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

Evaluation of the foliar application effect of salicylic acid on the morpho-physiological and phytochemical traits of the essential oil from *Satureja bachtiarica* Bunge. under deficit irrigation conditions

Azam Shaykh Samani[1], Abdollah Ghasemi Pirbalouti[2*], Mehrab Yadegai[3], Faezeh Rajabzadeh[4]

[1] Medicinal Plants Department, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
[2] Research Center for Medicinal Plants, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: ghasemi@qodsiau.ac.ir
[3] Agronomy Department, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
[4] Agronomy Department, Agriculture Faculty, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Serial 40, 10th year, Number 4, Winter 2023 (93-106)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 2021/1/9
Revised: 2022/2/28
Accepted: 2022/4/7

Keywords
Carvacrol
Cymene
Foliar application
Salicylic acid
Satureja bachtiarica Bunge.
Water stress

Abstract

Cultivation of *Satureja bachtiarica* Bunge. in dry conditions requires the use of novel methods to obtain the highest yield of the effective medicinal substances. This investigation was done to investigate the effect of foliar application of salicylic acid (SA) at 1 mM on the morpho-physiological and phytochemical traits of *S. bachtiarica* under water deficit conditions during two experimental years (2017-2018 and 2018-2019) in Shahrekord, Iran. The experiment was performed as a factorial in a CRBD with three replications, which irrigation treatment in two levels [normal irrigation (irrigation after draining 30% F.C.) and deficit irrigation (irrigation after draining 50% F.C.)], and the foliar application at two levels (control and SA) were considered. The essential oil from the aerial parts of the herb was extracted by water distillation and analyzed by GC/MS. The content of chlorophyll *a*, *b* and total at 663 and 645 nm, carotenoids at 470 nm and the content of proline at 520 nm were determined using a spectrophotometer. According to the results, water deficit stress caused the physiological and phytochemical changes in *S. bachtiarica*. As the amount of proline (139%), chlorophyll *a* (57%), *b* (46%) and total (55%), the essential oil content (7%) and carvacrol as the major compound (7%) increased under water deficit stress. The highest values of the essential oil content (1.67% *v/w*), the concentrations of carvacrol (45.7%) and *p*-cymene (18.6%) were obtained under deficit irrigation under SA. The maximum levels of thymol and β-caryophyllene were achieved from the herbs under deficit irrigation as well as SA foliar application. Totally, SA as a defense factor reduced the negative effects of deficit irrigation conditions on most of the evaluated traits. In conclusion, the foliar-spraying of salicylic acid is recommended for stabilize of the quantity and quality of the active substance yield of *S. bachtiarica* under water deficit stress.

Please cite this article as: Shaykh Samani, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Yadegai, M., Rajabzadeh, F. (2023). Evaluation of the foliar application effect of salicylic acid on the morpho-physiological and phytochemical traits of the essential oil from *Satureja bachtiarica* Bunge. under deficit irrigation conditions. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 10(4): 93-106.

© 2023. All Rights Reserved
DOI: 10.30495/ejmp.2022.1949355.1673
DOR: 20.1001.1.23223235.1401.10.4.6.6

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

بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس گیاه دارویی (*Satureja bachtiarica* Bunge.) تحت شرایط کم‌آبیاری

اعظم شیخ سامانی[۱]، عبداله قاسمی پیربلوطی[۲*]، مهراب یادگاری[۳]، فائزه رجب‌زاده[۴]

[۱] گروه گیاهان دارویی و زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران
[۲] مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران، رایانامه: ghasemi@qodsiau.ac.ir
[۳] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران
[۴] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

سال دهم، شماره ۴۰، زمستان ۱۴۰۱ / صفحات: ۱۰۶-۹۳

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۱۸

واژه‌های کلیدی:
پارا-سیمن
تنش کم‌آبی
کارواکرول
ماده موثره،
مرزه بختیاری
Satureja bachtiarica Bunge.

چکیده

کشت گیاه دارویی و معطر مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge.) در شرایط خشک‌سالی نیازمند بهره‌گیری از روش‌های نوین برای دستیابی به ماده موثره دارویی بالاست. این پژوهش، به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس مرزه بختیاری تحت شرایط آبیاری مختلف طی دو سال (۹۸-۹۹ و ۹۸-۹۷) در شهرکرد اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در دو سطح مطلوب یا شاهد (بدون تنش- آبیاری در ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی از ظرفیت زراعی یا F.C.) و کم‌آبیاری (آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از F.C.) و عامل محلول‌پاشی برگی شامل شاهد (محلول پاشی حلال) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (یک میلی‌مولار) در نظر گرفته شد. نمونه‌های اسانس از اندام هوایی قبل از گلدهی به روش تقطیر با آب استخراج و با استفاده از گاز کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی (GC/MS) تجزیه شدند. میزان کلروفیل *a*، *b* و کل در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر، کارتنوئیدها در ۴۷۰ نانومتر و مقدار پرولین نیز در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید. نتایج نشان داد که غلظت‌های پرولین (۱۳۹ درصد)، کلروفیل *a* (۵۷ درصد)، *b* (۴۶ درصد) و کل (۵۵ درصد)، میزان اسانس (۷ درصد) و مهم‌ترین ترکیب اسانس یعنی کارواکرول (۷ درصد) با تنش کم‌آبی افزایش یافتند. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک عامل دفاعی، سبب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی بر اکثر صفات مورد ارزیابی شد. بیشترین بازده اسانس (۱/۶۷ میلی‌لیتر بر ۱۰۰ گرم وزن خشک)، بالاترین غلظت های کارواکرول (۴۵ درصد)، پارا-سیمن (۱۹ درصد) و تیمول (۱۱ درصد) در شرایط کم‌آبیاری و کاربرد اسیدسالیسیلیک در هر دو سال آزمایش به‌دست آمد. با توجه به نتایج حاصل، استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی برای ثبات کمیت و کیفیت عملکرد ماده موثره مرزه بختیاری پیشنهاد می‌شود.

استناد: شیخ سامانی، ا.، قاسمی پیربلوطی، ع.، یادگاری، م.، رجب‌زاده، ف. (۱۴۰۱). بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس گیاه دارویی (*Satureja bachtiarica* Bunge.) تحت شرایط کم‌آبیاری. *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۰ (۴)، ۱۰۶-۹۳.

DOI: 10.30495/ejmp.2022.1949355.1673
DOR: 20.1001.1.23223235.1401.10.4.6.6

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge.) متعلق به تیره نعناعیان از گیاهان دارویی و معطر ارزشمند است که از سرشاخه‌های آن به‌طور وسیعی در صنایع غذایی و دارویی استفاده می‌شود (Mirjalili et al., 2021). این گیاه، یکی از گونه‌های انحصاری مرزه در ایران است که دارای پراکندگی نسبتا وسیعی بوده و در استان‌های غرب، مرکزی و جنوب‌غربی ایران به خصوص زاگرس مرکزی رویش دارد (Shariat and Sefidkon, 2020). مرزه بختیاری به خصوص اسانس آن دارای خواصی نظیر ضد نفخ، اشتها آور، کاهش چربی خون، ضد سرفه، تحریک کننده سیستم‌های عصبی، برطرف کننده تهوع، ضدباکتری، ضدقارچی، ضدویروسی، آنتی‌اکسیدانی، ضداسپاسمی و ضدالتهاب است (Hashemi and Khodaei, 2020; Khademian et al., 2019). از مهمترین ترکیب‌های عمده اسانس در این گیاه می‌توان به کارواکرول، پارا-سیمن، ترانس و گاماترپینن و تیمول نام برد (Memarzadeh et al., 2020).

عوامل محیطی باعث ایجاد تغییراتی در رشد و مقدار و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی می‌گردد. بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس تحت تأثیر عوامل وراثتی، اکولوژیکی و مدیریتی (از کاشت تا فرآیندهای پس از برداشت) و اثرات متقابل آن‌ها می‌باشد (Bakhtiar et al., 2021). نتایج اغلب پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کمبود آب، متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها را در گیاهان دارویی و معطر تحت تأثیر قرار می‌دهد و عموماً تشکیل و تجمع اسانس با تنش ملایم خشکی، افزایش می‌یابد (Alavi-Samany et al., 2022; Babaei et al., 2021). در نظام‌های تولید پایدار گیاهان دارویی و معطر، از طریق مدیریت‌های به‌باغی می‌توان به عملکردهای بیولوژیکی با ثباتی در گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط تنش کم‌آبی دست یافت و حتی امکان بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه خاصی در این گیاهان در شرایط نامساعد محیطی وجود دارد. در همین راستا، اسید سالیسیلیک، به‌عنوان یکی از الیسیتورهای کارآمد برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی و معطر تأیید شده است که باعث القاء تنش کاذب در گیاه شده و پاسخ‌های دفاعی گیاه را بر می‌انگیزد (Mehravaran et al., 2021; Momeni et al., 2020). این ترکیب به‌عنوان یک هورمون طبیعی گیاهی در تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده به‌عنوان یک مولکول پیام رسان، نقش مهمی در القای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه ایفا کرده و هم‌چنین در فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی ناشی از تنش موثر است (Janda and Ruelland, 2015). با توجه به بررسی به‌عمل آمده، تاکنون مطالعه چندانی در زمینه اثر کم‌آبیاری و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر میزان اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی اسانس مرزه بختیاری انجام نشده است؛ لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثرات اسیدسالیسیلیک در دو سطح مختلف آبیاری بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس مرزه بختیاری کشت شده به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی (۹۹-۹۸ و ۹۸-۹۷) در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد با عرض شمالی جغرافیایی ۲۰ درجه و ۳۲ دقیقه و طول شرقی جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه با ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا اجرا شد. آمار هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول دو سال زراعی در جدول ۱ و تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱: میانگین تغییرات دمایی و بارندگی منطقه مورد مطالعه طی ۱۳۹۹-۱۳۹۷

پارامتر	سال	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
متوسط دما	۹۸-۱۳۹۷	۲۰	۲٤/۳	۲٤/٥	۲۲/۳	۱٥/۸	۸/۸	٥/۳	۳/۲	۲/۹	۲/۱	۹/۰	۱۲/۸
(درجه‌سانتی‌گراد)	۹۹-۱۳۹۸	۱۹/٥	۲۷/۳	۲٤/۱	۲۰/۹	۱٦/۸	۷/٤	۳/۰	۱/۷	۱/۳	۷/۱	۸/٦	۱٤/۲
بارندگی	۹۸-۱۳۹۷	۱۳	–	–	۲/٤	٥/۸	٥۳/۸	٤٤/۸	۹۰/٥	۲٥/٦	۳۲/۹	۱۱۷/٤	٦/٥
(میلی‌متر)	۹۹-۱۳۹۸	٥/٦	–	۷/۱	–	۱	۲٥/۲	۳٥/۸	۱٦/۱	۱٦	٥۲/٦	۷٤/۲	۳۲/۲
متوسط رطوبت	۹۸-۱۳۹۷	۳۸/٥	۲٥	۲۷/٥	۲۹/٥	۳۸/٥	٥٤	٥٤	٥٥	٥٤	٥٤/٥	٥۲/٥	٤٤/٥
نسبی (درصد)	۹۹-۱۳۹۸	۳۸/٥	۲۷	۲۸/٥	۲۸	۳٥/٥	٤۷	٦٤/٥	٥۹	٥۰/٥	٥۱	٥٥/٥	٤۷

جدول ۲: نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق‌خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس برمتر)	واکنش	ازت (درصد)	فسفر	پتاسیم	روی	منگنز	آهن	مس	بور
						(میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
۳۰-۰	سیلتی کلی لوم	۰/۳٥۱	۱/۰۳	۷/۸٤	۰/۰۳۳	۲/۲	۱٦۷	۰/٤۹	۷/۲٦	۲/٥۸	۱/۱٥	۲/۱٤

فاکتورهای آزمایشی شامل عامل آبیاری در دو سطح آبیاری مطلوب یا شاهد (بدون تنش - آبیاری در ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی از ظرفیت زراعی یا F.C.) و کم‌آبیاری (آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از F.C.) بر مبنای میزان تبخیر از تشتک کلاس A و عامل محلول‌پاشی برگی شامل شاهد (محلول‌پاشی حلال یا آب) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (یک میلی‌مولار) بود. محلول‌پاشی در سه مرحله هر هفته یک‌بار (قبل از برداشت) انجام شد. ابعاد هر کرت ۱/۸۰×٦ متر (شامل ۳ ردیف ٦۰ سانتی‌متری) و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری صفات، پس از حذف ردیف‌های کناری و ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان اثر حاشیه، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع گیاه (بلندترین ساقه)، قطر کانوپی، قطر ساقه، عملکرد اندام هوایی تر و خشک بوته اندازه‌گیری شدند. میزان کلروفیل *a*، *b* و کل، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٦٦۳ و ٦٤٥ نانومتر و کاروتنوئیدها نیز در ٤۷۰ نانومتر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید (Arnon, 1967). مقدار پرولین با روش Bates and Waldern (1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر محاسبه گردید. برای تعیین میزان اسانس، ۱۰۰ گرم از نمونه خشک شده به کمک دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت مورد اسانس‌گیری قرار گرفت.

شناسایی ترکیبات اسانس به کمک دستگاه کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) انجام گرفت. تجزیه اسانس با دستگاه GC مدل Agilent 7890 A و نوع ستون HP-5 MS (طول ستون ۳۰ m، قطر داخلی ستون ۰/۲۵ µm، قطر بیرونی ستون ۰/۲۵ mm) انجام شد. گاز هلیوم با سرعت ۰/۸ mL/min جریان داشت. دمای اولیه ستون ٦۰ درجه سانتی‌گراد و دمای نهایی ستون ۲۸۰ سانتی‌گراد بود. برنامه‌ریزی دمایی به صورت ٤°C/min برنامه‌ریزی شد. نسبت جداسازی ۱:۱۰۰ تنظیم شد. تجزیه MS توسط دستگاه Agilent 5975 C انجام شد. شاخص‌های بازداری (IR) برای تمام اجزا توسط یکسری هومولوگ از *ن*-الکان‌ها

(C_5-C_{25}) که در شرایط مشابه نمونه‌ها تزریق شدند، محاسبه گردید. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداری آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های کتب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه (Wiley and NIST) صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (19.0) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد. جهت رسم نمودار از نرم افزارExcel 2010 استفاده گردید.

نتایج

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده محلول‌پاشی و آبیاری و برهم‌کنش تیمارها بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود؛ با این وجود اثر ساده سال بر ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان ارتفاع (۲۵/۳۹ سانتی‌متر) در سال اول به دست آمد (جدول ٤).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثرات محلول‌پاشی، آبیاری و سال بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاه مزره بختیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع گیاه	وزن تازه	وزن خشک	پرولین	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a
آبیاری	۱	۹/۵۱ ns	۲۳/۳٦ns	۷/۱۱ns	۱٤۷۰/۳۵**	۱۰۸/٤۷**	٤/۲۸**	۹۳/۱۹**
محلول‌پاشی	۲	۹۳/۸۷ns	٦٤۹/۰۸ns	۱۵٤/۷۵ns	۲۳۳/۹۰**	۹/٤۸**	۰/٤۱۱**	۳/٦۷**
سال	۱	۳۳٤/۲۸*	۲۸۲٦/۷**	٤٤۱/۰۰**	۳/۹۵ ns	۰/۰۸ ns	۰/۲٤۷ ns	۱/٦۷ ns
محلول‌پاشی * آبیاری	۲	۱٦/۵۲ns	۷٦۹۳/۵**	۲۲۳/۰۳ns	۲۱٤/۷۱**	۵/۰۷ *	۰/۱۳۸ ns	۲/۰٦ ns
سال * آبیاری	۱	۵/۸٤ns	۱۷۵۰/۰ ns	٤٤/٤٤ns	۰/۳۰۹ns	۰/۸۵٤ ns	۰/۰۰۱ ns	۱/۱٤ ns
سال * محلول‌پاشی	۲	۵٦/۹۹ns	۱۷٤۳/۳ns	۱۹۵/۵۸ ns	۰/٦۳۲ ns	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۲۵ ns	۰/۰۳۱ ns
سال* محلول‌پاشی*آبیاری	۲	۸۳/۳۸ns	۳۸٦٦/۷ ns	۱۸۰/۵۳ ns	۰/۵۰٦ ns	۰/٦٦۵ ns	۰/۱۱۱ ns	۰/۵۱۵ ns
خطا	۲٤	٦۸/۱۱	۱۵٤۲/۷۲	۸٤/٤٤	۲۱/۳۹	۰/۹۲٤	۰/۰۸۳	۰/۸۱۵

ns- عدم تفاوت معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤: مقایسه میانگین اثرات ساده عوامل آزمایش بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاه مزره بختیاری

تیمار		ارتفاع گیاه	وزن تازه	وزن خشک	پرولین(میکرومول	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a
		(سانتی‌متر)	(گرم بر مترمربع)		بر گرم)	(میکروگرم بر میلی‌لیتر)		
آبیاری	آبیاری مطلوب	۲۱/۸۳ ± ۷/٤۱	۳۲٦/۲۲± ۲۲/۳۵	۱۰۵/۰٦±۱۲	۱۱/۷۸ ± ۹/٤ b	۷/٦۱ ±۰/۸b	۱/۸۰±۰/۲۲b	۵/٦۵ ±۰/۵٦ b
	کم‌آبیاری	۲۲/۸٦ ± ۹/۵۳	۳۱٦/۷۲ ± ۳۳/٦٦	۱۰۵/۹٤± ۹/۸۹	۲۸/۲۲± ۹/۱۰ a	۱۱/۷۸±۱/٦a	۲/٦۳±۰/٤۲a	۸/۸۷ ±۱/۳۱ a
محلول-پاشی	شاهد	۲٤/۵۳ ± ٦/٤٤	۳۲۳/۸۳ ± ۲۲/۰٤	۱۰٦/۹۲± ۸/٤۸	۲۵/۹۳ ± ۱۲/٤a	۱۱/۰۱±۲/۸a	۲/٤۹±۰/۵۹a	۷/۷۸± ۲/۰۹ a
	اسید سالیسیلیک	۱۹/۱۹ ± ٤/۱۸	۳۲۵/۳۳ ± ۲۳/٦٦	۱۰۸/۱۷±۸/۸۹	۱۳/۹۰ ± ۱۱/۱b	۸/٤۵±۱/۲۵b	۲/۰۰±۰/۳۲b	٦/٦۸ ±۱/۳۲ b
سال	سال اول	۲۵/۳۹ ± ۱۰/۰۸ a	۳۰۷/۰٦±۱۸/۹۵b	۱۰۲/۰±۱۱/٤۸b	۱۹/٦۱ ± ۹/۳۲	۹/۷٦ ± ۲/٦۷	۲/۱۱±۰/٤۹	۷/٤۸ ± ۲/۱۲
	سال دوم	۱۹/۲۹ ± ٤/۹۹ b	۳۳۵/۸۳ ± ۲۹/٦٦a	۱۰۹/۰±۸/۸۹ a	۲۰/۳۹ ± ۹/۱۰	۹/٦۳ ± ۲/۳۰	۲/۳۲ ± ۰/۵۷	۷/۰۵ ± ۱/۷۲

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح ۵ درصد در یک گروه آماری قرار می‌گیرند.

اثرات ساده محلول‌پاشی و آبیاری بر غلظت‌های کلروفیل a، b و کل و اثر برهمکنش محلول‌پاشی و آبیاری ($p\leq0.05$)، بر کلروفیل کل معنی‌دار بود؛ در حالی‌که تیمار سال بر غلظت‌های کلروفیل a، b و کل تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بر خلاف انتظار، میزان کلروفیل در تیمار کم‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری مطلوب به‌طور معنی‌داری افزایش داشت؛ به طوری‌که بیشترین میزان غلظت کلروفیل a و b

(به‌ترتیب ۸/۸۷ و ۲/٦۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در تیمار کم‌آبیاری به‌دست آمد. در اثر ساده محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، میزان این صفات نسبت به شاهد روند کاهشی نشان داد (جدول ٤). در بررسی اثر متقابل، بیشترین میزان کلروفیل کل (۱۲/۸۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در تیمار کم‌آبیاری با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک مشاهده شد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر ساده سال ($p\leq0.01$) بر وزن خشک و تر گیاه و برهمکنش محلول‌پاشی و آبیاری ($p\leq0.01$)، بر وزن تر گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). اسیدسالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار وزن تر گیاه در شرایط کم‌آبیاری شد. بیشترین وزن تر (۳۳۷/۵۰ گرم بر مترمربع) در تیمار محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در شرایط کم‌آبیاری مشاهده شد (شکل ۱).

شکل ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر وزن تازه گیاه مرزه بختیاری

اثرات ساده محلول‌پاشی و آبیاری و برهمکنش محلول‌پاشی و آبیاری ($p\leq 0.01$)، بر میزان پرولین معنی‌دار بود؛ این درحالی بود که تیمار سال بر میزان پرولین تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین میزان پرولین به‌ترتیب در تیمار کم‌آبیاری و عدم محلول‌پاشی (۳٤/۳۰ میکرو مول بر گرم) و کمترین میزان (۱۱/٦۷ میکرو مول بر گرم) در تیمار آبیاری مطلوب و در زمان محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به دست آمد (شکل ۲).

شکل ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر میزان پرولین

مطابق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر ساده آبیاری ($p \leq 0.01$) بر میزان اسانس معنی‌دار شد (جدول ۵). به‌طوری‌که در شرایط اعمال کم‌آبیاری، بیشترین میزان اسانس (۱/٦۷ میلی‌لیتر بر ۱۰۰ گرم وزن خشک) و در شرایط آبیاری مطلوب کمترین میزان (۱/٥٤ میلی‌لیتر بر ۱۰۰ گرم وزن خشک) به‌دست آمد (جدول ٦).

جدول ۵: تجزیه واریانس اثرات محلول‌پاشی، آبیاری و سال بر صفات فیتوشیمیایی اسانس گیاه مرزه بختیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		میزان اسانس	تیمول	پاراسیمن	گاما-ترپینن	بتا-کاریوفیلن	کارواکرول
آبیاری	۱	۰/۱٤۹ **	۳/٤٤ **	۱/٤۱ **	٦/۰۷ ns	۱/۳۲ **	٥/۸۹ **
محلول‌پاشی	۲	۰/۰۰۱ ns	۲/٤۷ **	۲/۸۲ **	۰/۷٥ ns	۲/۷٤ **	۹/۰۰ **
سال	۱	۰/۰۰۸ ns	۰/۱۷ ns	۰/۱٥ ns	۲/۲۲ ns	۰/۰۸ ns	۰/۰۲۳ ns
محلول‌پاشی * آبیاری	۲	۰/۰۰۷ ns	۰/۲٥۷ ns	۰/۳۷٤ ns	۱/۷۰ ns	۰/۷۹۸ ns	۲/۸٦ **
سال * آبیاری	۱	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۳۱ ns	۰/۳۲٦ ns	۰/۹٤۷ ns	۰/۰۲ ns	۰/٥۲٥ ns
سال * محلول‌پاشی	۲	۰/۰۰٤ ns	۰/۱۹٦ ns	۰/۰۹۳ ns	۲/٥٦ ns	۰/۲٥۱ ns	۰/٤٥٥ ns
سال* محلول‌پاشی*آبیاری	۲	۰/۰۰۰ ns	۰/۱۱۰ ns	۰/٦٥۱ *	۲/۲۲ ns	۰/۰۰٤ ns	۰/۳۳٤ ns
خطا	۲٤	۰/۰۰۳	۰/۲۸۳	۰/۱۲٥	۷/۱۹۲	۰/۲۸۲	۰/۲۱۰

ns- عدم تفاوت معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

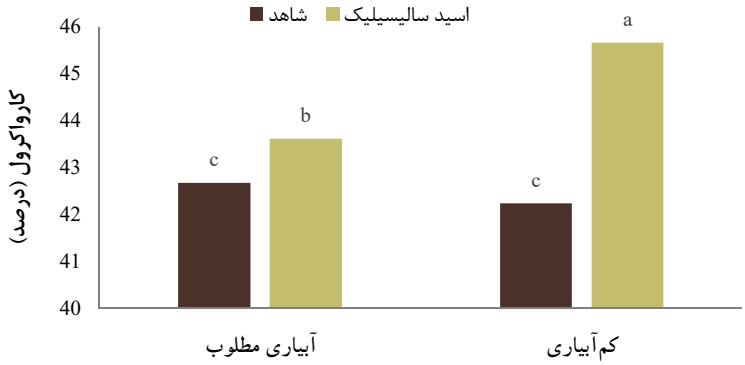
جدول ٦: مقایسه میانگین اثرات ساده عوامل آزمایش بر صفات فیتوشیمیایی اسانس گیاه مرزه بختیاری

تیمار		میزان اسانس (میلی‌لیتر بر ۱۰۰ گرم وزن خشک)	تیمول	پاراسیمن	بتا-کاریوفیلن	کارواکرول
		(درصد)				
آبیاری	آبیاری مطلوب	۱/٥٤ ± ۰/٤۷a	۱۰/۱۸ ±۰/٥٤ b	۱۷/۳۲ ± ۰/٤۸ b	۲/۲۳ ± ۰/٥٤ b	٤۳/۱٥ ± ۰/٦٦ b
	کم‌آبیاری	۱/٦۷ ± ۰/۰٦ b	۱۰/۷۲ ±۰/٦۸ a	۱۷/٥۷ ± ۰/٦۳ a	۲/٥۱ ± ۰/۷۳ a	٤٥/۷٤ ± ۱/۱۱ a
محلول‌پاشی	شاهد	۱/٦۰ ± ۰/۰۹	۱۰/۳۲ ±۰/٥۳ b	۱۷/۱۰ ± ۰/٤۹ b	۲/۰۸ ± ۰/٦۱ b	٤۳/۰۲ ± ۰/٥۷ b
	اسیدسالیسیلیک	۱/٦۲ ± ۰/۰٦	۱۰/۹۷ ±۰/٥۹ a	۱۷/۹٥ ± ۰/۸٥ a	۲/۸۹ ± ۰/٥۷ a	٤٤/٤۲ ± ۱/۱۲ a
سال	اول	۱/٥۹ ± ۰/۰۹	۱۰/٥۲ ± ۰/٦۱	۱۷/٤۹ ± ۰/٥۱	۲/۳۰ ± ۰/٦۷	٤۳/٤۳ ± ۰/۸٦
	دوم	۱/٦۲ ± ۰/۰۸	۱۰/۳۸ ± ۰/۷۲	۱۷/٤۰ ± ۰/٦٤	۲/٤٤ ± ۰/٦٤	٤۳/٦۲ ± ۱/۰٤

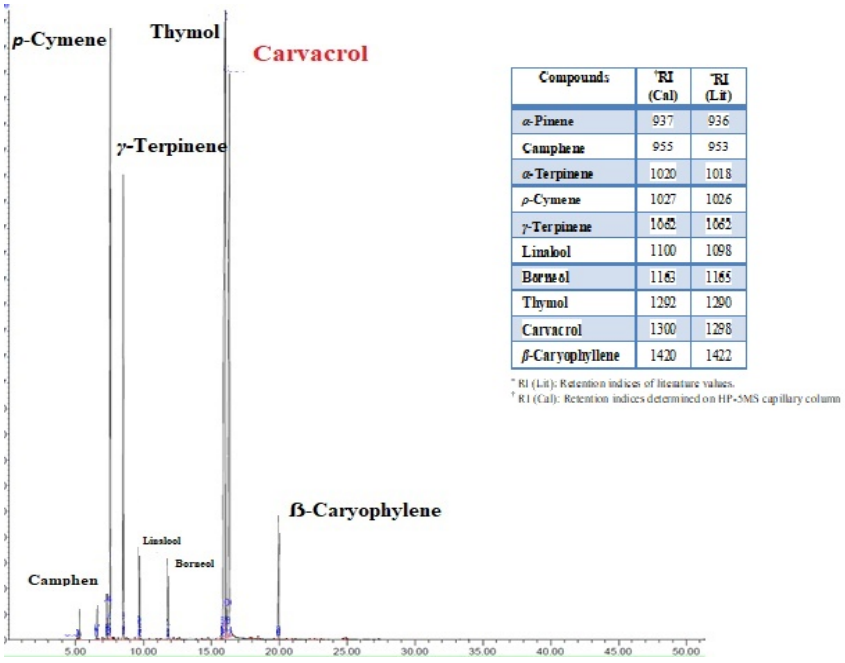
میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح ٥ درصد در یک گروه آماری قرار می‌گیرند.

در تجزیه اسانس با استفاده از GC و GC/MS در کل ۱۰ ترکیب با حدود ۸۹ تا ۹٦ درصد از کل اسانس گیاه مرزه بختیاری شناسایی شد که این ترکیبات به‌ترتیب بر اساس زمان بازداری (RT min) و شاخص بازداری محاسبه شده (RI cal) عبارت از آلفا-پینین، کامفن، آلفا-ترپینن، پارا-سیمن و گاما-ترپینن از گروه مونوترپن‌های هیدروکربنه؛ لینالول، برنئول، تیمول و کارواکرول از گروه مونوترپن‌های اکسیژنه که دو ترکیب اولی جزء الکی و دو ترکیب اخیر جزء فنلی و در نهایت بتا-کاریوفیلن جزء گروه سزکوئی‌ترپن‌های هیدروکربنه بودند (شکل ۳). برای بررسی اثرات تیمارهای مختلف مهمترین ترکیبات شیمیایی شناسایی شده شامل تیمول، پاراسیمن، گاما-ترپینن، بتا-کاریوفیلن و کارواکرول مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها قرار گرفتند. اثرات ساده محلول‌پاشی و آبیاری بر روی تیمول، پاراسیمن، بتا-کاریوفیلن و کارواکرول ($p \leq 0.01$)، برهم‌کنش محلول‌پاشی و آبیاری بر کارواکرول ($p \leq 0.01$) و

اثرات متقابل محلول‌پاشی، آبیاری و سال بر پاراسیمن ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بودند (جدول ۵). بیشترین میزان تیمول و بتا-کاریوفیلن در اسانس در شرایط کم‌آبیاری (به‌ترتیب ۱۰/۷۲ و ۲/۵۱ درصد) و نیز در زمان محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌ترتیب (۱۰/۹۷ و ۲/۸۹ درصد) شناسایی شد (جدول ٦). بیشترین درصد کارواکرول در شرایط کم‌آبیاری با کاربرد اسیدسالیسیلیک (٤٥/٦٥ درصد) مشاهده شد (شکل ٤). بالاترین میزان پارا-سیمن در سال اول آزمایش و شرایط کم‌آبیاری و کاربرد اسیدسالیسیلیک (۱۸/۵۸ درصد) به‌دست آمد. در خصوص اثرات متقابل تیمارها بر میزان ترکیبات مهم و مورد بررسی و تجزیه آماری مطابق با نتایج مندرج جدول ۷ مشخص شد که بالاترین غلظت‌های ترکیبات شامل کارواکرول (٤٥ درصد)، پارا-سیمن (۱۹ درصد)، تیمول (۱۱ درصد) و بتا-کاریوفیلن (۳ درصد) در هر دو سال آزمایش تحت تیمارهای کم آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسلیک به دست آمدند.



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر میزان کارواکرول



Compounds	†RI (Cal)	*RI (Lit)
α-Pinene	937	936
Camphene	955	953
α-Terpinene	1020	1018
ρ-Cymene	1027	1026
γ-Terpinene	1062	1062
Linalool	1100	1098
Borneol	1163	1165
Thymol	1292	1290
Carvacrol	1300	1298
β-Caryophyllene	1420	1422

* RI (Lit): Retention indices of literature values.
† RI (Cal): Retention indices determined on HP-5MS capillary column

شکل ٤: کروماتوگرام یونی‌کل (TIC) اسانس مرزه بختیاری توسط GC/MS

جدول ۷: اثرات متقابل آبیاری × اسید سالیسیلیک × سال بر میزان ترکیبات اسانس مرزه بختیاری

ترکیبات	RI cal	RI lit	آبیاری× شاهد × سال اول	آبیاری× شاهد × سال دوم	کم‌آبیاری× شاهد × سال اول	کم‌آبیاری× شاهد × سال دوم	آبیاری×سالیسیلیک × سال اول	آبیاری×سالیسیلیک × سال دوم	کم‌آبیاری×سالیسیلیک × سال اول	کم‌آبیاری×سالیسیلیک × سال دوم
آلفا-پینن	۹۳۷	۹۳۶	۳/۲۳	۳/۵۳	۳/۸۹	۳/۹۲	۳/۸۵	۳/۹۲	۳/۶٤	۳/۷۷
کامفن	۹۵۵	۹۵۳	۲/۵٤	۳/۲۲	۲/٤۸	۳/۰۳	۲/۷٦	۲/٦۱	۳/۰۱	۲/۹۳
آلفا-تریپنن	۱۰۲۰	۱۰۱۸	۳/۷٤	۳/۵۵	۲/۹٤	۳/۳٦	۳/۱۱	۳/۰۹	۳/٤۵	۳/۹٤
پارا-سیمن	۱۰۲۷	۱۰۲٦	۱٦/۸٤ b	۱٦/٤٤ b	۱۷/۰۱ b	۱٦/۹۰ b	۱۷/۳۳ ab	۱۷/۳۹ ab	۱۸/۵٤ a	۱۸/۷۰ a
گاما-تریپنن	۱۰٦۲	۱۰٦۲	۳/۱۳	۳/۲٤	۳/٤۷	۳/۳۵	۳/۱۹	۲/٦۹	۲/٤۰	۲/۳٦
لینالول	۱۱۰۰	۱۰۹۸	۳/٦۸	۳/۲۰	۲/۹۳	۳/٦۸	۳/٦۳	۳/۵٤	۳/۳۱	۳/۳٦
بورنئول	۱۱٦۳	۱۱٦۵	۲/۵۵	۲/۷۲	۲/۹۸	۲/۱۵	۲/۰۳	۲/۳۳	۲/۳٤	۲/۲۵
تیمول	۱۲۹۲	۱۲۹۰	۱۰/۱۱ b	۱۰/۲۳ b	۱۰/۱۷ b	۱۰/٤۱ b	۱۰/٦۹ ab	۱۰/۷۷ ab	۱۱/۱۵ a	۱۱/۳٦ a
کارواکرول	۱۳۰۰	۱۲۹۸	٤۰/۸۹ b	٤۱/۰۷ b	٤۱/۷٤ b	٤۰/۹٦ b	٤۱/۳۵ b	٤۲/۵٤ ab	٤۵/۰۳ a	٤٤/۷۳ a
بتا-کاریوفیلن	۱٤۲۰	۱٤۲۲	۲/۲٤ b	۲/۱۷ b	۲/۰۵ b	۲/۱۳ b	۲/۱۱ ab	۲/۵۷ ab	۳/۰۵ a	۲/۹٤ a
کل (درصد)			**۸۹**	**۹۰**	**۹۰**	**۹۰**	**۹۱**	**۹۲**	**۹٦**	**۹٦**

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح ۵ درصد در یک گروه آماری قرار می‌گیرند.

بحث

با توجه به نیاز صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی به مواد مؤثره گیاهان دارویی و معطر مانند اسانس، موجب شده کشت و تولید این گیاهان ارزشمند از اهمیت خاصی برخوردار باشند. در این راستا، تولید و توسعه کشت گیاه دارویی و معطر مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge.)، در شرایط خشک‌سالی چند ساله اخیر نیازمند بهره‌گیری از روش‌های نوین برای دستیابی به ماده موثره دارویی با کمیت و کیفیت بالاست. پژوهش حاضر، اثرات اسیدسالیسیلیک در دو سطح مختلف آبیاری را بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس مرزه بختیاری ارزیابی کرده است. با وجود آن‌که شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما این صفت بیش از هر عامل دیگری تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی قرار دارد (Carvalho et al., 2018)؛ با این حال در تحقیق حاضر، به جز اثر سال، اثرات سایر تیمارها بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج حاکی از آن بود که بیشترین میزان ارتفاع (۲۵/۳۹ سانتی‌متر) در سال اول تحقیق به دست آمد (جدول ٤). مطابق با اطلاعات هواشناسی مندرج در جدول ۱، احتمالاً میزان بارندگی و پراکنش مناسب‌تر آن در سال اول و هم‌چنین شرایط مناسب‌تر متوسط دمای ماهیانه و رطوبت نسبی، سبب رشد و فتوسنتز گیاه بیشتر در مقایسه با سال دوم و در نتیجه آن ارتفاع بیشتر گیاهان شده در مقایسه با سال دوم شده است. نتایج تحقیق Ghasemi Pirbalouti و همکاران (۲۰۱٤a)، بر روی آویشن دنایی با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

بر خلاف انتظار، میزان کلروفیل در تیمار کم‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری مطلوب به‌طور معنی‌داری افزایش داشت. به‌طوری‌که بیشترین میزان غلظت کلروفیل a و b (به ترتیب ۸/۸۷ و ۲/٦۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در تیمار کم‌آبیاری به‌دست آمد (جدول ٤). غلظت‌های کلروفیل a (۵۷ درصد)، b (٤٦ درصد) و کل (۵۵ درصد) در مقایسه با شرایط شاهد یا بدون کم آبیاری افزایش نشان داد. در اثر ساده محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، میزان این صفات نسبت به شاهد روند کاهشی نشان داد (جدول ٤). شاخص کلروفیل برگ‌ها یک شاخص مفید برای بهره‌وری از پتانسیل فتوسنتزی گیاه می‌باشد (Aghaei et al., 2019). شاید بتوان گیاه مرزه بختیاری را با توجه به بررسی‌های انجام شده در خصوص اوت اکولوژی آن گونه، جزء گیاهان متحمل به خشکی قرارا داد که احتمالاً این گیاه C_3 می‌تواند در برگ‌های خود با حفظ فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش سنتز ATP مانع از تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها شده و اقدام به حفظ کلروفیل خود می‌کند (Koocheki et al., 2008). به طورکلی به نظر می‌رسد، مرزه بختیاری با به‌کارگیری برخی مکانیسم‌های دفاعی از قبیل افزایش تجمع کلروفیل، خود را با شرایط کم‌آبی سازگار می‌کند. مشابه نتایج تحقیق حاضر، نتیجه برخی پژوهش‌ها حاکی از اثرات مثبت تنش کم‌آبی ملایم بر میزان کلروفیل در تیره نعناعیان مانند آویشن دنایی (Emami Bistgani et al., 2017) است که افزایش میزان کلروفیل را در پی داشته است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر ساده سال بر وزن خشک گیاه معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ٤). بدیهی است که وزن تر و خشک گیاه با افزایش سن گیاه در سال‌های بعد افزایش می‌یابد، با توجه به این‌که مرزه بختیاری، گیاهی چند ساله است و در رویشگاه‌های طبیعی با اقلیم سرد و نیمه خشک رشد می‌کند بنابراین مطابق با نتایج عملکرد ماده خشک (۷ درصد) و تر (۱۰ درصد) سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول بود.

استفاده از اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار وزن تازه گیاه در شرایط کم‌آبیاری شد (شکل ۱). به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق ایجاد و ارسال سیگنال در تمام بخش‌های گیاه، سبب رها شدن پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، تجمع فیتوالکسین‌ها و ایجاد حالت دفاعی در گیاه هنگام مواجهه با تنش‌های محیطی شده و در نهایت تعرق کاهش یافته و مقدار آب مورد نیاز برگ حفظ شده و تقسیم سلولی و رشد سلولی به‌صورت مطلوب‌تری نسبت به حالت عدم مصرف اسید سالیسیلیک صورت می‌گیرد (Mousavi et al., 2021). بر خلاف انتظار، تنش کم‌آبی موجب کاهش ماده خشک گیاه نشد. احتمالاً مرزه بختیاری در شرایط تنش کم‌آبی، اقدام به حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل خود کرده و به دنبال آن مانع کاهش وزن خشک گیاه شده است، نتایج مطالعه Ghasemi Pirbalouti و همکاران (۲۰۱٤a)، نشان داد که تنش خشکی و اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک و تر گیاه آویشن دنایی نداشت.

بیشترین میزان پرولین در تیمار کم‌آبیاری و در زمان عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (شکل ۲). در شرایط تنش کم‌آبی، به دلیل تجزیه پروتئین‌ها، مواد محلولی مانند پرولین در سلول تجمع کرده و منجر به کاهش پتانسیل اسمزی، جذب آب، حفظ حالت تورگر سلول‌ها و افزایش مقاومت به تنش کم‌آبی می‌شود، هرچند اتکاء گیاهان به پرولین برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر است و منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Carvalho et al., 2018). در تحقیق حاضر، در تیمار کم‌آبیاری، میزان افزایش پرولین در حالت شاهد بیشتر از زمان محلول‌پاشی بوده است که دلیل این امر می‌تواند اثر کاهنده تنش به‌واسطه محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باشد. اسیدسالیسیلیک، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را فعال کرده و با افزایش فعالیت آن‌ها موجب پاک‌سازی اکسیژن‌های رادیکال آزاد (ROS) ایجاد شده در اثر تنش می‌شود (Akbari and Maleki, 2018). مشابه نتایج این تحقیق، Akbari and Maleki (۲۰۱۸)، نشان دادند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند اثرات منفی تنش کم‌آبی را در لوبیا کاهش دهد.

در این تحقیق، میزان اسانس در شرایط کم‌آبیاری نسبت به شرایط آبیاری مطلوب افزایش پیدا کرد (جدول ٦). نتایج بسیاری از تحقیقات نیز مؤید آن است که کمبود آب، متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها را در گیاهان مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. عموماً تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان تحت شرایط خشک‌تر، تمایل به افزایش دارد، زیرا در موارد تنش متابولیت‌های ثانویه بیشتری تولید شده و در بیشتر موارد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون درون سلولی می‌شوند (Akbari and Maleki, 2018). تنش خشکی سبب بالا رفتن تراکم غده‌های حاوی ترپن‌ها در برگ شده و مقدار تجمع اسانس را در برگ افزایش می‌دهد. هم‌چنین، مواد موثره مانند اسانس توسط گیاهان، به علت سازش گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی ساخته می‌شود و سیگنال‌های این تنش‌ها برای سلول گیاهی به‌عنوان الیسیتور عمل می‌کنند (Pradhan et al., 2017). نتایج پژوهش Shariat و همکاران (۲۰۱۸) بر روی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm) نشان داد که بیشترین میزان اسانس در شرایط تنش خشکی ملایم به‌دست آمد.

مهمترین ترکیبات شناسایی شده اسانس مرزه بختیاری تیمول، پاراسیمن، گاما-ترپینن، بتا-کاریوفیلن و کارواکرول بودند (شکل ۳). بیشترین میزان تیمول و بتا-کاریوفیلن در اسانس در شرایط کم‌آبیاری (به‌ترتیب ۱۰/۷۲ و ۲/۵۱ درصد) و نیز در زمان محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌ترتیب (۱۰/۹۷ و

۲/۸۹ درصد) شناسایی شد (جدول ٦). بیشترین درصد کارواکرول در شرایط کم‌آبیاری با کاربرد اسیدسالیسیلیک (٤٥/٦٥ درصد) مشاهده شد (شکل ٤). بالاترین میزان پارا-سیمن در سال اول آزمایش و شرایط کم‌آبیاری و کاربرد اسیدسالیسیلیک (۱۸/۵۸ درصد) به‌دست آمد. هیچ کدام از تیمارها بر میزان گاما-ترپینن تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). ترکیبات عمده گونه‌های جنس مرزه مونوترپن‌های فنلی مانند تیمول و کارواکرول می‌باشند که اغلب به همراه پاراسیمن و گاما-ترپینن وجود دارند که این گروه از ترکیبات فنلی دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی قوی هستند (Nooshkam et al., 2017).

کارواکرول یک مونوترپنوئید فنلی است که در سازگاری گیاهان با شرایط محیطی نقش به‌سزایی دارد (Hadian et al., 2011). در این تحقیق، کیفیت اسانس که به‌عنوان درصد ترکیبات شیمیایی بیان می‌شود، در شرایط کم‌آبیاری افزایش معنی‌داری نشان داد. تنش کم‌آبی بر اثر تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه از طریق مسیرهای متابولیکی و نیز تغییر در فعالیت آنزیم‌ها و متابولیسم گیاهان دارویی و معطر، باعث تغییرات در ترکیب‌های اسانس می‌شوند (Ghassemi Pirbalouti et al., 2017; Babaei et al., 2021). به‌نظر می‌رسد بالا رفتن میزان تیمول، بتا- کاریوفیلن، کارواکرول و پاراسیمن در تیمار اسید سالیسیلیک برای تنظیم سازگاری گیاه نسبت به تنش کم‌آبی صورت گرفته و یک نوع جریان دفاعی برای استمرار تعادل فعالیت‌های حیاتی گیاه در شرایط تنش می‌باشد. Mohammadi و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که مهمترین ترکیب‌های اسانس گیاه مرزه سهندی در سطوح مختلف تنش کم‌آبی شامل تیمول، پاراسیمن و گاما-ترپینن بود و افزایش معنی‌دار در محتوای این ترکیبات به ترتیب در شرایط تنش کم‌آبی ٤٠ و ٧٠ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

اعمال تنش کم‌آبی موجب تغییرات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی معنی‌داری در گیاه مرزه بختیاری شد؛ اما اثرات معنی‌داری بر اکثر صفات مورفولوژیکی نداشت؛ این در حالی است که میزان پرولین، کلروفیل *a*، *b* و کل، میزان اسانس و برخی ترکیبات فیتوشیمیایی مهم اسانس با اعمال تنش کم‌آبی افزایش یافتند. محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک به‌عنوان یک عامل دفاعی در برابر تنش کم‌آبی موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های رشدی و کمیت و کیفیت اسانس مرزه بختیاری شد. در این مطالعه، بیشترین درصد مونوترپن‌های هیدروکربنه مانند *پارا*-سیمن و مونوترپن‌های فنلی مانند تیمول و کارواکرول و سزکوئی‌ترپن‌های هیدروکربنه مانند بتا-کاریوفیلن در اسانس مرزه بختیاری تحت تیمار در شرایط تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد، در مقابل هیچ ترکیب تیماری اثر معنی‌داری بر میزان *گاما*-ترپینن نداشت. در نهایت، با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی برای حفظ و ثبات عملکرد کمی و کیفی ماده موثره گیاه دارویی مرزه بختیاری در شرایط اقلیمی مناطق سرد و نیمه خشک شبیه شهرکرد پیشنهاد می‌شود.

References

Adams, R.P. 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography/ quadrupole mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL.

Aghaei, K., Pirbalouti, A.G., Mousavi, A., Badi, H.N. and Mehnatkesh, A. 2019. Effects of foliar spraying of 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.

Akbari, J. and Maleki A. 2018. The effect of ascorbic acid and salicylic acid foliar on vegetative properties and yield and yield components of *Vigna unguiculata* L. under drought stress. Applied Research of Plant Ecophysiology, 4(2): 159-180.

Alavi-Samany, 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 Cr

ops and Products, 114330. Accepted.

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.

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.

Bakhtiar, A., Khaghani, S., Ghasemi Pirbalouti, A., Gomarian, M. and Chavoshi, S. 2021. Essential oil variation among different populations of *Ziziphora tenuior* L. cultivated at semiarid climate, Essential Oil Research: 1-9.

Bates, L.S. and Waldern, R.P. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.

Carvalho, M.E.A., Castro, P.R.C., Gaziola, S.A. and Azevedo, R.A. 2018. Is seaweed extract an elicitor compound Changing proline content in drought-stressed bean plants. Comunicata Scientiae, 9(2): 292-297.

Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hashemi, M. 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. The crop journal, 5: 407-415.

Ghasemi Pirbalouti, A., Samani, M.R., Hashemi, M. and Zeinali, H. 2014a. Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. Plant Growth Regulation, 72(3): 289-301.

Ghasemi Pirbalouti, A., Rahimmalek, M., Elikaei-Nejhad, L. and Hamedi, B. 2014b. Essential oil compositions of summer savory under foliar application of jasmonic acid and salicylic acid. Essential Oil Research, 26(5): 342-347.

Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., Golparvar, A. and Hamedi, B. 2017. Effects of foliar of the application chitosan and reduced irrigation on essential oil yield, total phenol content and antioxidant activity of extracts from green and purple basil. Acta Scientlarum. Polonorum Hortorum Cultus, 16(6): 177–186.

Hadian, J., Mirjalili, M.H., Kanani, M.R., Salehnia, A. and Ganjipoor, P. 2011. Phytochemical and morphological characterization of *Satureja khuzistanica* Jamzad. populations from Iran. Chemistry and Biodiversity, 8: 902-915.

Hashemi, S.M.B. and Khodaei, D. 2020. Antimicrobial activity of *Satureja Khuzestanica* Jamzad and *Satureja bachtiarica* Bunge essential oils against *Shigella flexneri* and *Escherichia coli* in table cream containing *Lactobacillus plantarum* LU5. Food Science & Nutrition, 8: 5907–5915.

Janda, M. and Ruelland, E. 2015. Magical mystery tour: salicylic acid signalling. Environmental and Experimental Botany, 114: 117-128.

Khademian, R., Karimzadeh, F., Moradi, P. and Asghari, B. 2019. Anti-microbial properties of *Valeriana officinalis*, *Satureja bachtiarica* and *Thymus daenensis* methanolic extracts against helicobacter pylori Pharmaceutical Research International, 26(6): 1-7.

Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M. and Azizi G. 2008. Effect of drought, salinity, and defoliation on growth characteristics of some medicinal plants of Iran. Herbs Spices Med. Plants, 14: 37–53.

Mehravaran, L., Omidi, M., Naghavi, M.R. and Fakheri, B.A. 2021. Effect of salicylic acid and yeast extract on biochemical change and expression of two important genes in Stevia. Modern

Genetics Journal, 16(2): 91-102. (In Farsi)

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.

Mirjalili, A., Lebaschi, M.H., Ardakani, M.R., Heidari Sharifabad, H. and Mirza, M. 2021. Physiological, biochemical and antioxidant responses of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) to manure application and plant density under dry land farming condition. Medicinal Plants and By-products, 1: 93-101.

Mohammadi, H., Pourmohammad, P. and Hazrati, S. 2021. Phytochemical and physiological study of *Satureja sahendica* Bornm. essential oil and extract to water-deficit stress. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 1: 1-19. (In Persian)

Momeni, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A. and Badi, H.N. 2020. Effect of foliar applications of salicylic acid and chitosan on the essential oil of *Thymbra spicata* L. under different soil moisture conditions. Essential Oil Bearing Plants, 23(5): 1142-1153.

Mousavi, A.S., Naeemi, M., Ghilizadeh, A. and Rahemi Karizaki, A. 2021. The Effect of elicitors on some physiological characteristics, essential oil percentage and yield in hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under different irrigation regimes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(2): 415-424.

Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A. and Morshedloo, M.R. 2017. Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of *Satureja* (*S. kuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 6: 126-130.

Pradhan, J., Sahoo, S.K, Lalotra, S. and Sarma, R.S. 2017. Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. Plant Sciences, 12(2): 309-313.

Shariat, A., Karimzadeh, G., Assareh, M.H. and Hadian, J. 2018. A promising application of drought stress for increasing product quality of Iranian endemic *Satureja sahendica* Bornm. Field Crop Sciences, 49(1): 167-177.

Shariat, A. and Sefidkon, F. 2020. Investigation of pollination system and self-incompatibility in two species of *Satureja sahendica* and S. *bachtiarica*. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 27(2): 204-215. (In Farsi).