

Effects of Amino Acids on Morpho-Physiological and Essential Oil Attributes of *Dracocephalum kotschy* Boiss. in Drought Stress

Mehrab Yadegari*

Corresponding Author, Research Center of Nutrition and Organic Products (R.C.N.O.P), Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran. E-mail: mehrab.yadegari@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 01.09.2024

Revised: 01.23.2024

Accepted: 02.01.2024

Keywords:

Alpha-pinene,
Geranial,
Medicinal plant,
Methionine,
Phenylalanine

ABSTRACT

Background and Objectives: *Dracocephalum kotschy* Boiss. commonly known as Badrandjboie-Dennaie and Zarrin-Giah called in Farsi, belongs to the family Lamiaceae, is one of the endangered species in Iran. The main compounds of the essential oil from *D. kotschy* are Monoterpene hydrocarbons category (alpha-pinene, gamma-terpinene, neral, geranial, nerol, geraniol, limonene, carvacrol and thymol), Oxygenated monoterpenes category (alpha-campholene aldehyde), Sesquiterpenes (caryophyllene) and geranyl acetate from Acetates of carboxylic acids category. This study was done to evaluate the foliar application of amino-acids on the morpho-physiological and phytochemical characters of *D. kotschy* to determine and introduce the best amino-acid under water stress.

Materials and Methods: This investigation was done from spring (May) 2022 to fall (September) 2023 in Shahrekord, Iran. The present study was conducted in split plot layout in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Three irrigation regimes (3, 6, 9 day interval) in main plots and foliar application of amino acids (methionine, lysine, phenylalanine and proline) and control level (without any spraying) in sub plots were done. The concentration of amino acids of methionine and lysine were 2.5 and 5 mg.l⁻¹, for phenylalanine was 100 and 200 µM and for Proline was 500 and 1000 µM. In each year, treatments were applied in stage of flowering stage. Foliar application was done in three stages (since V₄-V₈ stage) once every 10 days (before harvest) in the early morning. The proline content, relative water content, total chlorophyll content and total phenol content were determined using the method of Bates et al., (1973), Arnon (1975), Dere et al., (1998) and Marinova et al., (2005), respectively. The essential oils were extracted by hydro-distillation and analyzed using GC/MS.

Results: According to obtained results, applied amino acids significantly influenced the morpho-physiological and phytochemical characters of *Dracocephalum kotschy*. It was specified that foliar application of amino acids in plants cause to increase of yield of dry weight then essential oil was increased too. Treatments of methionine (2.5 g.l⁻¹) and phenylalanine (100 µM) increased the shoot dry matter to 176.4 and 187.9 gr.plant⁻¹ in primary and secondary years respectively. In two years, the highest chlorophyll content (2.33-2.59 mg.g⁻¹FW), total phenol content (2.31-2.45 mg.g⁻¹FW), essential oil contents (1.01-1.12%) were obtained in methionine (2.5 g.l⁻¹) and phenylalanine (100 µM) treatments by irrigation regimes 3 day interval. According to the biennial results of the chemical analysis of the essential oils from by GC/MS, the most important chemical

compounds that determine the quality of *D. kotachyi* essential oil included Monoterpene hydrocarbons category such as alpha-pinene (23.51-24.54%), neral (12.92-14.51%), geranial (14.54-16.23%), limonene (8.92-9.21%), and Geranyl acetate (8.92-9.21%) from acetates of carboxylic acids category. Alpha-pinene belonging to monoterpene hydrocarbons was the predominant constituent of essential oil of *Dracocephalum kotschyi*.

Conclusion: Morpho-physiological and essential oil of *Dracocephalum kotschyi* had significant differences by amino acids and irrigation regimes. Foliar application of methionine and phenylalanine significantly increased the monoterpene hydrocarbons compounds in essential oils of *D. kotachyi* so that the content of these compounds in treated plants by amino acids approximately 45% was more than the control plants. Finally, the application of methionine at 2.5 g.l⁻¹ can be a good strategy to improve morpho-physiological characters and essential oil quantity and quality of *D. kotachyi* in same climates.

Cite this article: Yadegari, Mehrab. 2025. Effects of Amino Acids on Morpho-Physiological and Essential Oil Attributes of *Dracocephalum kotschyi* Boiss. in Drought Stress. *Journal of Plant Production Research*, 31 (4), 109-135.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2024.22078.3108

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر اسیدهای آمینه بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschy Boiss.*) در شرایط تنش خشکی

مهراب یادگاری*

نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات تغذیه و محصولات ارگانیک، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران.
رایانامه: mehrab.yadegari@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: گیاه دارویی <i>Dracocephalum kotschy Boiss.</i> که به طور معمول در فارسی به زرین گیاه یا بادرنجبویه دناپی شناخته می‌شود. از خانواده نعناع (Lamiaceae) و از گیاهان دارویی و با ارزش ایران و در معرض انقراض می‌باشد. از مواد مؤثره مهم در این گیاه می‌توان از دسته هیدروکربن‌های مونوترپن‌دار (آلفا-پینن، گاما-ترپینن، نرال، ژرانیال، نرول، ژرانیول، لیمونن، کاواکرول و تیمول)، مونوترپن‌دار (آلفا-پینن، گاما-ترپینن، نرال، ژرانیال، نرول، ژرانیول، کاریوفیلن) و ژرانیل استات از دسته استات‌های اسیدهای کربوکسیلیک را نام برد. اسیدهای آمینه نقش مهمی در ایجاد تحمل گیاهی به تنش خشکی دارند. جهت برآورد تأثیر اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه زرین گیاه و تعیین بهترین اسید آمینه، این پژوهش انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲	
واژه‌های کلیدی: آلفا-پینن، ژرانیال، فنیل آلانین، گیاه دارویی، متیونین	مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر از بهار (اردیبهشت‌ماه) ۱۴۰۱ تا پاییز (مهرماه) ۱۴۰۲ در شهرکرد به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای دوره آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی برگی اسیدهای آمینه (لیزین، متیونین، فنیل آلانین و پرولین) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. غلظت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه لیزین و متیونین ۲/۵ و ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار و پرولین ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار بود. در هر سال، در سه مرحله از زمان ۴-۸ برگی هر ۱۰ روز یکبار تا قبل از برداشت محلول‌پاشی انجام شد و در زمان گلدهی کامل اقدام به برداشت شد. میزان محتوای پرولین گیاهی، محتوای نسبی آب گیاه، کل محتوای کلروفیل و فنول گیاهی به ترتیب بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳)، آرنون (۱۹۷۵)، دره و همکاران (۱۹۹۸) و مارینووا و همکاران (۲۰۰۵) محاسبه گردیدند. اسانس‌گیری به روش تقطیر توسط دستگاه کلونجر و تشخیص ترکیبات اسانس پس از آماده‌سازی، به‌واسطه دستگاه GC/MS انجام شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اسیدهای آمینه به‌طور معنی‌داری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس زرین گیاه تأثیر معنی‌دار داشتند. مشخص شد که محلول‌پاشی گیاهان زرین گیاه با اسیدهای آمینه موجب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه گردید که همراه با افزایش میزان اسانس بود. تیمار متیونین (۲/۵ گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۱۰۰ میکرومولار) میزان عملکرد ساختار هوایی را به ۱۷۶/۴ گرم در گیاه در سال نخست و در سال دوم به ۱۸۷/۹ گرم در گیاه رساند. بیش‌ترین مقادیر محتوای کلروفیل (۲/۳۳-۲/۵۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، فنول (۲/۳۱-۲/۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و اسانس (۱/۰۱-۱/۱۲ درصد) از گیاهان تحت تیمار با متیونین (۲/۵ گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۱۰۰ میکرومولار) با دوره آبیاری ۳ روز یک‌بار به‌دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه اسانس توسط GC/MS ترکیبات اصلی و تعیین‌کننده کیفیت اسانس شامل آلفا-پینن (۲۳/۵۱-۲۴/۵۴ درصد)، نرال (۱۲/۹۲-۱۴/۵۱ درصد)، ژرانیل (۱۶/۲۳-۱۴/۵۴)، لیمونن (۸/۹۲-۹/۲۱ درصد) از دسته هیدروکربن‌های مونوترپن‌دار و ژرانیل استات (۸/۷۸-۹/۱۴ درصد) از دسته استات‌های اسیدهای کربوکسیلیک بودند. آلفا-پینن از دسته هیدروکربن‌های مونوترپن‌دار جزء اصلی اسانس گیاهان زرین گیاه بود.

نتیجه‌گیری: خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس زرین گیاه تحت تأثیر دوره‌های آبیاری و اسیدهای آمینه تغییرات معنی‌داری داشتند. متیونین و فنیل آلانین افزایش معنی‌داری بر هیدروکربن‌های مونوترپن‌دار داشتند به‌نحوی که میزان افزایش این ترکیبات نسبت به گیاهان شاهد به‌طور تقریبی بیش از ۴۵ درصد بود. در نهایت، محلول‌پاشی متیونین (۲/۵ گرم در لیتر) به‌عنوان یک راهکار مناسب، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس زرین گیاه تحت شرایط اقلیمی مشابه داشته باشد.

استناد: یادگاری، مهرباب (۱۴۰۳). تأثیر اسیدهای آمینه بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschy* Boiss.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۱ (۴)، ۱۰۹-۱۳۵.

DOI: 10.22069/JOPP.2024.22078.3108



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خانواده نعناع (Lamiaceae)، یکی از بزرگ‌ترین خانواده‌های گیاهی است که تاکنون ۲۰۰ جنس و ۲۰۰۰ گونه متعلق به آن شناخته شده است. از این خانواده، زرین گیاه یا بادرنجبویه دنیایی با نام علمی *Dracocephalum kotchyi* Boiss. دارویی با ارزش و بومی ایران است. از نظر ویژگی‌های ظاهری، زرین گیاه گیاهی علفی، معطر، چندساله، نیمه چوبی با ساقه‌های متعدد، برگ‌های دمبرگ‌دار و تخم‌مرغی شکل است (۱ و ۲). در طب سنتی از این گیاه در کاهش تب، درد مفاصل و روماتیسم و التیام‌دهنده زخم و به‌عنوان ضد التهاب استفاده می‌شود و همچنین در تقویت سیستم ایمنی استفاده می‌شود. زرین گیاه به‌علت تأثیر درمانی در کاهش تب، درد مفاصل و روماتیسم از قدیم مورد توجه مردم مناطق تحت رویش آن بوده و به‌علت بهره‌برداری بی‌رویه در حال انقراض می‌باشد. زرین گیاه از جمله گیاهانی است که می‌تواند در تولید داروهای برطرف‌کننده درد، التهاب و تسکین‌دهنده دردهای روماتیسمی مورد استفاده قرار گیرد. آثار فارماکولوژی و بالینی زرین گیاه نشان داد که عصاره این گیاه اثرات ضد درد و ضد التهاب دارد (۳). ترکیبات شیمیایی موجود در زرین گیاه شامل فلاونوئید، استروئول‌های اشباع شده، تانن‌ها و قند از نوع گلوکز و گالاکتوز می‌باشد. مهم‌ترین مواد متشکله اسانس، ترکیباتی مانند آلفا-پینن، لیمونن، نرال، ژرانیال، پاراسیمن، آلفا-کامفولن آلدئید، بورنیل استات، سیترال، میرسن، کاریوفیلن و تریپنل استات است (۳ و ۴). گیاهی است که تا حدود بالایی به خشکی متحمل بوده و همگام با افزایش میزان ماده خشک گیاهی، درصد اسانس افزایش می‌یابد (۴). ویژگی‌های رشد و عملکرد گیاهان دارویی و معطر از جمله مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی،

متأثر از عوامل ژنتیکی، تغییرات محیطی و مدیریتی و اثرات متقابل آن‌ها می‌باشد (۵).

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، تنش آب یکی از مسائل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. تنش ملایم آب منجر به افزایش نسبی مقادیر اسانس گیاهان دارویی آویشن دنیایی (*T. daenensis* L.)، آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) (۶)؛ ترخون (*Artemisia dracunculus*) (۷)، اسانس و ماده مؤثره تیمول، مالون دی آلدئید و فنول همیشه بهار مکزیکی (*Tagetes minuta*) (۸)، افزایش راندمان مصرف آب، اسیدهای فنولیک، فلاونوئید و کربوهیدرات‌های محلول در آب در *Lolium multiflorum* و *Festuca arundinacea* (۹)؛ کاهش پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص، تعرق و افزایش سزکویی‌ترین‌های مریم گلی (*Salvia dolomitica* Codd) (۱۰) می‌شود. این تنش منجر به افزایش مقادیر آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز دیسموتاز و پرولین گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) (۱۱)، آنزیم آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) (۱۲) شده است.

گیاهان تحت تنش خشکی متابولیت‌هایی تولید می‌نمایند که از آن‌ها در مقابل رادیکال‌های آزاد از جمله اکسیژن رادیکال محافظت نموده و از کاهش فتوسنتز جلوگیری می‌نمایند (۱۳). در تنش خشکی اسیدهای آمینه، قندها و متابولیسم تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند. از آن‌جا که تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان به‌وسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش رطوبتی نیز عامل مؤثری در کاهش رشد و همچنین ساخت ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد (۱۴)؛ بنابراین ارائه روش‌هایی که گیاه بتواند ضمن تحمل تنش خشکی، ماده مؤثره بیش‌تر تولید نماید، ضروری به نظر می‌رسد.

گردند. گیاهان با تولید آنزیم‌های مختلف علاوه بر انجام فرآیندهای بیوشیمیایی با تنش‌های محیطی هم‌مقابله می‌کنند. با ایجاد تنش، ژن بیان‌کننده تولید آنزیم در گیاه تحریک می‌شود و با تولید آنزیم توسط ریبوزوم و استفاده از اسیدهای آمینه آزاد، شرایط برای گذر از تنش محیطی فراهم می‌شود (۲۰). اسیدهای آمینه گلايسين، بتاين و پرولين، به‌عنوان محافظ اسمزی، عمل می‌نمایند و باعث تثبیت پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و غشاهای در برابر اثرات غیرطبیعی تنش آبی و دماهای زیاد گردیده و باعث کاهش اثرات منفی گروه‌های اکسیژن رادیکال می‌گردند (۱۸). افزایش پروتئین در زمان کاربرد این مواد به این دلیل است که اسیدهای آمینه استفاده شده، مستقیماً می‌توانند در ساخت پروتئین استفاده شده و هم‌چنین در افزایش غلظت کربوهیدرات برگ اثر بگذارند (۲۱ و ۲۲).

از اسیدهای آمینه ضروری در گیاهان لیزین، متیونین و فیل آلانین و از اسیدهای آمینه غیرضروری می‌توان پرولين را نام برد. پرولين به‌عنوان یک محافظ اسمز عمل می‌کند و به گیاهان کمک می‌کند تا با خشکی، شوری و دمای بالا کنار بیایند. در تنظیم اسمزی سلولی نقش دارد و از گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند. پرولين هم‌چنین به سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های دخیل در پاسخ‌های تنش کمک می‌کند (۲۳ و ۲۴). لیزین نقش مهمی در سنتز پروتئین و رشد گیاه دارد. در تنظیم باز شدن روزنه‌های برگ، جوانه‌زنی، دانه‌های گرده، سنتز کلروفیل، متابولیسم نیتروژن، تولید آنزیم‌ها و هورمون‌ها مهم است. لیزین هم‌چنین باعث افزایش تکامل گیاه به شرایط تنش مانند دماهای بالا و کمبود آب و افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌شود (۲۵). متیونین در فرآیندهای متابولیسمی مختلف در گیاهان نقش دارد. این ماده پیش‌ساز تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اتیلن، اکسین و سیتوکینین است که رسیدن و پیری میوه را تنظیم

از جمله روش‌هایی که به‌منظور افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله ترپنوئیدها به کار می‌رود، استفاده از محرک‌های زیستی و غیرزیستی است (۱۵). کاربرد محرک‌های رشدی به میزان محدود و در غلظت‌های پایین، ساخت ترکیبات خاصی را در سلول زنده، تحریک یا بهبود بخشیده و زمان دستیابی به مقادیر بالای متابولیت‌های ثانویه را کاهش می‌دهد. محرک‌های رشدی، ترکیباتی با منشأ زیستی یا غیرزیستی هستند که از طریق القای سیستم دفاعی، باعث بیوسنتز و انباشت متابولیت‌های ثانویه و هم‌چنین تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک در گیاهان می‌شوند (۱۶). از جمله محرک‌های زیستی می‌توان اسیدهای آمینه را نام برد که نقش مؤثری در رشد، افزایش عملکرد، بهبود کمی و کیفی محصول و مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده دارند (۱۷). اسیدهای آمینه، مولکول‌های دو قطبی با فرمول مشترک $C_2H_4O_2NR$ بوده و نقش آن‌ها به‌عنوان مولکول‌های زیستی و پیش‌سازهای ساختمان پروتئین‌ها است که تمام عملکرد گیاه اعم از ساختاری، آنزیمی، متابولیسمی و انتقال را بر عهده دارند. برخی از اسیدهای آمینه دارای خاصیت کلات‌کنندگی می‌باشند و می‌توانند به تحرک عناصر کم‌مصرف و جذب آن‌ها در خاک کمک کنند. گیاهان می‌توانند از طریق ریشه و برگ، اسیدهای آمینه و پپتیدها را به‌صورت مؤثری جذب کنند. پژوهش‌های علمی نشان می‌دهند که این ترکیبات موجب افزایش عملکرد، بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه می‌شوند (۱۸ و ۱۹). منابع قابل‌توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد، هیدرولیز پروتئینی و اسیدهای آمینه خاص از جمله پرولين، بتاين و مشتقات آن‌ها و مواد اولیه حاصل از آن‌ها، می‌توانند سیستم دفاعی گیاه را تحریک کنند و باعث افزایش تحمل گیاه به انواع مختلف تنش‌های غیر زنده از جمله شوری، خشکی، دما و شرایط اکسیدکننده

پژوهشی شهرکرد با مشخصات عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا، انجام گردید. خصوصیات اقلیمی و خاکشناسی منطقه در جدول ۱ و خصوصیات آب آبیاری در جدول ۲ آمده است. پژوهش به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) به عنوان کرت‌های اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی برگی (لیزین در دو سطح ۲/۵ و ۵ گرم در لیتر، متیونین در دو سطح ۲/۵ و ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین در دو سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار، پرولین در دو سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار و یک سطح شاهد) به عنوان کرت‌های فرعی در هر سال، در سه مرحله از زمان ۴-۸ برگی هر ۱۰ روز یکبار تا قبل از برداشت، اعمال گردید و در زمان گلدهی کامل اقدام به برداشت شد. محلول‌پاشی اسید آمینه لیزین ۷۸ درصدی خالص پودری تولید شده توسط شرکت آجینوموتو و اسید آمینه متیونین ۹۹ درصدی خالص پودری تولید شده توسط شرکت دگوسا با قابلیت انحلال در آب به میزان ۲/۵ و ۵ گرم در یک لیتر انجام شد (۲۵). فنیل آلانین در دو سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به کار گرفته شد. پودر این ماده در اسید استیک ۵ درصد حل شده و سپس با استفاده از آب مقطر به غلظت‌های موردنظر رسانده شد. از ترکیب خیساننده تجاری توپین ۲۰ پلی‌سوربات شرکت مرک آلمان نیز به عنوان سورفکتانت جهت افزایش جذب ترکیبات به کار رفته استفاده شد (۲۶ و ۳۴). اسید آمینه پرولین در دو سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار مورد استفاده قرار گرفت (۴ و ۳۶).

می‌کند. متیونین هم‌چنین در متابولیسم گوگرد نقش دارد و برای سنتز پروتئین مهم است (۱۸). در این میان نقش اسیدهای آمینه از جمله فنیل آلانین بسیار دارای اهمیت است (۱۳ و ۲۶). محلول‌پاشی توأم اسید سالیسیلیک و فنیل آلانین، منجر به افزایش اسانس و ترکیبات اسانس گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) (۲۷) و گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) (۲۸) شده است. تیمار گیاهان با اسیدهای آمینه موجب بروز آرایشی از عکس‌العمل‌های دفاعی، مانند تجمع مجموعه‌ای از متابولیت‌های ثانویه دفاعی در گیاه می‌شود. محرک‌های رشد در گیاه به مقدار کمی وجود دارند، اما برای رشد و نمو گیاه ضروری بوده و رشد و نمو گیاهان در معرض آن‌ها تغییر می‌کند (۲۹ و ۳۰). کاربرد اسیدهای آمینه منجر به افزایش مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان نعنای فلفلی (۳۰)؛ گشنیز (۲۹)؛ سیر (۳۱)، ریحان (۳۲)، عروسک پشت پرده (۳۳)، درصد و عملکرد اسانس گیاهان شوید (۲۱)، زوفا (۳۴)، آویشن دناپی (۳۵) و همیشه بهار آفریقایی (۳۶) شده است.

با توجه به بررسی منابع، تاکنون پژوهش جامعی راجع به اثرگذاری محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (متیونین، لیزین، پرولین و فنیل آلانین) بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس زرین گیاه تحت تنش خشکی انجام نشده است. این پژوهش در جهت یافتن بهترین محرک رشدی برای به دست آوردن بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و کمیت و کیفیت اسانس زرین گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح تحقیق و مشخصات تیمارها: پژوهش حاضر در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی

جدول ۱- مشخصات خاکشناسی و اقلیمی محل پژوهش.

Table 1. Physicochemical and climatic properties of experimental field.

2023	2022	Characters
83	82	P (ppm)
212	209.2	K (ppm)
0.08	0.09	N (ppm)
0.42	0.41	EC (ds.m ⁻¹)
0.85	0.77	Organic Carbon (%)
7.3	7.4	pH
276.3	311.1	Average rainfall (mm)
11.9	11.6	Average temperature (°C)
24.8	22.6	Average maximum temperature (°C)
-10.1	-12.4	Average minimum temperature (°C)

جدول ۲- مشخصات آب مورد استفاده جهت آبیاری.

Table 2. Characters of used water for irrigation.

HCO ₃	Cl	Mg	Ca	K	Na	TDS	EC	pH
meq/l						mg/l	ms/m	
3.44	0.93	1.45	2.31	0.18	0.543	245.2	366	7.4

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

NO ₃	Zn	Mn	Cu	Fe	Cd	SO ₄	CO ₃
meq/l							
24.55	0.001	0.001	0.001	0.008	0	0.001	0.22

گیاه تهیه شده از شرکت پاکان بذر، در سال اول در تاریخ ۱۹ اردیبهشت‌ماه و در سال دوم در ۲۲ اردیبهشت‌ماه در کرت‌های آزمایشی کاشت شدند و بلافاصله آبیاری انجام شد.

برداشت گیاهان: نمونه‌های گیاهی، در زمان گلدهی کامل به‌طور جداگانه از هر کدام از تیمارهای تحت آزمایش در سال اول در ۱۷ شهریورماه و در سال دوم در ۱۲ شهریورماه جمع‌آوری گردید. هم‌چنین از برگ گیاهان تیمار شده جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی،

کاشت گیاه: زمین موردنظر در پاییز شخم زده شده بود. در بهار پس از مساعد شدن شرایط آب و هوایی، اقدام به آماده‌سازی زمین برای کاشت گردید. مساحت هر کرت فرعی ۱۲=۴×۳ مترمربع، هر کرت اصلی برابر با ۱۰۸=۹×۱۲ مترمربع و مساحت خالص هر تکرار ۳۲۴=۱۰۸×۳ مترمربع بود. مساحت کل طرح (سه تکرار) بدون فواصل بین کرت‌ها و تکرارها ۹۷۲ مترمربع و با احتساب فواصل بین کرت‌ها و تکرارها ۱۵۵۰ مترمربع بود. نشاءهای ۴-۶ برگی گیاهان زرین

گیاه (FW) جدا کرده و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردیدند. پس از گذشت این مدت، وزن اشباع برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد گردید (TW). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از گذشت این مدت، وزن خشک برگ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد گردید (DW). در نهایت محتوای آب نسبی با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (۳۸):

$$\% R.W.C = (FW - DW) / (TW - DW) \quad (1)$$

محلول رویی برداشته شد و جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به‌عنوان محلول مرجع قرائت و با معادله ۲ محاسبه گردید (۳۹):

$$\text{Chl total (mg.Kg Fw}^{-1}) = (20.21 \times A645) + (8.02 \times A663) \quad (2)$$

محاسبه شد. عدد ۱۱۵/۵ وزن مولکولی پرولین است (۴۰).

$$(3) \quad [115/5 \text{ (میکروگرم در میکرومول) / حجم عصاره (میلی‌لیتر)} \times \text{پرولین عصاره (میکروگرم در میلی‌لیتر)}] \times [\text{وزن نمونه (گرم) / 5}]$$

میلی‌گرم در لیتر)، ۱/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر، ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالتو (رقیق شده با نسبت ۱ به ۱۵) اضافه و به‌خوبی مخلوط گردید. پس از گذشت ۵ دقیقه ۰/۲ میلی‌لیتر محلول بی‌کربنات سدیم

نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌های برداشت شده در مزرعه بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و بعد از برچسب‌زدن نام تیمار در تانک حاوی نیتروژن مایع قرار داده و به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، اندام‌های هوایی گیاه از تمامی زوائد اضافی و خاک تمیز شدند. نمونه‌ها (از هر تیمار تعداد ۱۰ شاخسار کامل گیاهی) در سایه با تهویه مناسب و در دمای معمولی اتاق (۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) به‌طور کامل خشک شدند (۳۷).

محتوای نسبی آب برگ: برای برآورد محتوای نسبی آب برگ، ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر

کلروفیل کل: برای اندازه‌گیری کلروفیل کل، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد و ۰/۱ گرم کربنات کلسیم (برای خنثی نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده شد تا به‌صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژ عصاره حاصل،

میزان پرولین: پرولین نمونه‌های برگ، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر و با استفاده از تولوئن به عنوان محلول مرجع و با کمک معادله ۳

میزان فنول کل: محتوای ترکیبات فنول کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره‌های مختلف یا محلول استاندارد گالیک اسید (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰

جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری (Wiley and NIST) صورت گرفت.

روش انجام تجزیه داده‌ها: پس از انجام آزمون همگنی واریانس‌های خطای آزمایشی (بارتلت) و مشخص شدن عدم معنی‌داری در هر دو سال، تجزیه مرکب اطلاعات برآمده از پژوهش به واسطه نرم‌افزار آماری SAS_{ver.9} انجام شد. مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات اسانس از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (L.S.D) در سطح ۱ درصد انجام شد و برای اطمینان از مقادیر خطای استاندارد (SE)، به‌طور جداگانه نیز با نرم‌افزار Excel ver. 2013، برآورد مجدد انجام شد.

نتایج و بحث

اسانس و ترکیبات اسانس: نتایج نشان داد که اثرگذاری تیمارهای آزمایشی در هر دو سال، بر ترکیبات اسانس و محتوای اسانس، معنی‌دار بود (جدول ۳). از ۱۴ ترکیب شناسایی شده، ترکیبات عمده و غالب اسانس شامل مواد مؤثره هیدروکربن‌های مونوترپن‌دار (آلفا-پینن، گاما-تریپین، نرال، ژرانیال، ژرانیول، لیمونن، کارواکرول، تیمول)، سزکویی‌ترینه معطر (کاریوفیلن)، هیدروکربن اکسیژن‌دار (آلفا-کامفولن آلدئید)، مونوترپن اتری (اوکالیپتول)، مونوترپن متیل‌دار (پارا-سیمن، ژرانیک اسید متیل استر) و هیدروکربن از گروه استات‌های اسیدهای کربوکسیلیک (ژرانیل استات) بود (جدول‌های ۴ تا ۹).

۷ درصد و ۰/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر به محلول اضافه شده، ۹۰ دقیقه در دمای اتاق و شرایط تاریکی نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها در ۷۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت کشور آمریکا مدل Perklin elmer قرائت و محتوای ترکیبات فنولی کل عصاره‌ها بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک به گرم وزن خشک اندام هوایی محاسبه گردید (۴۱).

اسانس‌گیری: پس از برداشت، به‌منظور محافظت نوری نمونه‌ها و حداقل آسیب به کیفیت اسانس، ساختارهای هوایی در پاکت‌های کاغذی جمع‌آوری شدند. به روش هوای آزاد در سایه با دمای معمولی ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد، کاملاً خشک شدند. بعد از خشک شدن ساختارهای هوایی، اقدام به خرد کردن اندام‌های گیاهی گردید. سپس مقدار ۳۰۰ گرم از هر نمونه با ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب، در دستگاه کلونجر (بروسیلیکات آلمانی ساخت شیشه‌آلات ایران) و براساس درصد وزنی، صورت گرفت که برای هر نمونه حدود دو ساعت به طول انجامید. اسانس گیاهان موردنظر پس از آماده‌سازی، جهت شناسایی ترکیبات به دستگاه GC/MS (مدل 7890A/5975C ساخت اجیلنت آمریکا) مجهز به ستون موئینه HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرون با محدوده دمایی آون ستون از ۶۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد تزریق گردید. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداری آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتب مرجع (۴۲) و با استفاده از طیف‌های

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب مربعات اسانس و ترکیبات اسانس زین گیاه در سالهای اجرای پژوهش.

Table 3. Complex analysis variance of mean of squares of essential oil content and components of essential oil of *Dracocephalum kotschy* (2021-2022).

میانگین مربعات									درجه آزادی	منابع تغییرات SOV ^z
اسانس Essential oil	پی-سایمن P-Cymene	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	کاریوفیلین Caryophyllene	کارواکرول Carvacrol	آلفا-پینن Alpha-Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	DF ^y		
6.88**	3.55**	11.88**	14.97**	0.66**	12.44**	4.54**	4.65**	1	سال Y	
0.62	0.9	0.12	0.92	0.063	0.044	0.056	0.06	4	تکرار در سال R (Y)	
3.12**	1.66**	3.44**	5.71**	0.99**	2.66**	7.78**	3.65**	2	آبیاری A	
3.54**	1.91**	2.89**	8.42**	0.55**	3.88**	4.43**	3.55**	2	A×Y	
0.14	0.027	0.055	0.04	0.019	0.049	0.06	0.043	8	خطای a	
2.14**	1.55**	2.55**	8.49**	0.82**	5.55**	4.66**	3.43**	8	محرك B	
3.17**	1.91**	3.77**	5.38**	0.83**	5.52**	2.44**	2.66**	16	A×B	
2.99**	14.7**	2.99**	6.29**	0.78**	6.77**	6.76**	4.21**	8	B×Y	
0.032 ^{ns}	0.041 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.015 ^{ns}	16	A×B×Y	
0.32	0.056	0.22	0.044	0.072	0.21	0.17	0.041	96	خطای b	
4.55	9.14	7.14	5.55	5.88	8.91	6.67	7.19		ضریب تغییرات (درصد) C.V ^x (%)	

^z، ^{ns} و ^{*} به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

^z SOV: source of variation, ^y df: degree of freedom, ^x CV: coefficient of variation

^{*}, ^{**} significant at P=0.05 and P=0.01 levels of probability respectively, ^{ns} not significant

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات SOV ^z
تیمول Thymol	ژرانیال Geranial	ژرانیول Geraniol	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدهید Alpha campholene Aldehyde	اوکالیپتول Eucalyptol	DF ^y	
8.77**	0.081**	14.061**	2.66**	6.55**	3.12**	4.33**	1	سال Y
0.09	0.008	0.079	0.011	0.14	0.076	0.077	4	تکرار در سال R (Y)
2.55**	3.77**	12.62**	0.97**	15.24**	4.36**	2.34**	2	آبیاری A
3.88**	4.44**	11.52**	0.48**	12.65**	1.33**	2.62**	2	A×Y
0.041	0.041	0.033	0.019	0.98	0.045	0.045	8	خطای a
2.55**	2.99**	0.545**	43.81**	12.99**	2.44**	2.43**	8	محرك B
3.88**	2.54**	0.33**	33.84**	13.52**	3.45**	2.66**	16	A×B
14.7**	2.86**	0.21**	22.77**	13.77**	4.88**	2.21**	8	B×Y
0.033 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.024 ^{ns}	0.51 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.014 ^{ns}	16	A×B×Y
0.045	2.44	0.053	1.12	0.77	0.44	0.029	96	خطای b
7.65	9.91	6.76	7.98	8.76	7.77	9.13		ضریب تغییرات (درصد) C.V ^x (%)

^z، ^{ns} و ^{*} به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

^z SOV: source of variation, ^y df: degree of freedom, ^x CV: coefficient of variation

^{*}, ^{**} significant at P=0.05 and P=0.01 levels of probability respectively, ^{ns} not significant

جدول ۴- مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات عمده اسانس زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دور آبیاری ۳ روز یکبار (۱۴۰۱).

Table 4. Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Dracocephalum kotschy* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 3 day interval (2022).

اسانس Essential oil	ژرانیال Geranial	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدئید Alpha campholene Aldehyde	آلفا-پینن Alpha- Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	تیمار* Treatment
0.79±0.03 ^c	12.79±1.4 ^b	6.51±0.6 ^c	3.85±0.01 ^c	2.44±0.06 ^c	20.32±1.1 ^{bc}	6.76±0.8 ^b	9.5±0.6 ^c	شاهد Control
0.91±0.02 ^b	13.91±1.1 ^b	8.78±0.5 ^a	4.99±0.02 ^{ab}	3.45±0.01 ^a	21.35±1.2 ^b	8.44±0.9 ^a	11.5±0.9 ^b	1 لیزین
0.89±0.01 ^{bc}	12.89±1.3 ^b	7.39±0.6 ^b	3.81±0.02 ^c	3.23±0.03 ^a	21.81±1.1 ^b	7.73±0.7 ^b	10.02±0.4 ^b	2 Lysine
1.01±0.03 ^{ab}	13.01±1.2 ^b	8.38±0.5 ^b	5.12±0.02 ^a	3.29±0.02 ^a	22.85±1.3 ^a	8.92±0.6 ^a	12.9±0.8 ^{ab}	1 متیونین
0.99±0.01 ^{ab}	12.99±1.1 ^b	7.44±0.6 ^b	4.79±0.03 ^b	3.21±0.02 ^a	22.12±1.4 ^a	8.44±0.7 ^a	11.88±0.8 ^b	2 Methionine
1.01±0.03 ^{ab}	14.54±1.3 ^{ab}	8.1±0.4 ^b	4.91±0.03 ^b	3.01±0.06 ^{ab}	23.51±1.4 ^a	8.76±0.6 ^a	12.92±0.7 ^a	1 فنیل آلانین
0.92±0.01 ^b	13.92±1.4 ^b	6.22±0.4 ^c	3.88±0.03 ^c	2.99±0.05 ^{ab}	21.81±0.9 ^b	7.55±0.8 ^b	11.82±0.5 ^b	2 Phenylalanine
0.87±0.02 ^{bc}	13.87±1.2 ^b	7.82±0.4 ^b	4.01±0.02 ^{bc}	3.12±0.06 ^a	21.12±1.1 ^b	7.76±0.9 ^b	10.82±0.6 ^b	1 پرولین
0.81±0.04 ^c	13.81±1.1 ^b	6.99±0.4 ^{bc}	3.99±0.01 ^{bc}	2.91±0.01 ^b	21.29±1.2 ^b	7.22±0.7 ^b	10.1±0.45 ^c	2 Proline
0.55	0.99	0.99	0.99	0.91	0.77	0.81	0.99	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار
اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۵- مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات عمده اسانس زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دور آبیاری ۳ روز یکبار (۱۴۰۲).

Table 5. Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Dracocephalum kotschy* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 3 interval (2023).

اسانس Essential oil	ژرانیال Geranial	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدئید Alpha campholene Aldehyde	آلفا-پینن Alpha- Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	تیمار* Treatment
0.87±0.03 ^{bc}	14.18±1.9 ^b	7.99±0.4 ^b	3.85±0.01 ^c	2.51±0.06 ^b	20.11±1.1 ^{bc}	7.76±0.6 ^b	10.1±0.72 ^c	شاهد Control
0.94±0.02 ^b	15.66±1.8 ^a	9.14±0.3 ^a	4.99±0.02 ^{ab}	3.56±0.01 ^a	22.35±1.2 ^a	8.44±0.6 ^a	13.5±0.9 ^a	1 لیزین
0.91±0.01 ^b	14.51±1.2 ^b	8.39±0.5 ^b	3.81±0.02 ^c	3.14±0.03 ^a	21.81±1.3 ^b	8.73±0.8 ^a	12.02±0.87 ^b	2 Lysine
1.12±0.03 ^a	15.31±1.1 ^a	8.38±0.4 ^b	5.67±0.02 ^a	3.36±0.02 ^a	24.54±1.1 ^a	9.21±0.8 ^a	13.9±0.9 ^a	1 متیونین
1.01±0.01 ^{ab}	14.92±1.2 ^a	7.44±0.5 ^b	4.79±0.03 ^b	3.21±0.02 ^a	22.12±0.9 ^{ab}	8.44±0.9 ^a	12.88±0.8 ^{ab}	2 Methionine
1.12±0.03 ^a	16.23±1.1 ^a	8.1±0.6 ^b	4.88±0.03 ^b	3.19±0.06 ^a	24.53±1.1 ^a	8.76±0.7 ^a	14.51±0.81 ^a	1 فنیل آلانین
0.98±0.01 ^{ab}	15.22±0.9 ^a	7.22±0.4 ^b	4.12±0.03 ^b	2.65±0.05 ^b	22.81±1.2 ^{ab}	8.55±0.8 ^a	13.82±0.91 ^a	2 Phenylalanine
0.94±0.02 ^b	15.69±1.1 ^a	8.82±0.3 ^a	4.01±0.02 ^{bc}	3.12±0.06 ^a	22.12±1.1 ^{ab}	8.76±0.7 ^a	13.82±0.8 ^a	1 پرولین
0.91±0.04 ^b	14.99±0.9 ^a	7.02±0.4 ^{bc}	3.99±0.01 ^{bc}	2.88±0.01 ^b	21.89±1.3 ^b	8.22±0.7 ^a	12.1±0.6 ^b	2 Proline
0.55	0.99	0.99	0.66	0.99	0.88	0.99	0.79	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار
اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۶- مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات عمده اسانس زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دور آبیاری ۶ روز یکبار (۱۴۰۱).

Table 6. Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Dracocephalum kotschyi* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 6 day interval (2022).

اسانس Essential oil	ژرانیال Geranial	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدئید Alpha campholene Aldehyde	آلفا-پینن Alpha- Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	تیمار* Treatment
0.61±0.03 ^c	10.18±0.9 ^{cd}	5.78±0.2 ^c	2.85±0.01 ^d	1.79±0.06 ^d	18.43±1.1 ^c	5.76±0.5 ^c	7.61±0.4 ^d	شاهد Control
0.85±0.02 ^c	14.66±0.8 ^{ab}	7.81±0.2 ^b	4.31±0.02 ^b	2.45±0.01 ^b	20.65±1.2 ^b	6.44±0.6 ^b	9.65±0.5 ^c	1 لیزین
0.81±0.01 ^c	13.51±0.9 ^b	6.39±0.3 ^c	3.81±0.02 ^c	2.13±0.03 ^c	19.44±1.1 ^c	6.73±0.5 ^b	8.87±0.5 ^c	2 Lysine
0.87±0.03 ^c	14.31±0.9 ^b	7.38±0.3 ^b	4.22±0.02 ^b	2.15±0.02 ^c	20.85±1.2 ^b	7.85±0.6 ^b	10.9±0.6 ^b	1 متیونین
0.81±0.01 ^c	13.92±0.7 ^b	6.44±0.2 ^c	3.56±0.03 ^c	2.21±0.02 ^c	19.12±1.1 ^c	6.44±0.6 ^b	9.88±0.6 ^c	2 Methionine
0.88±0.03 ^{bc}	14.69±0.8 ^{ab}	7.1±0.4 ^b	4.19±0.03 ^b	2.09±0.06 ^c	20.89±0.9 ^b	6.76±0.7 ^b	10.92±0.4 ^b	1 فنیل آلانین
0.81±0.01 ^c	13.22±0.7 ^b	6.22±0.3 ^c	3.88±0.03 ^c	2.15±0.05 ^c	18.81±1.1 ^c	6.55±0.6 ^b	9.82±0.6 ^c	2 Phenylalanine
0.79±0.02 ^c	13.69±0.8 ^b	8.82±0.5 ^a	4.01±0.02 ^{bc}	2.12±0.06 ^c	20.12±1.2 ^a	6.76±0.5 ^b	9.91±0.7 ^c	1 پرولین
0.73±0.04 ^c	12.14±0.9 ^b	8.02±0.4 ^b	3.81±0.01 ^c	1.91±0.01 ^d	19.29±1.1 ^c	6.22±0.6 ^b	9.43±0.5 ^c	2 Proline
0.76	0.66	1.00	0.85	0.78	0.91	1.00	0.78	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۷- مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات عمده اسانس زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دور آبیاری ۶ روز یکبار (۱۴۰۲).

Table 7. Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Dracocephalum kotschyi* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 6 interval (2023).

اسانس Essential oil	ژرانیال Geranial	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدئید Alpha campholene Aldehyde	آلفا-پینن Alpha- Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	تیمار* Treatment
0.81±0.03 ^c	9.91±0.9 ^{de}	6.12±0.4 ^c	3.55±0.01 ^c	1.99±0.06 ^{cd}	19.51±1.3 ^c	5.12±0.4 ^{cd}	8.88±0.5 ^c	شاهد Control
0.91±0.02 ^b	13.66±1.1 ^b	8.81±0.3 ^a	4.43±0.02 ^b	2.45±0.01 ^c	23.35±1.4 ^a	6.44±0.5 ^b	11.1±0.6 ^b	1 لیزین
0.81±0.01 ^c	12.51±1.2 ^b	7.39±0.5 ^b	3.81±0.02 ^c	1.73±0.03 ^c	21.81±1.2 ^d	6.73±0.6 ^b	10.88±0.4 ^b	2 Lysine
0.99±0.03 ^{ab}	14.31±1.1 ^b	8.38±0.4 ^b	4.51±0.02 ^b	1.85±0.02 ^c	22.85±1.1 ^a	7.85±0.5 ^{ab}	12.01±0.5 ^b	1 متیونین
0.91±0.01 ^b	13.92±1.2 ^b	7.44±0.5 ^b	3.66±0.03 ^c	2.21±0.02 ^c	21.12±1.2 ^{ab}	7.44±0.6 ^a	11.91±0.4 ^b	2 Methionine
1.01±0.03 ^{ab}	14.69±0.9 ^{ab}	8.1±0.6 ^b	4.51±0.03 ^b	2.41±0.06 ^c	23.89±1.1 ^a	7.76±0.6 ^a	12.02±0.5 ^b	1 فنیل آلانین
0.95±0.01 ^b	13.22±1.1 ^b	7.22±0.4 ^b	3.88±0.03 ^c	1.65±0.05 ^c	21.81±1.2 ^{ab}	6.55±0.5 ^b	11.55±0.4 ^b	2 Phenylalanine
0.91±0.02 ^b	13.69±1.2 ^b	7.82±0.3 ^b	4.21±0.02 ^b	2.12±0.06 ^c	22.12±0.91 ^{ab}	7.76±0.6 ^b	10.91±0.3 ^b	1 پرولین
0.88±0.04 ^{bc}	11.14±0.9 ^c	6.98±0.4 ^{bc}	3.81±0.01 ^c	1.91±0.01 ^c	20.29±1.1 ^b	6.22±0.7 ^b	10.21±0.5 ^c	2 Proline
1.00	0.99	0.84	0.66	0.65	0.92	0.99	1.00	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۸- مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات عمده اسانس زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دور آبیاری ۹ روز یکبار (۱۴۰۱).

Table 8. Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Dracocephalum kotschyi* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 9 day interval (2022).

اسانس Essential oil	ژرانیال Geranial	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدئید Alpha campholene Aldehyde	آلفا-پینن Alpha- Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	تیمار* Treatment
0.56±0.03 ^e	6.91±0.8 ^e	4.01±0.2 ^{de}	1.92±0.01 ^{de}	1.14±0.02 ^e	15.65±1.1 ^e	3.12±0.3 ^d	3.85±0.1 ^e	شاهد Control
0.91±0.02 ^b	8.66±0.9 ^d	5.81±0.2 ^c	2.99±0.02 ^{cd}	1.81±0.01 ^c	17.35±1.2 ^c	5.44±0.4 ^c	7.25±0.2 ^d	۱ لیزین
0.81±0.01 ^c	7.51±1.1 ^e	4.39±0.5 ^d	1.81±0.02 ^e	1.73±0.03 ^e	16.81±1.1 ^d	5.73±0.4 ^e	6.92±0.2 ^d	۲ Lysine
0.92±0.03 ^b	8.31±0.9 ^d	5.38±0.3 ^d	2.89±0.02 ^d	1.85±0.02 ^e	17.85±1.2 ^c	6.85±0.5 ^b	8.88±0.3 ^c	۱ متیونین
0.82±0.01 ^c	7.92±0.8 ^{de}	4.44±0.3 ^d	1.79±0.03 ^e	1.21±0.02 ^e	17.12±1.3 ^d	5.44±0.4 ^e	7.12±0.2 ^d	۲ Methionine
0.88±0.03 ^c	9.69±0.9 ^{cd}	5.1±0.5 ^d	2.91±0.03 ^{cd}	2.02±0.01 ^c	17.89±1.4 ^c	5.76±0.5 ^c	8.92±0.3 ^c	۱ فنیل آلانین
0.82±0.01 ^c	8.22±1.1 ^d	4.22±0.4 ^d	1.88±0.03 ^{de}	1.65±0.01 ^d	16.81±1.1 ^d	5.55±0.4 ^c	7.65±0.2 ^d	۲ Phenylalanine
0.78±0.02 ^{cd}	8.69±0.9 ^d	5.82±0.2 ^c	2.01±0.02 ^{de}	1.34±0.02 ^e	16.12±1.2 ^{de}	4.76±0.5 ^{cd}	7.55±0.3 ^d	۱ پرولین
0.71±0.04 ^d	8.14±1.1 ^d	3.38±0.4 ^e	1.99±0.01 ^{de}	1.11±0.01 ^e	15.65±0.9 ^e	3.12±0.3 ^d	5.45±0.18 ^e	۲ Proline
0.89	1.00	0.76	0.84	1.00	0.89	0.85	0.88	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار
اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۹- مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات عمده اسانس زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دور آبیاری ۹ روز یکبار (۱۴۰۲).

Table 9. Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Dracocephalum kotschyi* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 9 day interval (2023).

اسانس Essential oil	ژرانیال Geranial	ژرانیل استات Geranyl acetate	ژرانیک اسید متیل استر Geranic acid methyl ester	آلفاکامفولن آلدئید Alpha campholene Aldehyde	آلفا-پینن Alpha- Pinene	لیمونن Limonene	نرال Neral	تیمار* Treatment
0.66±0.03 ^{de}	7.89±0.8 ^{de}	4.19±0.4 ^{de}	2.85±0.01 ^d	1.41±0.02 ^{de}	16.91±1.1 ^d	4.82±0.3 ^{cd}	4.58±0.1 ^e	شاهد Control
0.85±0.02 ^c	9.66±0.9 ^d	5.81±0.5 ^c	3.44±0.02 ^c	2.09±0.01 ^c	17.35±1.1 ^d	5.44±0.3 ^c	8.5±0.2 ^{cd}	۱ لیزین
0.76±0.01 ^{cd}	8.51±1.1 ^d	4.39±0.5 ^d	2.81±0.02 ^d	1.73±0.03 ^d	16.81±1.2 ^d	5.73±0.3 ^c	7.91±0.2 ^d	۲ Lysine
0.82±0.03 ^c	9.31±0.7 ^d	5.38±0.3 ^d	3.11±0.02 ^c	1.85±0.02 ^d	18.85±1.5 ^e	6.85±0.4 ^b	9.12±0.2 ^c	۱ متیونین
0.78±0.01 ^c	8.92±0.8 ^d	4.44±0.5 ^d	2.79±0.03 ^d	1.21±0.02 ^e	17.12±1.1 ^d	5.44±0.5 ^c	8.14±0.2 ^d	۲ Methionine
0.88±0.03 ^{bc}	9.69±0.9 ^d	5.1±0.5 ^d	2.91±0.03 ^{cd}	1.99±0.03 ^{cd}	17.89±1.3 ^{cd}	6.76±0.5 ^b	9.32±0.3 ^c	۱ فنیل آلانین
0.81±0.01 ^c	8.22±1.1 ^{de}	4.22±0.4 ^d	2.12±0.03 ^d	1.65±0.05 ^d	17.81±1.2 ^{cd}	5.55±0.5 ^c	8.82±0.3 ^c	۲ Phenylalanine
0.75±0.02 ^d	8.69±1.2 ^d	5.82±0.3 ^c	3.01±0.02 ^{cd}	1.45±0.04 ^{de}	17.12±1.2 ^d	5.76±0.4 ^c	7.82±0.2 ^d	۱ پرولین
0.66±0.04 ^{de}	8.14±1.1 ^{de}	4.12±0.2 ^d	2.81±0.01 ^d	1.23±0.01 ^e	16.99±1.4 ^d	5.22±0.4 ^c	6.89±0.2 ^{de}	۲ Proline
0.55	0.73	0.75	0.88	1.00	0.88	0.85	0.77	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار
اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

الکلی با مونوترپن گاماترپین شروع شده و در ادامه از طریق پی‌سایمن آروماتیک، واکنش‌ها به سمت سنتز آن‌ها پیش می‌رود. گاماترپین که به‌وسیله آنزیم گاماترپین‌سنتاز کاتالیز می‌شود، پیش‌ماده مونوترپن آروماتیک، در ادامه مسیر بوده و بنابراین نقش اساسی را در این مسیر ایفاء می‌نماید (۴۶). با توجه به این‌که بیوسنتز ترپنوئیدها در تریکوم‌ها، توسط ژن‌ها کنترل می‌شوند اثر اصلی اسیدهای آمینه بر تولید اسانس به تأثیر آن‌ها بر ژن‌ها و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ثانویه گیاه مربوط می‌شود (۲۵). اسیدهای آمینه مختلف از جمله متیونین و فنیل آلانین نقش مهمی در فعال کردن آنزیم‌های مسیر متابولیسم ثانویه گیاهان دارند. کاربرد متیونین و فنیل آلانین احتمالاً به دلیل افزایش جذب دی‌اکسید کربن، کاهش تعرق، تنظیم ژن و القای آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز ترپنوئیدها، محتوای اسانس را تغییر می‌دهد (۴۷ و ۴۸). گونه‌های گیاهی مختلف مکانیسم‌های متفاوتی جهت تحمل شرایط تنشی دارند. تنش کم‌آبی با کاهش بخش رویشی یا همان قسمت تعرق‌کننده گیاه و سوق دادن محصولات فتوسنتزی به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه در راستای تحمل بیش‌تر گیاه به شرایط تنشی ایجادشده، موجب افزایش محتوای این ترکیبات در گیاه می‌گردد، ولی چنان‌چه شدت تنش از آستانه تحمل گیاه بالاتر رود، فتوسنتز گیاه مختل شده و به‌دنبال آن تولید کربوهیدرات‌ها و نهایتاً سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس کاهش پیدا می‌کند (۴۶). بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه تحت‌تأثیر رشد و نمو گیاه است که به رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه به‌ویژه ظرفیت فتوسنتز بستگی دارد. تغییرات مشاهده شده در کیفیت اسانس گیاهان تیمار شده را می‌توان به تفاوت در اثرات هر یک از اسیدهای آمینه بر رشد گیاه، پاسخ گیاه به عوامل زیستی و غیرزیستی که منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه می‌شود، نسبت داد

ترکیبات اسانس با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه به‌دلیل راه‌اندازی چرخه سنتز اسید آمینه و آنزیم‌های پروتئینی در افزایش ترکیبات اسانس مؤثرند. به‌طورکلی هر افزایشی در کل کربوهیدرات‌های گیاه، موجب افزایش سنتز اسانس در بافت مسئول ساخت این ترکیبات می‌شود (۱۰ و ۴۳). یکی از دلایل بیش‌تر شدن مقدار اسانس را می‌توان به‌دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و تأثیر افزایش جذب عناصر غذایی در ساختمان و کارکرد کلروپلاست دانست که این افزایش ممکن است به تولید بیش‌تر غده‌های ترشح‌کننده اسانس منجر شود. از آن‌جایی که غده‌های ترشح‌کننده اسانس گیاه زرین گیاه در برگ‌ها قرار دارند، هر عاملی که سبب افزایش سطح و وزن برگ‌ها شود، مقدار اسانس را نیز افزایش خواهد داد. از این‌رو به‌نظر می‌رسد افزایش تولید کلروفیل، سبب افزایش بافت‌های فتوسنتزی و در نهایت منجر به افزایش عملکرد اسانس شد (۲۳ و ۴۴). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اسیدهای آمینه با تحت‌تأثیر قرار دادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. اسیدهای آمینه با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها، مواد اولیه را برای سنتز ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین‌ها فراهم می‌آورند. با شرکت اسیدهای آمینه در ساخت و ساز متابولیت‌های اولیه و ثانویه، میزان تولید اسانس افزایش یافت (۱۴). از سوی دیگر بیوسنتز ترپنوئیدها با اتصال سر به دم ایزوپنتیل‌دی‌فسفات به ایزومر دی‌متیل آلیل‌دی‌فسفات ادامه می‌یابد که با این اتصال ژرانیل‌دی‌فسفات حاصل می‌شود. از آن‌جایی که ترکیبات غالب اسانس‌ها از گروه ترپن‌ها می‌باشد و به دلیل این‌که گلوکز به‌عنوان پیش‌ماده ضروری در سنتز اسانس و به‌ویژه مونوترپن است، بنابراین فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی ارتباط مستقیم با تولید اسانس دارد (۴۵). تشکیل مونوترپن‌های

در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis*) کاهش ولی در اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) افزایش یافت. ترکیبات مؤثره آلفا-پینن، لیمونن و اوکالیپتول در مریم گلی (*Salvia officinalis*) کاهش یافت در حالی که این ترکیبات در ریحان (*Ocimum basilicum*) افزایش یافتند (۴۳). در گیاهان دارویی قدومه (*Alyssum desertorum*)، آویشن (*Thymus vulgaris*)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*)، گاوزبان (*Borago officinalis*) (۵۲) و گونه‌های مرزه (*Satureja*) (۳۷)، تنش آبی شدید منجر به کاهش درصد اسانس و نیز برخی از مواد مؤثره اسانس گردید.

صفات مورفوفیزیولوژیکی: نتایج دو ساله اطلاعات برآمده از این پژوهش نشان داد که میزان پرولین، عملکرد ساختار هوایی، محتوای نسبی آب برگ، مقادیر کل کلروفیل و فنول گیاهان زین گیاه تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش، تغییرات چشم‌گیری داشتند (جدول ۱۰) و در گروه‌های مختلف قرار گرفتند (جدول ۱۱-۱۳). تیمار متیونین (۲/۵ گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۱۰۰ میکرومولار) میزان عملکرد ساختار هوایی را به ۱۷۶/۴ گرم در گیاه در سال نخست و در سال دوم به ۱۸۷/۹ گرم در گیاه رساند. عملکرد ساختار هوایی تیمار شاهد در دو سال انجام پژوهش به ترتیب به میزان ۴۵/۷۸ و ۵۵/۷۸ گرم در گیاه تحت تنش شدید آبی بود. بنابراین استفاده از تیمارهای متیونین و فنیل آلانین به همراه دور آبیاری مطلوب (۳ روز یکبار)، نقش بسیار مؤثری در افزایش عملکرد ساختار رویشی داشتند.

(۴۷). گیاهان غلظت بالایی از متابولیت‌ها را تحت شرایط کمبود آب تولید می‌کنند و مقدار کم‌تری از کربن را به رشد تخصیص می‌دهند که نشان از یک تعادل بین دفاع و رشد می‌باشد. تنش خشکی با تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه از طریق مسیرهای متابولیکی در گیاهان دارویی و معطر که برخی از آنها ناشناخته هستند، سبب تغییرات میزان کمی و کیفی متابولیت‌های ثانویه می‌شود. تنش خشکی با اختلال در فتوسنتز و تنفس، درصد و ترکیب شیمیایی اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۹ و ۵۰). در گیاهان معطر، بیوسنتز و تجمع اسانس‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با ظرفیت فتوسنتز گیاه مرتبط است. به‌طوری‌که تغییرات مشاهده شده در کیفیت اسانس گیاهان تیمار شده را می‌توان به تفاوت در اثرات هر یک از اسیدهای آمینه بر رشد گیاه، پاسخ گیاه به عوامل زیستی و غیرزیستی که منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه می‌شود، نسبت داد (۴۷ و ۴۸). تغییرات بیوسنتز ترکیبات ترپنوئیدی از جمله مونوترپن‌ها و سزکوئوترپن‌ها ممکن است به‌علت تغییرات بیوانرژتیک سلول‌های گیاهی در پاسخ به عناصر مغذی باشد و به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل اختلاف در مقدار و نوع برخی از ترکیبات اسانس گیاه مورد آزمایش، مربوط به اختلاف جایگاه‌های بیوسنتزی ترکیبات از نظر بهره‌گیری از منابع انرژی باشد (۵۱). تنش خشکی در حد متوسط، میزان برخی ترکیبات مؤثره مانند تیمول را در گونه‌های آویشن افزایش داد (۶ و ۴۹) که در این خصوص، نتایج مشابهی در پژوهش حاضر به‌دست آمد. تحت تنش خشکی، مقادیر مواد مؤثره گیاهان دارویی رفتار مختلفی دارند؛ چنان‌چه در زمان گلدهی و بروز تنش خشکی، میزان ماده آلفا-پینن

تأثیر اسیدهای آمینه بر صفات مورفوفیزیولوژیکی ... / مهرباب یادگاری

جدول ۱۰- تجزیه واریانس مرکب مربعات صفات مورفوفیزیولوژیکی زمین گیاه در سالهای اجرای پژوهش.

Table 10. Complex analysis variance of mean of squares of morpho-physiological characters in *Dracocephalum kotschy* (2022-2023).

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
محتوای نسبی آب	کل فنول	کل کلروفیل	پرولین	ماده خشک اندام هوایی	DF ^y	SOV ^z
R.W.C (%)	Total Phenol	Total Chlorophyll	Proline	Shoot Dry Matter		
33.1**	35.1**	29.1**	22.78**	31.1**	1	سال Y
1.01	0.55	0.45	1.55	0.77	4	تکرار در سال R (Y)
51.9**	44.5**	32.4**	25.7**	18.11**	2	آبیاری A
22.1**	29.6**	32.2**	30.56**	21.5**	2	A×Y
0.41	0.84	0.77	0.98	1.01	8	خطای a
29.9**	34.12**	28.8**	18.2**	21.2**	8	اسید آمینه B
31.6**	23.7**	33.2**	20.23**	15.5**	16	A×B
16.5**	24.67**	33.44**	24.56**	15.1**	8	B×Y
0.13 ^{ns}	0.87 ^{ns}	1.12 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.11 ^{ns}	16	A×B×Y
0.83	0.91	1.11	1.01	0.45	96	خطای b
6.84	7.33	6.65	9.12	18.32		ضریب تغییرات (درصد) C.V ^x (%)

^z SOV: source of variation, ^y df: degree of freedom, ^x CV: coefficient of variation

*, ** significant at P=0.05 and P=0.01 levels of probability respectively, ^{ns} not significant

جدول ۱۱- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی زمین گیاه تحت تأثیر محرکهای رشدی تحت دور آبیاری ۳ روز یکبار.

Table 11. Means of morpho-physiological characters in *Dracocephalum kotschy* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 3 day interval.

محتوای نسبی آب		کل کلروفیل		کل فنول		سال
Relative Water Content (%)		Total Chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)		Total phenol (mg.g ⁻¹ FW)		
2023	2022	2023	2022	2023	2022	Year
53.7±1.4 ^b	49.8±1.2 ^{bc}	2.32±0.03 ^a	1.79±0.04 ^b	2.09±0.01 ^b	1.99±0.01 ^b	شاهد Control
59.3±1.3 ^{ab}	58.5±2.5 ^{ab}	2.31±0.01 ^a	2.21±0.08 ^a	2.33±0.02 ^a	2.15±0.01 ^{ab}	1 لیزین
55.99±1.2 ^b	57.6±2.6 ^{ab}	2.12±0.03 ^{ab}	2.07±0.06 ^{ab}	2.09±0.01 ^b	2.06±0.02 ^b	2 Lysine
62.61±1.3 ^a	61.1±3.2 ^a	2.59±0.02 ^a	2.33±0.03 ^a	2.45±0.01 ^a	2.29±0.02 ^a	1 متیونین
59.81±2.2 ^{ab}	55.5±1.2 ^b	2.41±0.01 ^a	2.14±0.02 ^{ab}	2.33±0.02 ^a	2.08±0.02 ^b	2 Methionine
65.3±1.5 ^a	59.9±1.9 ^{ab}	2.59±0.01 ^a	2.33±0.08 ^a	2.21±0.01 ^a	2.31±0.01 ^a	1 فنیل آلانین
59.9±1.2 ^a	53.5±1.4 ^b	2.33±0.03 ^b	2.16±0.04 ^{ab}	2.05±0.02 ^b	2.22±0.01 ^a	2 Phenylalanine
59.1±1.4 ^{ab}	54.1±1.2 ^b	2.44±0.01 ^a	2.09±0.02 ^{ab}	2.11±0.01 ^b	2.23±0.01 ^a	1 پرولین
54.3±2.3 ^b	51.8±1.8 ^b	2.21±0.02 ^a	1.99±0.06 ^b	2.04±0.02 ^b	2.19±0.01 ^a	2 Proline
0.91	0.81	1.00	1.00	0.85	0.95	LSD

^{*} لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل

آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار

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

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM, Phenylalanine 2: 200 μM, Proline 1: 500 μM, Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

ادامه جدول ۱۱ -

Continue Table 11.

پرولین Proline ($\mu\text{g g}^{-1}$ FW)		ماده خشک اندام هوایی Shoot Dry Matter (g plant^{-1})		سال Year
2023	2022	2023	2022	Year
8.22±0.2 ^d	8.82±0.2 ^c	135.1±1.2 ^b	124.9±2.5 ^c	شاهد Control
7.55±0.1 ^d	8.5±0.3 ^{cd}	174.9±4.3 ^a	155.87±4.9 ^b	1 لیزین
8.3±0.2 ^d	8.1±0.1 ^d	166.1±4.1 ^a	145.2±5.3 ^b	2 Lysine
7.12±0.1 ^d	6.65±0.2 ^c	181.65±1.2 ^a	176.4±6.1 ^a	1 متیونین
7.55±0.1 ^d	7.99±0.2 ^d	172.8±1.2 ^a	159.9±4.1 ^b	2 Methionine
7.12±0.4 ^{de}	6.64±0.3 ^c	187.9±1.4 ^a	176.3±1.2 ^a	1 فنیل آلانین
7.4±0.1 ^d	8.4±0.2 ^d	171.99±2.3 ^a	165.5±3.3 ^a	2 Phenylalanine
7.99±0.1 ^d	8.1±0.2 ^d	165.99±3.4 ^a	145.1±5.2 ^b	1 پرولین
8.49±0.1 ^{cd}	8.5±0.3 ^{cd}	155.88±3.2 ^b	135.1±5.1 ^b	2 Proline
0.93	1.00	0.99	1.00	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار

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

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM , Phenylalanine 2: 200 μM , Proline 1: 500 μM , Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۱۲ - مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی تحت دور آبیاری ۶ روز یکبار.

Table 12. Means of morpho-physiological characters in *Dracocephalum kotschy* plants affected by amino acids and irrigation regimes by with 6 interval.

محتوای نسبی آب Relative Water Content (%)		کل کلروفیل Total Chlorophyll (mg g^{-1} FW)		کل فنول Total phenol (mg g^{-1} FW)		سال Year
2023	2022	2023	2022	2023	2022	Year
45.7±1.1 ^c	41.8±1.1 ^c	1.52±0.03 ^c	1.49±0.04 ^c	1.55±0.01 ^b	1.43±0.01 ^c	شاهد Control
55.3±1.3 ^b	51.5±1.2 ^b	2.08±0.01 ^b	2.01±0.02 ^b	2.09±0.02 ^b	2.01±0.01 ^b	1 لیزین
49.99±1.1 ^{bc}	48.6±1.5 ^c	1.99±0.03 ^b	1.91±0.01 ^b	2.11±0.01 ^{ab}	1.99±0.02 ^b	2 Lysine
57.61±1.2 ^{ab}	50.7±1.2 ^b	2.14±0.02 ^{ab}	2.02±0.03 ^b	2.09±0.01 ^b	2.03±0.02 ^b	1 متیونین
49.81±1.2 ^{bc}	45.5±1.5 ^c	1.77±0.01 ^b	1.51±0.02 ^c	1.98±0.02 ^b	1.85±0.02 ^b	2 Methionine
56.6±3.2 ^b	50.9±1.3 ^b	1.98±0.01 ^b	1.99±0.08 ^b	2.04±0.01 ^b	1.99±0.01 ^b	1 فنیل آلانین
48.9±3.1 ^{bc}	47.5±1.2 ^c	1.81±0.03 ^b	1.76±0.04 ^b	2.01±0.02 ^b	1.78±0.01 ^b	2 Phenylalanine
52.1±1.5 ^b	49.1±1.1 ^{bc}	1.58±0.01 ^c	1.61±0.02 ^b	1.98±0.01 ^b	2.04±0.01 ^b	1 پرولین
49.3±1.3 ^{bc}	47.8±1.4 ^c	1.41±0.02 ^c	1.44±0.06 ^c	1.88±0.02 ^{bc}	1.98±0.01 ^b	2 Proline
1.00	0.78	0.81	0.88	0.96	0.88	LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار

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

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM , Phenylalanine 2: 200 μM , Proline 1: 500 μM , Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

تأثیر اسیدهای آمینه بر صفات مورفوفیزیولوژیکی ... / مهراپ یادگاری

ادامه جدول ۱۲ -

Continue Table 12.

پرولین Proline ($\mu\text{g.g}^{-1}$ FW)		ماده خشک اندام هوایی Shoot Dry Matter (g.plant^{-1})		سال Year	
2023	2022	2023	2022		
10.71±0.2 ^b	10.1±0.2 ^b	100.8±1.2 ^d	99.9±2.5 ^d		شاهد Control
9.55±0.1 ^c	9.5±0.3 ^c	141.9±3.3 ^b	134.87±2.9 ^b	1	لیزین
9.3±0.2 ^c	9.1±0.1 ^c	133.1±5.1 ^b	123.2±2.3 ^c	2	Lysine
9.15±0.1 ^c	9.65±0.2 ^c	140.65±1.2 ^b	131.5±2.1 ^b	1	متیونین
9.55±0.1 ^c	9.99±0.2 ^{bc}	135.8±1.2 ^b	129.9±2.1 ^{bc}	2	Methionine
9.51±0.2 ^c	9.8±0.3 ^c	130.8±1.4 ^{bc}	128.8±1.2 ^c	1	فنیل آلانین
9.4±0.1 ^c	9.9±0.2 ^{bc}	128.99±2.3 ^c	122.5±3.3 ^c	2	Phenylalanine
9.56±0.1 ^c	9.99±0.2 ^{bc}	137.99±3.4 ^b	129.1±5.2 ^{bc}	1	پرولین
9.95±0.1 ^{bc}	10.12±0.3 ^b	134.88±3.2 ^b	118.1±4.1 ^c	2	Proline
0.77	1.00	0.99	0.85		LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM , Phenylalanine 2: 200 μM , Proline 1: 500 μM , Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

جدول ۱۳ - مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی زربین گیاه تحت تأثیر محرک‌های رشدی تحت دور آبیاری ۹ روز یکبار.

Table 13. Means of morpho-physiological characters in *Dracocephalum kotschy* plants affected by amino acids and irrigation regimes with 9 day interval.

محتوای نسبی آب Relative Water Content (%)		کل کلروفیل Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)		کل فنول Total phenol (mg.g^{-1} FW)		سال Year	
2023	2022	2023	2022	2023	2022		
24.5±1.1 ^c	22.6±1.1 ^c	1.19±0.03 ^d	1.03±0.03 ^d	1.39±0.01 ^d	1.22±0.01 ^c		شاهد Control
35.3±1.2 ^d	39.3±1.1 ^{cd}	1.43±0.01 ^c	1.33±0.01 ^{cd}	1.44±0.02 ^d	1.56±0.01 ^c	1	لیزین
32.99±0.9 ^d	33.99±1.1 ^d	1.21±0.03 ^c	1.29±0.03 ^{cd}	1.61±0.01 ^c	1.33±0.02 ^{de}	2	Lysine
35.61±1.1 ^d	38.61±0.9 ^d	1.48±0.02 ^c	1.41±0.02 ^c	1.45±0.01 ^d	1.44±0.02 ^c	1	متیونین
29.81±1.2 ^c	35.81±1.5 ^d	1.29±0.01 ^{cd}	1.22±0.01 ^d	1.33±0.02 ^d	1.21±0.02 ^c	2	Methionine
34.6±1.1 ^d	37.6±1.2 ^d	1.36±0.01 ^c	1.31±0.01 ^c	1.45±0.01 ^c	1.49±0.01 ^{cd}	1	فنیل آلانین
27.9±0.9 ^c	33.9±1.1 ^d	1.29±0.03 ^{cd}	1.25±0.03 ^d	1.39±0.02 ^d	1.22±0.01 ^c	2	Phenylalanine
30.1±2.1 ^{de}	38.1±1.2 ^d	1.38±0.01 ^c	1.18±0.01 ^d	1.44±0.01 ^d	1.55±0.01 ^c	1	پرولین
28.3±1.1 ^c	36.3±1.3 ^d	1.25±0.02 ^d	1.21±0.02 ^d	1.32±0.02 ^{de}	1.44±0.01 ^d	2	Proline
1.00	0.86	1.00	0.89	0.99	0.67		LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM , Phenylalanine 2: 200 μM , Proline 1: 500 μM , Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

ادامه جدول ۱۳ -

Continue Table 13.

پرولین Proline ($\mu\text{g.g}^{-1}$ FW)		ماده خشک اندام هوایی Shoot Dry Matter (g.plant^{-1})		سال Year	شاهد Control
2023	2022	2023	2022		
11.55±0.2 ^{ab}	11.73±0.2 ^a	56.1±5.2 ^f	45.78±5.5 ^f		
11.43±0.1 ^b	10.55±0.1 ^b	100.9±2.3 ^d	98.87±2.9 ^d	1	لیزین
10.91±0.2 ^b	10.88±0.2 ^b	92.1±2.1 ^d	85.2±2.3 ^e	2	Lysine
10.05±0.1 ^{bc}	10.15±0.1 ^b	100.65±1.2 ^d	91.5±5.1 ^d	1	متیونین
9.75±0.1 ^c	9.85±0.1 ^c	98.8±5.2 ^d	83.9±2.1 ^e	2	Methionine
10.44±0.2 ^b	10.51±0.2 ^b	101.8±1.4 ^d	92.8±1.2 ^d	1	فنیل آلانین
10.11±0.1 ^b	9.44±0.1 ^c	98.99±2.3 ^d	83.5±3.3 ^e	2	Phenylalanine
11.54±0.1 ^{ab}	10.99±0.1 ^b	97.99±3.4 ^d	97.1±1.2 ^d	1	پرولین
12.91±0.1 ^a	11.89±0.1 ^a	94.88±5.2 ^{de}	85.1±2.1 ^e	2	Proline
1.00	0.99	0.87	0.93		LSD

* لیزین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، لیزین ۲: ۵ گرم در لیتر، متیونین ۱: ۲/۵ گرم در لیتر، متیونین ۲: ۵ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۱: ۱۰۰ میکرومولار، فنیل آلانین ۲: ۲۰۰ میکرومولار، پرولین ۱: ۵۰۰ میکرومولار، پرولین ۲: ۱۰۰۰ میکرومولار
اعدادی در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند در یک گروه آماری قرار دارند

Lysine 1: 2.5 g.l⁻¹, Lysine 2: 5 g.l⁻¹, Methionine 1: 2.5 g.l⁻¹, Methionine 2: 5 g.l⁻¹, Phenylalanine 1: 100 μM , Phenylalanine 2: 200 μM , Proline 1: 500 μM , Proline 2: 1000 μM

Numbers in each column that have same word, have same group

تولید می‌کنند و از طرفی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهند (۱۷). سنتز ترکیبات فنولی در بافت‌های گیاهی وابسته به کربوهیدرات‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی در تیمارهای محلول‌پاشی به‌طور غیرمستقیم با تحت‌تأثیر قرار دادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، این ترکیبات را به سمت سنتز ترکیبات فنولی هدایت می‌کند که نتیجه آن افزایش مقدار این ترکیبات می‌باشد (۳۴). علت افزایش ترکیبات فنولی در تیمار با اسیدهای آمینه مختلف از جمله فنیل آلانین، اثر این ترکیبات بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز در تولید ترکیبات فنولی و افزایش مقادیر آنتوسیانین و تانن می‌باشد (۵۳). از آن‌جا که این آنزیم یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز همه ترکیبات فنولی است، به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر نیز تغییر فعالیت این

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، محلول‌پاشی گیاهان زرین گیاه با اسیدهای آمینه موجب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه گردید که همراه با افزایش میزان اسانس بود. به‌طور کلی، اولین واکنش گیاهان در برابر کمبود آب کاهش رشد رویشی آن‌هاست. رشد سلول مهم‌ترین فرآیندی است که با تنش آبی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. کاهش رشد سلول منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۹). از سوی دیگر اسیدهای فنولی با داشتن ساختار ویژه دارای پتانسیل بالایی برای برهمکنش با پروتئین‌های مختلف از جمله آنزیم‌ها می‌باشند. به همین دلیل آن‌ها می‌توانند باعث ممانعت از فعالیت آنزیم‌هایی مانند ایزوفورم‌های مختلف سیتوکرم P₄₅₀، سیکلوآکسیژناز، الکل دهیدروژناز، لیپوآکسیژناز و زانتین‌آکسیداز شوند که در طی فعالیت خود مقادیر بالای رادیکال‌های آزاد

در فشار تورژسانس که ناشی از عدم تعادل در وضعیت آب گیاه باشد، منجر به کاهش رشد و حتی در صورت شدید بودن خشکی، موجب توقف رشد می‌شود (۴۳). بیش‌ترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و نیز کمیت و کیفیت اسانس به‌ویژه در سال دوم، در دور آبی ۳ روز یکبار به‌دست آمد و پس از آن کاهش نسبی در مقادیر، محرز بود. کاهش کلروفیل در شرایط خشکی تا حدودی به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن است که باعث پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و سرانجام تجزیه شیمیایی آن‌ها می‌شود. در شرایط کمبود آب به علت صدمات متابولیکی و تغییر سطح متابولیت‌های مربوطه، تثبیت دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. از طرف دیگر کمبود آب عموماً باعث تخریب و شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (۲۰ و ۲۳). اسیدهای آمینه برای گیاه، پیام‌های شیمیایی ارسال می‌کنند که سبب پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و تجمع فیتوآلکسین می‌شوند. طی پاسخ به محرک، سیستم دفاعی گیاه فعال شده و در نتیجه بیان ژن‌های دفاعی، متابولیت‌های ثانویه و محتوای اسانس، افزایش می‌یابند (۱۸ و ۴۴). به نظر می‌رسد کاربرد اسید آمینه‌ها به‌ویژه متیونین و فنیل آلانین از طریق افزایش عملکرد ماده خشک و فراهم نمودن زمینه مناسب جهت دریافت انرژی و نیز شرکت در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی می‌شود (۱۶ و ۵۳). نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل و فنول اثر معنی‌دار داشته است. نتایج به‌دست آمده از آنالیز رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که با افزایش شدت کمبود آب به‌طور معنی‌داری ($P < 0/01$) از میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کاسته شد. دلیل دیگر کاهش کلروفیل برگ‌ها، تغییر متابولیسم

آنزیم یکی از دلایل افزایش مقدار ترکیبات فنولی در گیاهان زرین گیاه باشد. سنتز ترکیبات فنولی در بافت‌های گیاهی وابسته به کربوهیدرات‌ها می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی در تیمارهای محلول‌پاشی به‌طور غیرمستقیم با تحت‌تأثیر قرار دادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، این ترکیبات را به‌سمت سنتز ترکیبات فنولی هدایت می‌کند که نتیجه آن افزایش مقدار این ترکیبات می‌باشد. تغییر در پاسخ گیاه به غلظت‌های مختلف اسیدهای آمینه می‌تواند در ارتباط با گونه گیاهی، مرحله رشد، روش‌های کاربرد و شرایط محیطی مرتبط باشد (۲۵ و ۲۹). بیوستنز متابولیت‌های ثانویه تحت‌تأثیر رشد و نمو گیاه است که به رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه به‌ویژه ظرفیت فتوسنتز بستگی دارد. تغییر در فعالیت فتوسنتز باعث تغییر در فعالیت متابولیکی گیاه می‌شود (۲۷). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در هنگام کمبود آب هم‌چنین ممکن است به دلیل تغییر در مجموعه‌های لیپید-پروتئین رنگیزه‌ها و کاهش سنتز کمپلکس‌های رنگدانه‌ای و یا تخریب کمپلکس‌های پروتئین-رنگدانه به دام اندازنده نور و یا به دلیل تخریب اکسیداتیو لیپیدها و پروتئین‌های کلروپلاست باشد (۱۰ و ۵۴). گزارش‌های دیگر نشان داده که کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن است که موجب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه‌ها می‌شود (۹). تنش کم‌آبی بر تمام صفات مورد ارزیابی اثر معنی‌داری داشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش رطوبت یا به عبارتی افزایش فواصل آبیاری، صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی زرین گیاه در تنش شدید کاهش چشم‌گیری یافتند که نشان‌دهنده کاهش تقسیم و رشد سلولی گیاه در طی کمبود آب می‌باشد. اثر تنش آبی بر توسعه دیواره سلولی در اثر فشار تورژسانس صورت می‌گیرد. بنابراین هر کاهشی

فنیل آلانین با افزایش محتوای رنگیزه‌ها، روی رشد، متابولیسم و فتوسنتز گیاه زرین گیاه تأثیر مثبتی دارند که در سایر گیاهان نیز گزارش‌هایی در این خصوص وجود دارد (۲۶ و ۳۱).

مصرف اسید آمینه پرولین در شرایط تنش خشکی، می‌تواند نسبت به استفاده از سایر اسیدهای آمینه و محرک‌های رشدی در آویشن دناپی (۳۵)، همیشه‌بهار آفریقای (۳۶) و همیشه‌بهار (۵۶) برتری داشته باشد. این اسید آمینه در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند با کمک به حفظ فشار اسمزی در تحمل تنش آبی به گیاه کمک کرده و باعث جبران بخشی از کاهش رشد و وزن خشک شود. بنابراین مصرف این نوع اسید آمینه در شرایط تنش برای کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی قابل توصیه است (۴). تجمع پرولین در زمان تنش، به‌علت تغییر در سرعت اکسیداسیون پرولین به گلوتامات یا عدم دخالت آن در سنتز پروتئین و یا مجموعه این عوامل می‌باشد. از طرف دیگر در گیاهان متحمل به خشکی میزان اکسیداسیون مولکول‌ها کاهش می‌یابد که یکی از پیامدهای آن افزایش پرولین است (۱۵). از سوی دیگر کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی، موجب بالا رفتن تراکم غده‌های تولیدکننده اسانس در برگ‌ها شده و مقدار تجمع اسانس را افزایش می‌دهد (۴۴). در پژوهش حاضر بیش‌ترین میزان پرولین (۱۱/۸۹-۱۲/۹۱ میکروگرم در گرم ماده تر) در تیمارهای با دور آبی ۹ روز یکبار و کم‌ترین مقادیر (۶/۶۵-۷/۱۲ میکروگرم در گرم ماده تر) در تیمارهای با دور آبیاری ۳ روز یکبار به‌دست آمد که در این روند تیمارهای متیونین و فنیل آلانین به همراه دوره آبیاری مطلوب، منجر به کاهش این اسید آمینه گردیدند. هرچند بیش‌ترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس، غالباً در تیمارهای با دور آبیاری ۳ روز یکبار

نیترژن و استفاده بیش‌تر از گلوتامات (ماده اولیه سنتز کلروفیل و پرولین) در مسیر تولید پرولین است (۱۰). به عبارتی، کاهش مقدار کلروفیل به هنگام تنش کمبود آب می‌تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلوتامیل‌کیناز در پتانسیل آبی پایین باشد. با افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین در هنگام تنش خشکی، در واقع گلوتامات که پیش‌ساز کلروفیل نیز می‌باشد، از دسترس خارج شده و سنتز کلروفیل‌ها دچار نقصان می‌شود. به عبارتی، کاهش سنتز کلروفیل می‌تواند به‌علت کاهش تجمع اسید آمینولولوییک باشد. این اسید پیش‌ساز همه تتراپیرول‌ها و پیش‌ساز پروتوکلروفیلید است که در معرض نور به کلروفیل تبدیل می‌شود و در تنش خشکی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، فعالیت آنزیم گلوتامات‌کیناز که اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل است، با تنش خشکی بسیار کاهش می‌یابد (۵۴). به‌طورکلی اسیدهای آمینه با تحت‌تأثیر قرار دادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. همچنین با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها، مواد اولیه را برای سنتز ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین‌ها فراهم می‌آورند. در این میان فنیل آلانین، یک اسید آمینه ضروری برای تولید ترکیبات پروتئینی، فنولی و معطر در مسیر بیوسنتزی فنیل پروپانوئیدی محسوب می‌شود که نقش‌های ساختاری مهمی در گیاهان بر عهده دارد و به عنوان یک حامل در تولید اتانول سلولزی نقش دارد. کاهش تولید فنیل آلانین، کاهش لیگنین را به همراه داشته که به دنبال آن هضم‌پذیری مواد سلولزی در تولید اتانول افزوده می‌شود (۲۶ و ۵۵). با توجه به وجود عنصر نیترژن در اسیدهای آمینه و نقش ساختاری این عنصر در حلقه‌های تتراپیرولی کلروفیل، چنین افزایشی توجیه‌پذیر است. از نتایج حاصل از این پژوهش نیز می‌توان نتیجه گرفت که محرک‌هایی مثل متیونین و

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، تنش خشکی منجر به کاهش میزان کل کلروفیل و فنول گیاه گردید و از این طریق منجر به کاهش اسانس نیز شد. از طرف دیگر اسانس گیاه زرین گیاه با استفاده از اسیدهای آمینه مختلف به‌ویژه متیونین و فنیل آلانین نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نه تنها میزان اسانس، بلکه درصد ترکیبات شیمیایی اسانس نیز تحت‌تأثیر آن قرار گرفت و برخی از ترکیبات افزایش و بعضی کاهش یافتند. بالاترین میزان اسانس در تیمار دوره آبیاری ۳ روز یکبار و به‌کارگیری متیونین (۲/۵ گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۱۰۰ میکرومولار) مشاهده شد. با توجه به قیمت پایین متیونین از یکسو و از سوی دیگر قیمت بالای اسانس زرین گیاه و استفاده‌های متعدد این گیاه ارزشمند در صنایع مختلف غذایی و دارویی و همچنین افزایش تقریبی ۴۵ درصدی اسانس و ترکیبات اسانس گیاهان تحت تیمار با این اسید آمینه؛ در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تحت شرایط تنش رطوبتی، محلول‌پاشی متیونین به عنوان یک روش مفید و اقتصادی می‌تواند برای کاهش اثرات تنش و به دنبال آن افزایش عملکرد اسانس گیاه زرین گیاه در اقلیم‌ها و شرایط خاک مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

ایجاد شد ولی در بسیاری از موارد، مقادیر به‌دست آمده از استفاده از اسیدهای آمینه (به‌ویژه متیونین و فنیل آلانین) در دور آبیاری ۶ روز یکبار نیز در دسته آماري مشابه با دور آبی ۳ روز یکبار قرار گرفت. تنش‌های محیطی غیرزنده مانند تنش خشکی اثرات مهمی بر صفات فیتوشیمیایی گیاهان دارویی ایجاد می‌نمایند (۸). به‌طورکلی، متابولیت‌های ثانویه به گیاهان دارویی کمک می‌کنند تا گیاه به شرایط و تنش‌های محیطی مانند خشکی سازگاری بیشتری پیدا کند. به علاوه، تأثیرات ناشی از تنش در افزایش اسانس عمدتاً به علت اثر آن بر رشد و نمو گیاه است. گیاهان غلظت بالایی از متابولیت‌ها را تحت شرایط کمبود آب تولید می‌کنند و مقدار کم‌تری از کربن را به رشد تخصیص می‌دهند که نشان از یک تعادل بین دفاع و رشد می‌باشد (۱۵). تغییرات بیوسنتز ترکیبات ترپنوئیدی از جمله مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها ممکن است به‌علت تغییرات بیو-انرژی‌تیک سلول‌های گیاهی در پاسخ به عناصر مغذی باشد و به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل اختلاف در مقدار و نوع برخی از ترکیبات اسانس گیاه مورد آزمایش، مربوط به اختلاف جابجگاه‌های بیوسنتزی ترکیبات از نظر بهره‌گیری از منابع انرژی باشد (۵۱ و ۵۷).

منابع

1. Mozaffarian, V. (2008). A Pictorial Dictionary of Botanical Taxonomy Latin-English- French- Germany- Persian. Germany: Koeltz Scientific Books.
2. Ashrafi, B., Ramak, P., Ezatpour, B., & Talei, G. R. (2017). Investigation on chemical composition, antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic properties of essential oil from *Dracocephalum kotschy* Bois. *African Journal of Traditional Complementary and Alternative Medicines*, 14, 209-217.
3. Fallah, S., Mouguee, S., Rostaei, M., & Adavi, Z. (2020). Chemical compositions and antioxidant activity of essential oil of wild and cultivated *Dracocephalum kotschy* grown indifferent ecosystems: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 143, 11885.
4. Shaykh-Samani, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Yadegari, M., & Rajabzadeh, F. (2023). Foliar application of salicylic acid improved the yield and quality of the essential oil from *Dracocephalum kotschy* Boiss. under water deficit

- Stress. *Industrial Crops and Products*, 26, 769-779.
5. Thakur, M., & Kumar, R. (2020). Foliar application of plant growth regulators modulates the productivity and chemical profile of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of the western Himalaya. *Industrial Crops and Products*, 158, 113024.
 6. Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, S., & Jamialahmadi, M. (2018). Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 111, 336-344.
 7. Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381.
 8. Babaei, Kh., Moghaddam, M., & Farhadi, N. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284, 110-116.
 9. Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., & De Swaef, T. (2020). Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 14, 335-353.
 10. Caser, M., Chitarra, W., Angiolillo, F., & Perrone, I. (2019). Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Industrial Crops and Products*, 129, 85-96.
 11. Hayati, A., Rahimi, M. M., Kelidari, A., & Hosseini, S. M. (2021). Effects of humic acid and iron nanochelate on osmolytes content of black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37 (5), 809-821. [In Persian with English abstract]
 12. Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V., & Moradshahi, A. (2019). Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglossum etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. *Scientia Horticulturae*, 256, 108652.
 13. Albergaria, E. T., Oliveira, A. F., & Albuquerque, U. P. (2020). The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 131, 12-17.
 14. Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagon, D., Arbona, V., & Gomez-Cadenas, A. (2017). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiology of Plant*, 162 (1), 2-12.
 15. Esmaeilzadeh Bahabadi, S., & Sharifi, M. (2013). Increasing the production of plant secondary metabolites, using biotic elicitors. *Journal of Cell Tissue*, 4 (2), 119-128.
 16. Alavi Samany, S. M., Ghasemi Pirbalouti, A., & 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.
 17. Taraseviciene, Z., Velicka, A., & Paulauskiene, A. (2021). Impact of foliar application of amino acids on total phenols, phenolic acids content of different mints varieties under the field condition. *Plants*, 10 (3), 599-615.
 18. Nouri, M., Rohbani, M., & Mahboub, S.A. (2015). Biochemistry, International Student Edition (3rd edition). Ahrar Tabriz Publications. pp: 768.
 19. Azarpira, E., Fathi, S., Sharafi, Y., & Najafian, S. (2020). Effect of some amino acids based biostimulants on medicinal mint (*Mentha spicata* L.) under salinity stress. *Horticultural Plant Nutrition*, 2 (2), 154-173. [In Persian with English abstract]
 20. Xiaolu, W., Jie, Y., Aoxue, L., & Yu, Ch. (2016). Drought stress and

- re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in *Dendrobium moniliforme*. *Industrial Crops and Products*, 94, 385-393.
21. Wafaa, H. A., Rania, M. R., & El-Shafay, R. M. M. (2021). Effect of spraying with extracts of plants and amino acids on growth and productivity on *Coriandrum sativum* L. plants under shalateen condition. *Plant Archives*, 21 (1), 300-307.
 22. Shafie, F., Bayat, H., Aminifard, M. H., & Daghighi, S. (2021). Biostimulant effects of seaweed extract and amino acids on growth, antioxidants, and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in the field and greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52, 964-975.
 23. Danesh-Shahraki, H., Ghasemi Pirbalouti, A., Rajabzadeh, F., & Kachouei, M. A. (2023). Water deficit stress mitigation by the foliar spraying of salicylic acid and proline on the volatile oils and growth features of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, DOI: **10.1080/0972060X.2022.2160279**.
 24. Darvizheh, H., Zavareh, M., & Ghasmanjad, M. (2017). Effect of proline spraying on biochemical properties of German chamomile in water stress conditions (*Matricaria chamomilla* L.). *J Journal of Applied Research in Plant Ecophysiology*, 4, 35-60.
 25. Ashouri, R., Fallah, H., Niknezhad, Y., & Barari Tari, D. (2023). Effect of application of plant growth promoting bacteria and amino acids foliar application on growth characteristics, yield, and nutritional value of rice (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21 (3), 333-346. [In Persian with English abstract]
 26. Gohari, Gh., Feridoni, S., Panahi Rad, S., Sepehri, N., & Dadpour, M. R. (2020). Foliar application of phenylalanine on nutritional value in *Vitis vinifera* var. Hosseini. *Journal of Food Researches*, 30 (4), 109-121.
 27. Poorghadir, M., Mohammadi Torkashvand, A., Mirjalili, S. A., & Moradi, P. (2020). Interactions of amino acids (proline and phenylalanine) and biostimulants (salicylic acid and chitosan) on the growth and essential oil components of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 30, 101815.
 28. Rajabzadeh, Sh., Ghasemi, A., Yadegari, M., & Rahimi, T. (2024). Physiological and phytochemical responses of *Rosa damascena* Mill. to the foliar application of different elicitors. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 27, <https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2255613>.
 29. Aminifard, M., Gholami, M., Bayat, H., & Moradinezhad, F. (2020). Effect of fulvic acid and amino acid application on physiological characteristics, growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 12 (3), 373-388.
 30. Asadi, M., Nasiri, Y., & Morshedloo, M. (2018). Evaluation of quantitative and qualitative yield of *Mentha piperita* under amino acids and chemical fertilizers. *Sustainable Agriculture*, 82 (3), 257-275. [In Persian with English abstract]
 31. Heidarzadeh, A., & Modares Sanavi, S. A. M. (2023). Effects of various amino acids on quantitative and qualitative characters of *Allium sativum* L. *Plant Production*, 46 (2): 32-44.
 32. Ajdanian, L., Babae, M., & Aroee, H. (2019). Foliar application of amino acids on yield and growth of two cultivar of Ocimum. 11th Iranian Horticultural Sciences Conference. 26-29 Aug. Urmia University. 1-7. [In Persian with English abstract]
 33. Saremi, S., Gholipour, M., Abasdokht, H., Naghdibadi, H. A., Mehr Afarin, A., & Asghari, H. R. (2021). Evaluation of effect of foliar application of various amino acids on the biochemical responses of *Physalis alkekengi* L. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 9 (2), 39-52. [In Persian with English abstract]

34. Aghaei, K., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., Naghdi Badi, H. A., & Mehnatkesh A. M. (2021). Effects of different fertilizers and the foliar application of L-phenylalanine on mineral contents of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)]. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 4 (2), 13-28.
35. Kazempour, A., Sharghi, Y., Modarres Sanavi, S. A. M., Zahedi, H., & Sefid Kon, F. 2023. Effect of amino acid foliar application on morphophysiological characteristics and thyme essential oil under different irrigation regimes. *Journal of Plant Process and Function*, 12 (53), 71-90. [In Persian with English abstract]
36. Raof Haghparvar, F., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2022). Effect of arginine, proline and glutamine amino acids on morphological and physiological traits of two african marigold (*Tagetes erecta* L.) cultivars. *Journal of Ornamental Plants*, 12 (3), 191-202.
37. Yadegari, M. (2022). Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Satureja* species under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38 (1), 61-80. [In Persian with English abstract]
38. Arnon, D. I. (1975). Physiological principles of dry land crop production. In: U. S. Gupta (Ed.) *Physiological Aspects of Dry Land Farming*. pp. 3-14. Oxford Press.
39. Dere, S., Güneş, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish journal of Botany*, 22 (1), 13-17.
40. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39 (1), 205-207.
41. Marinova, D., Ribarova, F., & Atanassaova, M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal University of Chemistry Technology Metallurgy*, 40 (3), 255-260.
42. Adams, R. P. (2007). Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/ Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL.
43. Kulak, M. (2020). Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Indust Industrial Crops and Products*, 154, 1-17.
44. Pradhan, J., Sahoo, S. K., Lalotra, S., & Sarma, R. S. (2017). Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. *International Journal of Plant Science*, 12 (2), 309-313.
45. Farahani, H., Sajedi, N. A., Madani, H., Changizi, M., & Naeni, M. R. (2020). Effect of foliar-applied silicon on flower yield and essential oil composition of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) under water deficit stress. *Silicon*, DOI: 1007/s12633-020-00762-1.
46. Bohlman, J., & Keeling, C. I. (2008). Terpenoid biomaterials. *Plant Journal*, 54, 656-669.
47. Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., Rubinowska, K., & Matraszek-Gawron, R. (2021). Eliciting effect of foliar application of chitosan lactate on the phytochemical properties of *Ocimum basilicum* L. and *Melissa officinalis* L. *Food Chemistry*, 342, 128358. [In Persian with English abstract]
48. Khorasani, H., Rajabzadeh, F., Mozafari, H., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2023). Water deficit stress impairment of morphophysiological and phytochemical traits of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) buffered by humic acid application. *South African Journal of Botany*, 154, 365-371.
49. Zakerian, F., Sefidkon, F., Abbaszadeh, A., & Kalateh, S. (2020). Drought stress and *micorrhiza* fungi effects on physiologic and essential oil characters of *Thymus sahandica* Bornm. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51 (1), 189-201. [In Persian with English abstract]

50. Abdi, L., Asghari, H. R., Tolyat Abolhasani, M., Amerian, M. R., & Naghdi Badi H. (2022). Effect of salicylic acid on growth and phytochemical characteristics of *Thymus daenensis* under drought irrigation. *Plant Process and Function*, 11 (48), 195-210. [In Persian with English abstract]
51. Sasani, N., Pâques, L. E., Boulanger, G., & Singh, A. P. (2021). Physiological and anatomical responses to drought stress differ between two larch species and their hybrid. *Trees*, 35, 1467-1484.
52. Yadegari, M. (2017). Irrigation periods and Fe, Zn foliar application on agronomic characters of *Borago officinalis*, *Calendula officinalis*, *Thymus vulgaris* and *Alyssum desertorum*. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 48 (3), 307-315.
53. Alizadeh, A., Moghaddam, M., Asgharzade, A., & Mahmoodi Sourestani, M. (2020). Phytochemical and physiological response of *Satureja hortensis* L. to different irrigation regimes and chitosan application. *Industrial Crops and Products*, 158, 112990.
54. Esch, E. H., Lipson, D. A., & Cleland, E. E. (2019). Invasion and drought alter phenological sensitivity and synergistically lower ecosystem production. *Ecology*, 100 (10), 34-45.
55. 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*, 9 (35), 317-328. [In Persian with English abstract]
56. Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K., Moghadam, A. L., & Garmsar, I. (2021). Effect of foliar application of proline on morphological and physiological traits of *Calendula officinalis* L. under drought stress. *Journal of Ornamental Plants*, 11, 13-30.
57. Kheiri, A., Mohajjel Shoja, H., & Sarajoughi, M. (2020). Study on the effect of drought stress and methanol spraying on dehydrin1 gene expression in *Carthamus tinctorius*. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 9, 67-75.

