Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 1, 2025, P. 53-76

Morpho-physiological and essential oil of *Satureja mutica* Fisch. affected by elicitors and irrigation regimes

Mehrab Yadegari [*a]

[a] Research Center of Nutrition and Organic Products, Shk.C., Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

[*]Corresponding Author: mehrabyadegari@gmail.com

Received: 18 December 2023 Accepted: 16 April 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.431219.1389**

How to cite this article:
Yadegari, M., 2025. Morpho-physiological and essential oil of *Satureja mutica* Fisch. affected by elicitors and irrigation regimes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(1), 53-76. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.431219.1389

Abstract

Introduction: *Satureja mutica* commonly belongs to the family Lamiaceae, is one of the important species in Iran. This plant is rich in essential oil, flavonoids, monoterpene glycosides, trypanocidal terpenoids. The main compounds of the essential oil from *S. mutica* collected from natural habitats are alpha-pinene, thymol, Beta-thujone, carvacrol, alpha-terpinene, gamma-terpinene and germacren-d. The environmental factors cause changes in the growth, quantity, and quality of active substances (such as alkaloids, glycosides, steroids and volatile oils) in the medicinal and aromatic plants. Among environmental stresses, water deficit stress plays an important role in the biosynthesis of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants in arid and semi-arid regions like Iran. Drought stress has detrimental effects on plants growth and yield and can upset the balance between the antioxidant defense system and free radicals by stimulating a series of biochemical reactions, where free radicals cause cell damage. In sustainable production systems of the medicinal and aromatic plants, stable quantitative and qualitative functions can be achieved under conditions of environmental stress and it is possible to improve the production of secondary metabolites in these plants under adverse environmental conditions. Therefore, this study was done to evaluate the organic and alcoholic elicitors on the physiological and phytochemical characters of *S. mutica* to determine and introduce the best elicitor under water stress.

Materials and Methods: This investigation was done from spring (May) 2022 to fall (September) 2023 in Shahrekord, Iran (latitude. 32°20′ N, longitude. 50°51′ E, altitude. 2061 m). Based on the Köppen climate classification, the climate of the area of study is classified as cold and semiarid. The present study was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications to investigate the effect of foliar application of different elicitors of organic (chitosan, salicylic acid, phenylalanine) and alcoholic (ethanol, methanol, acetone) and control level (without any spraying). Three irrigation regimes (3, 6, 9 day interval) in main plots and foliar application of elicitors in sub plots were done. In each year, treatments were applied in 3 stage (before flowering, beginning of flowering and flowering in 50% completing) and harvesting were done in complete flowering. The essential oils were extracted by hydro-distillation and analyzed by using GC/MS.

Results and Discussion: According to obtained results, applied elicitors significantly influenced the morpho-physiological and phytochemical characters of *Satureja mutica*. In two years, the highest

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

chlorophyll content (1.29-1.31 mg.g^{-1}FW) and total phenol content (2.23-2.11 mg.g^{-1}FW) were obtained in chitosan (0.25 mg.l^{-1}), phenylalanine (1 mg.l^{-1}) and ethanol (10 %) treatments by irrigation regimes 3 and 6 day interval, respectively. The highest essential oil contents (1.31-1.21 %) were obtained from the plants treated by chitosan (0.25 mg.l^{-1}), ethanol (10%) and salicylic acid (1.5 mM) by irrigation regime 3 day interval. According to the biennial results of the chemical analysis of the essential oils from by GC/MS, the most important chemical compounds that determine the quality of *S. mutica* essential oil included alcoholic monoterpenes such as Thymol (41.12-41.3 %), P-cymene (32.1-33.9 %), gamma-terpinene (18.91-19.11 %), Carvacrol (3.12-3.91 %) and Alpha-terpinene (3.12-2.93 %) made the most components of essential oil plants. Thymol belonging to phenolic monoterpenoid was the predominant constituent of essential oil of *Satureja mutica*. Proline content in irrigation regime of 9 day interval more than other regimes and in other hand, the irrigation regime of 3 day interval with chitosan and ethanol treatments was leaser than other treatments. Foliar application of chitosan (0.25 mg.l^{-1}), ethanol (10 %) and salicylic acid (1.5 mM) significantly increased the monoterpene alcohols compounds in essential oils of *S. mutica.*

Conclusion: Morpho-physiological and essential oil of *Satureja mutica* had significant differences by elicitors and irrigation regimes. Foliar application of chitosan, ethanol and salicylic acid significantly increased the cyclic monoterpene alcohols compounds in essential oils of *S. mutica* so that the content of these compounds in treated plants by elicitors approximately 65% was more than the control plants. Finally, 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. mutica* in cold and semi-arid climates.

Keywords: Chitosan, Medicinal plant, P-cymene, Salicylic acid, Thymol

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، ص ۷۶-۵۳

مقاله پژوهشی

ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی مرزه جنگلی (*Satureja mutica* Fisch.) تحت تأثیر محرک‌های رشدی و دورهای آبیاری

مهراب یادگاری[*1]

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

* مسئول مکاتبه: mehrabyadegari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.431219.1389**

چکیده

مرزه جنگلی (*Satureja mutica*) از گیاهان دارویی با ارزش و بومی ایران و از خانواده نعناعیان است. این پژوهش از بهار (اردیبهشت ماه) ۱۴۰۱ تا پاییز (مهرماه) ۱۴۰۲ در شهرکرد به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای دوره آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی برگی محرک‌های آلی (کیتوزان، اسید سالیسیلیک و فنیل آلانین) و الکلی (متانول، اتانول و استون) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در هر سال، در سه مرحله (قبل از گلدهی، شروع گلدهی و ۵۰ درصد گلدهی) محلول‌پاشی انجام شد و در زمان گلدهی اقدام به برداشت شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، محرک‌های آلی و الکلی به‌طور معنی‌داری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس مرزه جنگلی تأثیر داشتند. بالاترین محتوای کلروفیل (۱/۲۹-۱/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و فنل (۲/۲۳-۲/۱۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمارهای کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۱ گرم در لیتر) تحت دوره آبیاری ۳ و ۶ روز به دست آمد. بیشترین میزان اسانس (۱/۳۱-۱/۲۱ درصد) در گیاهان تحت تیمار با کیتوزان (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر)، اتانول (۱۰درصد) و اسید سالیسیلیک (۱/۵ میلی مولار) با دوره آبیاری ۳ روز یکبار بوجود آمد. مونوترپن‌های حلقوی عامل اصلی تعیین کننده کیفیت شامل تیمول (۴۱/۱۲-۴۱/۳ درصد)، پی-سایمن (۳۲/۱-۳۳/۹ درصد)، گاما-ترپینن (۱۸/۹۱-۱۹/۱۱ درصد)، کارواکرول (۹۱/۱۲-۳/۳ درصد)، آلفا-ترپینن (۳/۱۲-۲/۹۳ درصد) بودند. استفاده از کیتوزان با غلظت ۰/۲۵گرم در لیتر می‌تواند نقش مؤثری در بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس مرزه جنگلی تحت شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید سالیسیلیک، پارا-سیمن، تیمول، کیتوزان، گیاه دارویی

مقدمه

خانواده نعناعیان، یکی از بزرگترین خانواده‌های گیاهی است که تاکنون ۲۰۰ جنس و ۲۰۰۰ گونه متعلق به آن شناخته شده است. در ایران این جنس ۱۲ گونه علفی یکساله و چند ساله دارد که ۸ گونه آن مختص ایران است. این گونه‌ها بومی مناطق مدیترانه شرقی و غرب آسیا هستند و در مناطق با اقلیم مرطوب و خاک‌های عمیق تا مناطق با اقلیم خشک آفتابی و خاک‌های سنگلاخی رشد می‌کنند. از این خانواده، مرزه جنگلی با نام علمی *Satureja mutica* از گیاهان دارویی با ارزش و بومی ایران است. مرزه جنگلی گیاهی بوته‌ای و نسبتاً چوبی، با ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر و شاخه‌های گل‌دهنده بسیار زیاد است. حجم رشدی گیاه نیز زیاد بوده و از کرک‌های کوتاه خاکستری رنگ پوشیده شده و رویشگاه طبیعی این گیاه در شمال ایران است (Mozaffarian, 2008). گیاه دارویی مرزه در درمان دردهای عضلانی، کرامپ، تهوع، بیماری‌های عفونی و اسهال کاربرد دارد و همچنین هضم کننده غذا، ادرارآور، خلط‌آور، ضد درد، ضد سرطان، محرک و مقوی معده است (Momtaz and Abdollahi, 2008). مهم‌ترین مواد متشکله اسانس، ترکیباتی نظیر تیمول، کارواکرول، پارا-سیمن، گاما-ترپینن، جرماکرن-دی، بتا-توژان و آلفا-ترپینن می‌باشند (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 آنها است (Thakur and Kumar, 2020). با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، تنش آب یکی از مسائل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. تنش آب 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*)، جعفری (*Petroselinum crispum*) و *Tropaeolum majus* (Reham *et al.*, 2016)، اسانس و ماده مؤثره تیمول، مالون دی آلدئید و فنل همیشه بهار مکزیکی (*Tagetes minuta*) (Babaei *et al.*, 2021)، اسیدهای فنلیک، 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 مریم گلی (*Salvia dolomitica* Codd) (Caser *et al.*, 2019) می‌شود. 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) شده است.

گیاهان تحت تنش خشکی متابولیت‌هایی تولید می‌نمایند که از آنها در مقابل رادیکال‌های آزاد از جمله اکسیژن رادیکال محافظت نموده و از کاهش فتوسنتز جلوگیری می‌نمایند (Albergaria *et al.*, 2020). در تنش خشکی اسیدهای آمینه، قندها و متابولیسم تحت تأثیر قرار می‌گیرند. از آنجا که تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان به‌وسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش رطوبتی نیز عامل مؤثری در کاهش رشد و همچنین ساخت ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد (Zandalinas *et al.*, 2017)، لذا ارائه‌ی روش‌هایی که گیاه بتواند ماده مؤثره‌ی 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 (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 بخشیدن به فرایند ساخت متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی تأیید شده است (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 *et al.*, 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) شده است.

از دیگر محرک‌های آلی اسید سالیسیلیک است که کاربرد آن منجر به افزایش مقدار اسانس و تحمل به خشکی گیاهان دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) (Abdi *et al.*, 2022)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) (Yadegari, 2018)، بومادران (*Achillea millefolium* L.) (Gorni *et al.*, 2020)، زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) (Shaykh-Samani *et al.*, 2023)، گونه‌های آویشن (*Thymus kotschyanus* و *Thymus vulgaris*) (Mohammadi *et al.*, 2019) و گیاه *Thymbra spicata* L. (Momeni *et al.*, 2020) و افزایش مقادیر فنیل پروپانوئیدی کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*) (Zamani *et al.*, 2016)، شده است.

محلول‌پاشی توأم اسید سالیسیلیک، کیتوزان و فنیل آلانین، منجر به افزایش اسانس و ترکیبات اسانس گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) (Poorghadir *et al.*, 2020) و گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) (Rajabzadeh *et al.*, 2023) شده است.

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 (Kheiri *et al.*, 2020). 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 موثره 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 آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) (Mousavi *et al.*, 2021) شده است.

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 جنگلی انجام نشده است. این پژوهش در جهت یافتن بهترین محرک رشدی برای بدست آوردن بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و کمیت و کیفیت اسانس مرزه جنگلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح تحقیق: پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی پژوهشی شهرکرد با مشخصات عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا، در طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام گردید. خصوصیات اقلیمی و خاکشناسی منطقه در جدول ۱ و خصوصیات آب مورد استفاده در جدول ۲ آمده است. تحقیق حاضر به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در جهت ارزیابی محرک‌های رشدی آلی (کیتوزان، اسید سالیسیلیک و فنیل آلانین) و الکلی (اتانول، متانول و استون) به همراه شاهد تحت تنش آبی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی، اسانس و ترکیبات اسانس گیاه دارویی مرزه جنگلی انجام گردید. تیمارهای دوره آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) منطبق بر میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به ترتیب در سه سطح ظرفیت مزرعه، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی (Yadegari, 2022) 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. نشاءهای ۴-۶ برگی مرزه جنگلی تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان، در سال اول در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه و در سال دوم در ۲۰ اردیبهشت ماه در کرت‌های آزمایشی کاشت شدند و بلافاصله آبیاری انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات خاکشناسی و اقلیمی محل پژوهش

Table 1- Physicochemical and climatic properties of experimental field

خصوصیات Characters	۱۴۰۱ 2022	۱۴۰۲ 2023
بافت Texture	Clay loam	
فسفر P (ppm)	82	83
پتاسیم K(ppm)	209.2	212
نیتروژن N (ppm)	0.09	0.08
هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	0.41	0.42
کربن آلی Organic Carbon (%)	0.77	0.85
اسیدیته pH	7.4	7.3
متوسط بارش Average rainfall (mm)	311.1	309.3
متوسط دما Average temperature (C^0)	11.6	11.2
متوسط بیشینه دما Average maximum temperature (C^0)	22.6	21.8
متوسط کمینه دما Average minimum temperature (C^0)	-12.4	-12.1

جدول ۲- مشخصات آب مورد استفاده جهت آبیاری

Table 2- characters of used water for irrigation

اسیدیته	هدایت الکتریکی	کل مواد جامد محلول	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی کربنات	کربنات	سولفات	کادمیم	آهن	مس	منگنز	روی	نیترات
pH	EC	TDS	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO_3	CO_3	SO_4	Cd	Fe	Cu	Mn	Zn	NO3
	میلی زیمنس بر متر	میلی‌گرم در لیتر	میلی اکی والان در لیتر													
	ms/m	mg/l	meq/l													
7.4	366	245.2	0.543	0.18	2.31	1.45	0.93	3.44	0.22	0.001	0	0.008	0.001	0.001	0.001	24.55

مشخصات تیمارها: 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 (۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و تیمار شاهد (بدون هر نوع محلول‌پاشی) برای این پژوهش انتخاب شد. برای تهیه‌ی محلول فنیل آلانین، با حل کردن به ترتیب؛ یک گرم و ۲ گرم در یک لیتر آب، محلول‌های مورد نظر به دست آمد. با توجه به جرم مولکولی اسید سالیسیلیک (۱۳۸/۱۲ گرم 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. در هر سال، در سه مرحله (قبل از گلدهی، شروع گلدهی و ۵۰ درصد گلدهی) محلول‌پاشی انجام شد.

برداشت نمونه‌ها: کرت‌ها شامل ۶ ردیف به طول ۶ متر بود که ۲ ردیف کناری به عنوان اثرات حاشیه‌ای در زمان برداشت حذف گردیدند. نمونه‌های گیاهی، در زمان گلدهی کامل به طور جداگانه از هر کدام از تیمارهای تحت آزمایش در سال اول در ۲۴ مرداد ماه و در سال دوم در ۲۸ مرداد ماه جمع

آوری گردید. همچنین از برگ گیاهان تیمار شده جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی، نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌های برداشت شده 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.

محتوای نسبی آب برگ: برای برآورد محتوای نسبی آب برگ، ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) جدا کرده و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردیدند. پس از گذشت این مدت، وزن اشباع برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد گردید (TW). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از گذشت این مدت، وزن خشک برگ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد گردید (DW). در نهایت محتوای آب نسبی با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Arnon, 1975):

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

کلروفیل کل: برای اندازه‌گیری کلروفیل کل، ۰/۱۲۵گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد و ۰/۱ گرم کربنات کلسیم (برای خنثی نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده شد تا به‌صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژ کردن عصاره حاصل، محلول رویی برداشته شد و جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به‌عنوان محلول مرجع قرائت و با معادله ۲ محاسبه گردید (Dere *et al.*, 1998):

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

میزان پرولین: پرولین نمونه‌های برگ بر اساس میکرومول در گرم وزن تر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر و با استفاده از تولوئن به عنوان محلول مرجع و با کمک معادله ۳ محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973). عدد ۱۱۵/۵ وزن مولکولی پرولین است.

(۳) [۱۱۵/۵ (میکروگرم در میکرومول)/حجم عصاره (میلی‌لیتر)× پرولین عصاره (میکروگرم در میلی‌لیتر)]× [وزن نمونه(گرم)/۵]

میزان فنل کل: محتوای ترکیبات فنل کل با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره‌های مختلف یا محلول استاندارد گالیک اسید (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، ۱/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر، ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین- سیوکالتو (رقیق شده با نسبت ۱ به ۱۵) اضافه و به‌خوبی مخلوط گردید. پس از گذشت ۵ دقیقه ۰/۲ میلی‌لیتر محلول بیکربنات سدیم ۷ درصد و ۰/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر به محلول اضافه شده،۹۰ دقیقه در دمای اتاق و شرایط تاریکی نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها در ۷۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت کشور آمریکا مدل Perklin elmer قرائت و محتوای ترکیبات فنلی کل عصاره‌ها بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک به گرم وزن خشک اندام هوایی محاسبه گردید (Marinova *et al.*, 2005).

اسانس‌گیری: پس از برداشت، به منظور محافظت نوری نمونه‌ها و حداقل آسیب به کیفیت اسانس، ساختارهای هوایی در پاکت‌های کاغذی جمع آوری 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 با حداکثر دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، صورت گرفت که برای هر نمونه مدت دو ساعت به طول انجامید. اسانس گیاهان مورد نظر پس از آماده‌سازی، جهت شناسایی ترکیبات به دستگاه GC/MS (مدل7890A/5975C ساخت اجیلنت آمریکا) مجهز به ستون موئینهHP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرون با محدوده دمایی آون ستون از ۶۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد تزریق گردید. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداری آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود 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.

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

نتایج و بحث

اسانس و ترکیبات اسانس: نتایج نشان داد که اثرگذاری تیمارهای آزمایشی در هر دو سال، بجز مواد مؤثره بتاتوژان و کارواکرول، بر سایر ترکیبات غالب اسانس و محتوای اسانس، معنی‌دار بود (جدول ۳).از ۱۱ ترکیب شناسایی شده، ترکیبات عمده و غالب اسانس شامل پاراسیمن، گاماترپینن، تیمول، آلفا-ترپینن، میرسن، بتاتوژن، کارواکرول و جرماکرن-دی بود. در بین اجزای اسانس، ماده مؤثره تیمول بیشترین میزان را در تمامی گیاهان تحت تیمار در هر دو سال تحقیق، به خود اختصاص داد (جداول ۴-۹). مشخص گردید که اثرگذاری تیمارهای آزمایشی بر مواد مؤثرهٔ مونوترپنه اکسیژنه الکل‌دار و نیز میزان اسانس، معنی‌دار و در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند. با اعمال تیمارهای پایه آلی و مقایسه با نمونه شاهد، روند افزایشی در میزان کمی و کیفی اسانس مشاهده گردید (جداول ۴-۹).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب مربعات اسانس و ترکیبات عمده اسانس مرزه جنگلی در سال‌های اجرای تحقیق

Table 3- Complex analysis variance of mean of squares of essential oil content and the main components of essential oil of *Satureja mutica*

منابع تغییرات SOV[z]	درجه آزادی DF[y]	تیمول Thymol	جرماکرن-دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
سال Year (Y)	1	2.33**	2.8**	2.77**	0.055^{ns}	0.091^{ns}	0.079**	2.77**	5.33**
تکرار (سال) R(Y)	4	0.065	0.044	0.023	0.061	0.081	0.009	0.06	0.55
آبیاری Irrigation(A)	2	1.34**	4.31**	2.24**	0.077^{ns}	0.051^{ns}	2.77**	1.55**	2.99**
آبیاری× سال A×Y	2	1.62**	1.12**	3.65**	0.044^{ns}	0.042^{ns}	2.44**	1.88**	2.77**
خطای‌کرت‌های‌اصلی E_a	8	0.021	0.03	0.043	0.082	0.04	0.043	0.022	0.023
محرک Elicitor (B)	12	1.43**	2.23**	2.99**	0.088^{ns}	0.045^{ns}	1.99**	1.49**	1.99**
آبیاری×محرک A×B	24	1.66**	1.93**	3.52**	0.081^{ns}	0.033^{ns}	2.44**	1.88**	2.77**
محرک×سال B×Y	12	1.21**	4.21**	3.77**	0.071^{ns}	0.021^{ns}	2.66**	12.7**	2.66**
آبیاری×محرک×سال A×B×Y	24	0.011^{ns}	0.12^{ns}	0.11^{ns}	0.077^{ns}	0.014^{ns}	0.091^{ns}	0.033^{ns}	0.044^{ns}
خطای کرت‌های فرعی E_b	144	0.021	0.11	0.15	0.095	0.043	1.44	0.045	0.22
ضریب تغییرات (٪) C.V[x]		7.12	6.5	5.33	7.44	4.45	8.55	8.91	3.44

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

[z] SOV: source of variation, [y]df: degree of freedom, [x]CV: coefficient of variation, *, ** significant at P=0.05 and P=0.01 levels of probability respectively, ns: not significant.

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

Table 4- Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 3 day interval (1st year)

تیمار Treatment		تیمول Thymol	جرماکرن-دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
کنترل Control		32.5±0.6 d	0.76±0.01 b	2.32±0.03 c	2.04±0.06 d	0.85±0.01 a	15.78±0.4 c	22.18±0.9 d	0.84±0.03 c
متانول Methanol	10	35.5±0.9 c	0.44±0.02 c	2.35±0.01 c	3.09±0.01 ab	0.99±0.02 a	18.81±0.3 a	23.66±0.8 c	0.85±0.02 c
	20	33.02±0.4 cd	0.73±0.02 b	1.81±0.02 d	2.73±0.03 b	0.81±0.02 ab	17.39±0.5 b	24.51±0.9 c	0.96±0.01 b
اتانول Ethanol	10	38.9±0.9 ab	0.85±0.02 a	2.85±0.01 a	2.85±0.02 b	0.89±0.02 a	16.38±0.4 b	31.31±0.9 a	1.31±0.03 a
	20	36.88±0.8 b	0.44±0.01 c	2.12±0.03 c	2.21±0.02 d	0.79±0.03 ab	17.44±0.5 b	23.92±0.7 c	1.09±0.01 b
استون Acetone	10	36.43±0.7 b	0.76±0.02 b	2.89±0.01 a	2.99±0.06 b	0.91±0.03 a	18.1±0.6 ab	27.69±0.8 b	0.88±0.03 c
	20	34.82±0.6 c	0.55±0.01 c	1.81±0.01 d	2.65±0.05 bc	0.88±0.03 ab	16.22±0.4 b	24.22±0.7 c	0.92±0.01 b
LSD		0.66	0.99	0.77	0.98	1.00	0.88	0.93	0.2
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	31.82±0.6 d	0.76±0.02 b	3.12±0.02 a	3.12±0.06 a	1.01±0.02 a	17.82±0.3 b	25.69±0.8 c	1.21±0.02 a
	2	33.1±0.58 cd	0.22±0.01 d	2.29±0.01 c	2.91±0.01 b	0.81±0.01 ab	16.02±0.4 bc	23.14±0.9 cd	1.12±0.04 ab
فنیل آلانین Phenylalanine	1	32.21±0.5 d	0.11±0.03 e	2.98±0.03 a	2.95±0.05 b	0.91±0.02 a	16.91±0.5 b	29.37±0.7 c	1.11±0.03 ab
	2	31.78±0.8 d	0.57±0.02 c	2.57±0.01 b	2.62±0.07 bc	0.81±0.02 ab	17.44±0.5 b	26.75±0.9 c	0.92±0.01 b
کیتوزان Chitosan	1	36.82±0.8 b	0.76±0.01 b	1.88±0.02 cd	2.77±0.08 b	0.85±0.01 a	16.1±0.4 b	32.1±0.8 a	1.31±0.02 a
	2	33.82±0.7 d	0.66±0.02 b	1.76±0.01 d	2.31±0.06 cd	0.71±0.01 b	17.96±0.5 ab	29.78±0.9 b	0.99±0.03 b
LSD		0.99	0.85	0.77	0.98	0.94	0.99	0.55	0.55

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 $g.l^{-1}$, Phenylalanine 2: 2 $g.l^{-1}$, Chitosan 1: 0.25 $g.l^{-1}$. Chitosan 2: 0.5 $g.l^{-1}$

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

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

Table 5- Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 3 day interval (2nd year)

تیمار Treatment		تیمول Thymol	جرماکرن-دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
کنترل Control		33.5±0.7 c	0.81±0.02 ab	1.32±0.03 e	2.21±0.01 d	0.44±0.03 c	15.78±0.3 c	20.11±0.91 d	0.84±0.03 c
متانول Methanol	10	36.5±0.6 b	0.66±0.03 b	2.32±0.01 c	2.91±0.01 b	0.41±0.03 c	16.81±0.6 b	21.21±0.95 d	1.12±0.02 ab
	20	35.02±0.8 c	0.73±0.02 b	2.73±0.01 b	2.61±0.02 c	0.33±0.03 d	17.39±0.35 b	22.76±0.96 d	0.96±0.01 b
اتانول Ethanol	10	34.1±0.8 c	0.85±0.01 a	1.85±0.03 d	3.77±0.02 a	0.42±0.01 c	18.38±0.44 a	29.9±0.93 ab	1.12±0.03 ab
	20	29.88±0.9 e	0.55±0.02 c	1.44±0.03 e	3.14±0.03 ab	0.32±0.01 d	18.44±0.35 a	25.44±0.88 c	1.09±0.01 b
استون Acetone	10	35.43±0.6 c	0.81±0.01 a	2.76±0.02 a	3.09±0.01 ab	0.44±0.01 c	17.1±0.38 b	26.69±0.78 b	0.98±0.03 b
	20	30.82±0.9 d	0.86±0.03 a	1.76±0.01 d	3.01±0.05 b	0.77±0.02 b	16.22±0.47 b	24.91±1.04 c	0.89±0.04 bc
LSD		0.69	0.74	0.88	0.88	0.88	0.94	0.66	0.95
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	32.82±0.6 cd	0.76±0.02 b	1.86±0.01 d	3.91±0.05 a	0.66±0.01 b	19.01±0.5 a	21.14±0.91 d	1.21±0.01 a
	2	34.1±0.7 c	0.55±0.04 c	1.22±0.02 e	3.45±0.01 a	0.56±0.01 c	18.02±0.4 ab	22.33±0.84 d	1.12±0.01 ab
فنیل آلانین Phenylalanine	1	33.21±0.5 c	0.82±0.01 a	1.01±0.01 f	2.99±0.05 b	0.91±0.02 a	15.91±0.3 c	23.11±1.01 cd	1.14±0.03 ab
	2	32.78±0.8 cd	0.57±0.02 c	2.57±0.01 b	2.55±0.02 c	0.33±0.01 d	17.44±0.5 b	22.55±0.77 d	0.92±0.01 b
کیتوزان Chitosan	1	35.82±0.8 bc	0.85±0.01 a	1.11±0.01 ef	3.01±0.03 b	0.85±0.02 a	15.1±0.5 c	31.69±0.88 a	1.21±0.02 a
	2	34.82±0.7 c	0.76±0.03 b	1.76±0.02 d	2.18±0.01 d	0.22±0.01 d	16.96±0.4 b	26.41±0.99 c	0.99±0.02 b
LSD		0.65	0.88	0.88	0.95	1.00	0.91	1.00	0.78

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 $g.l^{-1}$, Phenylalanine 2: 2 $g.l^{-1}$, Chitosan 1: 0.25 $g.l^{-1}$. Chitosan 2: 0.5 $g.l^{-1}$

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

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

Table 6- Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 6 day interval (1st year)

تیمار Treatment		تیمول Thymol	جرماکرن-دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
کنترل Control		34.5±0.8 c	0.79±0.01 ab	1.32±0.01 e	2.14±0.08 d	0.65±0.02 b	14.31±0.7 cd	27.41±0.88 b	0.66±0.03 d
متانول Methanol	10	38.5±0.7 b	0.77±0.02 b	1.42±0.03 e	2.91±0.01 b	0.87±0.03 a	15.81±0.8 c	25.91±0.99 c	0.89±0.02 bc
	20	34.02±0.4 c	0.89±0.03 a	1.73±0.01 d	2.73±0.05 b	0.73±0.02 b	16.39±0.35 b	24.33±1.02 c	0.71±0.01 c
اتانول Ethanol	10	39.1±1.01 a	0.99±0.04 a	1.85±0.02 d	2.85±0.02 b	0.89±0.03 a	17.38±0.34 b	32.1±0.77 a	0.99±0.03 b
	20	36.88±1.1 b	0.66±0.02 b	1.44±0.01 e	2.21±0.01 d	0.78±0.02 b	18.44±0.35 a	30.78±0.88 a	0.81±0.01 c
استون Acetone	10	38.43±0.6 b	0.81±0.01 a	2.76±0.04 a	2.18±0.02 d	0.93±0.01 a	16.1±0.48 bc	25.69±0.99 c	0.88±0.03 c
	20	35.82±0.77 c	0.71±0.03 b	1.76±0.03 d	2.08±0.05 d	0.79±0.02 ab	17.22±0.3 b	22.11±1.02 d	0.68±0.02 cd
LSD		0.55	0.75	0.98	1.00	0.55	0.77	0.75	0.94
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	34.82±0.7 c	0.79±0.01 ab	1.96±0.02 c	2.18±0.05 d	0.91±0.01 a	15.82±0.3 c	30.55±1.01 a	1.14±0.01 ab
	2	32.1±0.8 d	0.88±0.02 a	1.22±0.01 e	2.55±0.02 c	0.81±0.03 ab	16.02±0.4 bc	25.14±0.88 c	1.02±0.04 b
فنیل آلانین Phenylalanine	1	39.21±0.8 a	0.63±0.03 b	2.01±0.03 c	2.78±0.02 b	0.87±0.02 a	18.91±0.3 a	29.44±0.77 b	1.11±0.03 ab
	2	37.78±0.7 b	0.59±0.01 bc	1.57±0.02 d	2.11±0.01 d	0.78±0.01 ab	18.04±0.4 ab	28.75±0.69 b	0.95±0.01 b
کیتوزان Chitosan	1	41.12±0.8 a	0.76±0.02 b	2.11±0.01 c	2.22±0.02 d	0.92±0.01 a	16.1±0.3 bc	29.34±0.99 b	1.29±0.02 a
	2	38.82±0.7 ab	0.56±0.03 c	1.76±0.01 d	2.18±0.03 d	0.84±0.02 a	17.96±0.4 ab	26.11±0.88 c	1.05±0.01 b
LSD		0.93	0.82	1.00	0.98	0.98	0.66	0.65	0.66

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 $g.l^{-1}$, Phenylalanine 2: 2 $g.l^{-1}$, Chitosan 1: 0.25 $g.l^{-1}$. Chitosan 2: 0.5 $g.l^{-1}$

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

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

Table 7- Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 6 day interval (2nd year)

تیمار Treatment		تیمول Thymol	جرماکرن-دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
کنترل Control		37.5±0.9 b	0.76±0.01 b	2.32±0.01 b	2.94±0.04 b	0.65±0.02 b	14.78±0.38 c	28.25±0.99 b	0.67±0.03 d
متانول Methanol	10	39.5±0.7 a	0.81±0.02 a	2.52±0.02 b	2.21±0.03 d	0.89±0.02 a	16.81±0.36 b	27.31±1.02 b	0.99±0.01 b
	20	37.02±0.4 b	0.73±0.03 b	2.23±0.01 c	2.73±0.05 b	0.78±0.02 ab	17.39±0.45 b	26.76±0.89 b	0.81±0.02 c
اتانول Ethanol	10	39.1±0.8 ab	0.85±0.02 a	1.85±0.03 d	2.85±0.02 b	0.85±0.02 a	18.38±0.34 a	25.52±0.78 c	1.03±0.01 b
	20	37.88±0.9 b	0.44±0.01 c	2.44±0.01 b	2.21±0.09 d	0.79±0.01 ab	16.44±0.35 b	24.92±0.88 c	0.82±0.01 c
استون Acetone	10	35.43±0.6 c	0.91±0.04 a	2.76±0.02 a	2.18±0.06 d	0.94±0.01 a	16.1±0.4 b	23.38±0.99 c	0.88±0.01 b
	20	34.82±0.7 c	0.69±0.01 b	1.76±0.03 d	2.88±0.05 b	0.91±0.01 a	17.22±0.37 b	25.51±1.02 c	0.74±0.02 c
LSD		0.95	0.88	0.93	0.96	0.69	0.55	0.77	0.88
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	41.29±0.9 a	0.88±0.01 a	2.73±0.01 a	2.18±0.08 d	0.94±0.01 a	16.82±0.3 b	33.9±0.89 a	1.19±0.01 a
	2	38.1±0.8 b	0.63±0.02 b	2.22±0.01 c	2.01±0.01 de	0.66±0.02 b	17.02±0.52 b	29.14±0.95 b	0.89±0.01 bc
فنیل آلانین Phenylalanine	1	39.21±0.5 a	1.01±0.03 a	2.93±0.01 a	2.78±0.05 b	0.89±0.01 a	19.11±0.4 a	30.44±0.79 ab	1.11±0.03 a
	2	37.78±0.6 b	0.81±0.04 ab	2.57±0.02 b	2.11±0.02 d	0.68±0.02 b	18.01±0.3 ab	26.75±0.88 bc	0.92±0.01 b
کیتوزان Chitosan	1	41.3±0.8 a	0.76±0.01 b	2.77±0.01 a	2.22±0.08 d	0.91±0.02 a	15.1±0.4 c	33.9±0.87 a	1.18±0.02 a
	2	39.82±0.75 a	0.54±0.02 c	2.41±0.03 b	2.01±0.01 de	0.77±0.01 b	16.96±0.6 b	30.71±0.91 ab	1.09±0.01 b
LSD		0.65	0.91	1.00	0.91	0.99	0.59	0.63	0.95

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 $g.l^{-1}$, Phenylalanine 2: 2 $g.l^{-1}$, Chitosan 1: 0.25 $g.l^{-1}$. Chitosan 2: 0.5 $g.l^{-1}$

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

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

Table 8- Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 9 day interval (1st year)

تیمار Treatment		تیمول Thymol	جرماکرن‌دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
کنترل Control		31.99±0.9^{d}	0.09±0.02^{e}	1.12±0.01^{e}	2.01±0.06^{de}	0.63±0.02^{b}	14.21±0.3^{cd}	21.01±0.81^{d}	0.45±0.03^{d}
متانول Methanol	10	33.5±0.7^{c}	0.33±0.01^{c}	2.32±0.03^{b}	2.21±0.01^{d}	0.89±0.03^{a}	16.81±0.41^{b}	26.99±0.77^{bc}	0.78±0.01^{c}
	20	30.12±0.8^{e}	0.11±0.01^{e}	2.12±0.01^{c}	2.11±0.03^{d}	0.66±0.01^{b}	17.39±0.5^{b}	25.44±1.01^{c}	0.66±0.02^{d}
اتانول Ethanol	10	34.1±0.5^{c}	0.44±0.01^{c}	1.99±0.02^{c}	2.22±0.02^{d}	0.88±0.02^{a}	18.38±0.46^{a}	25.36±0.67^{c}	0.99±0.03^{b}
	20	33.88±0.7^{c}	0.32±0.02^{d}	1.44±0.03^{d}	2.01±0.01^{de}	0.71±0.03^{b}	16.44±0.3^{b}	24.31±0.92^{c}	0.65±0.02^{d}
استون Acetone	10	35.43±0.6^{bc}	0.52±0.03^{c}	1.76±0.96^{d}	2.18±0.06^{d}	0.99±0.02^{a}	15.1±0.2^{c}	22.11±0.88^{d}	0.88±0.03^{c}
	20	33.82±0.7^{c}	0.31±0.04^{d}	1.14±0.01^{e}	2.08±0.05^{d}	0.65±0.01^{b}	16.22±0.5^{b}	20.9±0.99^{d}	0.62±0.01^{d}
LSD		0.85	0.88	0.95	0.96	0.88	0.66	0.99	0.77
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	34.82±0.7^{c}	0.31±0.02^{d}	1.96±0.01^{c}	2.18±0.06^{d}	0.93±0.02^{a}	15.82±0.5^{c}	28.11±1.3^{b}	0.66±0.02^{d}
	2	32.1±0.8^{d}	0.21±0.01^{d}	1.22±0.02^{e}	2.33±0.01^{c}	0.86±0.01^{a}	16.02±0.3^{bc}	26.77±1.1^{c}	0.55±0.01^{d}
فنیل آلانین Phenylalanine	1	33.21±0.5^{c}	0.41±0.02^{c}	1.49±0.03^{de}	2.78±0.05^{b}	0.94±0.01^{a}	16.91±0.4^{b}	29.11±0.89^{bc}	0.75±0.03^{c}
	2	31.78±0.8^{d}	0.33±0.01^{d}	1.14±0.01^{e}	2.11±0.07^{d}	0.64±0.02^{b}	17.44±0.3^{b}	20.87±0.78^{d}	0.61±0.01^{d}
کیتوزان Chitosan	1	34.82±0.5^{c}	0.41±0.01^{c}	1.18±0.02^{e}	2.22±0.08^{d}	0.95±0.01^{a}	17.96±0.4^{ab}	26.69±0.88^{c}	0.88±0.01^{c}
	2	32.14±0.7^{d}	0.30±0.02^{d}	1.76±0.01^{d}	2.18±0.06^{d}	0.61±0.01^{b}	16.1±0.5^{bc}	24.55±1.1^{c}	0.69±0.02^{cd}
LSD		1.00	0.92	0.95	0.91	0.88	0.55	0.88	0.55

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}-----Numbers in each column that have same word, have same group.

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

Table 9- Means of essential oil content and main chemical composition of essential oil of *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 9 day interval (2nd year)

تیمار Treatment		تیمول Thymol	جرماکرن-دی Germacen-D	آلفا-ترپینن Alpha-Terpinene	کارواکرول Carvacrol	بتا-توجن Beta-thujone	گاما-ترپینن Gamma-Terpinene	پی-سایمن P-Cymene	اسانس Essential oil
کنترل Control		30.5±0.7^{e}	0.11±0.02^{e}	1.32±0.01^{e}	1.91±0.06^{e}	0.73±0.02^{b}	15.78±0.22^{c}	26.99±0.92^{c}	0.66±0.02^{d}
متانول Methanol	10	31.5±0.6^{d}	0.44±0.01^{c}	1.41±0.02^{e}	2.21±0.01^{d}	0.79±0.02^{ab}	16.81±0.31^{b}	25.91±0.89^{c}	0.79±0.01^{c}
	20	29.91±0.8^{e}	0.22±0.02^{d}	1.73±0.02^{d}	2.13±0.03^{d}	0.59±0.02^{bc}	16.39±0.4^{b}	24.76±0.77^{c}	0.69±0.02^{cd}
اتانول Ethanol	10	34.1±0.9^{c}	0.51±0.01^{c}	1.85±0.01^{d}	2.31±0.02^{cd}	0.63±0.02^{b}	17.38±0.55^{b}	26.36±0.85^{bc}	0.81±0.03^{c}
	20	32.88±0.8^{d}	0.38±0.02^{cd}	1.44±0.02^{e}	2.21±0.01^{d}	0.47±0.01^{c}	16.44±0.3^{b}	25.92±0.99^{c}	0.78±0.01^{c}
استون Acetone	10	34.43±0.5^{c}	0.49±0.03^{c}	1.76±0.08^{d}	2.18±0.06^{d}	0.51±0.01^{c}	17.98±0.4^{ab}	20.99±1.2^{d}	0.75±0.03^{c}
	20	31.82±0.8^{d}	0.35±0.01^{d}	1.41±0.03^{e}	2.01±0.05^{de}	0.38±0.01^{cd}	16.22±0.34^{b}	19.9±1.1^{d}	0.68±0.01^{d}
LSD		0.88	0.73	0.88	1.00	0.99	0.88	0.77	0.99
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	31.82±0.6^{d}	0.55±0.02^{c}	1.93±0.02^{c}	2.18±0.06^{d}	0.61±0.01^{b}	16.82±0.55^{b}	28.69±1.2^{b}	0.77±0.01^{c}
	2	30.1±0.7^{e}	0.33±0.01^{d}	0.99±0.01^{f}	2.33±0.01^{c}	0.56±0.01^{c}	13.92±0.47^{d}	22.77±0.95^{d}	0.65±0.01^{d}
فنیل آلانین Phenylalanine	1	33.21±0.5^{c}	0.38±0.01^{cd}	1.08±0.01^{ef}	2.78±0.05^{b}	0.41±0.02^{c}	16.91±0.36^{b}	28.11±0.93^{b}	0.66±0.03^{d}
	2	30.78±0.8^{e}	0.31±0.02^{d}	1.03±0.03^{f}	2.11±0.07^{d}	0.11±0.01^{e}	15.44±0.41^{c}	26.99±0.87^{bc}	0.51±0.01^{d}
کیتوزان Chitosan	1	34.82±0.7^{c}	0.29±0.01^{d}	1.11±0.02^{e}	2.22±0.08^{d}	0.38±0.02^{cd}	18.01±0.38^{ab}	26.69±0.99^{b}	0.77±0.02^{c}
	2	30.82±0.5^{e}	0.19±0.01^{de}	1.04±0.01^{f}	2.18±0.06^{d}	0.33±0.01^{d}	17.96±47^{b}	24.69±1.2^{c}	0.69±0.01^{cd}
LSD		0.95	0.66	0.92	0.78	0.77	0.99	0.55	0.99

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}

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

میزان ترکیبات اسانس در سطوح تیماری استون و متانول، در کمترین مقادیر قرار گرفتند. تیمارهای کیتوزان و اسید سالیسیلیک بیشترین اثر را بر میزان ماده مؤثره تیمول و سایر ترکیبات غلب اسانس تمامی گیاهان در هر دو سال، ایجاد نمودند. در تولید مواد مؤثره تیمول، پارا-سیمن و بتا-توژان، کاربرد تیمارهای متانول (۲۰ درصد)، فنیل آلانین (۲ گرم در لیتر) و استون (۲۰ درصد) دارای اثر کاهنده و یا مانند شاهد بود و بقیه تیمارها از جمله کیتوزان، اتانول و اسید سالیسیلیک منجر به افزایش این مواد مؤثره گردیدند. در بسیاری از مواد مؤثره غالب اسانس، کمترین مقادیر در تیمار شاهد بوجود آمد. بیشترین ترکیبات اسانس به ترتیب تیمول، پارا-سیمن و گاما-ترپینن بودند که در تیمارهای مختلف بیش از ۹۰ درصد اسانس را به خود اختصاص دادند. در تحقیق حاضر محلول‌پاشی کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، مقدار اسانس استخراج شده از ساختار هوایی گیاهان مرزه جنگلی را به میزان ۱/۳۱ و ۱/۲۱ درصد رسانید که بیانگر کارایی بالاتر تیمارهای مذکور در افزایش سنتز و تجمع اسانس گیاه مرزه جنگلی است، هرچند که تیمارهای اتانول (۱۰ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱/۵ میلی مولار) نیز در گروه‌های آماری مشابه با کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر) قرار گرفتند. در مورد اسانس و ترکیبات غالب اسانس، در بیشتر موارد، دوره آبیاری ۹ روز یکبار منجر به کاهش مقادیر گردید (جداول ۴-۹).

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 (Zhao *et al.*, 2004). اتانول با داشتن مولکول‌های کوچک‌تر از دی اکسید کربن به راحتی از طریق انتشار ساده بدون صرف انرژی از غشاء سلول گیاهی عبور کرده و جذب سلول‌های گیاهی می‌شود و حتی در زمان خشکی و کم آبی که روزنه‌های گیاهی بسته باشد به آسانی کربن خود را در اختیار گیاه، جهت انجام فرآیند فتوسنتز قرار می‌دهد و ماده خشک گیاه افزایش می‌یابد (Thakur and Kumar, 2020; Ho *et al.*, 2020).

ترکیبات اسانس با محلول پاشی ترکیبات الکلی و آلی به ویژه اسید سالیسیلیک، فنیل آلانین و اتانول به دلیل راه اندازی چرخه سنتز اسید آمینه و آنزیم‌های پروتئینی در افزایش ترکیبات اسانس مؤثرند. به‌طورکلی هر افزایشی در کل کربوهیدرات‌های گیاه، موجب افزایش سنتز اسانس در بافت مسئول ساخت این ترکیبات می‌شود. 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 ترشح کننده اسانس در برگ منجر شود. از آنجایی که غده‌های ترشح کننده اسانس گیاهان نعناعیان در برگ‌ها قرار دارند، هر عاملی که سبب افزایش سطح و وزن برگ‌ها شود، مقدار اسانس را نیز افزایش خواهد داد (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. علاوه بر این، اتصال GPP با واحدهای IPP، پرنیل دی‌فسفات‌های (PDP) مانند فارنسیل دی‌فسفات (FPP) و ژرانیل دی‌فسفات (GGPP) را تشکیل می‌دهد. محصول GPP و FPP طی فرآیندهای حلقوی شدن به‌ترتیب اسکلت‌های مونوترپن و سزکویی‌ترپنی را تشکیل می‌دهند. تشکیل مونوترپنه‌های الکلی از جمله تیمول و کارواکرول با مونوترپن گاماترپینن (GT) شروع شده و در ادامه از طریق پارا-سیمن آروماتیک، واکنش‌ها به سمت سنتز آن‌ها پیش می‌رود. گاماترپینن که به وسیله آنزیم گاماترپینن‌سنتاز (GTS) کاتالیز می‌شود، پیش ماده‌ی مونوترپن‌های آروماتیک، در ادامه مسیر بوده و بنابراین نقش اساسی را در این مسیر ایفاء می‌نماید (Zhao and Sakai, 2003; Thakur and Kumar, 2020). از آنجایی که ترکیبات غالب اسانس‌ها از گروه ترپن‌ها می‌باشد و به دلیل این‌که گلوکز به‌عنوان پیش ماده ضروری در سنتز اسانس و به ویژه مونوترپن‌هاست، بنابراین فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی ارتباط مستقیمی با تولید اسانس دارد (Farahani *et al.*, 2020). در گیاهان معطر، بیوسنتز و تجمع اسانس‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با ظرفیت فتوسنتز گیاه مرتبط است. به‌طوری که 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).

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 تحت شرایط تنش آبی می‌شود (Alavi Samany *et al.*, 2022; Alizadeh *et al.*, 2020). 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 معنی‌داری بر افزایش میزان متیل کاویکول به عنوان یکی از ترکیبات مهم اسانس در ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) دارد (Malekpoor *et al.*, 2017). تنش خشکی در حد متوسط، میزان برخی ترکیبات موثره و مهم نظیر تیمول را در گونه‌های آویشن افزایش داد (Abdi *et al.*, 2022; Askary *et al.*, 2018, Zakerian *et al.*, 2020) که در این خصوص نتایج مشابهی در پژوهش حاضر بدست آمد. 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 مریم گلی (*Salvia officinalis*) کاهش یافت در حالی که این ترکیبات در ریحان (*Ocimum basilicum*) افزایش یافتند (Kulak, 2020). در گیاهان دارویی قدومه (*Alyssum desertorum*)، آویشن (*Thymus vulgaris*)، همیشه بهار (*Calendula officinalis*)، گاوزبان (*Borago officinalis*) (Yadegari, 2017) و گونه‌های مرزه (*Satureja*) (Yadegari, 2022)، تنش آبی شدید منجر به کاهش درصد اسانس و نیز برخی از مواد مؤثره اسانس گردید.

جدول ۱۰- تجزیه واریانس مرکب مربعات صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی در سال‌های اجرای تحقیق

Table 10- Complex analysis variance of mean of squares of morpho-physiological characters in *Satureja mutica*

منابع تغییرات SOV [z]	درجه آزادی DF [y]	ماده خشک اندام هوایی Shoot Dry Matter	پرولین Proline	کل کلروفیل Total Chlorophyll	کل فنل Total Phenol	محتوای نسبی آب R.W.C (%)
سال Year (Y)	1	24.1**	0.78**	29.1**	35.1**	33.1**
تکرار (سال) R(Y)	4	0.77	1.55	0.45	0.55	1.6
آبیاری Irrigation(A)	2	18.9**	25.7**	32.4**	44.5**	44.9**
آبیاری× سال A×Y	2	15.5**	22.56**	32.2**	24.6**	18.1**
خطای کرت‌های اصلی E_a	8	0.29	0.23	0.77	0.99	0.33
محرک Elicitor (B)	12	12.2**	18.2**	28.8**	34.12**	29.9**
آبیاری×محرک A×B	24	15.5**	20.23**	33.2**	23.7**	45.6**
محرک×سال B×Y	12	11.1**	24.56**	33.44**	24.67**	16.5**
آبیاری×محرک×سال A×B×Y	24	0.12^{ns}	0.85^{ns}	1.12^{ns}	0.87^{ns}	0.13^{ns}
خطای کرت‌های فرعی E_b	144	0.33	1.31	1.55	0.75	0.22
ضریب تغییرات C.V[x] (%)		18.32	9.12	6.65	7.33	6.84

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

[z] SOV: source of variation, [y]df: degree of freedom, [x]CV: coefficient of variation, *, ** significant at P=0.05 and P=0.01 levels of probability respectively, ns: not significant.

جدول ۱۱- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی تحت تأثیر محرک‌های رشدی تحت دور آبیاری ۳ روز یکبار

Table 11- Means of morpho-physiological characters in *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 3 day interval

		کل فنل		کل کلروفیل		محتوای نسبی آب	
		Total phenol (mg.g^{-1} FW)		Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)		Relative Water Content (%)	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
Year		2022	2023	2022	2023	2022	2023
کنترل Control		1.21±0.01 ^{e}	1.01±0.01 ^{f}	1.22±0.04 ^{a}	1.18±0.03 ^{a}	49.8±1.2 ^{ab}	48.7±1.4 ^{b}
متانول Methanol	10	1.67±0.01 ^{c}	1.44±0.02 ^{d}	1.21±0.02 ^{a}	1.19±0.01 ^{a}	56.5±1.5 ^{a}	55.3±1.3 ^{a}
	20	1.16±0.02 ^{f}	1.69±0.01 ^{c}	0.91±0.01 ^{b}	0.79±0.03 ^{b}	57.6±2.5 ^{a}	49.99±1.2 ^{ab}
اتانول Ethanol	10	1.99±0.02 ^{ab}	2.05±0.01 ^{a}	1.02±0.03 ^{ab}	1.29±0.02 ^{a}	50.7±2.2 ^{ab}	58.61±1.3 ^{a}
	20	1.22±0.02 ^{e}	2.06±0.02 ^{a}	1.14±0.02 ^{a}	1.01±0.01 ^{ab}	48.5±1.2 ^{b}	49.81±2.2 ^{ab}
استون Acetone	10	2.02±0.01 ^{ab}	2.08±0.01 ^{a}	1.15±0.08 ^{a}	1.21±0.01 ^{a}	55.9±1.9 ^{a}	54.6±1.5 ^{a}
	20	1.56±0.01 ^{cd}	1.99±0.02 ^{ab}	1.16±0.04 ^{a}	0.81±0.03 ^{b}	53.5±1.4 ^{a}	47.9±1.2 ^{b}
LSD		1.00	0.95	1.00	0.88	1.00	0.78
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	1.81±0.01 ^{b}	1.76±0.01 ^{bc}	1.13±0.02 ^{a}	1.18±0.01 ^{a}	51.1±1.2 ^{ab}	50.1±1.4 ^{ab}
	2	1.55±0.01 ^{cd}	2.04±0.02 ^{a}	0.89±0.06 ^{b}	1.21±0.02 ^{a}	57.8±1.8 ^{a}	48.3±2.3 ^{b}
فنیل آلانین Phenylalanine	1	2.21±0.02 ^{a}	2.03±0.01 ^{a}	1.01±0.02 ^{ab}	1.31±0.03 ^{a}	55.8±2.2 ^{a}	46.4±2.4 ^{b}
	2	1.62±0.01 ^{c}	1.59±0.01 ^{c}	0.87±0.01 ^{b}	1.01±0.01 ^{ab}	52.2±1.4 ^{a}	43.1±1.1 ^{b}
کیتوزان Chitosan	1	1.99±0.02 ^{ab}	1.99±0.02 ^{ab}	1.29±0.05 ^{a}	1.29±0.02 ^{a}	59.67±1.9 ^{a}	58.61±1.2 ^{a}
	2	1.19±0.01 ^{e}	1.77±0.01 ^{bc}	0.96±0.04 ^{b}	0.95±0.01 ^{b}	50.7±1.7 ^{ab}	51.5±1.6 ^{ab}
LSD		0.95	0.85	1.00	1.00	1.00	0.86

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}

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

ادامه جدول ۱۱- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی تحت تأثیر محرک‌های رشدی (دور آبیاری ۳ روز یکبار)

Continued-Table 11- Means of morpho-physiological characters in *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 3 day interval

		ماده خشک اندام هوایی Shoot Dry Matter (g.m^{-2})		پرولین Proline (µg.g^{-1} FW)	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
Year		2022	2023	2022	2023
کنترل Control		34.9±2.5 ^{b}	35.1±1.2 ^{b}	8.1±0.2 ^{c}	8.7±0.2 ^{c}
متانول Methanol	10	35.87±2.9 ^{b}	35.9±2.3 ^{ab}	8.5±0.3 ^{c}	7.55±0.1 ^{cd}
	20	35.2±2.3 ^{b}	32.1±2.1 ^{b}	9.1±0.1 ^{bc}	8.3±0.2 ^{c}
اتانول Ethanol	10	41.5±2.1 ^{a}	40.65±1.2 ^{a}	7.65±0.2 ^{c}	8.15±0.1 ^{c}
	20	39.9±2.1 ^{a}	35.8±1.2 ^{ab}	8.99±0.2 ^{bc}	9.55±0.1 ^{b}
استون Acetone	10	32.8±1.2 ^{b}	30.8±1.4 ^{b}	8.8±0.3 ^{c}	7.51±0.2 ^{cd}
	20	33.5±3.3 ^{b}	28.99±2.3 ^{b}	9.4±0.2 ^{b}	8.4±0.1 ^{c}
LSD		0.76	0.88	0.96	0.88
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	37.1±1.2 ^{a}	37.99±3.4 ^{a}	8.1±0.2 ^{c}	7.99±0.1 ^{c}
	2	35.1±2.1 ^{b}	34.88±3.2 ^{b}	8.5±0.3 ^{c}	9.1±0.1 ^{bc}
فنیل آلانین Phenylalanine	1	38.1±3.1 ^{a}	39.9±2.9 ^{a}	7.45±0.1 ^{cd}	7.49±0.2 ^{d}
	2	35.9±2.2 ^{ab}	30.9±1.8 ^{ab}	8.65±0.2 ^{c}	8.11±0.3 ^{b}
کیتوزان Chitosan	1	41.51±3.4 ^{a}	40.65±3.2 ^{a}	7.15±0.2 ^{d}	7.48±0.1 ^{d}
	2	36.01±1.8 ^{ab}	35.99±1.2 ^{ab}	8.8±0.3 ^{c}	9.7±0.2 ^{b}
LSD		0.85	0.87	1.00	0.99

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}

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

جدول۱۲- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی تحت تأثیر محرک‌های رشدی تحت دور آبیاری ۶ روز یکبار

Table 12- Means of morpho-physiological characters in *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 6 day interval

		کل فنل		کل کلروفیل		محتوای نسبی آب	
		Total phenol (mg.g^{-1} FW)		Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)		Relative Water Content (%)	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۱	۱۴۰۱	۱۴۰۲
Year		2022	2023	2022	2023	2022	2023
کنترل Control		1.55±0.05 cd	1.61±0.01 c	0.98±0.01 b	0.99±0.03 ab	35.8±1.5 c	41.7±0.91 bc
متانول Methanol	10	1.91±0.03 b	1.99±0.01 ab	0.88±0.02 b	1.01±0.01 ab	46.5±1.4 b	48.3±1.1 b
	20	1.88±0.08 b	1.66±0.01 c	0.72±0.01 c	0.86±0.03 b	47.6±1.3 b	45.4±0.9 b
اتانول Ethanol	10	1.99±0.04 ab	2.04±0.02 a	1.02±0.01 ab	1.09±0.02 a	40.7±1.2 bc	51.3±1.4 ab
	20	1.14±0.05 ef	1.89±0.01 b	0.65±0.02 c	0.87±0.01 b	43.5±1.4 b	45.5±1.3 b
استون Acetone	10	2.32±0.03 a	2.02±0.02 a	0.85±0.02 b	1.01±0.06 ab	45.9±1.2 b	51.6±1.2 ab
	20	2.11±0.09 a	1.89±0.01 b	0.76±0.01 bc	0.73±0.03 b	33.5±1.1 c	42.9±1.1 b
LSD		0.65	1.00	0.96	1.00	0.67	0.78
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	1.99±0.04 ab	2.05±0.03 a	1.01±0.02 ab	1.02±0.04 ab	41.1±1.4 bc	50.1±1.4 ab
	2	2.22±0.03 a	2.04±0.01 a	0.84±0.02 b	0.81±0.02 b	48.8±1.2 b	48.3±1.3 b
فنیل آلانین Phenylalanine	1	2.23±0.04 a	2.11±0.01 a	0.71±0.02 c	1.02±0.05 ab	45.8±1.5 b	46.4±1.4 b
	2	1.93±0.05 b	1.89±0.01 b	0.77±0.03 bc	0.91±0.07 b	42.2±1.3 bc	43.1±1.1 b
کیتوزان Chitosan	1	2.14±0.06 a	1.99±0.04 ab	0.84±0.02 b	1.01±0.02 ab	43.2±1.2 b	44.7±1.2 b
	2	1.99±0.08 ab	1.14±0.05 ef	0.63±0.01 c	0.89±0.03 b	34.7±1.1 c	41.5±1.1 bc
LSD		0.95	0.87	0.78	1.00	0.88	0.77

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}

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

ادامه جدول ۱۲- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی تحت تأثیر محرک‌های رشدی (دور آبیاری ۶ روز یکبار)

Continued-Table 12- Means of morpho-physiological characters in *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 6 day interval

		ماده خشک اندام هوایی (g.m^{-2}) Shoot Dry Matter		پرولین (µg.g^{-1} FW) Proline	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
Year		2022	2023	2022	2023
کنترل Control		30.1±1.3 bc	25.1±1.1 cd	9.1±0.5 bc	9.7±0.6 b
متانول Methanol	10	31.8±1.2 b	30.5±1.9 bc	10.15±0.8 b	10.66±05 b
	20	30.2±1.1 c	27.1±1.8 c	11.01±0.7 ab	10.98±0.6 ab
اتانول Ethanol	10	32.1±1.7 b	31.9±1.5 bc	10.79±0.6 b	10.15±0.5 b
	20	31.9±1.8 b	28.88±1.3 c	11.09±0.5 ab	10.55±0.6 b
استون Acetone	10	32.8±1.2 b	30.8±1.2 bc	9.8±0.6 b	10.3±0.7 b
	20	30.99±1.9 bc	28.4±1.1 c	11.02±0.7 ab	10.99±0.6 ab
LSD		1.00	0.69	0.88	0.77
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	37.1±1.7 a	32.3±1.5 b	10.51±0.5 b	9.99±0.6 b
	2	35.1±1.1 b	30.3±1.8 bc	11.01±0.7 ab	11.02±0.5 ab
فنیل آلانین Phenylalanine	1	38.1±2.2 a	36.9±2.1 ab	10.1±0.8 b	9.2±0.7 bc
	2	33.2±1.5 b	32.9±1.4 c	10.98±0.9 ab	10.11±0.6 b
کیتوزان Chitosan	1	35.8±1.3 ab	33.7±1.3 b	9.88±0.5 b	9.61±0.6 b
	2	32.1±1.1 b	30.9±1.1 bc	10.99±0.6 ab	11.01±0.5 ab
LSD		0.95	1.00	0.94	0.58

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}

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

جدول ۱۳- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی تحت تأثیر محرک‌های رشدی تحت دور آبیاری ۹ روز یکبار

Table 13- Means of morpho-physiological characters in *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 9 day interval

		کل فنل		کل کلروفیل		محتوای نسبی آب	
		Total phenol (mg.g^{-1} FW)		Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)		Relative Water Content(%)	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
Year		2022	2023	2022	2023	2022	2023
کنترل Control		1.13±0.01 ef	1.01±0.01 f	0.47±0.01 d	0.51±0.01 d	21.8±0.9 d	21.31±0.8 d
متانول Methanol	10	1.19±0.02 e	1.22±0.01 e	0.51±0.02 d	0.79±0.01 b	30.5±1.3 cd	25.3±0.95 d
	20	1.31±0.01 e	1.19±0.02 e	0.73±0.01 c	0.66±0.03 c	27.6±1.1 d	28.4±0.99 d
اتانول Ethanol	10	1.32±0.02 e	1.11±0.02 f	0.62±0.03 c	0.79±0.02 b	30.7±1.2 cd	29.3±0.89 cd
	20	1.19±0.01 e	1.46±0.02 d	0.52±0.02 d	0.58±0.01 c	28.5±1.2 d	25.5±0.99 d
استون Acetone	10	1.14±0.02 ef	1.13±0.01 ef	0.65±0.02 c	0.75±0.06 c	25.9±0.98 d	34.6±1.1 c
	20	1.15±0.01 ef	1.01±0.02 f	0.51±0.01 d	0.55±0.03 cd	20.91±1.1 d	32.9±1.2 c
LSD		0.98	1.00	0.78	0.65	0.95	0.77
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	1.11±0.01 f	1.44±0.03 d	0.88±0.02 b	0.67±0.04 c	31.1±1.2 c	30.1±1.1 cd
	2	1.01±0.02 f	0.99±0.01 f	0.74±0.01 c	0.58±0.02 c	27.8±1.1 d	28.3±0.88 d
فنیل آلانین Phenylalanine	1	1.14±0.02 ef	1.53±0.01 d	0.51±0.02 d	0.75±0.05 c	35.8±1.2 c	26.4±0.99 d
	2	1.12±0.01 f	1.39±0.01 d	0.57±0.01 c	0.55±0.01 cd	22.2±1.4 d	23.1±0.88 d
کیتوزان Chitosan	1	1.14±0.02 ef	1.65±0.01 c	0.74±0.02 b	0.74±0.02 c	33.2±1.2 d	34.7±1.2 c
	2	1.13±0.01 ef	1.55±0.02 de	0.53±0.01 d	0.69±0.03 c	28.7±0.99 d	21.5±1.1 d
LSD		0.95	0.88	0.55	0.78	0.74	0.89

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}

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

ادامه‌جدول ۱۳- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی مرزه جنگلی تحت تأثیر محرک‌های رشدی (دور آبیاری ۹ روز یکبار)

Continued-Table 13- Means of morpho-physiological characters in *Satureja mutica* plants affected by elicitors and irrigation regimes by 9 day interval

		ماده خشک اندام هوایی		پرولین	
		Shoot Dry Matter (g.m^{-2})		Proline (µg.g^{-1} FW)	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
Year		2022	2023	2022	2023
کنترل Control		16.27±1.2 f	15.14±0.88 f	10.81±0.7 b	10.88±0.3 b
متانول Methanol	10	20.8±1.8 e	24.5±0.94 d	11.02±0.9 ab	10.85±0.4 b
	20	16.24±1.4 f	21.1±1.01 e	12.1±0.8 a	11.99±0.4 a
اتانول Ethanol	10	20.1±1.3 e	23.9±1.1 de	11.05±0.9 ab	10.15±0.5 b
	20	18.9±1.5 ef	21.88±0.89 e	11.88±0.8 a	11.55±0.5 a
استون Acetone	10	22.8±1.2 e	20.8±1.1 e	10.8±0.9 b	10.88±0.6 b
	20	19.5±1.1 e	15.13±0.99 f	11.03±0.8 ab	12.4±0.5 a
LSD		0.81	0.91	0.88	0.98
اسید سالیسیلیک *Salicylic Acid	1	24.1±0.89 d	24.3±0.95 d	10.1±0.6 b	11.99±0.5 a
	2	22.1±1.1 e	22.3±1.1 e	12.66±0.5 a	12.39±0.7 a
فنیل آلانین Phenylalanine	1	24.1±0.99 d	26.9±1.1 c	11.1±0.6 ab	10.2±0.6 b
	2	22.2±1.2 e	21.9±0.89 e	11.65±0.8 a	11.11±0.6 a
کیتوزان Chitosan	1	24.8±1.1 cd	23.7±0.99 de	10.88±0.7 b	10.61±0.5b
	2	23.1±1.1 e	20.9±1.1 e	11.8±0.6 a	11.7±0.5 a
LSD		0.99	0.78	1.00	0.71

اسید سالیسیلیک۱: ۱/۵ میلی مولار، اسید سالیسیلیک ۲: ۳ میلی مولار، فنیل آلانین ۱: ۱ گرم در لیتر، فنیل آلانین ۲: ۲ گرم در لیتر، کیتوزان ۱: ۰/۲۵ گرم در لیتر، کیتوزان ۲: ۰/۵ گرم در لیتر--- اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند دارای گروه مشابه هستند.

*Salicylic Acid 1: 1.5 mM, Salicylic Acid 2: 3 mM, Phenylalanine 1: 1 g.l^{-1}, Phenylalanine 2: 2 g.l^{-1}, Chitosan 1: 0.25 g.l^{-1}. Chitosan 2: 0.5 g.l^{-1}-----Numbers in each column that have same word, have same group.

صفات مورفوفیزیولوژیکی: نتایج دو ساله اطلاعات برآمده از این پژوهش نشان داد که میزان پرولین، عملکرد ساختار هوایی، محتوای نسبی آب برگ، مقادیر کلروفیل و فنل کل گیاهان مرزه جنگلی تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق، تغییرات چشم‌گیری داشتند (جدول ۱۰) و در گروه‌های مختلف قرار گرفتند (جداول ۱۱-۱۳). تیمار کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر) و اتانول (۱۰ درصد) میزان عملکرد ساختار هوایی را به ۴۱/۵۱ گرم در متر مربع در سال نخست و در سال دوم به ۴۰/۶۵ گرم در متر مربع رساند. عملکرد ساختار هوایی تیمار شاهد در دو سال انجام پژوهش به ترتیب به میزان ۱۶/۲۷ و ۱۵/۱۴ گرم در متر مربع تحت تنش شدید آبی بود. لذا استفاده از تیمارهای کیتوزان و اتانول به همراه دور آبیاری مطلوب، نقش بسیار مؤثری در افزایش عملکرد ساختار رویشی داشتند. در این پژوهش مشخص شد با افزایش عملکرد، میزان اسانس هم بیشتر شد (جداول ۱۱-۱۳).

به نظر می‌رسد تیمارهای به‌کار رفته در این پژوهش، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه بازده فتوسنتزی در مرزه جنگلی را افزایش داده و از این طریق بر ترکیبات تشکیل دهنده اسانس نیز تأثیر گذار 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).

فتوسنتز از مهم‌ترین واکنش‌های حیاتی در گیاه می‌باشد که نقش تعیین کننده 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). بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، محلول‌پاشی گیاهان مرزه جنگلی با محرک‌های آلی و الکلی موجب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه گردید که همراه با افزایش میزان اسانس بود. از سوی دیگر اسیدهای فنلیک با داشتن ساختار ویژه دارای پتانسیل بالایی برای برهمکنش با پروتئین‌های مختلف از جمله آنزیم‌ها می‌باشند. به همین دلیل آن‌ها می‌توانند باعث ممانعت از فعالیت آنزیم‌هایی مانند ایزوفرم‌های مختلف سیتوکرم P_{450}، سیکلواکسیژناز، الکل دهیدروژناز، لیپواکسیژناز و زانتین‌اکسیداز شوند که در طی فعالیت خود مقادیر بالای رادیکال‌های آزاد تولید می‌کنند و از طرفی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را افزایش دهند (Thakur and Kumar, 2020).

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 گیاه استفاده شده که افزایش ماده تر و کارآیی مصرف آب (WUE) به واسطه اثر محرک متانول، به اثبات رسیده است (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 شده است که در برخی از کشت‌های سلول گیاهی، با اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) و درگروهی از گیاهان پس از تیمار با محرک و میانجی‌گری یون سوپراکسید(O^{-2}) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، تجمع متابولیت‌های ثانویه انجام می‌شود. اکسیژن آزاد دارای یون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل (OH^-)، بوسیله اکسید کردن رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، چربی‌های غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک؛ باعث آسیب‌های اکسیدکنندگی می‌شود (Zhao *et al.*, 2003).

محرک‌ها با تحت تأثیر قرار دادن 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 فنلی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین‌ها فراهم می‌آورند. علت افزایش ترکیبات فنلی 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 فنلی است، به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر نیز تغییر فعالیت این آنزیم یکی از دلایل افزایش مقدار ترکیبات فنلی در گیاهان مرزه جنگلی باشد. سنتز ترکیبات فنلی در بافت‌های گیاهی وابسته به کربوهیدرات‌ها می‌باشد. 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 فنلی هدایت می‌کند که نتیجهٔ آن افزایش مقدار این ترکیبات می‌باشد (Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2017).

بطورکلی محرک‌های مختلف از جمله کیتوزان (Alizadeh *et al.*, 2020) و اتانول (Rajabzadeh *et al.*, 2023) نقش مهمی در فعال کردن آنزیم‌های مسیر متابولیسم ثانویه گیاهان می‌کنند. کاربرد کیتوزان احتمالاً به دلیل افزایش جذب دی اکسیدکربن، کاهش تعرق، تنظیم ژن و القای آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز ترپنوئیدها، محتوای اسانس را تغییر می‌دهد (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2021). تغییر در پاسخ گیاه به غلظت‌های مختلف هر محرک رشد می‌تولند در ارتباط با گونه گیاهی، مرحله رشد، روش‌های کاربرد و شرایط محیطی مرتبط باشد (Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2021). ساخت 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).

تجمع پرولین در زمان تنش، به علت تغییر در سرعت اکسیداسیون پرولین به گلوتامات یا عدم دخالت آن در سنتز پروتئین و یا مجموعه این عوامل می‌باشد. از طرف دیگر در گیاهان متحمل به خشکی میزان اکسیداسیون مولکول‌ها کاهش می‌یابد که یکی از پیامدهای آن افزایش پرولین و کاهش محتوای نسبی آب است (Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013). از سویی دیگر کاهش سطح برگ و محتوای نسبی آب در اثر تنش خشکی، موجب بالا رفتن نسبی تراکم غده‌های تولید کننده اسانس در برگ‌ها شده و مقدار تجمع اسانس را افزایش می‌دهد (Pradhan *et al.*, 2017). در پژوهش حاضر بیشترین میزان پرولین (۱۲/۶۷-۱۲/۵۹ میکروگرم در گرم ماده تر) در تیمارهای با دور آبی ۹ روز یکبار و کمترین مقادیر (۷/۱۵-۷/۴۸ میکروگرم در گرم ماده تر) در تیمارهای با دور آبیاری ۳ روز یکبار بدست آمد که در این روند تیمارهای کیتوزان و اتانول به همراه دوره آبیاری مطلوب، منجر به کاهش این اسید آمینه گردیدند.

محتوای نسبی آب برگ روندی معکوس با میزان پرولین اندام گیاهی داشت، چنانچه بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ (۵۹/۶۷- ۵۸/۶۱ درصد) در تیمار کیتوزان ۰/۲۵ گرم در لیتر تحت دوره آبیاری ۳ روز یکبار در هر دو سال انجام پژوهش بدست آمد. کمترین مقدار (۲۱/۸-۲۱/۳۱ درصد) در گیاهان شاهد تحت شرایط تنش خشکی شدید (دوره آبیاری ۹ روز یکبار) بدست آمد. صفات مورد برآورد در گیاهان مرزه جنگلی، تحت تیمار تنش خشکی کاهش محسوسی داشتند. تیمارهای استون ۲۰ درصد و فنیل آلانین ۲ گرم در لیتر منجر به تشدید کاهش صفات مختلف مورد ارزیابی در شرایط تنش خشکی گردیدند (جداول ۱۱-۱۳). با افزایش مقادیر صفات مورفولوژیکی مورد برآورد و در نتیجه آن رشد و فتوسنتز بیشتر، بدیهی است که میزان محتوای نسبی آب برگ افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در مجموع، کمترین مقادیر صفات مورد ارزیابی در گیاهان تحت تیمار شاهد و در تنش آبی شدیدتر بدست آمد. بنابراین گیاهان مرزه جنگلی قابلیت تحمل به تنش خشکی شدید را ندارند. تنش‌های محیطی غیرزنده مانند تنش خشکی اثرات مهمی بر صفات فیتوشیمیایی گیاهان دارویی ایجاد می‌نمایند (Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2017; Babaei *et al.*, 2021).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل، محتوای نسبی آب و فنل اثر معنی‌دار داشته است. نتایج به دست آمده از آنالیز رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که با افزایش شدت کمبود آب به‌طور معنی‌داری از میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کاسته شد. 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 و محتوای نسبی آب به هنگام تنش کمبود آب می‌تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلوتامیل‌کیناز در پتانسیل آبی پایین باشد. با افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین در هنگام

تنش خشکی، در واقع گلوتامات که پیش‌ساز کلروفیل نیز می‌باشد، از دسترس خارج شده و سنتز کلروفیل‌ها دچار نقصان می‌شود. به عبارتی کاهش سنتز کلروفیل می‌تواند به علت کاهش تجمع اسید آمینولوولیئیک 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).

به طورکلی، متابولیت‌های ثانویه به گیاهان دارویی کمک می‌کنند تا گیاه به شرایط و تنش‌های محیطی مانند خشکی سازگاری بیشتری پیدا کند. به علاوه، تأثیرات ناشی از تنش در افزایش اسانس عمدتاً به علت اثر آن بر رشد و نمو گیاه است. گیاهان غلظت بالایی از متابولیت‌ها را تحت شرایط کمبود آب تولید می‌کنند و مقدار کمتری از کربن را به رشد تخصیص می‌دهند که نشان از یک تعادل بین دفاع و رشد می‌باشد (Esmaeilzadeh bahabadi and Sharifi, 2013). تغییرات بیوسنتز ترکیبات ترپنوئیدی از جمله مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها ممکن است به‌علت تغییرات بیو-انرژیتیک سلول‌های گیاهی در پاسخ به عناصر مغذی باشد و به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل اختلاف در مقدار و نوع برخی از ترکیبات اسانس گیاه مورد آزمایش، مربوط به اختلاف جایگاه‌های بیوسنتزی ترکیبات از نظر بهره‌گیری از منابع انرژی باشد (Sasani *et al.*,2021).

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، تنش خشکی منجر به کاهش میزان کل کلروفیل و فنل گیاه گردید و مشخص شد که محرک‌های رشدی به خصوص کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، اسید سالیسیلیک (۱/۵ میلی مولار) و اتانول (۱۰ درصد) نقش مثبتی بر افزایش کمیت و کیفیت اسانس مرزه جنگلی داشتند. در بین اجزای اسانس، مواد مؤثرهٔ مونوترپنه اکسیژنه الکل‌دار (تیمول، گاما-ترپینن و پارا-سیمن)، در محلول پاشی کیتوزان، اسید سالیسیلیک و اتانول، بیشترین مقدار را به دست آوردند. در حالی که در برخی موارد، محلول پاشی متانول و استون در مقایسه با شاهد اثرات کاهشی بر مقدار این ترکیبات داشت. با توجه به قیمت نسبتاً پایین کیتوزان، اسید سالیسیلیک و اتانول از یکسو و از سوی دیگر قیمت بالای اسانس مرزه جنگلی و استفاده‌های متعدد این گیاه ارزشمند در صنایع مختلف غذایی و دارویی و همچنین افزایش بیش از ۵۵ درصدی اسانس و ترکیبات اسانس گیاهان تحت تیمار با این محرک رشدی؛ در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تحت شرایط تنش رطوبتی، محلول‌پاشی کیتوزان، اسید سالیسیلیک و اتانول به عنوان یک روش مفید و اقتصادی می‌تواند برای کاهش اثرات تنش و به دنبال آن افزایش عملکرد اسانس گیاه مرزه جنگلی در اقلیم‌ها و شرایط خاک مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

References

Abdi, L., Asghari, H.R., Tolyat Abolhasani, M., Amerian, M.R. and Naghdi Badi, H., 2022. Effect of salicylic acid on growth and phytochemical characteristics of *Thymus daenensis* under drought irrigation. *Plant Process and Function*, *11*, pp.195–210. [In Persian]. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1401.11.48.13.4

Abdul-Hafeez, E.Y. and 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*, pp.241–245. https://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.

Ahmad, B., Khan, M.M.A., Jaleel, H., Sadiq, Y., Shabbir, A. and 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*, pp.388–401. https://doi.org/10.3906/biy-1608-64

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

Albergaria, E.T., Oliveira, A.F. and 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, pp.12–17. https://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, A., Moghaddam, M., Asgharzade, A. and 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

Alizadeh, Z. and 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. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110341

Arnon, D.I., 1975. Physiological principles of dry land crop production. In U. S. Gupta (Ed.), *Physiological aspects of dry land farming* (pp. 3–14). Oxford Press.

Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Mahmoodi, S. and 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*, pp.336–344. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056

Babaei, Kh., Moghaddam, M. and Farhadi, N., 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, *284*, 110116. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, pp.205–207. https://doi.org/10.1007/bf00018060

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

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

Dere, S., Güneş, T. and 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*, pp.13–17. https://www.researchgate.net/publication/235938850

Dzung, N.A., 2011. Enhancing crop production with chitosan and its derivatives. In S.-K. Kim (Ed.), *Chitin, chitosan, oligosaccharides and their derivatives* (Chap. 42). Taylor & Francis. https://doi.org/10.1201/ebk1439816035-c42

Emami-Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A. and 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*, *5*(5), pp.407-415. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003

Esch, E.H., Lipson, D.A. and Cleland, E.E., 2019. Invasion and drought alter phenological sensitivity and synergistically lower ecosystem production. *Ecology*, *100*, e02802. https://doi.org/10.1002/ecy.2802

Esmaeilzadeh Bahabadi, S. and Sharifi, M., 2013. Increasing the production of plant secondary metabolites, using biotic elicitors. *Journal of Cell Tissue*, *4*, pp.119–128. https://doi.org/10.52547/jct.4.2.119

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

Farahani, H., Sajedi, N.A., Madani, H., Changizi, M. and 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*, *13*, pp.4463–4472. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00762-1

Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J. and 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*, pp.335–353. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3

Fooladi Vanda, G., Shabani, L. and Razavizadeh, R., 2019. Chitosan enhances rosmarinic acid production in shoot cultures of *Melissa officinalis* L. through the induction of methyl jasmonate. *Botanical Studies*, *60*, No.26. https://doi.org/10.1186/s40529-019-0274-x

Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V. and 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. and 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*, pp.114–122. 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. and 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. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109436

Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., Rubinowska, K. and 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

Hayati, A., Rahimi, M.M., Kelidari, A. and 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*, pp.809–821. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.354715.2995

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

Kheiri, A., Mohajjel Shoja, H. and 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*, pp.67–75. [In Persian] https://doi.org/20.1001.1.25885073.1399.9.1.4.7

Kulak, M., 2020. Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, *154*, 112695. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112695

Malekpoor, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Salimi, A. and Momtaz, H., 2017. Effects of chitosan on gene expression of chavicol-O-methyl transferase and phenylpropanoid components of *Ocimum basilicum* (purple cultivar) under water deficit. *Journal of Biology Society*, *30*, pp.391–401. [In Persian] https://doi.org/20.1001.1.23832738.1396.30.3.7.0

Marinova, D., Ribarova, F. and Atanassaova, M., 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of University of Chemical Technology and Metallurgy*, *40*, pp.255–260.

Moghaddam, M., Narimani, R., Rostami, G. and 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*, pp.345–354. [In Persian] https://doi.org/10.22067/gsc.v16i2.57520

Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F. and 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*, pp.561–574. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.046

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. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *23*, pp.1142–1153. https://doi.org/10.1080/0972060x.2020.1801519

Momtaz, S. and Abdollahi, M., 2008. A systematic review of the biological activities of *Satureja* L. species. *Pharmacologyonline*, *2*, pp.34–54.

Mousavi, S. M., Akbarpour, V., Moradi, H. and 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*, pp.213–229. https://doi.org/10.22069/jopp.2021.18130.2685

Mozaffarian, V., 2008. *A pictorial dictionary of botanical taxonomy Latin-English-French-Germany-Persian*. Koeltz Scientific Books.

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M.R. and 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

Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M.V. and Senthil-Kumar, M., 2017. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 537. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00537

Poorghadir, M., Mohammadi Torkashvand, A., Mirjalili, S.A. and Moradi, P., 2020. Interactions of amino acids (proline and phenylalanine) and biostimulants (salicylic acid and chitosan) on the growth and essential oil components of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *30*, 101815. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101815

Pradhan, J., Sahoo, S.K., Lalotra, S. and Sarma, R.S., 2017. Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. *International Journal of Plant Sciences*, *12*(2), pp.309–313. https://doi.org/10.15740/has/ijps/12.2/309-313

Rajabzadeh, Sh., Ghasemi, A., Yadegari, M. and 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*, pp.80–95. [In Persian]. https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1954175.1682

Reham, M., Sabry, M.A.M., Kandil, M. and 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, pp.286–294. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.28.06.13846

Sasani, N., Pâques, L.E., Boulanger, G. and Singh, A.P., 2021. Physiological and anatomical responses to drought stress differ between two larch species and their hybrid. *Trees*, *35*, pp.1467–1484. https://doi.org/10.1007/s00468-021-02129-4

Shaykh-Samani, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Yadegari, M. and 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*, pp.769–779. https://doi.org/10.1080/0972060x.2023.2236647

Thakur, M. and 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*, pp.63–73.

Xiaolu, W., Jie, Y., Aoxue, L. and Yu, Ch., 2016. Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in *Dendrobium moniliforme*. *Industrial Crops and Products*, *94*, pp.385–393. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.041

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*, pp.307–315. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269796

Yadegari, M., 2018. Foliar application effects of salicylic acid and jasmonic acid on the essential oil composition of *Salvia officinalis*. *Turkish Journal of Biochemistry*, *43*, pp.417–424. https://doi.org/10.1515/tjb-2017-0183

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*, pp.61–80. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356264.3073

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

Zakerian, F., Sefidkon, F., Abbaszadeh, A. and 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*, pp.189–201. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.267489.1521

Zamani, S., Ghasemnejad, A., Alizadeh, M. and 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*, pp.28–39. [In Persian]. https://doi.org/10.30495/ejmp.2016.694504

Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagon, D., Arbona, V. and Gomez-Cadenas, A., 2017. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiology of Plant*, *162*, pp.2–12. https://doi.org/10.1111/ppl.12540

Zhao, D.X., Fu, C.X., Han, Y.S. and Lu, D.P., 2004. Effects of elicitation on jaceosidin and hispidulin production in cell suspension cultures of *Saussurea medusa*. *Process Biochemistry*, *40*, pp.739–745. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.01.040

Zhao, J. and Sakai, K., 2003. Multiple signaling pathways mediate fungal elicitor-induced β-thujaplicin biosynthesis in *Cupressus lusitanica* cell culture. *Journal of Experimental Botany*, *55*, pp.647–656. https://doi.org/10.1093/jxb/erg062