر فلفل قرمز بود که سبب کاهش معنی‌دار صفات رشدی نظیر وزن تر و خشک و غیره شد که البته تحت این شرایط محلول‌پاشی فنیل آلانین توانست سبب بهبود وضعیت گیاه به ویژه تحت تنش خشکی شود.

References

Ademoyegun, O.T., Fariyike, T.A. and Aminu-Taiwo, R.B. 2011. Effects of poultry dropping on the biologically active compounds in *Capsicum annuum* L. (var. Nsukka yellow). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(4): 665-672. doi:10.5251/abjna.2011.2.4.665.672

Aghaei, K., Ghasemi Pirbalouti, A. Mousavi, A., Badi, H.N. and Mehnatkesh, A., 2019. Effects of foliar spraying of L-phenylalanine and application of bio-fertilizers on growth, yield, and essential oil of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21: 101318. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101318

Ahmadi, N. and Akbari, E. 2021. The preventive impact of vermicompost on bell pepper (*Capsicum annuum* L.) salinity resistance: An evaluation. *African Journal of Agricultural Research*, 17(1): 46-56. doi:10.5897/AJAR2020.14920

Alavi Samani, S., Ghasemi Pirbalouti, A. and Malekpoor, F. 2021. Effect of foliar application of chitosan on the quantity and quality of *Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* Bieb. essential oil under different irrigation regimes. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 9(3): 69-81. doi: 10.30495/ejmp.2021.1920256.1621

Alavi Samany, S.M., Ghasemi Pirbalouti, A. and Malekpoor, F. 2022. Phytochemical and morpho-physiological changes of hyssop in response to chitosan-spraying under different levels of irrigation. *Industrial Crops and Products*, 176: 114330. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.114330

Aniel Kumar, O. and Subba Tata, S. 2009. Ascorbic acid contents in chili peppers (*Capsicum* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 1(1): 50-52. DOI:10.15835/nsb113445

Azarkish, P., Moghaddam, M., Ghasemi Pirbalouti, A. and Khakdan, F. 2021. Variability in the essential oil of different wild populations of *Prangos platychlaena* collected from Southwestern Iran. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 155*(6): 1100-1110. doi: 10.1080/11263504.2020.1829730

Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. and Jabbari, R. 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26(2), 239-251. DOI: 10.22092/ijmapr.2010.6939 (in Persian).

Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N. and Ghasemi Pirbalouti, A. 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284: 110116. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110116

Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A. 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Res*. Faculty Rev-1554. doi: 10.12688/f1000research.7678.1.

Estrada, B., Pomar, F., Mecrino, F. and Bernal, M. A. 1999. Pungency level in fruits of the pardon pepper with different water supply. *Scientia Horticulture*, 81: 385-396. DOI:10.1016/S0304-4238(99)00029-1

Ferrara, A., Lovelli, S., Di Tommaso, T. and Perniola, M. 2011. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Agronomy Journal*. 10(1): 12-19. DOI: 10.3923/ja.2011.12.19

Ghanbari, F., Cheraghi, M., Erfani Moghadam, J. 2021. The effect of kaolin on drought stress tolerance and some physiological responses of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 5(1): 63-75. DOI: 10.22034/iuvs.2020.137652.1122

Gharakhani-Beni, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Soleymani, A. and Golparvar, A. 2021. Competition indices of intercropping of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in different soil moisture conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(2): 237-252. DOI: 10.22034/CSRAR.2021.298016.1114 [in Persian].

Ghasemi Pirbalouti, A., Sajjadi, S.E. and Parang, K. 2014. A review (research and patents) on jasmonic acid and its derivatives. *Archiv der Pharmazie*, 347(4): 229-239. DOI: 10.1002/ardp.201300287

Gonzalez Dugo, V. Orgaz, F. and Fereres, E. 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. *Scientia Horticulturae*., 114: 77-82. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.05.014

Hamedi, B., Ghasemi Pirbalouti, A. and Rajabzadeh, F. 2022. Responses to morpho-physiological, phytochemical, and nutritional characteristics of Damask Rose (*Rosa damescena* Mill.) to the applied of organic and chemical fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-14. DOI: 10.1080/00103624.2022.2070634

Hassani, A., and Omidbeigi, R. 2003. Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolic characteristics of basil. *Agricultural Knowledge*, 12 (3), 47-59. [in Persian].

Karimi, A., Rahmani, F., Pirbalouti, A.G. and Mohamadi, M., 2020. Growth, physiological and biochemical traits of sage under the exogenous stimulating and stress factors. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(5): 933-944. doi: 10.1134/S1021443720050076

Keshavarz, S., Peighambari, S., Zeinali Khanghah, H., Bihamta, M. and Hassandokht, M., 2019. Morphological variation of some capsicum (*Capsicum annuum* L.) lines using multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(1): 129-140. [in Persian].

Khazaei, Z., Sayyary, M., Seydi, M. 2014. Amelioration of drought stress damages by 5-aminolevulinic acid application in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L. Cv. Red Bell Pepper). *Journal of Horticultural Science*, 28(2), 245-251. doi: 10.22067/jhorts4.v0i0.39409 (in Persian).

Khazaei, Z., & Estaji, A. 2021. Impact of exogenous application of salicylic acid on the drought-stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *11*(2), 33-46. doi: 10.22034/JPPB.2021.14495

Khosh Eqbal, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Enteshari, S. and Davarpanah, S.J. 2020. Qualitative and quantitative effects of drought stress on essential oil compositions of hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(2): 292-303. doi: 20.1001.1.23832592.1399.33.2.1.3 [in Persian].

Koleva-Gudeva, L., Mitrev, S., Maksimova, V. and Spasov, D. 2013. Content of capsaicin extracted from hot pepper (*Capsicum annuum* ssp. *microcarpum* L.) and its use as an ecopesticide. *Hemijska industrija*, 67(4): 671-675.

Korkmaz, A., Değer, Ö., & Kocaçınar, F. 2015. Alleviation of water stress effects on pepper seedlings by foliar application of glycinebetaine. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 43(1), 18-31.doi: 0.1080/01140671.2014.936945

Kumar, S., Sachdeva, S., Bhat, K. V. and Vats, S. 2018. *Plant responses to drought stress: physiological, biochemical and molecular basis.* In Biotic and abiotic stress tolerance in plants (pp. 1-25). Springer, Singapore.

Maghsoudi, E., Abbaspour, H., Pirbalouti, A. and Saeidi-Sar, S. 2020. Effects of Paclobutrazol and 24-Epibrassinolide on some morphological and biochemical characteristics of *Salvia officinalis* under different irrigation regimes, *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11(1): 3523-3532. doi: 10.22034/ijpp.2020.677385.

Malekpoor, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Salimi, A. and Momtaz, H. 2017. Effects of chitosan on gene expression of Chavicol-o-methyl transferase and phenylpropanoid components of *Ocimum basilicum* (purple cultivar) under water deficit. Journal of Molecular and Cellular Research (Iranian Journal of Biology), 30(3): 391-401. [in Persian].

Memarzadeh, S.M., Gholami, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Masoum, S. 2020. Bakhtiari savory (Satureja bachtiarica Bunge.) essential oil and its chemical profile, antioxidant activities, and leaf micromorphology under green and conventional extraction techniques. *Industrial Crops and Products*, 154: 112719. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112719

Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G., and Menichini, F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv *Habanero*. *Food Chemistry*, 114(2): 553-560. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.086

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161:1189-1202. doi: 10.1016/j.jplph.2004.01.013

Rezaei, M. and Ghasemi Pirbalouti, A., 2019. Phytochemical, antioxidant and antibacterial properties of extracts from two spice herbs under different extraction solvents. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(3), pp.2470-2480.doi: 10.1007/s11694-019-00167-8.

Bagheri, G., Zahedi, B., Darvishzadeh, R. and Hajiali, A. 2017. Investigation on morphological and physiological variation of some sweet pepper ecotypes (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Horticultural Science*, 31(1): 140-157. doi: 10.22067/jhorts4.v0i0.47955 [in Persian].

Samani, M.R., Ghasemi Pirbalouti, A., Moattar, F. and Golparvar, A.R., 2019. L-Phenylalanine and bio-fertilizers interaction effects on growth, yield and chemical compositions and content of essential oil from the sage (Salvia officinalis L.) leaves. *Industrial Crops and Products*, 137: 1-8. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.05.019

Sanikhani M, Akbari A, Kheiry A. 2020. Effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological characteristics in colocynth (*Citrullus colocynthis* L.). Journal of Plant Process and Function (Iranian Society of Plant Physiology), 9 (35): 317-328. [in Persian].

Shan, Cj., Zhang, Sl., Li, Df. *et al*. 2011. An effect of exogenous hydrogen sulfide on the ascorbate and glutathione metabolism in wheat seedlings leaves under water stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 33: 2533. 10.1007/s11738-011-0746-4

Sinisgalli, C., Faraone, I., Vassallo, A., Caddeo, C., Bisaccia, F., Armentano, M. F., Milella, L., and Ostuni, A. 2020. Phytochemical profile of *Capsicum annuum* L. cv Senise, incorporation into liposomes, and evaluation of cellular antioxidant activity. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 9(5): 428. DOI: 10.3390/antiox9050428

Speranza, G., Lo Scalzo, R., Morelli, C.F., Rabuffetti, M. and Bianchi, G., 2019. Influence of drying techniques and growing location on the chemical composition of sweet pepper (*Capsicum annuum* L., var. Senise). *Journal of Food Biochemistry*, 43(11): e13031. DOI: 10.1111/jfbc.13031.

Vogt T. 2010. Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecules Plant*, 3(1):2-20. DOI: 10.1093/mp/ssp106.

Yang, L., Wen, K.S., Ruan, X., Zhao, Y.X., Wei, F. and Wang, Q., 2018. Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors. *Molecules*, 27; 23(4):762. DOI: 10.3390/molecules23040762.

Zhao, J., Davis, L.C. and Verpoorte, R., 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 23(4): 283-333. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2005.01.003.