فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۵۹، فروردین و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۴۷-۲۶۹
https://doi.org/10.22034/13.59.247

مقاله پژوهشی

خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس مرزه بختیاری (*Saturjea bachtiarica*) تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دوره‌های مختلف آبیاری

مهراب یادگاری

مرکز تحقیقات تغذیه و محصولات ارگانیک، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳)

چکیده

تحقیق حاضر در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت کرت‌های یکبار خرد شده در جهت ارزیابی محرک‌های رشدی آلی و الکلی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی، اسانس و ترکیبات اسانس مرزه بختیاری انجام گردید. تیمارهای دوره آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی برگی محرک‌های آلی (کیتوزان، اسید سالیسیلیک و فنیل آلانین) و الکلی (متانول، اتانول و استون) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، محرک‌های آلی و الکلی به‌طور معنی‌داری بر صفات مورفوفیزیولوژیک و اسانس گونه‌های مرزه تأثیر داشتند. بالاترین محتوای کلروفیل (۱/۳۷- ۱/۴۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و فنول (۲/۳۴-۲/۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمارهای کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، اتانول (۱۰٪) و فنیل آلانین (۱ گرم در لیتر) تحت دور آبیاری ۳ و ۶ روز به دست آمد. بیشترین میزان اسانس (۱/۶۱-۱/۵۹ درصد) در گیاهان تحت تیمار با کیتوزان (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۱ گرم در لیتر) با دوره آبیاری ۶ روز یکبار بوجود آمد. مشخص گردید که مونوترپن‌های حلقوی عامل اصلی تعیین‌کننده کیفیت شامل پی- سایمن (۳۵/۴-۲۰/۱ ٪)، گاما-ترپینن (۱۷/۷۴-۶/۷۱٪)، کارواکرول (۳۶/۵۴- ۲۲/۱۴ ٪)، آلفا-ترپینن (۲/۵۶-۰/۶۵ ٪)، جرماکرن-دی (۲/۰۱-۰/۶۵ ٪) و تیمول (۱/۴۵-۰/۵۴ ٪) هستند. محلول‌پاشی کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، اتانول (۱۰ ٪) و فتیل آلانین (۱ گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری باعث افزایش مونوترپن‌های الکلی در اسانس گیاهان مرزه شد. استفاده از کیتوزان با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر می‌تواند نقش مؤثری در بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس مرزه بختیاری تحت شرایط مشابه اقلیمی داشته باشد.

کلمات کلیدی: آبیاری، اتانول، کارواکرول، کیتوزان، محلول‌پاشی

مقدمه

مرزه (*Satureja* sp.) گیاهی متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae)، بومی مناطق مدیترانه شرقی و غرب آسیا است. در ایران این جنس ۱۲ گونه علفی یکساله و چند ساله دارد که ۹ گونه آن (*S. mutica* Fisch, *S. bachtiarica* Bunge, *S. spicigera* (C.Koch)Boiss, *S. atropatana* Bunge, *S. sahendica* Bornm, *S. avromanica* Maroofi, *S. macrantha* C.A.Mey, *S. khuzistanica* Jamzad, *S. rechingeri* Jamzad) مختص ایران است. این گونه‌ها در مناطق با اقلیم مرطوب و خاک‌های عمیق تا مناطق با اقلیم خشک آفتابی و خاک‌های سنگلاخی رشد می‌کنند. مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge) از گونه‌های انحصاری مرزه در ایران است. ارتفاع گیاهان این گونه، ۲۰ الی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mehrabyadegari@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

۳۰ سانتی‌متر با قاعده چوبی، میان‌گره‌های کوتاه، ساقه‌های خاکستری، با کرک‌های کوتاه و نرم، انشعابات گل‌دار افراشته و گل‌ها در خوشه‌ها دارای چندین گل هستند. برگ‌ها به صورت مجتمع در طول ساقه قرار گرفته‌اند. رویشگاه طبیعی این گونه در مناطق غرب ایران و از جمله استان چهارمحال و بختیاری است (Mozaffarian, 2008). ترکیبات شیمیایی موجود در مرزه شامل کارواکرول، پی- سایمن، آلفا و گاما- ترپینن، ژرماکرن- دی، تیمول است (Yadegari, 2022). 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 آن‌هاست (Thakur and Kumar, 2020). **با** توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی یکی از مسائل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. این تنش منجر به افزایش مقادیر اسانس گیاهان دارویی آویشن دنایی (*T. daenensis* L.)، آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) (Askary *et al.*, 2018)؛ ترخون (*Artemisia dracunculus*) (Mumivand, *et al.*, 2021)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis*)، و جعفری (*Petroselinum crispum*) (Kandil *et al.*, 2016)، اسانس و ماده مؤثره تیمول، مالون دی‌آلدئید و فنول همیشه‌بهار مکزیکی (*Tagetes minuta*) (Babaei *et al.*, 2021)، افزایش راندمان مصرف آب، اسیدهای فنولیک، فلاونوئید و کربوهیدرات‌های محلول در آب در چچم (*Lolium multiflorum*) و علف بره (*Festuca arundinacea*) (Fariaszewska *et al.*, 2020)؛ کاهش پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص، تعرق و افزایش سزکویی‌ترپن‌های گونه‌ای از مریم‌گلی (*Salvia dolomitica* Codd) (Caser *et al.*, 2019) گردید. این تنش منجر به افزایش مقادیر آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز دیسموتاز و پرولین گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) (Hayati *et al.*, 2021). آنزیم آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز گیاه بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica*) (Ghanbarzadeh *et al.*, 2019)؛ شد. 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 (Albergaria *et al.*, 2020). در تنش خشکی اسیدهای آمینه، قندها و متابولیسم تحت تأثیر قرار می‌گیرند. تنش خشکی با اختلال در فتوسنتز و تنفس، درصد و ترکیب شیمیایی اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pradhan *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای مشخص شد که تنش خشکی اثر افزایش و معنی‌داری بر میزان متیل کاویکول به عنوان یکی از ترکیبات مهم اسانس در ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) دارد (Malekpoor *et al.*, 2017). تنش خشکی در حد ملایم و متوسط توانسته میزان برخی ترکیبات مؤثره و مهم نظیر تیمول یک ترکیب فنلی را در گیاه دارویی آویشن افزایش دهد (Abdi *et al.*, 2022; Askary *et al.*, 2018; Zakerian *et al.*, 2020). 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 است (Zandalinas *et al.*, 2017)، لذا ارائه‌ی روش‌هایی که گیاه بتواند ماده مؤثره بیشتر تولید نماید، ضروری به نظر می‌رسد که باید به طور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد. از جمله روش‌هایی که به منظور افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله ترپنوئیدها به کار می‌رود، استفاده از محرک‌های زیستی و غیرزیستی است (Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013; Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2017). 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 (Alavi Samany *et al.*, 2022; Fooladi Vanda *et al.*, 2019). افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد از اثرات این محرک‌های رشدی است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

(Kheiri *et al.*, 2020; Yadegari, 2018). تیمار گیاهان با محرک‌ها، مشابه حمله عوامل بیماری‌زا، موجب بروز آرایشی از عکس‌العمل‌های دفاعی، از قبیل تجمع مجموعه‌ای از متابولیت‌های ثانویه‌ی 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 (Thakur and Kumar, 2020). از محرک‌های رشدی دارای پایه آلی می‌توان اسید سالیسیلیک، فنیل آلانین و کیتوزان را نام برد. کیتوزان از ترکیبات اصلی دیواره سلولی بسیاری از گونه‌های قارچی، میگو و خرچنگ است که برای بهبود ساخت متابولیت‌های ثانویه‌ی گیاهان دارویی، استفاده می‌شود (Dzung, 2011; Falcon-Rodriguez *et al.*, 2009). از صفات کیتوزان می‌توان به دارا بودن خاصیت ضدویروسی، ضد قارچی، ضدباکتریایی، غیرسمی، غیرآلرژیک بودن، امکان تشکیل ترکیبات پیچیده با یون‌های فلزی و هیدروکربن آروماتیک، ابرجاذب بودن، قابلیت فوق‌العاده برای تبدیل به مواد و مشتقات متعدد در شرایط مختلف، انحلال در محلول‌های اسید آلی ضعیف مانند اسید لاکتیک و اسید استیک و افزایش عملکرد اشاره نمود (Dzung, 2011). در این راستا کیتوزان باعث افزایش مقادیر آرتمیزین درمنه (*Artemisia annua*) (Caiyan *et al.*, 2011)، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیولیاز توتون (*Nicotiana tabacum*) (Falcon-Rodriguez *et al.*, 2009)، لیگنان و فنیل پروپانویید کتان سفید (*Linum album*) (Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013)، عملکرد اسانس گیاهان دارویی ریحان (*Ocimum basilicum*) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2021)، مرزه (*Satureja hortensis* L.) (Alizadeh *et al.*, 2020)، مرزنگوش (*Origanum vulgare*) (Heng *et al.*, 2012)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Ahmad *et al.*, 2017)، آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) (Emami-Bistgani *et al.*, 2017) و صفات مورفولوژیکی گونه‌ای از گیاه مرزنگوش (*Greek oregano*) (Heng *et al.*, 2012) گردید. از دیگر محرک‌های آلی اسید سالیسیلیک بوده که کاربرد آن منجر به افزایش مقدار اسانس و تحمل به خشکی گیاهان دارویی آویشن (Abdi *et al.*, 2022; Mohammadi *et al.*, 2019)، مریم‌گلی (Yadegari, 2018)، بومادران (*Achillea millefolium* L.) (Gorni *et al.*, 2020)، زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) (Shaykh-Samani *et al.*, 2023) و افزایش مقادیر فنیل‌پروپانوئید کنگرفرنگی (*Cynara scolymus*) (Zamani *et al.*, 2016)، شد. محلول‌پاشی توأم اسید سالیسیلیک، کیتوزان و فنیل آلانین، منجر به افزایش اسانس و ترکیبات اسانس گیاه دارویی مرزه (Poorghadir *et al.*, 2020) و گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) (Rajabzadeh *et al.*, 2023) شد.

از جمله محرک‌های الکلی اثربخش بر رشد و نمو گیاه می‌توان اتانول، متانول و استون را نام برد. متانول به صورت فرم آلدهید و دی‌اکسید کربن در گیاه، اکسید شده و به صورت اسیدهای آمینه (سرین و متیونین) و کربوهیدرات‌ها، در بافت‌های مختلف گیاهان سنتز می‌شوند. افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد از اثرات این محرک‌های الکلی است (Nonomura and Benson, 1992). محلول‌پاشی اتانول و متانول منجر به افزایش طول عمر گل و برگ گیاه سوسن (*Alstroemeria hybrida*) (Yaghoubi Kiaseh and Yadegari, 2015)، افزایش ترکیبات ثانویه و مؤثره ریحان (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni) (Moghaddam *et al.*, 2018)، افزایش تحمل به شوری در گیاه ژرانیوم (*Pelargonium graveolens*) (Vojodi Mehrabani, 2019)، افزایش ماده خشک و میزان ترکیبات ثانویه گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) (Mousavi *et al.*, 2022) شد.

از آنجایی که هدف از تولید تجاری گیاهان دارویی، به دست آوردن مقدار بیشتری ماده خشک در واحد سطح است که دارای مقادیر بالاتری از مواد مؤثره نیز باشد، آگاهی از عوامل مدیریتی مناسب جهت به دست آوردن پتانسیل عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری بسیار حائز اهمیت است. لذا معرفی مناسب‌ترین غلظت از محرک‌های رشدی تحت شرایط کم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

آبیاری در جهت بالا بردن عملکرد و میزان ماده مؤثره در گیاه دارویی مرزه امری ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به بررسی منابع، تاکنون تحقیق جامعی راجع به اثرگذاری محلول‌پاشی اتانول، متانول و استون (محرک‌های الکلی) و اسید سالیسیلیک، فنیل آلانین و کیتوزان (محرک‌های آلی) بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس مرزه انجام نشده است. این پژوهش در جهت یافتن بهترین محرک رشدی برای بدست آوردن بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و کمیت و کیفیت اسانس دو گونه مرزه انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح تحقیق: پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد 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. این تحقیق به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه سطح آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) به عنوان کرت‌های اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی برگی در سه مرحله (قبل از گلدهی، شروع گلدهی و ۵۰ درصد گلدهی) در کرت‌های فرعی؛ انجام شد. طی دوسال زراعی تیمارهای پایه الکلی شامل متانول (۱۰ و ۲۰ درصد)، اتانول (۱۰ و ۲۰ درصد) و استون (۱۰ و ۲۰ درصد) و پایه آلی شامل کیتوزان (۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر)، اسید سالیسیلیک (۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) و فنیل آلانین (۱ و ۲ گرم در لیتر) و تیمار شاهد (بدون هر نوع محلول‌پاشی) برای این پژوهش انتخاب شد. برای تهیه محلول فنیل آلانین، با حل کردن به ترتیب؛ ۱ و ۲ گرم در یک لیتر آب، محلول‌های مورد نظر به دست آمد. با توجه به جرم مولکولی اسید سالیسیلیک (۱۳۸/۱۲گرم بر مول)، برای تهیه اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار، ۲۰۷/۱۸ گرم و برای تهیه محلول اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار، ۴۱۴/۳۶ گرم، از آن، ابتدا در الکل اتانول ۷۰ درصد حل نموده و سپس با آب، به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای تهیه‌ی کیتوزان ۰/۲۵ و ۰/۵۰ گرم در لیتر، به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵۰ گرم کیتوزان در یک لیتر آب حل شد. خصوصیات اقلیمی و خاکشناسی منطقه در جدول ۱ و خصوصیات آب آبیاری در جدول ۲ آمده است.

کاشت گیاه: زمین مورد نظر در پاییز شخم زده شده و سپس در بهار پس از مساعد شدن شرایط آب وهوایی کرت اصلی در هر تکرار (بلوک) به عرض حدود ۷ متر و طول ۲ متر (۲×۷) با فاصله ۱/۵ متر از همدیگر آماده و سپس هر کدام از کرت‌ها به سه قسمت مساوی به عرض حدود ۲ متر با فاصله ۰/۵ متر ازهم دیگر مجزا و آماده به کشت شدند. این کار در هر تکرار (بلوک) انجام شده و فاصله هر بلوک از هم ۲ متر و جهت انجام کار عمود بر شیب زمین بود. نشاءهای ۴-۶ برگی دو گونه مرزه تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان، در سال اول در تاریخ ۲۱ اردیبهشت ماه و در سال دوم در ۲۷ اردیبهشت ماه در کرت‌های آزمایشی کاشت شدند و بلافاصله آبیاری انجام شد.

برداشت نمونه‌ها: نمونه‌های گیاهی، در زمان گلدهی کامل به طور جداگانه از هر کدام از تیمارهای تحت آزمایش در سال اول در ۱۵ شهریورماه و در سال دوم در ۲۲ شهریورماه جمع آوری گردید. همچنین از برگ گیاهان تیمارشده جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی، نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌های برداشت‌شده در مزرعه بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و بعد از برچسب زدن نام تیمار در تانک حاوی نیتروژن مایع قرار داده و به آزمایشگاه انتقال داده شد.

اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی: کلروفیل کل با استفاده از روابط ارائه‌شده در منابع علمی با دستگاه اسپکتروفتومتر Varian، مدل CARY-100 به شرح زیر محاسبه شد. در این روابط، A663 و A645 به ترتیب، میزان خواندن جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر است (Dere *et al.*, 1998):

$$\text{Chl total (mg/L)} = (20.21 \times A645) + (8.02 \times A663)$$

نهایتاً غلظت رنگیزه‌ها در نمونه‌های برگ به کمک رابطه زیر و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد:

$$\text{رنگیزه برگ} = Cx \times Ve \times D / Ws \times 1000$$

در رابطه ذکرشده، Cx غلظت محاسبه‌شده رنگیزه (میلی‌گرم در لیتر)، Ve حجم کل عصاره (میلی‌لیتر)، D فاکتور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۱- مشخصات خاکشناسی و اقلیمی محل پژوهش

خصوصیات	۱۴۰۱	۱۴۰۲
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۸۳/۸	۸۲/۱
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۱۲	۲۰۹/۲
نیتروژن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۰۸	۰/۰۹
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۲	۰/۴۱
کربن آلی (٪)	۰/۸۵	۰/۷۷
اسیدیته	۷/۳	۷/۴
متوسط بارندگی (میلی‌متر)	۳۰۹/۳	۳۱۱/۱
متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	۱۱/۲	۱۱/۶
متوسط حداکثر درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	۲۱/۸	۲۲/۶
متوسط حداقل درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	-۱۲/۱	-۱۲/۴

جدول ۲- مشخصات آب مورد استفاده جهت آبیاری

اسیدیته	هدایت الکتریکی	کل املاح محلول	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی‌کربنات
	(میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	(میلی‌گرم در لیتر)	(میلی اکی‌والان در لیتر)					
۸/۱۱	۳۸۷	۲۴۷/۹۳	۰/۷۶۳	۰/۱۶	۲/۲۸	۱/۴۳	۰/۹۱	۳/۴۲

ادامه جدول ۲-

کربنات	سولفات	کادمیوم	آهن	مس	منگنز	روی	نیترات
(میلی اکی‌والان در لیتر)							
۰/۲۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۳/۶۷

رقت و Ws وزن تر نمونه برگ (گرم) است. پرولین نمونه‌های برگ براساس میکرومول در گرم وزن تر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر و با استفاده از تولوئن به عنوان محلول مرجع، محاسبه شد (عدد ۱۱۵/۵ وزن مولکولی پرولین است) (Bates *et al.*, 1973).

[۱۱۵/۵ (میکروگرم در میکرومول)/حجم عصاره × پرولین عصاره]×[وزن نمونه/۵]

در این رابطه حجم عصاره برحسب میلی‌لیتر، پرولین عصاره برحسب میکروگرم در میلی‌لیتر و وزن نمونه براساس گرم است.

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 (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ 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 پنج دقیقه، ۰/۲ میلی‌لیتر محلول بی‌کربنات سدیم ۷ ٪ و ۰/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر به محلول اضافه شد و 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 خوانده و محتوای ترکیبات فنولی کل عصاره‌ها برحسب میلی‌گرم اسید گالیک به کیلوگرم وزن تر اندام هوایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

محاسبه شد (Marinova *et al.*, 2005).

برای اسانس‌گیری، پس از برداشت نمونه‌های گیاهی، به منظور 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 ۳۰-۲۵ 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 شیشه آلات ایران) و براساس درصد وزنی، صورت گرفت که برای هر نمونه مدت تقریبی دو ساعت به طول انجامید. اسانس گیاهان مورد نظر 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 شد. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداری آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود درکتب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری (Wiley and NIST) صورت گرفت.

پس از انجام آزمون همگنی واریانس‌های خطای آزمایشی (بارتلت) و مشخص شدن عدم معنی‌داری در هر دو سال، تجزیه مرکب اطلاعات برآمده از پژوهش به‌واسطه نرم‌افزار آماری SASver.9 انجام شد. مقایسات میانگین اسانس و ترکیبات اسانس از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (L.S.D) در سطح ۱ ٪ 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

صفات مورفوفیزیولوژیکی: نتایج دو ساله اطلاعات برآمده از این پژوهش نشان داد که میزان عملکرد ساختار هوایی، محتوای نسبی آب برگ، مقادیر کلروفیل و فنول کل گیاهان مرزه تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق، تغییرات چشم‌گیری داشتند (جدول ۳) و در گروه‌های مختلف قرار گرفتند (جدول‌های ۴-۶). تیمار کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر) میزان عملکرد ساختار هوایی را به ۴۰۲/۱ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم به ۳۸۹/۸۷ کیلوگرم در هکتار در دور آبیاری سه روز یکبار رساند. عملکرد ساختار هوایی تیمار شاهد در دو سال انجام پژوهش به ترتیب به میزان ۱۸۱/۱۲ و ۱۷۵/۹ کیلوگرم در هکتار در دور آبیاری ۹ روز یکبار بود. لذا استفاده از تیمار کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر) و کاهش دور آبیاری از ۹ به ۳ روز یکبار در هر دو سال انجام تحقیق، بیش از یکصد درصد افزایش عملکرد ماده خشک ایجاد نمود (جدول‌های ۴-۶). در دیگر صفات مورفوفیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب برگ، کل فنول، کل کلروفیل و تعداد شاخه اصلی نیز کاربرد تیمارهای کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، اتانول (۱۰ ٪) و فنیل آلانین (۱ گرم در لیتر) منجر به افزایش چشم‌گیر گردید. فتوسنتز از مهم‌ترین واکنش‌های حیاتی در گیاه است که نقش تعیین‌کننده در عملکرد و همچنین خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارد. استفاده از ترکیبات محرک رشد، به گیاه کمک می‌کند تا بر عوامل بازدارنده رشدی غلبه کند. این ترکیبات با تحت تأثیر قرار دادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Ali *et al.*, 2021). براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، محلول‌پاشی گیاهان مرزه با محرک‌های آلی و الکلی موجب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه گردید که همراه با افزایش میزان اسانس بود. متانول به عنوان یک محرک در فرم آلدئید، اکسید شده و به صورت اسیدهای آمینه (سرین و متیونین) و کربوهیدرات‌ها، در بافت‌های مختلف گیاهان سنتز می‌شود. متانول به صورت محلول‌پاشی برگی بر روی چندین محصول C_3 در مناطق گرم و خشک استفاده شده که افزایش ماده تر و کارآیی مصرف آب (WUE) به واسطه اثر محرک متانول بر روی گیاهان اثبات گردید (Nonomura and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب مربعات صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان مرزه بختیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	کل فنول	کل کلروفیل	پرولین	عملکرد	تعداد شاخه اصلی
سال (Y)	۱	۲۷/۱**	۳۵/۱**	۲۹/۱**	۰/۹۹^{ns}	۲۴/۱**	۲۱/۶**
سال در تکرار	۴	۱/۱	۰/۸۸	۰/۶۶	۱/۹۹	۱/۰۲	۰/۸۶
آبیاری (A)	۲	۴۴/۹**	۳۳/۷۷**	۲۱/۰۲**	۲۲/۶**	۱۸/۹**	۳۳/۲**
A×Y	۲	۱۸/۱**	۱۹/۱۲**	۲۴/۹۹**	۱۵/۸۸**	۱۱/۶۵**	۳۰/۱**
خطایa	۸	۰/۲۵	۱/۰۱	۰/۷۶	۰/۳۱	۰/۲۷	۱/۰۴
محرک (B)	۱۲	۲۸/۱**	۳۴/۱۲**	۲۷/۶۱**	۱۷/۱۱**	۱۱/۱**	۲۲/۱**
A×B	۲۴	۴۴/۳**	۲۲/۶۷**	۳۱/۶۷**	۱۹/۸**	۱۴/۱**	۱۷/۸۸**
B×Y	۱۲	۱۵/۷۷**	۲۲/۴۵**	۳۱/۸۸**	۲۱/۷۸**	۸/۶۶**	۱۹/۱**
A×B×Y	۲۴	۰/۱۳^{ns}	۰/۹۹ ^{ns}	۱/۰۵ ^{ns}	۰/۹۷ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۶۷ ^{ns}
خطای b	۱۴۴	۰/۱۹	۰/۸۷	۱/۸۸	۱/۱	۰/۲۹	۰/۸۱
ضریب تغییرات		۶/۶۱	۷/۱۲	۶/۰۹	۹/۰۶	۱۰/۰۸	۸/۶۹

***، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح α=۰/۰۵، α=۰/۰۱ و عدم معنی‌دار**

(Benson, 1992).

به‌طورکلی، اولین واکنش گیاهان در برابر کمبود آب کاهش رشد رویشی آنهاست. رشد سلول مهمترین فرآیند است که با تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کاهش رشد سلول منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که تنش کم‌آبی بر تمام صفات مورد ارزیابی اثر معنی‌داری داشته است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش رطوبت یا به عبارتی افزایش فواصل آبیاری، صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی مرزه بختیاری کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش تقسیم و رشد سلولی گیاه در طی کمبود آب است. اثر تنش خشکی بر توسعه دیواره سلولی در اثر فشار تورژسانس صورت می‌گیرد. بنابراین هر کاهش 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 (Fariaszewska *et al.*, 2020; Kulak, 2020). با توجه به تحمل نسبی این گیاه به خشکی (Jafari *et al.*, 2021)، بیشترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و نیز کمیت و کیفیت اسانس در دور آبی ۶ روز یکبار بدست 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 دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد. از طرف دیگر کمبود آب عموماً باعث تخریب و شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل شده و مقدار فعالیت آنزیم‌ها را طی فرآیند فتوسنتز کاهش می‌دهد (Xiaolu *et al.*, 2016; Zandalinas *et al.*, 2017). به نظر می‌رسد کاربرد محرک کیتوزان از طریق افزایش سطح برگ 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 (Alavi Samany *et al.*, 2022; Alizadeh *et al.*, 2020). نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل و فنول اثر معنی‌دار داشته است. نتایج به دست آمده از آنالیز رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که با افزایش شدت کمبود آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه مرزه بختیاری تحت تأثیر محرک‌های رشد و دور آبیاری ۳ روز

سال	تیمار محلول‌پاشی		محتوای نسبی آب (٪)	کل فنول (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	پرولین (میکروگرم در گرم ماده تر)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	تعداد شاخه اصلی در بوته
۱۴۰۱	شاهد		۵۳/۸۴±۰/۹	۱/۷۱±۰/۰۱	۸/۹۹±۰/۴	۲۱/۳۲±۰/۲	۳۱۲/۱±۶/۷	۱۰/۵±۰/۸
	متانول	٪۱۰	۵۵/۸۵±۱/۸	۱/۹۱±۰/۰۲	۷/۲۱±۰/۵	۲۳/۳۲±۰/۲	۳۴۹/۲±۵/۵	۱۲/۵±۰/۵
		٪۲۰	۵۳/۹۶±۱/۲	۱/۸۸±۰/۰۲	۷/۰۱±۰/۳	۲۵/۷۳±۰/۴	۳۳۲/۴±۴/۱	۱۱/۰۲±۰/۴
	اتانول	٪۱۰	۶۰/۹۹±۱/۱	۱/۹۹±۰/۰۱	۶/۹۸±۰/۵	۲۴/۸۵±۰/۵	۳۹۸/۱±۶/۷	۱۳/۱±۰/۷
		٪۲۰	۵۸/۰۹±۱/۴	۱/۸۸±۰/۰۱	۷/۱۲±۰/۱	۲۷/۴۴±۰/۲	۳۵۴/۲±۷/۲	۱۲/۸۸±۰/۹
	استون	٪۱۰	۵۷/۸۸±۱/۲	۱/۸۷±۰/۰۲	۷/۱۸±۰/۴	۲۲/۷۶±۰/۴	۳۶۱/۳±۵/۷	۱۱/۴۳±۰/۷
		٪۲۰	۵۵/۹۲±۱/۳	۱/۶۹±۰/۰۵	۸/۰۳±۰/۳	۲۱/۷۶±۰/۴	۳۲۹/۵±۴/۳	۱۰/۸۲±۰/۵
	LSD		۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۶۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۶
۱۴۰۱	*اسید سالیسیلیک	۱	۵۸/۷±۱/۲	۱/۶۹±۰/۰۲	۸/۰۱±۰/۲	۲۷/۷۶±۰/۴	۳۸۹/۱±۵/۷	۱۴/۸۲±۰/۶
		۲	۵۶/۱۲±۲/۱	۱/۴۳±۰/۰۱	۸/۸۹±۰/۱	۲۹/۲۲±۰/۵	۳۶۷/۲±۶/۵	۱۳/۱±۰/۸
	فنیل آلانین	۱	۶۰/۱±۱/۸	۲/۰۱±۰/۰۱	۶/۹۲±۰/۳	۲۸/۰۱±۰/۶	۳۹۷/۲±۵/۲	۱۵/۱±۰/۷
		۲	۵۹/۹۲±۱/۳	۱/۷۵±۰/۰۲	۷/۵۵±۰/۲	۲۶/۵۷±۰/۸	۳۸۸/۱±۶/۱	۱۳/۷۸±۰/۷
	کیتوزان	۱	۶۱/۴۵±۱/۱	۱/۶۹±۰/۰۱	۶/۹۲±۰/۱	۲۹/۷۶±۰/۴	۴۰۲/۱±۴/۱	۱۴/۸۲±۰/۹
		۲	۵۶/۹۹±۱/۹	۱/۶۵±۰/۰۱	۷/۱۸±۰/۳	۲۶/۷۶±۰/۴	۳۸۶/۳±۶/۲	۱۲/۸۲±۰/۶
	LSD		۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۶۵

سال	تیمار محلول‌پاشی		محتوای نسبی آب	کل فنول	کلروفیل کل	پرولین	عملکرد	تعداد شاخه اصلی در بوته
۱۴۰۲	شاهد		۵۴/۷۷±۰/۸	۱/۸۷±۰/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۸	۷/۳۲±۰/۲	۲۹۹/۱±۳/۷	۱۰/۵±۰/۸
	متانول	٪۱۰	۵۶/۱±۱/۱	۱/۹۱±۰/۰۱	۱/۰۵±۰/۰۱	۷/۰۲±۰/۲	۳۲۲/۲±۴/۱	۱۲/۵±۰/۶
		٪۲۰	۵۵/۲±۰/۹	۱/۷۶±۰/۰۲	۱/۰۷±۰/۰۳	۸/۷۳±۰/۴	۳۰۸/۷۳±۵/۱	۱۱/۰۲±۰/۵
	اتانول	٪۱۰	۵۹/۶±۱/۵	۲/۰۱±۰/۰۱	۱/۳۷±۰/۰۲	۷/۸۵±۰/۵	۳۶۹/۹±۴/۷	۱۳/۱±۰/۸
		٪۲۰	۵۹/۰۳±۱/۱	۱/۹۲±۰/۰۱	۱/۲۱±۰/۱	۸/۴۴±۰/۲	۳۴۱/۱±۵/۹	۱۲/۶±۰/۹
	استون	٪۱۰	۵۶/۳±۱/۴	۱/۹۹±۰/۰۲	۱/۰۶±۰/۰۶	۷/۷۶±۰/۴	۳۴۰/۲±۴/۷	۱۲/۴۳±۰/۵
		٪۲۰	۵۴/۹۹±۱/۱	۱/۷۶±۰/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۵	۸/۵۶±۰/۴	۳۱۲/۱±۵/۴	۱۰/۸۲±۰/۶
	LSD		۰/۸۵	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۵	۰/۷۷
۱۴۰۲	*اسید سالیسیلیک	۱	۵۷/۲±۰/۹	۱/۶۹±۰/۰۲	۱/۱۸±۰/۰۱	۸/۰۱±۰/۴	۳۷۷/۱±۵/۷	۱۳/۸۲±۰/۶
		۲	۵۵/۸۹±۰/۸	۱/۱۲±۰/۰۲	۱/۰۱±۰/۱	۸/۸۸±۰/۵	۳۵۵/۱±۶/۱	۱۱/۱±۰/۹
	فنیل آلانین	۱	۵۸/۱±۱/۱	۲/۱۱±۰/۰۱	۱/۴۱±۰/۰۲	۶/۳۴±۰/۶	۳۸۱/۲±۵/۸	۱۴/۹±۰/۵
		۲	۶۰/۰۵±۱/۲	۱/۷۵±۰/۰۲	۱/۱۱±۰/۰۱	۷/۵۷±۰/۸	۳۶۱/۲±۶/۲	۱۱/۷۸±۰/۷
	کیتوزان	۱	۶۰/۳±۰/۹	۱/۶۹±۰/۰۱	۱/۲۲±۰/۰۳	۶/۳۴±۰/۴	۳۸۹/۸۷±۴/۷	۱۳/۸۲±۰/۹
		۲	۵۷/۲۴±۰/۷	۱/۵۶±۰/۰۴	۱/۱۸±۰/۰۱	۸/۷۶±۰/۴	۳۶۵/۱±۵/۲	۱۰/۷۷±۰/۶
	LSD		۰/۶۵	۰/۸۵	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۶۵	۰/۸۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه مرزه بختیاری تحت تأثیر محرک‌های رشد و دور آبیاری ۶ روز

سال	تیمار محلول‌پاشی		محتوای نسبی آب (٪)	کل فنول (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	پرولین (میکروگرم در گرم ماده تر)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	تعداد شاخه اصلی در بوته
۱۴۰۱	شاهد		۴۵/۱±۰/۶۶	۱/۸۹±۰/۰۱	۱/۰۲±۰/۰۱	۸/۳۲±۰/۲	۲۹۵/۱±۴/۷	۱۰/۵±۰/۸
	متانول	٪۱۰	۵۰/۲±۱/۱	۱/۹۱±۰/۰۲	۱/۲۱±۰/۰۱	۸/۰۸±۰/۲	۳۲۱/۲±۵/۸	۱۲/۵±۰/۵
		٪۲۰	۴۹/۱±۰/۹	۱/۷۶±۰/۰۲	۱/۰۷±۰/۰۲	۹/۷۳±۰/۴	۳۰۱/۱±۶/۱	۱۱/۰۲±۰/۴
	اتانول	٪۱۰	۵۵/۴±۰/۸	۲/۳۳±۰/۰۱	۱/۳۷±۰/۰۲	۸/۸۵±۰/۵	۳۳۴/۲±۵/۷	۱۲/۱±۰/۸
		٪۲۰	۵۶/۳±۱/۱	۲/۰۱±۰/۰۱	۱/۲۱±/۰۳	۹/۴۴±۰/۲	۳۲۹/۳±۴/۶	۱۲/۰۱±۰/۵
	استون	٪۱۰	۵۳/۲±۰/۹	۱/۶۹±۰/۰۲	۱/۱۸±۰/۰۱	۸/۷۶±۰/۴	۳۱۸/۷±۵/۴	۱۰/۴۳±۰/۷
		٪۲۰	۵۱/۱±۰/۸	۱/۵۷±۰/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۱	۹/۰۱±۰/۳	۳۰۶/۷±۴/۲	۱۰/۸۲±۰/۶
	LSD		۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۷۷
۱۴۰۱	*اسید سالیسیلیک	۱	۵۱/۱±۰/۹	۱/۹۸±۰/۰۲	۱/۲۴±۰/۰۱	۷/۷۶±۰/۲	۳۴۵/۱±۴/۷	۱۳/۸۲±۰/۹
		۲	۴۹/۲±۱/۱	۱/۵۵±۰/۰۲	۱/۰۱±۰/۰۲	۸/۲۲±۰/۵	۳۱۲/۲±۳/۹	۱۱/۱±۰/۸
	فنیل آلانین	۱	۵۶/۴±۰/۹	۲/۲۵±۰/۰۱	۱/۳۱±۰/۰۱	۶/۹۹±۰/۶	۳۵۱/۱±۵/۸	۱۲/۲۱±۰/۵
		۲	۵۳/۶±۰/۹	۲/۱۱±۰/۰۲	۱/۲۸±۰/۰۱	۷/۵۷±۰/۸	۳۱۱/۲±۴/۶	۱۱/۷۸±۰/۹
	کیتوزان	۱	۵۴/۸±۰/۸۶	۲/۳۴±۰/۰۱	۱/۲۲±۰/۰۱	۷/۰۵±۰/۴	۳۴۷/۲±۵/۷	۱۳/۱±۰/۸
		۲	۵۰/۴±۰/۹	۲/۰۹±۰/۰۳	۱/۱۸±۰/۰۲	۷/۷۶±۰/۲	۳۳۰/۳±۴/۵	۱۰/۸۲±۰/۶
	LSD		۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۶۵

سال	تیمار محلول‌پاشی		محتوای نسبی آب	کل فنول	کلروفیل کل	پرولین	عملکرد	تعداد شاخه اصلی در بوته
۱۴۰۲	شاهد		۴۳/۴۳±۰/۹	۱/۹۶±۰/۰۱	۱/۰۲±۰/۰۸	۹/۳۲±۰/۲	۲۳۵/۱±۴/۷	۱۰/۷۷±۰/۸
	متانول	٪۱۰	۴۸/۳۵±۱/۱	۲/۱۱±۰/۰۲	۱/۲۱±۰/۰۱	۸/۰۱±۰/۱	۲۹۸/۳±۳/۸	۱۱/۵±۰/۶
		٪۲۰	۴۵/۱۱±۰/۹	۱/۹۵±۰/۰۲	۱/۰۳±۰/۰۳	۹/۷۳±۰/۴	۲۸۸/۲±۵/۱	۱۰/۹۱±۰/۴
	اتانول	٪۱۰	۵۱/۲۴±۰/۸	۲/۵۱±۰/۰۱	۱/۳۳±۰/۰۲	۸/۸۵±۰/۵	۳۱۲/۸±۴/۷	۱۲/۱±۰/۸
		٪۲۰	۴۷/۲۱±۱/۱	۲/۰۸±۰/۰۱	۱/۲۱±۰/۱	۹/۴۴±۰/۲	۳۰۱/۲±۳/۹	۱۰/۸۸±۰/۹
	استون	٪۱۰	۵۰/۳۴±۰/۹۴	۲/۱۴±۰/۰۲	۱/۲۳±۰/۰۶	۸/۷۶±۰/۳	۲۹۹/۸±۵/۷	۱۱/۴۳±۰/۷
		٪۲۰	۴۷/۲۲±۰/۸۵	۱/۸۸±۰/۰۱	۱/۰۵±۰/۰۵	۹/۱۲±۰/۴	۲۸۰/۱±۵/۱	۱۰/۸۲±۰/۶
	LSD		۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۸۵	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۶۹
۱۴۰۲	*اسید سالیسیلیک	۱	۴۹/۷±۰/۹	۲/۳۱±۰/۰۱	۱/۱۸±۰/۰۶	۸/۷۶±۰/۴	۲۹۸/۲±۴/۷	۱۳/۸۲±۰/۶
		۲	۴۶/۱۲±۱/۱	۲/۰۲±۰/۰۲	۱/۰۱±۰/۱	۹/۲۲±۰/۵	۲۸۰/۱±۳/۹	۱۱/۱±۰/۵
	فنیل آلانین	۱	۵۵/۱±۰/۸۷	۲/۵۱±۰/۰۱	۱/۳۸±۰/۰۵	۸/۰۱±۰/۳	۳۱۵/۱±۵/۸	۱۲/۲۱±۰/۹
		۲	۴۹/۹۲±۰/۸۵	۲/۱۱±۰/۰۲	۱/۱۱±۰/۰۷	۹/۵۷±۰/۵	۳۰۱/۲±۴/۶	۱۱/۷۸±۰/۷
	کیتوزان	۱	۵۰/۴۵±۰/۹۵	۲/۴۵±۰/۰۱	۱/۴۱±۰/۰۳	۶/۵۵±۰/۴	۳۲۲/۱±۵/۷	۱۱/۸۲±۰/۹
		۲	۴۲/۹۹±۱/۱	۱/۹۹±۰/۰۵	۱/۱۸±۰/۰۶	۷/۷۶±۰/۲	۳۰۱/۲±۳/۷	۱۰/۷۳±۰/۶
	LSD		۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۹۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه مرزه بختیاری تحت تأثیر محرک‌های رشد و دور آبیاری ۹ روز

سال	تیمار محلول‌پاشی		محتوای نسبی آب (٪)	کل فنول (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	پرولین (میکروگرم در گرم ماده تر)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	تعداد شاخه اصلی در بوته
۱۴۰۱	شاهد		۲۴/۷۸±۱/۱	۱/۵۵±۰/۰۱	۰/۹۶±۰/۰۱	۱۲/۰۱±۰/۲	۱۸۱/۱۲±۳/۷	۵/۹۱±۰/۸
	متانول	٪۱۰	۳۵/۹۷±۰/۹	۱/۸۸±۰/۰۱	۱/۰۲±۰/۰۱	۹/۳۲±۰/۲	۲۲۱/۲±۴/۸	۹/۵±۰/۵
		٪۲۰	۳۲/۷۷±۱/۱	۱/۵۶±۰/۰۲	۱/۱۴±۰/۰۳	۱۰/۷۳±۰/۳	۲۰۱/۷±۳/۱	۸/۰۲±۰/۴
	اتانول	٪۱۰	۴۰/۱۲±۰/۸	۱/۹۱±۰/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۲	۹/۸۵±۰/۵	۲۴۳/۴±۴/۷	۹/۱±۰/۵
		٪۲۰	۳۵/۱۱±۰/۹	۱/۷۸±۰/۰۱	۰/۹۹±۰/۱	۱۰/۴۴±۰/۲	۲۲۴/۱±۴/۹	۸/۸۸±۰/۹
	استون	٪۱۰	۳۲/۷۴±۰/۸	۱/۸۸±۰/۰۲	۱/۱۸±۰/۰۶	۱۱/۷۶±۰/۳	۲۲۸/۲±۳/۷	۹/۴۳±۰/۷
		٪۲۰	۲۴/۷۹±۱/۱	۱/۵۷±۰/۰۱	۱/۰۲±۰/۰۵	۱۲/۰۱±۰/۴	۲۰۴/۷±۴/۵	۷/۸۲±۰/۵
	LSD		۰/۶۵	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۸۸
۱۴۰۱	*اسید سالیسیلیک	۱	۳۹/۷±۱/۲	۱/۹۸±۰/۰۲	۱/۲۲±۰/۰۶	۹/۷۶±۰/۴	۲۴۴/۱±۴/۷	۱۰/۸۲±۰/۶
		۲	۳۴/۵±۱/۱	۱/۷۸±۰/۰۲	۱/۰۱±۰/۱	۱۰/۲۲±۰/۵	۲۳۱/۲±۳/۹	۹/۱±۰/۹
	فنیل آلانین	۱	۴۲/۱±۰/۸	۱/۹۱±۰/۰۱	۱/۳۲±۰/۰۵	۹/۰۱±۰/۴	۲۴۶/۲±۳/۸	۱۱/۲۱±۰/۵
		۲	۳۸/۱±۱/۱	۱/۷۵±۰/۰۲	۱/۰۳±۰/۰۷	۱۱/۵۷±۰/۳	۲۳۳/۱±۴/۶	۹/۷۸±۰/۸
	کیتوزان	۱	۴۱/۴۵±۱/۸	۱/۹۹±۰/۰۱	۱/۲۲±۰/۰۹	۹/۷۶±۰/۴	۲۴۷/۹±۴/۷	۱۱/۸۲±۰/۸
		۲	۳۷/۷±۰/۹	۱/۶۹±۰/۰۱	۱/۰۴±۰/۰۶	۱۱/۷۶±۰/۵	۲۳۱/۱±۳/۷	۱۰/۰۱±۰/۵
	LSD		۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۹۵

سال	تیمار محلول‌پاشی		محتوای نسبی آب	کل فنول	کلروفیل کل	پرولین	عملکرد	تعداد شاخه اصلی در بوته
۱۴۰۲	شاهد		۲۵/۱±۰/۹	۱/۴۱±۰/۰۱	۱/۰۳±۰/۰۸	۱۱/۹۱±۰/۲	۱۷۵/۹±۳/۷	۶/۶±۰/۸
	متانول	٪۱۰	۳۴/۸۵±۰/۸	۱/۹۸±۰/۰۲	۱/۱۲±۰/۰۱	۹/۳۲±۰/۳	۱۹۹/۱±۴/۸	۹/۵±۰/۶
		٪۲۰	۳۰/۹۶±۰/۸	۱/۵۵±۰/۰۲	۱/۰۱±۰/۰۳	۱۰/۷۳±۰/۴	۱۸۱/۱±۳/۱	۸/۰۲±۰/۹
	اتانول	٪۱۰	۴۱/۲±۰/۹	۱/۸۹±۰/۰۱	۱/۱۵±۰/۰۲	۹/۸۵±۰/۵	۲۱۲/۲±۴/۷	۹/۱±۰/۸
		٪۲۰	۳۶/۱±۰/۸	۱/۷۱±۰/۰۱	۱/۰۶±۰/۱	۱۰/۴۴±۰/۲	۲۰۱/۲±۳/۹	۸/۸۸±۰/۷
	استون	٪۱۰	۳۴/۲±۰/۷	۱/۸۵±۰/۰۲	۱/۲۴±۰/۰۶	۱۰/۰۱±۰/۵	۲۰۹/۲±۴/۷	۸/۴۳±۰/۷
		٪۲۰	۲۹/۱±۰/۸	۱/۶۹±۰/۰۳	۱/۰۹±۰/۰۵	۱۱/۷۷±۰/۴	۱۹۸/۷±۳/۵	۷/۸۲±۰/۹
	LSD		۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۸۴	۰/۸۸
۱۴۰۲	*اسید سالیسیلیک	۱	۳۸/۵±۰/۸	۱/۸۹±۰/۰۱	۱/۱۸±۰/۰۶	۹/۷۶±۰/۴	۱۹۹/۷۶±۴/۷	۱۰/۸۲±۰/۶
		۲	۳۳/۴±۰/۹	۱/۲۵±۰/۰۱	۱/۰۴±۰/۱	۱۰/۲۲±۰/۵	۱۷۵/۹۱±۳/۹	۹/۱±۰/۶
	فنیل آلانین	۱	۴۳/۱±۰/۸	۱/۹۹±۰/۰۱	۱/۲۷±۰/۰۵	۰/۰۱±۰/۶	۲۲۴/۱±۳/۸	۱۰/۲۱±۰/۵
		۲	۳۸/۴±۰/۹	۱/۷۵±۰/۰۲	۱/۱۱±۰/۰۷	۱۰/۵۷±۰/۵	۲۱۲/۲±۴/۱	۹/۷۸±۰/۷
	کیتوزان	۱	۴۰/۲±۱/۱	۱/۹۸±۰/۰۱	۱/۲۲±۰/۰۹	۹/۷۶±۰/۴	۲۲۹/۱±۳/۷	۱۰/۸۲±۰/۵
		۲	۳۵/۱±۰/۸	۱/۷۸±۰/۰۱	۱/۱۸±۰/۰۶	۱۱/۰۳±۰/۵	۲۱۱/۲±۴/۱	۹/۲۱±۰/۶
	LSD		۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۰۰

*** اسید سالیسیلیک ۱: ۱/۵ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی‌مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان۲: ۰/۵ گرم در لیتر**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

به‌طور معنی‌داری از میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کاسته شد (P<۰/۰۱). دلیل دیگر کاهش کلروفیل برگ‌ها، تغییر متابولیسم نیتروژن و استفاده بیشتر از گلوتامات (ماده اولیه سنتز کلروفیل و پرولین) در مسیر تولید پرولین است (Caser *et al.*, 2019). به عبارتی، کاهش مقدار کلروفیل به هنگام تنش کمبود آب می‌تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلوتامیل کیناز در پتانسیل آبی پایین باشد. با افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین در هنگام تنش خشکی، در واقع گلوتامات که پیش‌ساز کلروفیل نیز است، از دسترس خارج شده و سنتز کلروفیل‌ها دچار نقصان می‌شود. به‌عبارتی کاهش سنتز کلروفیل می‌تواند به علت کاهش تجمع اسید آمینولولیئیک 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 (Caser *et al.*, 2019; Esch *et al.*, 2019). محرک‌ها 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 (Ali, 2021; Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013). از سوی دیگر فنولیک اسیدها با داشتن ساختار ویژه دارای پتانسیل بالایی برای برهمکنش با پروتئین‌های مختلف از جمله آنزیم‌ها بوده و منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Abdi *et al.*, 2022; Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2021; Karamian *et al.*, 2016). محرک‌ها با تحت تأثیر قرار دادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اسید سالیسیلیک با افزایش میزان کلروفیل و بهبود فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز نقش مهمی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و بهبود رشد گیاهان تیمار شده دارد (Ali *et al.*, 2021; Momeni *et al.*, 2020). محرک‌های آلی از جمله کیتوزان منجر به، بهبود سنتز و تجمع کلروفیل و نهایتاً منجر به افزایش رشد و عملکرد می‌گردند (Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2020). سنتز ترکیبات فنولی در بافت‌های گیاهی در ابتدا وابسته به افزایش کربوهیدرات‌ها است. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی در تیمارهای محلول‌پاشی به‌طور غیرمستقیم با تحت تأثیر قرار دادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، این ترکیبات را به سمت سنتز ترکیبات فنولی هدایت می‌کند که نتیجه آن افزایش مقدار این ترکیبات است (Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2017). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در هنگام کمبود آب همچنین ممکن است به دلیل تغییر در مجموعه‌های لیپید- پروتئین رنگیزه‌ها وکاهش سنتز کمپلکس‌های رنگدانه‌ای و یا تخریب کمپلکس‌های پروتئین- رنگدانه به دام اندازنده نور و یا به دلیل تخریب اکسیداتیو لیپیدها و پروتئین‌های کلروپلاست باشد (Caser *et al.*, 2019; Esch *et al.*, 2019). دلیل دوم افزایش ترکیبات فنولی، افزایش آنزیم‌های مداخله‌گر در زمان تنش خشکی است. محرک‌ها با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها، مواد اولیه را برای سنتز ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین‌ها فراهم می‌آورند. این ترکیبات بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و افزایش فعالیت این آنزیم بسیار مؤثرند (Alizadeh and Fattahi, 2021). از آنجا که این آنزیم یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز همه ترکیبات فنولی است، به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر نیز تغییر فعالیت این آنزیم یکی از دلایل افزایش مقدار ترکیبات فنولی در گیاهان مرزه بختیاری باشد.

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. همان‌طور که اشاره شد، کاهش مقدار کلروفیل در اثر تنش خشکی در سایر گونه‌های گیاهی نیز گزارش شد (Emami-Bistgani *et al.*, 2017; Fariaszewska *et al.*, 2020). با توجه به وجود عنصر نیتروژن در محرک کیتوزان و نقش ساختاری این عنصر در حلقه‌های تتراپیرولی کلروفیل، چنین افزایشی توجیه‌پذیر است. از طرف دیگر، احتمالاً مصرف کیتوزان با تأثیر بر روی ژن‌های مسئول سازنده کلروفیل، تولید کلروفیل را زیاد می‌نماید (Dzung, 2011). در پژوهش حاضر میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

کلروفیل تحت تأثیر کیتوزان افزایش یافت. از نتایج حاصل از این پژوهش نیز می‌توان نتیجه گرفت که محرکی مثل کیتوزان در غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر و نیز اتانول در غلظت ۱۰ درصد با افزایش محتوای رنگیزه‌ها، روی رشد، متابولیسم و فتوسنتز گیاه مرزه بختیاری تأثیر مثبتی دارد که در سایر گیاهان نیز گزارشاتی در این خصوص وجود دارد (Khosh Eqbal *et al.*, 2020).

افزایش تنش خشکی در گیاهان، منجر به افزایش اسید آمینه پرولین گردیده و میزان ذخیره آن در سیتوپلاسم سلولی بیشتر می‌شود. این اسیدآمینه در حفاظت سلولی نقش دارد و می‌تواند تا اندازه‌ای موجب ادامه جذب آب از محیط ریشه شود، لیکن اتکای گیاه به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه از طریق کاهش عملکرد این هزینه را جبران می‌نماید (Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013). تجمع پرولین در زمان تنش، به علت تغییر در سرعت اکسیداسیون پرولین یا عدم دخالت آن در سنتز پروتئین و یا مجموعه این عوامل است. به‌طورکلی، گیاهان می‌توانند خودشان را تا اندازه‌ای در مقابل تنش خشکی ملایم توسط تجمع اسمولیت‌ها به‌خصوص پرولین محافظت کنند (Caser *et al.*, 2019; Esch *et al.*, 2019). از سویی 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 (Pradhan *et al.*, 2017). در پژوهش حاضر بیشترین میزان پرولین (۱۲/۰۲–۱۱/۹۱ میکروگرم در گرم ماده تر) در تیمارهای با دور آبی ۹ روز یکبار و کمترین مقادیر (۶/۹۲– ۶/۳۴ میکروگرم در گرم ماده تر) در تیمارهای با دور آبیاری ۳ روز یکبار بدست آمد. به‌طورکلی، نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش‌های محیطی غیرزنده مانند تنش خشکی اثرات مهمی بر صفات فیتوشیمیایی گیاهان دارویی ایجاد می‌نمایند (Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2017; Babaei *et al.*, 2021).

گزارش گردید که کاربرد کیتوزان منجر به افزایش پلی‌فنول در گیاه مرزنگوش (*Origanum vulgare* ssp. hirtum) گردید. به نظر می‌رسد افزایش پلی‌فنول‌ها به علت تحریک آنزیم‌های بیوسنتزی از قبیل فنیل آلانین آمونیالیاز و کالکون سنتتاز پلی‌فنل باشد (Heng *et al.*, 2012). پژوهش دیگری مشخص کرد که کاربرد کیتوزان منجر به افزایش ترکیبات فلاونوئیدی در گیاه آویشن دنایی گردید (Emami Bistgani *et al.*, 2017). از نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر، می‌توان استنباط نمود که محرک‌های بکار رفته به‌ویژه کیتوزان و اتانول، اثرات مضر حاصل از تنش کمبود آب را کاهش داده و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شوند. کیتوزان با بالابردن محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی (پرولین) و افزایش غلظت برخی از عناصر غذایی، از کاهش شدید محتوای نسبی آب برگ جلوگیری کرده که این امر سبب پایداری در برابر تنش کم آبی شد.

اسانس و ترکیبات اسانس: نتایج نشان داد که اثرگذاری تیمارهای آزمایشی در هر دو سال بر میزان ترکیبات غالب اسانس و محتوای اسانس، معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج برآمده از تجزیه فیتوشیمیایی اسانس، وجود ۱۴ ترکیب در اسانس این گیاه را نشان داد. بیشترین اجزای موجود در اسانس شامل کارواکرول، پی–سایمن، گاما و آلفا–ترپینن، جرماکرن–دی و تیمول بود. در بین اجزای اسانس، ماده مؤثره کارواکرول بیشترین میزان را در تمامی گیاهان تحت تیمار در هر دو سال تحقیق، به خود اختصاص داد (جدول‌های ۸–۱۰). مشخص گردید که اثرگذاری تیمارهای آزمایشی بر مواد مؤثره مونوترپنه حلقوی (آلفا–ترپینن، گاما–ترپینن، جرماکرن–دی، کارواکرول، تیمول، پی–سایمن) و نیز میزان اسانس، معنی‌دار و در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند. با اعمال تیمارهای پایه آلی و الکلی و مقایسه با نمونه شاهد، روند افزایشی در میزان کمی و کیفی اسانس مشاهده گردید (جداول ۸–۱۰). میزان ترکیبات اسانس در سطوح تیماری استون و متانول، در کمترین مقادیر قرار گرفتند. تیمارهای کیتوزان، فنیل آلانین و اتانول بیشترین اثر را بر میزان ماده مؤثره کارواکرول و سایر ترکیبات غالب اسانس تمامی گیاهان در هر دو سال، ایجاد نمودند. در تولید مواد مؤثره ژرماکرن– دی و تیمول، کاربرد تیمارهای متانول و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب مربعات اسانس و ترکیبات غالب اسانس گیاهان مرزه بختیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن‌دی	تیمول
سال (Y)	۱	۱۱/۸۸**	۱۵/۷۱**	۳۱/۱**	۰/۸۹ ns	۲۰/۱**	۸/۹۹ **	۱۱/۱**
سال در تکرار	۴	۰/۷۷	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۲۹
آبیاری (A)	۲	۲۲/۸**	۳۱/۱**	۱۷/۱**	۲۳/۵**	۲۱/۹**	۳۳/۶**	۱۰/۶۱**
A×Y	۲	۲۴/۱**	۱۲/۱**	۳۸/۱۱**	۱۹/۴**	۴۱/۵۱**	۱۵/۸۹**	۱۱/۹۹**
خطایa	۸	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۴۱	۰/۹۸	۰/۶۱	۰/۳۴	۰/۵۵
محرک (B)	۱۲	۲۷/۱**	۳۴/۰۷**	۲۲/۱**	۳۳/۱**	۴۸/۱**	۲۶/۵۵**	۹/۸۸**
A×B	۲۴	۳۴/۸**	۲۱/۸**	۳۰/۳**	۴۳/۴**	۳۴/۱**	۳۳/۸**	۸/۶۹**
B×Y	۱۲	۲۲/۱۴**	۳۲/۱۴**	۲۱/۶**	۱۱/۴۵**	۳۰/۸**	۲۸/۹**	۷/۸۹**
A×B×Y	۲۴	۰/۶۵ns	۰/۱۷ ns	۰/۳۱ ns	۰/۵۹ ns	۰/۲۴ ns	۰/۳۱ ns	۰/۲۲ ns
خطای b	۱۴۴	۰/۸۱	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۹۸	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۲۷
ضریب تغییرات		۷/۱۲	۸/۱۲	۸/۹۸	۷/۸۱	۵/۸۹	۸/۶	۹/۸

***، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح α=۰/۰۵، α=۰/۰۱ و عدم معنی‌دار**

استون دارای اثر کاهنده و یا مانند شاهد بود و تیمارهایی از جمله فنیل آلانین (۱ گرم در لیتر)، کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر) و اتانول (۱۰ درصد) منجر به افزایش این مواد مؤثره شدند. در بسیاری از مواد مؤثره غالب اسانس، کمترین مقادیر در تیمار شاهد بوجود آمد. در بسیاری از موارد تیمار اسید سالیسیلیک نیز توانست در گروه مشابه با کیتوزان قرار بگیرد. بیشترین ترکیبات اسانس به ترتیب کارواکرول، پی-سایمن، گاما-ترپینن، آلفا- ترپینن، ژرماکرن- دی و تیمول بودند که در تیمارهای مختلف بیش از ۸۰ درصد اسانس را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۸-۱۰).

ترکیبات اسانس با محلول‌پاشی محرک‌های آلی و الکلی به ویژه کیتوزان، اتانول و فنیل آلانین به دلیل راه‌اندازی چرخه سنتز اسیدآمینه 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 (Caser *et al.*, 2019; Kulak, 2020). در بین اجزای اصلی اسانس، بیشترین اثرپذیری از تیمارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر را گاما-ترپینن داشت به نحوی که میزان آن به ترتیب در سال اول و دوم از ۶/۷۱ و ۸/۷۸ درصد در تیمار شاهد و دور آبیاری ۹ روز یکبار به ۱۶/۶۵ و ۲۰/۹۱ درصد در تیمار فنیل آلانین ۱ گرم در لیتر در دور آبیاری ۳ روز یکبار، رسید که رشدی بیش از ۱۰۰ درصد را نشان داد. 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 در برگ منجر شود. از آنجایی که غده‌های ترشح‌کننده اسانس گیاه مرزه بختیاری در برگ‌ها قرار دارند، هر عاملی که سبب افزایش بافت‌های فتوسنتزی و رشد برگ‌ها شود، منجر به افزایش عملکرد اسانس خواهد شد (Ali *et al.*, 2021; Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2021). از سوی دیگر بیوسنتز ترپنوئیدها با اتصال سر به دم ایزوپنتیل دی‌فسفات به ایزومر دی‌متیل آلیل دی‌فسفات ادامه می‌یابد که با این اتصال ژرانیل دی‌فسفات (GPP) حاصل می‌شود. از آنجایی که ترکیبات غالب اسانس‌ها از گروه ترپن‌ها است و به دلیل این‌که گلوکز به‌عنوان پیش‌ماده ضروری در سنتز اسانس و به ویژه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۸- مقایسه میانگین اسانس و ترکیبات غالب اسانس تحت تأثیر محرک‌های رشد و دور آبیاری ۳ روز یکبار

سال	تیمار محلول‌پاشی		اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن-دی	تیمول
۱۴۰۱	شاهد		۱/۱۱±۰/۰۳	۲۴/۹±۱/۱	۱۳/۶۶±۰/۶۶	۲۴/۸۵±۱/۲	۱/۵۵±۰/۰۱	۰/۹۹±۰/۰۴	۰/۷۶±۰/۰۲
	متانول	٪۱۰	۱/۲۳±۰/۰۲	۲۸/۹۱±۱/۳	۱۹/۹±۰/۸	۲۵/۳۲±۰/۹	۱/۹۹±۰/۰۱	۲/۰۱±۰/۰۵	۱/۲۱±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۰۹±۰/۰۱	۲۶/۸±۱/۱	۱۷/۵±۰/۸	۲۴/۴۴±۰/۸۶	۱/۷۳±۰/۰۲	۱/۷۳±۰/۰۶	۱/۱۱±۰/۰۳
	اتانول	٪۱۰	۱/۲۲±۰/۰۲	۲۹/۴±۰/۹	۱۹/۴±۰/۹	۲۹/۳۳±۱/۱	۲/۵۶±۰/۰۲	۱/۸۵±۰/۰۵	۱/۲۱±۰/۰۴
		٪۲۰	۱/۰۸±۰/۰۱	۲۸/۸±۰/۹۵	۱۸/۶±۰/۶	۲۷/۵۵±۰/۹۵	۲/۲۱±۰/۱	۱/۴۴±۰/۰۶	۱/۰۹±۰/۰۲
	استون	٪۱۰	۱/۳۱±۰/۰۳	۲۷/۷±۱/۱	۱۷/۵±۰/۷	۲۶/۰۸±۰/۸۵	۲/۱۱±۰/۰۳	۱/۷۶±۰/۰۵	۱/۲۲±۰/۰۳
		٪۲۰	۱/۰۱±۰/۰۱	۲۵/۵±۰/۸۹	۱۶/۴±۰/۸	۲۵/۴۴±۰/۹۴	۱/۸۸±۰/۰۵	۱/۳۳±۰/۰۴	۱/۱۴±۰/۰۲
	LSD		۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۹
۱۴۰۱	*اسید سالیسیلیک	۱	۱/۵۵±۰/۰۵	۲۹/۶۹±۰/۹۵	۲۰/۸۲±۰/۸	۲۹/۰۸±۱/۱	۱/۹۹±۰/۰۴	۱/۷۶±۰/۰۳	۰/۹۱±۰/۰۳
		۲	۱/۱۲±۰/۰۴	۲۷/۱۲±۰/۹	۱۸/۰۲±۰/۹	۲۷/۸۶±۰/۹۵	۲/۰۱±۰/۱	۱/۲۲±۰/۰۵	۱/۲۲±۰/۰۲
	فنیل آلانین	۱	۱/۵۹±۰/۰۳	۳۰/۱۱±۱/۱	۲۰/۹۱±۰/۶	۳۰/۶۴±۰/۸۸	۲/۴۴±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۰۴	۱/۰۱±۰/۰۱
		۲	۱/۴۳±۰/۰۴	۲۸/۸±۰/۹۵	۱۸/۷۷±۰/۸۸	۲۸/۲۲±۰/۹۴	۲/۱۱±۰/۰۴	۱/۵۷±۰/۰۳	۱/۲۲±۰/۰۲
	کیتوزان	۱	۱/۵۸±۰/۰۲	۳۰/۵±۱/۱	۱۹/۱±۰/۸	۲۹/۴۹±۰/۹۱	۲/۳۲±۰/۰۵	۱/۷۶±۰/۰۵	۱/۰۸±۰/۰۱
		۲	۱/۲۴±۰/۰۱	۲۸/۶۹±۰/۹۸	۱۸/۹۶±۰/۹	۲۸/۱۱±۰/۸۳	۲/۱۸±۰/۰۶	۱/۳۳±۰/۰۳	۱/۰۱±۰/۰۲
	LSD		۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۵
سال	تیمار محلول‌پاشی		اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن-دی	تیمول
۱۴۰۲	شاهد		۱/۰۴±۰/۰۳	۲۵/۷±۱/۱	۱۰/۹±۰/۹	۲۷/۲±۰/۹	۱/۱۱±۰/۰۸	۱/۰۱±۰/۰۲	۰/۸۱±۰/۰۲
	متانول	٪۱۰	۱/۲۳±۰/۰۱	۲۸/۵±۰/۹۵	۱۴/۸۱±۰/۸	۲۸/۴±۰/۸۹	۱/۰۸±۰/۰۱	۱/۳۲±۰/۰۳	۱/۱۱±۰/۰۴
		٪۲۰	۱/۰۸±۰/۰۱	۲۷/۴±۰/۹	۱۲/۵۵±۰/۷۸	۲۷/۷±۰/۷۶	۰/۹۹±۰/۰۳	۱/۵۵±۰/۰۵	۱/۲۱±۰/۰۴
	اتانول	٪۱۰	۱/۴۸±۰/۰۲	۲۹/۳۶±۱/۱	۱۵/۳۶±۰/۸۹	۳۱/۹±۰/۸	۱/۰۲±۰/۰۲	۱/۳۴±۰/۰۲	۱/۰۸±۰/۰۴
		٪۲۰	۱/۳۱±۰/۰۲	۲۷/۸±۱/۲	۱۲/۶۶±۰/۹	۳۰/۸±۰/۹	۲/۰۲±۰/۱	۱/۴۴±۰/۰۳	۱/۱۱±۰/۰۳
	استون	٪۱۰	۱/۲۱±۰/۰۳	۲۶/۶۹±۰/۸۵	۱۴/۵۵±۰/۸۵	۲۷/۹±۰/۷۷	۱/۸۹±۰/۰۶	۱/۵۱±۰/۰۲	۱/۲۱±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۰۹±۰/۰۴	۲۵/۴±۰/۹	۱۱/۳۶±۰/۸	۲۵/۶۷±۰/۸۲	۱/۷۷±۰/۰۵	۱/۳۳±۰/۰۲	۱/۰۹±۰/۰۲
	LSD		۰/۹۹	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۶
۱۴۰۲	*اسید سالیسیلیک	۱	۱/۲۶±۰/۰۳	۲۹/۵±۰/۹	۱۴/۸۲±۰/۰۷	۳۱/۰۸±۱/۴	۲/۰۸±۰/۰۶	۱/۱۱±۰/۰۲	۰/۹۱±۰/۰۲
		۲	۱/۱۲±۰/۰۴	۲۷/۴±۱/۱	۱۲/۸±۰/۰۴	۳۰/۸۶±۱/۵	۲/۰۱±۰/۱	۱/۲۲±۰/۰۳	۱/۲۲±۰/۰۳
	فنیل آلانین	۱	۱/۵۵±۰/۰۳	۳۰/۱۱±۰/۹	۱۶/۶۵±۰/۸۸	۳۲/۵۵±۱/۸	۱/۰۹±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۴
		۲	۱/۳۳±۰/۰۴	۲۷/۸±۰/۹۸	۱۴/۷۷±۰/۶	۳۰/۲۲±۱/۵	۱/۱۱±۰/۰۷	۱/۵۷±۰/۰۲	۱/۱۱±۰/۰۵
	کیتوزان	۱	۱/۵۱±۰/۰۲	۳۰/۷±۰/۸	۱۵/۱±۰/۰۸	۳۳/۶۶±۱/۷	۲/۰۱±۰/۰۹	۱/۷۶±۰/۰۳	۱/۰۷±۰/۰۴
		۲	۱/۴۱±۰/۰۴	۲۷/۹±۰/۷۸	۱۳/۹±۰/۱	۲۹/۱۱±۱/۴	۱/۱۸±۰/۰۶	۱/۳۳±۰/۰۴	۱/۱۵±۰/۰۳
	LSD		۰/۸۵	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۹- مقایسه میانگین اسانس و ترکیبات غالب اسانس تحت تأثیر محرک‌های رشد و دور آبیاری ۶ روز یکبار

سال	تیمار محلول‌پاشی		اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن-دی	تیمول
۱۴۰۱	شاهد		۱/۱۲±۰/۰۳	۲۹/۶±۰/۹۷	۱۳/۵±۰/۹	۲۹/۸۵±۱/۲	۰/۹۸±۰/۰۲	۱/۳۲±۰/۰۱	۰/۹۹±۰/۰۱
	متانول	٪۱۰	۱/۲۵±۰/۰۳	۳۰/۹۱±۱/۱	۱۵/۸۱±۰/۸	۳۲/۳۲±۱/۳	۱/۵۵±۰/۰۱	۱/۱۱±۰/۰۲	۱/۲۲±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۱۲±۰/۰۱	۲۸/۴±۰/۸۸	۱۲/۶±۰/۷	۲۹/۴۴±۱/۵	۱/۶۴±۰/۰۳	۱/۷۳±۰/۰۳	۱/۱۱±۰/۰۲
	اتانول	٪۱۰	۱/۵۱±۰/۰۲	۲۹/۳۶±۰/۹	۱۷/۷۴±۰/۶۵	۳۰/۳۳±۱/۱	۱/۸۵±۰/۰۱	۱/۸۵±۰/۰۴	۱/۳۸±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۲۲±۰/۰۲	۲۸/۸±۱/۱	۱۴/۷±۰/۷	۲۸/۵۵±۱/۲	۲/۰۱±۰/۱	۱/۴۴±۰/۰۴	۱/۳۱±۰/۰۲
	استون	٪۱۰	۱/۴۴±۰/۰۳	۲۸/۶۹±۰/۹۶	۱۵/۱±۰/۹	۳۰/۰۸±۱/۳	۲/۱۱±۰/۰۶	۱/۷۶±۰/۰۳	۱/۰۸±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۰۹±۰/۰۳	۲۶/۹±۰/۸۹	۱۳/۶±۰/۸	۲۷/۴۴±۱/۴	۱/۸۸±۰/۰۳	۱/۲۲±۰/۰۴	۱/۰۵±۰/۰۱
	LSD		۰/۶۹	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۷۷	۱/۰۰	۰/۹۴	۱/۰۰
۱۴۰۱	*اسید سالیسیلیک	۱	۱/۴۴±۰/۰۹	۳۲/۵±۰/۸	۱۵/۲±۰/۸	۳۱/۰۸±۱/۵	۲/۱۱±۰/۰۶	۱/۳۳±۰/۰۳	۰/۹۹±۰/۰۱
		۲	۱/۱۲±۰/۰۸	۳۰/۴±۱/۱	۱۲/۱±۰/۹	۲۹/۸۶±۱/۴	۲/۰۱±۰/۰۸	۱/۲۲±۰/۰۵	۱/۲۲±۰/۰۲
	فنیل آلانین	۱	۱/۶۱±۰/۰۳	۳۴/۷±۰/۹	۱۶/۹۱±۰/۸	۳۳/۳±۱/۳	۱/۷۸±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۰۴	۱/۰۱±۰/۰۳
		۲	۱/۴۹±۰/۰۷	۳۳/۸±۰/۸	۱۵/۲±۰/۷۵	۳۱/۲۲±۱/۵	۱/۱۱±۰/۰۵	۱/۵۷±۰/۰۵	۱/۱۲±۰/۰۲
	کیتوزان	۱	۱/۶۱±۰/۰۶	۳۵/۴±۱/۲	۱۵/۱±۰/۸	۳۵/۵۶±۱/۸	۲/۰۱±۰/۰۹	۱/۷۶±۰/۰۶	۱/۱۴±۰/۰۱
		۲	۱/۱۹±۰/۰۵	۳۲/۸±۱/۱	۱۶/۱±۰/۷۶	۳۳/۹±۱/۶	۱/۷۷±۰/۰۸	۱/۴۴±۰/۰۴	۱/۰۸±۰/۰۲
	LSD		۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۹۴	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۸

سال	تیمار محلول‌پاشی		اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن-دی	تیمول
۱۴۰۲	شاهد		۱/۱۲±۰/۰۳	۲۵/۲±۰/۸	۱۱/۴±۰/۵۵	۲۸/۱±۱/۳	۰/۹۹±۰/۰۶	۰/۹۹±۰/۰۲	۰/۹۹±۰/۰۲
	متانول	٪۱۰	۱/۳۳±۰/۰۴	۲۸/۳±۰/۷	۱۴/۸۱±۰/۶	۲۹/۳۲±۱/۲	۱/۰۱±۰/۰۱	۱/۳۲±۰/۰۳	۱/۴۱±۰/۰۳
		٪۲۰	۱/۲۱±۰/۰۱	۲۶/۴±۰/۹	۱۲/۳±۰/۵۶	۳۰/۲±۱/۴	۱/۱۱±۰/۰۷	۱/۷۳±۰/۰۱	۱/۰۸±۰/۰۱
	اتانول	٪۱۰	۱/۴۹±۰/۰۴	۳۳/۳±۱/۱	۱۶/۶۵±۰/۹۸	۳۵/۵۵±۱/۵	۱/۸۵±۰/۰۲	۱/۹۹±۰/۰۲	۱/۴۵±۰/۰۳
		٪۲۰	۱/۲۸±۰/۰۵	۳۰/۶±۰/۹	۱۳/۵±۰/۸۸	۳۳/۴±۱/۳	۲/۰۲±۰/۰۹	۱/۴۴±۰/۰۳	۱/۱۲±۰/۰۴
	استون	٪۱۰	۱/۳۷±۰/۰۵	۲۸/۷±۰/۸	۱۵/۱±۰/۷۷	۳۰/۰۸±۱/۲	۱/۸۸±۰/۰۶	۱/۷۶±۰/۰۲	۱/۲۳±۰/۰۵
		٪۲۰	۱/۰۸±۰/۰۴	۲۷/۸±۰/۷	۱۴/۲۲±۰/۶۷	۲۹/۷±۱/۱	۱/۸۸±۰/۰۸	۱/۶۵±۰/۰۳	۱/۳۳±۰/۰۳
	LSD		۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶
۱۴۰۲	*اسید سالیسیلیک	۱	۱/۴۴±۰/۰۶	۳۱/۵±۱/۱	۱۴/۸۲±۰/۷۸	۲۸/۱±۱/۳	۲/۰۱±۰/۰۵	۱/۷۶±۰/۰۴	۰/۷۶±۰/۰۲
		۲	۱/۰۹±۰/۰۴	۲۹/۴±۰/۹۸	۱۲/۰۲±۰/۶۷	۳۰/۸۶±۱/۲	۱/۷۷±۰/۰۶	۱/۲۲±۰/۰۳	۱/۲۲±۰/۰۳
	فنیل آلانین	۱	۱/۵۹±۰/۰۷	۳۲/۵±۰/۸۷	۱۵/۹۱±۰/۵	۳۵/۳±۱/۳	۱/۶۶±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۰۵	۱/۴۵±۰/۰۲
		۲	۱/۴۴±۰/۰۵	۲۹/۸±۰/۹	۱۳/۴۴±۰/۴۵	۳۰/۲۲±۱/۴	۲/۲۱±۰/۰۴	۱/۵۷±۰/۰۴	۱/۱۱±۰/۰۱
	کیتوزان	۱	۱/۵۹±۰/۰۵	۳۲/۶±۰/۷۸	۱۵/۱±۰/۶۵	۳۶/۵۴±۱/۵	۲/۰۲±۰/۰۹	۱/۹۹±۰/۰۳	۱/۲۱±۰/۰۲
		۲	۱/۴۱±۰/۰۳	۳۱/۸±۰/۹	۱۴/۹۶±۰/۴۳	۳۴/۳۳±۱/۶	۱/۸۹±۰/۰۶	۱/۷۶±۰/۰۵	۱/۰۶±۰/۰۳
	LSD		۰/۷۷	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۸۶

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اسانس و ترکیبات غالب اسانس تحت تأثیر محرک‌های رشد و دور آبیاری ۹ روز یکبار

سال	تیمار محلول‌پاشی		اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن-دی	تیمول
۱۴۰۱	شاهد		۱/۰۱±۰/۰۳	۲۰/۹۹±۰/۶۵	۸/۷۸±۰/۸	۲۲/۸۵±۱/۱	۰/۶۵±۰/۰۴	۰/۷۷±۰/۰۱	۰/۷۶±۰/۰۲
	متانول	٪۱۰	۱/۰۸±۰/۰۸	۲۲/۹۱±۰/۷۷	۱۱/۸۱±۰/۹۵	۲۶/۳۲±۱/۱	۱/۳۳±۰/۰۱	۱/۳۲±۰/۲	۰/۶۳±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۰۵±۰/۰۷	۲۴/۷۶±۰/۸	۹/۳۹±۰/۸۵	۲۴/۵±۱/۲	۱/۱۱±۰/۰۱	۱/۱۱±۰/۴	۰/۷۳±۰/۰۲
	اتانول	٪۱۰	۱/۱۲±۰/۰۶	۲۵/۳۶±۰/۹	۱۲/۳۶±۰/۷۷	۲۷/۳۳±۱/۳	۱/۴۴±۰/۰۲	۱/۲۱±۰/۵	۰/۸۵±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۰۹±۰/۰۵	۲۳/۹۲±۰/۶۵	۹/۴۴±۰/۶۵	۲۵/۱±۱/۴	۱/۲۱±۰/۰۳	۱/۰۴±۰/۲	۰/۹۹±۰/۰۲
	استون	٪۱۰	۱/۱۱±۰/۰۶	۲۳/۶۹±۰/۷۶	۱۱/۱±۰/۸	۲۵/۰۸±۱/۵	۱/۱۸±۰/۰۶	۱/۱۱±۰/۴	۰/۹۱±۰/۰۱
		٪۲۰	۱/۰۸±۰/۰۴	۲۱/۶۹±۰/۶۸	۹/۲۲±۰/۸۷	۲۲/۱۴±۱/۳	۱/۰۲±۰/۰۵	۰/۷۷±۰/۰۱	۰/۹۶±۰/۰۲
	LSD		۰/۷۷	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۸۷	۱/۰۰	۰/۹۹
۱۴۰۱	*اسید سالیسیلیک	۱	۱/۰۸±۰/۰۹	۲۴/۶±۰/۹	۱۲/۶±۰/۹	۲۵/۱±۱/۱	۱/۶۶±۰/۰۶	۱/۱۲±۰/۰۳	۰/۷۶±۰/۷
		۲	۰/۹۹±۰/۰۴	۲۰/۱±۰/۸۷	۱۱/۷±۰/۸	۲۳/۸۶±۱/۲	۱/۰۱±۰/۰۲	۱/۲۲±۰/۰۵	۰/۹۱±۰/۹
	فنیل آلانین	۱	۱/۲۲±۰/۰۸	۲۵/۸±۰/۷	۱۱/۸±۰/۷۶	۲۴/۶۴±۱/۳	۱/۳۳±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۰۳	۱/۰۱±۰/۸
		۲	۱/۱۱±۰/۰۵	۲۲/۶±۰/۶۵	۱۰/۳±۰/۷	۲۳/۵±۱/۱	۱/۱۱±۰/۰۷	۱/۵۷±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۶
	کیتوزان	۱	۱/۲۳±۰/۰۷	۲۴/۸±۰/۷	۱۳/۱±۰/۶۹	۲۶/۴۹±۱/۴	۱/۲۲±۰/۰۳	۱/۲۲±۰/۰۱	۰/۹۵±۰/۷
		۲	۱/۱۲±۰/۰۸	۲۲/۸±۰/۸۲	۱۰/۹۶±۰/۸	۲۳/۸±۱/۲	۰/۹۹±۰/۰۱	۱/۲۱±۰/۰۲	۰/۷۶±۰/۷
	LSD		۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۷۷	۰/۹۸	۰/۸۵

سال	تیمار محلول‌پاشی		اسانس	پی-سایمن	گاما-ترپینن	کارواکرول	آلفا-ترپینن	ژرماکرن-دی	تیمول
۱۴۰۲	شاهد		۰/۹۷±۰/۰۵	۲۱/۹±۰/۶۷	۶/۷۱±۰/۸	۲۳/۲۱±۱/۲	۰/۹۹±۰/۰۱	۰/۶۵±۰/۰۱	۰/۷۶±۰/۰۱
	متانول	٪۱۰	۱/۲۲±۰/۰۹	۲۴/۶±۰/۵۵	۹/۸۱±۰/۹	۲۷/۳۲±۱/۳	۱/۴۴±۰/۰۱	۱/۳۲±۰/۰۲	۱/۰۱±۰/۰۲
		٪۲۰	۱/۰۹±۰/۰۷	۲۳/۴±۰/۷	۸/۳۹±۰/۷	۲۵/۵±۱/۵	۱/۱۳±۰/۰۲	۰/۶۵±۰/۰۱	۱/۱۱±۰/۰۳
	اتانول	٪۱۰	۱/۲۹±۰/۰۳	۲۳/۶±۰/۸	۹/۳۶±۰/۶۵	۳۰/۳۳±۱/۱	۱/۵۴±۰/۰۲	۱/۳۲±۰/۰۱	۰/۸۵±۰/۰۴
		٪۲۰	۱/۰۹±۰/۰۶	۲۰/۹±۰/۶۵	۷/۴۴±۰/۵۹	۲۶/۸±۱/۴	۱/۲۱±۰/۰۴	۱/۴۴±۰/۰۳	۱/۰۳±۰/۰۳
	استون	٪۱۰	۱/۰۸±۰/۰۷	۱۹/۷±۰/۵۵	۹/۱±۰/۹	۲۷/۰۸±۱/۲	۱/۱۸±۰/۰۳	۱/۶۶±۰/۰۲	۱/۰۲±۰/۰۱
		٪۲۰	۰/۹۷±۰/۰۸	۱۸/۸±۰/۶۶	۷/۲۲±۰/۸۱	۲۵/۹±۱/۵	۰/۹۱±۰/۰۵	۱/۴۴±۰/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۱
	LSD		۰/۸۸	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۹۵	۰/۹۶
۱۴۰۲	*اسید سالیسیلیک	۱	۱/۲۴±۰/۰۵	۲۳/۶۹±۰/۸۸	۸/۸۲±۰/۷	۲۹/۰۸±۱/۱	۱/۱۸±۰/۰۳	۰/۷۶±۰/۰۱	۰/۷۶±۰/۰۱
		۲	۱/۱۲±۰/۰۴	۲۱/۲±۰/۵۶	۶/۷۵±۰/۸	۲۷/۴±۱/۲	۱/۰۱±۰/۰۲	۱/۲۲±۰/۰۲	۰/۵۴±۰/۰۲
	فنیل آلانین	۱	۱/۳۴±۰/۰۶	۲۴/۱۱±۰/۹	۱۰/۹۱±۰/۹	۲۹/۶۴±۱/۴	۱/۵۲±۰/۰۵	۱/۰۱±۰/۰۳	۱/۰۱±۰/۰۳
		۲	۱/۱۴±۰/۰۵	۲۳/۷۵±۰/۸	۹/۴۴±۰/۸	۲۷/۵±۱/۱	۱/۰۵±۰/۰۲	۱/۵۷±۰/۰۱	۱/۰۶±۰/۰۱
	کیتوزان	۱	۱/۳۱±۰/۰۷	۲۴/۶۹±۰/۷	۱۰/۵۵±۰/۷	۳۰/۴۹±۱/۲	۱/۲۲±۰/۰۱	۱/۴۴±۰/۰۲	۱/۰۵±۰/۰۲
		۲	۱/۱۴±۰/۰۸	۲۲/۶۹±۰/۸۴	۸/۹۶±۰/۶۵	۲۷/۹±۱/۳	۱/۰۱±۰/۰۶	۱/۳۲±۰/۰۱	۰/۸۹±۰/۰۱
	LSD		۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۹۷	۰/۶۵	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۹

*** اسید سالیسیلیک ۱: ۱/۵ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی‌مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر**

مونوترپن‌هاست، بنابراین فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی ارتباط مستقیمی با تولید اسانس دارد (Farahani *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

al., 2020). تشکیل مونوترپنه‌های الکلی با مونوترپن گاماترپینن (GT) شروع شده و در ادامه از طریق پی‌سایمن آروماتیک، واکنش‌ها به سمت سنتز آن‌ها پیش می‌رود. گاماترپینن که به وسیله آنزیم گاماترپینن سنتاز (GTS) کاتالیز می‌شود، پیش‌ماده مونوترپن‌های آروماتیک، در ادامه مسیر بوده و بنابراین نقش اساسی را در این مسیر ایفاء می‌نماید (Thakur and Kumar, 2020; Bohlman and Keeling, 2008). بنابراین به نظر می‌رسد تیمارهای به‌کار رفته در این پژوهش، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه بازده فتوسنتزی در مرزه بختیاری را افزایش داده و از این طریق بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس نیز تأثیرگذار بوده‌اند. با توجه به اینکه بیوسنتز ترپنوئیدها در تریکوم‌ها، توسط ژن‌ها کنترل می‌شوند اثر اصلی محرک‌ها بر تولید اسانس به تأثیر آنها بر ژن‌ها و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ثانویه گیاه مربوط می‌شود (Pandey *et al.*, 2017). بطورکلی محرک‌های مختلف از جمله کیتوزان (Alizadeh *et al.*, 2020) و اتانول (Rajabzadeh *et al.*, 2023) نقش مهمی در فعال‌کردن آنزیم‌های مسیر متابولیسم ثانویه گیاهان می‌کنند. کاربرد کیتوزان احتمالاً به دلیل افزایش جذب دی‌اکسید کربن، کاهش تعرق، تنظیم ژن و القای آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز ترپنوئیدها، محتوای اسانس را تغییر می‌دهد (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2021; Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2021). بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه تحت تأثیر رشد و نمو گیاه است که به رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه به ویژه ظرفیت فتوسنتز بستگی دارد. تغییرات مشاهده شده در کیفیت اسانس گیاهان تیمار شده را می‌توان به تفاوت در اثرات هر یک از محرک‌ها بر رشد گیاه، پاسخ گیاه به عوامل زیستی و غیرزیستی که منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه می‌شود، نسبت داد (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2021). تحت تنش خشکی، مقادیر مواد مؤثره گیاهان دارویی رفتار مختلفی دارند. چنانچه در زمان گلدهی و بروز تنش خشکی، میزان ماده آلفا–پینن در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis*) کاهش ولی در اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) افزایش یافت. ترکیبات مؤثره آلفا–پینن، لیمونن و اوکالیپتول در مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) کاهش یافت در حالی‌که این ترکیبات در ریحان (*Ocimum basilicum*) افزایش یافتند (Kulak, 2020). در گیاهان دارویی قدومه (*Alyssum desertorum*)، آویشن (*Thymus vulgaris*)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*)، گاوزبان (*Borago officinalis*) (Yadegari, 2017) و گونه‌های مرزه (*Satureja*) (Yadegari, 2022)، تنش خشکی منجر به کاهش درصد اسانس و نیز برخی از مواد مؤثره اسانس می‌گردد. به‌طورکلی، متابولیت‌های ثانویه به گیاهان دارویی و معطر 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 است (Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013). 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 (Emami Bistgani *et al.*, 2017). بهبود در عملکرد اسانس با استفاده از کیتوزان ممکن است به دلیل افزایش در رشد، جذب مواد غذایی و یا تغییر در تعداد غده‌های ترشحی برگ و یا بیوسنتز مونوترپن‌ها باشد (Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2017; Hawrylak-Nowak *et al.*, 2021).

تغییرات بیوسنتز ترکیبات ترپنوئیدی از جمله مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها ممکن است به‌علت تغییرات بیوانرژیتیک 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 (Sasani *et al.*, 2021). نتایج بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی برگی متانول در برخی گیاهان زراعی و باغی موجب افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

(Kheiri *et al*., 2020). یکی از مسیرهای پاسخ دفاعی سلول گیاهی، در برابر پاتوژن یا محرک، انفجار اکسیداتیو و آزاد شدن اکسیژن فعال است. مشخص گردید که در برخی از کشت‌های سلول گیاهی، با اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) و در گروهی از گیاهان پس از تیمار با محرک و میانجی‌گری یون سوپراکسید (O^{-2}) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، تجمع متابولیت‌های ثانویه انجام می‌شود. انواع اکسیژن‌های فعال دارای یون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل (OH^-) بوسیله اکسیدکردن رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، چربی‌های غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک؛ باعث آسیب‌های اکسیدکنندگی می‌شود، بنابراین گیاه نیاز به یک سیستم دفاعی ضد–اکسیدکننده دارد (Rudrappa *et al*., 2006; Zhao, 2005). محرک‌ها با تحت تأثیر قراردادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اسید سالیسیلیک با دو مکانیسم افزایش میزان کلروفیل و بهبود فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز نقش مهمی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و بهبود رشد زایشی گیاهان تیمار شده دارد (Ali *et al*., 2021). محرک‌های آلی از جمله کیتوزان منجر به بهبود سنتز و تجمع کلروفیل می‌شوند و کارایی فتوسیستم‌ها را افزایش می‌دهند و همچنین از طریق افزایش رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و میزان سنتز کلروفیل در گیاهان را بهبود می‌بخشند که منجر به افزایش رشد و عملکرد می‌گردند (Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2020). محرک‌ها با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها، مواد اولیه را برای سنتز ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین‌ها فراهم می‌آورند. علت افزایش ترکیبات فنولی در تیمار با محرک‌های مختلف، اثر این ترکیبات بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و افزایش فعالیت این آنزیم است (Alizadeh and Fattahi, 2021). از آنجا که این آنزیم یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز همه ترکیبات فنولی است، به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر نیز تغییر فعالیت این آنزیم یکی از دلایل افزایش مقدار ترکیبات فنولی در گیاهان مرزه باشد. سنتز ترکیبات فنولی در بافت‌های گیاهی وابسته به کربوهیدرات‌ها است. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی در تیمارهای محلول‌پاشی به طور غیرمستقیم با تحت تأثیر قراردادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، این ترکیبات را به سمت سنتز ترکیبات فنولی هدایت می‌کند که نتیجه آن افزایش مقدار این ترکیبات است (Ghasemi Pirbalouti *et al*., 2017). به‌طورکلی محرک‌های مختلف از جمله کیتوزان (Alizadeh *et al*., 2020) و اسید سالیسیلیک (Poorghadir *et al*., 2020) نقش مهمی در فعال کردن آنزیم‌های مسیر متابولیسم ثانویه گیاهان می‌کنند. تغییر در پاسخ گیاه به غلظت‌های مختلف هر محرک رشد می‌تواند در ارتباط با گونه گیاهی، مرحله رشد، روش‌های کاربرد و شرایط محیطی مرتبط باشد (Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2021). بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه تحت تأثیر رشد و نمو گیاه است که به رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه به ویژه ظرفیت فتوسنتز بستگی دارد. تغییر در فعالیت فتوسنتز باعث تغییر در فعالیت متابولیکی گیاه می‌شود (Poorghadir *et al*., 2020). 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 تیمارشده را می‌توان به تفاوت در اثرات هر یک از محرک‌ها بر رشد گیاه، پاسخ گیاه به عوامل زیستی و غیرزیستی که منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه می‌شود، نسبت داد (Hawrylak-Nowak *et al*., 2021).

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، تنش خشکی منجر به کاهش میزان کلروفیل کل گیاه گردید و از این طریق منجر به کاهش اسانس نیز شد. از طرف دیگر اسانس گیاه مرزه بختیاری با استفاده از محرک‌های مختلف دارای پایه آلی و الکلی به‌ویژه کیتوزان و اتانول تحت شرایط تنش رطوبتی افزایش یافت. نه تنها میزان اسانس، بلکه درصد ترکیبات شیمیایی اسانس نیز تحت تأثیر آن قرار گرفت و برخی از ترکیبات افزایش و بعضی کاهش یافتند. بالاترین میزان اسانس در تیمار دوره آبیاری ۶ روز یکبار و به‌کارگیری ۰/۲۵ گرم در لیتر کیتوزان و فنیل آلانین ۱ گرم در لیتر مشاهده شد. در بین ترکیبات عمده اسانس، بیشترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

اثرپذیری از تیمارهای مورد اعمال را ماده مؤثره گاما-ترپینن داشت که تحت دور آبیاری ۳ روز یکبار و تیمار فنیل آلانین ۱ گرم در لیتر، نسبت به دور آبیاری ۹ روز یکبار، بیش از ۱۰۰ درصد افزایش یافت. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که تحت شرایط تنش رطوبتی، محلول‌پاشی کیتوزان و نیز فنیل آلانین به عنوان یک روش مفید می‌تواند برای کاهش اثرات تنش و به دنبال آن افزایش عملکرد اسانس گیاه مرزه بختیاری در اقلیم‌ها و شرایط خاک مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

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. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.48.13.4

Abdul-Hafeez, E. Y, & Ibrahim, O. H. M. (2021). Effects of chitosan and BABA foliar application on flowering and chemical characteristics of German chamomile 'Bode-gold'. *South African Journal of Botany, 139,* 241-245. http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2021.01.037

Adams, R. P. (2007). Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/ Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL.

Ahmad, B., Khan, M. M. A., Jaleel, H., Sadiq, Y., Shabbir, A., & Uddin, M. (2017). Exogenously sourced γ-irradiated chitosan-mediated regulation of growth, physiology, quality attributes, and yield in *Mentha piperita* L. *Turkish Journal of Biology, 41*, 388-401. http://dx.doi.org/10.3906/biy-1608-64

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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114330

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.002

Ali, B. (2021). Salicylic Acid: An efficient elicitor of secondary metabolite production in plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 31,* 101884. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101884

Alizadeh, Z, & Fattahi, M. (2021). Essential oil, total phenolic, flavonoids, anthocyanins, carotenoids and antioxidant activity of cultivated Damask Rose (*Rosa damascena*) from Iran: With chemotyping approach concerning morphology and composition. *Scientia Horticulturae, 288,* 110341. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110341

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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112990

Arnon, D. I. (1975). Physiological principles of dry land crop production. In: Physiological Aspects of Dry Land Farming (ed. Gupta, U. S.) Pp. 3-14. Oxford Press.

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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39,* 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bohlman, J, & Keeling, C. I. (2008). Terpenoid biomaterials. *Plant Journal, 54,* 656-669. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03449.x

Caiyan, L., Dongming, M., Gaobin, P., Xiaofang, Q., Zhigao, D., & Hong, W. (2011). Foliar application of chitosan activates artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. *Industrial Crops and Products, 33,* 176-182. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.001

Caser, M., Chitarra, W., Angiolillod, F., & Perrone, I. (2019). Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Industrial Crops and Products, 129,* 85-96. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.068

Dere, S., Gunes, 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,* 13-17. https://www.researchgate.net/publication/235938850

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

Dzung, N. A. (2011). Enhancing crop production with chitosan and its derivatives. In: Chitin, Chitosan, Oligosaccharides and Their Derivatives, Kim, Se -kwon. Taylor and Francis. Boca Raton London New York.

Emami-Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Ghasemi-Pirbalouti, A. (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *Crop Journal*, *CJ-00231*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003

Esch, E. H., Lipson, D. A., & Cleland, E. E. (2019). Invasion and drought alter phenological sensitivity and synergistically lower ecosystem production. *Ecology, 100*, 34-45. https://doi.org/10.1002/ecy.2802

Esmaeilzadeh bahabadi, S, & Sharifi, M. (2013). Increasing the production of plant secondary metabolites, using biotic elicitors. *Journal of Cell Tissue, 4*, 119-128. 10.52547/JCT.4.2.119

Falcon-Rodriguez, A. B., Cabrera, J. C., Ortega, E., & Martinez-Tellez, M. A. (2009). Concentration and physicochemical properties of chitosan derivatives determine the induction of defense responses in roots and leaves of Tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants. *American Journal of Agriculture Biology Science, 4*, 192-200. http://dx.doi.org/10.3844/ajabssp.2009.192.200

Farahani, H., Sajedi, N. A., Madani, H., Changizi, M., & Naeini, 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

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. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3

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 *Claroideoglomus etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. *Scientia Horticulturae, 256*, 108652. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108652

Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., & Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae, 217*, 114-22. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031

Gorni, P. H., Pacheco, A. C., Moro, A. L., Albuquerque Silva, J. F., Moreli, R. R., & Rodrigues de Miranda, G. (2020). Salicylic acid foliar application increases biomass, nutrient assimilation, primary metabolites and essential oil content in *Achillea millefolium* L. *Scientia Horticulturae, 270*, 109436. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109436

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. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.354715.2995

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. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128358

Heng, Y., Xavier, C., Frette, S., Lars, P., Christensen, S., & Kai, G. (2012). Chitosan oligosaccharides promote the content of polyphenols in Greek Oregano (*Origanum vulgare* ssp. hirtum). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*, 136-143. https://doi.org/10.1021/jf204376j

Fooladi Vanda, Gh., Shabani, L., & Razavizadeh, R. (2019). Chitosan enhances rosmarinic acid production in shoot cultures of *Melissa officinalis* L. through the induction of methyl jasmonate. *Botanical Studies, 60*, 26. http://dx.doi.org/10.1186/s40529-019-0274-x

Jafari, S. A., Khorshidi, J., Morshedloo, M. R., & Houshidari, F. (2021). Assessment of water deficit tolerance in some of Iranian native *Satureja* species using stress tolerance indices. *Journal of Plant Process and Function, 10*(44), 133-145. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.44.6.2

Kandil, M. A. M., Reham, S., & Ahmed, S. S. (2016). Growth and quality of sage (*Salvia officinalis*), parsley (*Petroselinum crispum*) and nasturtium (*Tropaeolum majus*) as affected by water deficit. *Middle East Journal of Agriculture Research, 5*(3), 286-294. https://www.researchgate.net/publication/307016400

Kheiri, A., Mohajjel shoja, H., & Sarajoughi, M. (2020). Study on the effect of drought stress and methanol spraying on dehydrine1 gene expression in *Carthamus tinctorius*. *Genetic Engineering and Biosafety Journal, 9*, 67-75. http://dorl.net/dor/20.1001.1.25885073.1399.9.1.4.7

Khosh Eqbal, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Enteshari, Sh., & Davarpanah, S. J. (2020). Qualitative and quantitative effects of drought stress on essential oil compositions of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Plant Research, 33*(2), 292-303. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.2.1.3

Kulak, M. (2020). Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products, 154*, 1-17. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112695

Malekpoor, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Salimi, A., & Momtaz, H. (2017). Effects of chitosan on gene expression of chavicol-O-methyl transferase and phenylpropanoid components of *Ocimum basilicum* (purple cultivar) under water

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

deficit. *Journal of Biology Society, 30,* 391-401. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832738.1396.30.3.7.0

Marinova, D., Ribarova, F., & Atanassaova, M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal Univercity of Chemistry Technology Metallurgy, 40* (3), 255-260.

Moghaddam, M., Narimani, R., Rostami, G., & Mojarab, S. (2018). Studying the effect of foliar application of methanol and ethanol on morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* cv Keshkeni luvelou). *Iranian Journal of Field Crops Research. 16*(2), 345-354. https://doi.org/10.22067/gsc.v16i2.57520

Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F., & Hashempour, H. (2019). Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products, 129,* 561-574. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.046

Momeni, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., & 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. *Journal of Essential Oil Bearing Plants, 23*(5), 1142-1153. http://dx.doi.org/10.1080/0972060X.2020.1801519

Mozaffarian, V. (2008). A Pictorial Dictionary of Botanical Taxonomy Latin-English-French-Germany-Persian. Germany: Koeltz Scientific Books.

Mousavi, S. M., Akbarpour, V., Moradi, H., & Sadeghi, H. (2021). Effect of methanol and ethanol foliar application on some growth characteristics and some of secondary metabolites thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Plant Production Research, 28*(1), 213-229. https://doi.org/10.22069/jopp.2021.18130.2685

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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381

Nonomura, A. M, & Benson, A. (1992). The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. *Procedures Natural Science, 5*(20), 9794-9798. https://doi.org/10.1073%2Fpnas.89.20.9794

Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M. V., & Senthil-Kumar, M. (2017). Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Front Plant Science, 8,* 1-15. doi: 10.3389/fpls.2017.00537

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.). *Biocatalyst and Agricultural Biotechnology, 30,* 101815. http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101815

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 Sciences, 12* (2), 309-313. DOI: 10.15740/HAS/IJPS/12.2/309-313

Rajabzadeh, Sh., Ghasemi, A., Yadegari, M., & Rahimi, T. (2023). Evaluation of the foliar application effect on the chemical compositions of *Rosa damascena* Mill. essential oil of Chaharmahal va Bakhtiari province. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 10*(2), 80-95. https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1954175.1682

Rudrappa, T., Neelwarne, B., Lakshmanan, V., & Aswanthanarayana, S. R. (2006). Elicitation of peroxidase activity in genetically transformed root cultures of *Beta vulgaris* L. *Electronic Journal of Biotechnology, 9,* 5-10. https://doi.org/10.2225/vol9-issue5-fulltext-11

Sasani, N., Paques, 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. https://doi.org/10.1007/s00468-021-02129-4

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 kotschyi* Boiss. under water deficit stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants, 26,* 769-779. 10.30495/iper.2022.1952014.1771

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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113024

Vojodi Mehrabani, L. (2019). The effects of methanol and ethanol foliar application under salinity stress on some physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. *Journal of Plant Physiology and Breeding, 9*(1), 63-73. https://doi.org/10.22034/jppb.2019.10368

Xiaolu, W., Jie, Y., Aoxue, L., & Yu, Ch. (2016). Drought stress and re-watering increase secondary metabolites andenzyme activity in *Dendrobium moniliforme*. *Industrial Crops and Products, 94,* 385-393. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.041

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. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356264.3073

Yadegari, M. (2018). Foliar application effects of salicylic acid and jasmonic acid on the essential oil composition of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

Salvia officinalis. *Turkish Journal of Biochemistry, 43*(4), 417-424. https://doi.org/10.1515/tjb-2017-0183

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. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269796

Yaghoubi Kiaseh, D, & Yadegari, M. (2015). The Effect of ethanol and cycloheximide on the vase life of cut flowers Alstroemeria (*Alstroemeria hybrida*). *Journal of Ornamental Plants, 6*(2), 73-82.

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. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.267489.1521

Zamani, S., Ghasemnejad, A., Alizadeh, M., & Alami, M. (2016). Investigating the effect of salinity and salicylic acid on the activity of phenylalanine ammonialyase enzyme and Phenylpropanoids compounds of *Cynara scolymus* L. in vitro. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 3*(4), 28-39. 10.30495/ejmp.2016.694504

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. https://doi.org/10.1111/ppl.12540

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

Morpho-physiological and essential oil characters of Savory (*Satureja bachtiarica*) by affected of elicitors and irrigation regimes

Mehrab Yadegari

Research Center of Nutrition and Organic Products (R.C.N.O.P), Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

(Received: 2023/12/11, Accepted: 2024/02/12)

Abstract

The present study was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications to investigate the effect of elicitors on the morpho-physiological characters and essential oil quantity and quality of *Satureja bachtiarica.* Three irrigation regimes (3, 6, 9 day interval) in main plots and foliar application of organic (chitosan, salicylic acid, phenylalanine) and alcoholic elicitors (ethanol, methanol, acetone) with control level (without any spraying) in sub plots were done. According to obtained results, applied elicitors significantly influenced the morpho-physiological and phytochemical characters of *S.bachtiarica.* In two years, the highest chlorophyll content (1.37-1.41 $mg.g^{-1}FW$) and total phenol content (2.34-2.51 $mg.g^{-1}FW$) were obtained in chitosan (0.25 $mg.l^{-1}$), ethanol (10 %) and phenylalanine (1 $mg.l^{-1}$) treatments by irrigation regimes 3 and 6 day interval, respectively. The highest essential oil contents (1.61-1.59%) were obtained from the plants treated by chitosan (0.25 $mg.l^{-1}$) and phenylalanine ($1g.l^{-1}$) by irrigation regime 3 day interval. The most important chemical compounds that determine the quality of *S.bachtiarica* essential oil included alcoholic monoterpenes such as P-cymene (35.4-20.1 %), gamma-terpinene (17.74-6.71 %), Carvacrol (36.54-22.14 %), Alpha-terpinene (2.56-0.65 %), Germacrene-D (2.01-0.65 %) and Thymol (1.45-0.54 %) made the most components of essential oil plants. Foliar application of chitosan (0.25 $mg.l^{-1}$), ethanol (10 %) and phenylalanine ($1g.l^{-1}$) significantly increased the monoterpene alcohols compounds in essential oils of *S.bachtiarica.* Generally, the application of chitosan at 0.25 $gr.l^{-1}$ can be a good strategy to improve morpho-physiological characters and essential oil quantity and quality of *S.bachtiarica* in same climate.

Keywords: Carvacrol, Chitosan, Ethanol, Foliar application, Irrigation

Corresponding author, Email: mehrabyadegari@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]