فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۴۷-۲۶۶
https://doi.org/10.22034/13.62.247

مقاله پژوهشی

اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی *Thymus vulgaris* L.

مهراب یادگاری

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴)

چکیده

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی دارویی مهم از تیره نعناع (Lamiaceae) است که مصارف متعددی در صنایع غذایی و دارویی دارد. پژوهش حاضر جهت بررسی اثر محلول‌پاشی محرک‌های نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس این گیاه در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در قالب دو آزمایش مستقل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد انجام شد. محلول‌پاشی با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سطوح متیل جاسمونات (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) هر چهار روز یک بار پس از مرحله ۱۰-۱۲ برگی در سه نوبت صورت گرفت. ۱۰۰۰ گرم از ساختار هوایی در هر تکرار با آب ترکیب گردیده و اسانس‌گیری به روش تقطیر با بخار آب توسط دستگاه کلونجر و شناسایی ترکیبات اسانس توسط کروماتوگرافی گازی صورت گرفت. در دو سال انجام این پژوهش بیشترین مقادیر وزن خشک (۳۶۲/۸ -۳۶۵/۵ گرم در مترمربع)، اسانس (۰/۹۵-۰/۹۷ درصد) و کلروفیل کل (۱/۶۹-۱/۷۱ میلی‌گرم در وزن خشک) متعلق به تیمار متیل جاسمونات (۱ میلی‌مولار) بود که هم‌گروه با تیمار نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفت. چهار ترکیب کارواکرول، پارا-سیمن، گاما-ترپینن و تیمیل استات از دسته مونوترپن‌های حلقوی در تیمارهای مختلف بیش از ۶۲ درصد از ترکیبات اسانس را به خود اختصاص دادند. متیل جاسمونات (۱ میلی‌مولار) با افزایش ۴۰ درصدی، مقدار اسانس را از ۰/۶۹ به ۰/۹۷ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج دو ساله تحقیق حاضر، محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت ۱ میلی‌مولار جهت بهبود خصوصیات کمی و کیفی اسانس گیاه آویشن باغی در مناطق مشابه پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آویشن، تیمیل استات، کارواکرول، گاما-ترپینن، محرک رشد

مقدمه

خانواده نعناع (Lamiaceae)، یکی از بزرگترین خانواده‌های گیاهی است که تاکنون ۲۰۰ جنس و ۲۰۰۰ گونه متعلق به آن شناخته شده است. آویشن باغی، گیاهی علفی چند ساله، بومی جنوب اروپا و نواحی مختلف مدیترانه متعلق به خانواده نعناع است. آویشن باغی دارای ساختار بوته‌ای، ساقه مستقیم و علفی یا چوبی با فرم افراشته، خیزان و خمیده و شاخه‌های فراوان به ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و در بعضی موارد تا ۴۵ سانتی‌متر است (Mozaffarian, 2008). کشت‌وکار این گیاه در کشور رو به افزایش بوده و طبق آخرین آمار، میزان مساحت مورد کاشت

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

این گیاه در کشور ۲۷۸/۲ هکتار و میزان تولید بالغ بر ۴۲۷ تن بوده است که استان‌های فارس و یزد بیشترین سطح زیر کاشت و استان‌های فارس و تهران بیشترین تولید را داشته‌اند (Statictics of agriculture, 2022). عملکرد اسانس اندام هوایی این گیاه، استفاده زیادی در صنایع داروسازی و بهداشتی دارد. تحقیقات متعدد بیانگر آن است که همگام با افزایش میزان ماده خشک گیاهی، درصد اسانس افزایش می‌یابد. تاکنون ۳۸ ترکیب در اسانس این گیاه شناسایی شده است. مهمترین مواد مؤثره تشکیل‌دهنده اسانس، ترکیبات مونوترپنی از جمله کارواکرول، تیمول، آلفا-ترپینن، پارا-سیمن و گاما-ترپینن است. مقدار این مواد علاوه بر ژنتیک، به شدت به شرایط اقلیمی محل رویش، مدیریت و تغذیه بستگی داشته و بین ۲۰ تا ۶۵ درصد است (Khademalhosseini *et al.*, 2022; Sharafi *et al.*, 2022; 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. این تغییرات منجر به فعال‌سازی محرک‌های رشدی در گیاه گردیده و در اثر آن، پیام‌های شیمیایی ارسال می‌شوند که سبب پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و تجمع فیتوآلکسین‌ها می‌شود (Thakur and Kumar, 2020). یکی از رهیافت‌های نوین در بهبود کمی و کیفی محصولات گیاهی استفاده از محرک‌های رشد است. 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 (Yadegari, 2022; Abdi *et al.*, 2022).

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 دارویی می‌شوند. در طی دهه‌های اخیر، از برخی محرک‌های رشد به‌صورت گسترده برای بهبود و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی استفاده شده است (Ho *et al.*, 2020). این ترکیبات با تغییر در رشد، نمو و رفتار فیزیولوژیکی گیاه نقش مهمی در بهینه‌سازی بازدهی گیاه دارند. محرک‌های رشد در گیاه به مقدار کمی وجود دارند اما برای رشدونمو گیاه ضروری هستند. هنگامی که گیاهان در معرض محرک‌های طبیعی یا مصنوعی رشد مانند جاسمونات‌ها قرار می‌گیرند، رفتار رشدونمو گیاه تغییر می‌کند (Mohamed and Latif, 2017; Thakur and Kumar, 2020).

متیل جاسمونات یک محرک رشد کلیدی برای فرآیندهای مختلف رشد گیاه است که امروزه در شرایط آزمایشگاهی برای تولید متابولیت‌های ثانویه کاربرد گسترده‌ای دارد (Mohamed and Latif, 2017). استفاده از متیل جاسمونات در شرایط آزمایشگاهی باعث القای گونه‌های اکسیژن واکنشی (ROS) و تنظیم پاسخ دفاعی با تجمع فعالیت آنزیمی آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Murthy *et al.*, 2014). از سوی دیگر، متیل جاسمونات نیز القای سیگنال مولکولی را تحریک و بیان ژن را تنظیم می‌کند که در نهایت منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Rahimi *et al.*, 2015). مکانیسم عمل این محرک رشدی به این شکل است که در مرحله اول روی گیرنده‌های اختصاصی در غشای پلاسمایی قرار می‌گیرد که این منجر به شروع فرآیندهای اثرگذار می‌شود و نتیجه آن فعال‌سازی مکانیسم دفاعی گیاه است. در برخی مطالعات مشاهده شده که اتصال محرک‌های رشد به گیرنده‌ها منجر به القای پروتئین‌های مربوط به عوامل بیماری‌زا و تولید آنزیم‌های محافظت‌کننده از تنش اکسیداتیو و فعال‌سازی ژن‌های دفاعی می‌شود. در طی فرآیند القای سیگنال چندین فرآیند از جمله فسفریلاسیون پروتئینی، اکسیداسیون لیپیدها، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD, G-POD, CAT) و فعال‌سازی و بیوسنتز مجدد فاکتورهای رونویسی و در نتیجه بیان متعاقب ژن‌های بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه گزارش شده است (Ho *et al.*, 2020). بهترین غلظت مورد استفاده از این محرک رشدی تحت شرایط نوع گیاه و اقلیم مختلف است، چنانچه بهترین مقدار مورد توصیه در گیاهان مریم‌گلی (*Salvia officinalis*)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

(Yadegari, 2018) ۰/۲۱۰۲ –۰/۱۰۵۱گرم در لیتر، خیار (*Cucumis sativus* L.) (Jiang *et al.*, 2017) ۰/۲–۵۰ میلی‌مولار، کاهوی سبز (*Lactuca sativa* L.) (Moreno-Escamilla *et al.*, 2020) ۹۰–۱۵ میکرومولار و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Rowe *et al.*, 2012) ۱۰۰ میکرومولار گزارش شده است.

در جهت انحلال بهتر در آب و جذب از طریق روزنه‌ها، امروزه شکل نانوذره برای انواع کودهایی که به صورت محلول‌پاشی هستند، استفاده می‌شوند. انواع مختلفی از نانوکودها مانند نقره، آهن، روی، تیتانیوم، مولیبدن و سیلیس تولید شده و بر روی سیستم‌های مختلف زراعی اعمال می‌شوند. نانومواد در غلظت‌های معین تأثیر بیشتری بر طول ریشه، طول ساقه، زیست‌توده گیاه، محتوای کلروفیل و جوانه‌زنی بذرها دارند. همچنین کودهای نانو شکل در مقایسه با کودهای معمولی سریع‌تر حرکت می‌کنند، آنها از قوانین ترمودینامیک پیروی می‌کنند و نفوذ آنها به غشای سلولی گیاهان آسان است (Dasgupta *et al.*, 2017). نفود نانوذرات در گیاهان به اندازه و همچنین خصوصیات آن نانوذره خاص بستگی دارد. دامنه اندازه نانوذرات در محدوده اندازه منافذ دیواره سلول است، به‌طوری‌که این ذرات به‌طور مؤثری با عبور از دیواره سلولی وارد سلول می‌شوند تا به غشای پلاسمایی برسند. سرعت عبور به اندازه و خصوصیات سطحی نانوذرات بستگی دارد. در مقابل، نانوذرات بزرگ‌تر قادر به ورود به سلول از طریق منافذ دیواره سلولی نیستند (Gohari *et al.*, 2020). از این‌رو، تنها می‌توانند از طریق هیداتودها، کلاله‌های گل یا روزنه‌ها وارد شوند. به‌دنبال ورود به سلول این نانوذرات همانند یون‌های فلزی عمل کرده و با گروه‌های سولفیدریل و کربوکسیل برهم‌کنش برقرار می‌کنند و در نهایت فعالیت پروتئینی را تغییر می‌دهند (Ahmad *et al.*, 2018). تیتانیوم نهمین عنصر فراوان در پوسته زمین می‌باشد که در غلظت‌های پایین برای گیاه مفید است و فرآیندهای متعدد گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای استفاده از تأثیرات مفید آن این عنصر به ترکیبات عناصر ریزمغذی افزوده می‌شود. گسترده‌ترین ترکیبات مصرف‌شده از تیتانیوم در دنیا شامل تیتانیوم فلزی، اکسید تیتانیوم و تیتانیوم کلرید هستند. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌دلیل پایداری بالا، اثرات ضدباکتریایی و خواص فتوکاتالیستی، کاربردهای وسیع‌تری دارند (Shi *et al.*, 2013). غلظت بهینه نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم برای افزایش رشد در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است و با افزایش غلظت عملکرد گیاه بهبود نمی‌یابد (Ullah *et al.*, 2020). اگر چه تیمار نانوذرات تیتانیوم با توجه به نوع گیاه اثرات متفاوتی دارد ولی با بهینه‌سازی غلظت دی‌اکسید تیتانیوم برای گیاهان دارویی و معطر مختلف می‌توان کیفیت و تولید مواد مؤثره به‌ویژه اسانس را افزایش داد (Ahmad *et al.*, 2018). حرکت تیتانیوم در خاک بسیار کند است و استفاده از این ترکیب به صورت محلول‌پاشی مؤثرتر از اضافه‌کردن نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در خاک است. تیمار نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش فتوسنتز، تولید ترکیبات پرورده گیاه را افزایش داده و با تقویت رشد ریشه، جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه‌ها را افزایش می‌دهد و از این طریق بیوماس گیاه بهبود می‌یابد (Alharby *et al.*, 2021). علاوه‌براین نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با تأثیر بر متابولیسم اولیه گیاه، تولید متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مطالعات قبلی ثابت شده که غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با سایر غلظت‌های نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، به‌عنوان سطح بهینه بوده و با افزایش غلظت عملکرد گیاه بهبود نمی‌یابد (Ahmad *et al.*, 2018). استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم مناسب‌ترین و بهترین گزینه از لحاظ تحویل بهینه عنصر به مقصد مورد نظر و استفاده صحیح از آن است. در مقایسه با سایر نانوذرات، دی‌اکسید تیتانیوم کارایی بیشتر و خطرات زیست‌محیطی کمتری دارد (Ullah *et al.*, 2020).

با توجه به بررسی منابع، تاکنون تحقیق جامعی راجع به اثرگذاری محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات بر خواص کمی و کیفی اسانس گیاه دارویی آویشن باغی، انجام نشده است و از آنجایی‌که استخراج متابولیت‌های ثانویه گیاه آویشن باغی در جهان مورد توجه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

ویژه قرار دارد و همواره کیفیت آن مدنظر بوده است، پژوهش حاضر در راستای مطالعه اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات با غلظت‌های متفاوت به‌منظور دستیابی به بیشترین مقدار کمی و بهترین کیفیت اسانس این گیاه دارویی انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی 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، در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. خصوصیات اقلیمی و خاکشناسی منطقه در جدول ۱ آمده است.

تیمارهای آزمایش: با توجه به ماهیت تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش، تحقیق حاضر به‌صورت دو آزمایش مستقل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال متمادی جهت بررسی اثر محلول‌پاشی متیل جاسمونات و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم انجام گرفت. بر اساس نتایج بررسی اولیه واکنش گیاه آویشن باغی، برای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورد استفاده قرار گرفت. متیل جاسمونات در غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار در محلول ۱ درصد اتانول (Moreno-Escamilla *et al.*, 2020) تهیه شد. در این پژوهش نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به شکل آناتاز (اندازه ۲۵-۱۰ نانومتر، سطح ویژه ۲۴۰-۲۰۰ مترمربع بر گرم و خلوص ۹۹ درصد) از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان و متیل جاسمونات از شرکت SIGMA تهیه شد. جهت تهیه غلظت‌های موردنیاز از نانواکسید دی‌اکسید تیتانیوم، ابتدا نانو ذرات با ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به حالت سوسپانسیون درآمدند. سپس برای تشکیل محلولی یکنواخت و همگن، به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک مدل MR Hei-standard Germany (قدرت ۴۰ وات)، قرار داده شد و سپس به حجم رسیدند (Ahmad *et al.*, 2018). اندازه ذرات نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (آنالیز TEM) بررسی شدند (شکل ۱).

نشاءهای ۴-۶ برگی آویشن تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر اصفهان در سال اول در تاریخ ۱۵ اردیبهشت‌ماه و در سال دوم در ۲۰ اردیبهشت‌ماه 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. با کمک دستگاه مه‌پاش در مرحله رویشی گیاه در مرحله ۱۰-۱۲ برگی هر چهار روز یک بار در سه نوبت محلول‌پاشی انجام شد (Allahverdi *et al.*, 2023; Taheri *et al.*, 2021). محلول‌پاشی با آب روی نمونه‌های شاهد نیز با سه تکرار در هر کرت انجام شد.

برداشت نمونه‌ها: کرت‌ها شامل شش ردیف به طول ۶ متر بود که دو ردیف کناری به عنوان اثرات حاشیه‌ای در زمان برداشت حذف شدند. نمونه‌های گیاهی، در زمان شروع گلدهی در زمان اوج رویش (۲۵۲-۲۷۰ برگی) به‌طور جداگانه از هر کدام از تیمارهای تحت آزمایش در سال اول در ۲۴ مردادماه و در سال دوم در ۲۸ مردادماه جمع‌آوری شد (Abdi *et al.*, 2022). همچنین از برگ گیاهان تیمارشده جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نمونه‌برداری انجام گرفت. جهت ارزیابی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نمونه‌های برداشت‌شده در محل تولید 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.

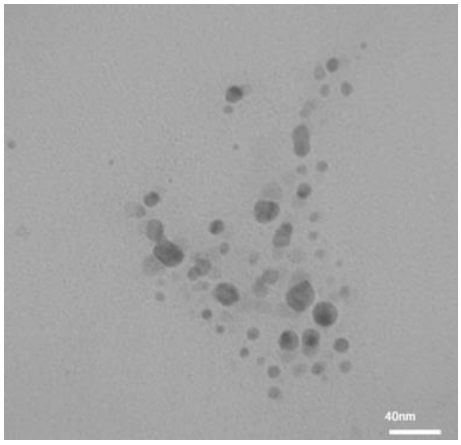
اسانس‌گیری: اسانس‌گیری به روش تقطیر با بخار آب توسط دستگاه کلونجر (ساخت ایران شیشه آلات بروسیلیکات آلمانی مدل Vanta L series برند المپیوس) و براساس درصد وزنی، صورت گرفت که برای هر نمونه سه ساعت به طول انجامید. در این مدت با قرارگرفتن در معرض یک منبع حرارتی، آب و اسانس با هم تقطیر شدند. با توجه به متفاوت بودن نقطه میعان آب با نقطه میعان اسانس، هر دو در دو فاز مجزا قرار گرفتند. در طی فرآیند تقطیر، واکنش‌های شیمیایی از جمله هیدرولیز، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون بین مواد و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۱- مشخصات خاکشناسی و اقلیمی منطقه (Statistics in Meteorology, 2023)

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



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (آنالیز TEM) نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

ترکیبات تشکیل‌دهنده صورت پذیرفت (Adams, 2007). 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 (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری (Wiley and NIST) صورت گرفت.

محتوای نسبی آب برگ: برای برآورد محتوای نسبی آب برگ، ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته هر گیاه جدا کرده و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر شناور شدند (وزن تر برگ). پس از گذشت این مدت، وزن اشباع برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد شد (وزن اشباع). 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 (وزن خشک برگ). در نهایت محتوای آب نسبی با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Arnon, 1975):

درصد محتوای نسبی آب برگ = (وزن خشک برگ – وزن اشباع برگ) / (وزن خشک- وزن تر)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

کلروفیل کل: برای اندازه‌گیری کلروفیل کل، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ و ۰/۱ گرم کربنات کلسیم (برای خنثی‌نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده تا به‌صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژکردن عصاره حاصل محلول رویی برداشته و جذب نور توسط آن در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) بر حسب (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به‌عنوان محلول مرجع خوانده شد (Dere *et al.*, 1998):

کلروفیل کل= (۸/۰۲ × حداکثر جذب نور کلروفیل a) + (۲۰/۲۱ × حداکثر جذب نور کلروفیل b)

میزان فنول کل: محتوای ترکیبات فنول کل با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره‌های مختلف یا محلول استاندارد گالیک اسید (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، ۱/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر، ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین- سیوکالتو (رقیق‌شده با نسبت ۱ به ۱۵) اضافه و به‌خوبی مخلوط شد. پس از گذشت ۵ دقیقه، ۰/۲ میلی‌لیتر محلول بی‌کربنات سدیم ۷ ٪ و ۰/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر به محلول اضافه 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) قرائت و محتوای ترکیبات فنولی کل عصاره‌ها بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک به گرم وزن خشک اندام هوایی محاسبه گردید (Marinova *et al.*, 2005).

پس از انجام آزمون بارتلت جهت بررسی اطمینان از همگن‌بودن واریانس خطاهای آزمایشی تجزیه مرکب میزان اسانس و ترکیبات مؤثره اسانس گیاهان تحت تیمارهای مختلف کودی و نیز همبستگی ساده بین اسانس و اجزای اسانس از روش پیرسون، با نرم‌افزار آماری SAS ver.8 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (L.S.D) در سطح یک درصد انجام و برای اطمینان از مقادیر خطای استاندارد (SE)، به‌طور جداگانه با نرم‌افزار Excel ver. 2013 برآورد مجدد انجام شد.

نتایج و بحث

اسانس و ترکیبات اسانس: تیمارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌طور معنی‌داری بر مقدار و ترکیبات اسانس اثرگذار بودند (جدول ۲ و ۳). تمام غلظت‌های متیل جاسمونات موجب افزایش معنی‌دار اسانس ساختار هوایی گیاهان آویشن باغی شد که مقدار اسانس در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۱ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. اشکال کروموتوگرام‌های تیمارهای برتر (نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، متیل جاسمونات ۱ میلی‌مولار و تیمار شاهد) در شکل‌های ۲-۴ دیده می‌شوند. مقدار اسانس ساختار هوایی برداشت‌شده از گیاهان محلول‌پاشی‌شده با غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از گیاهان شاهد بود (شکل ۵). تیمار متیل جاسمونات در غلظت ۱ میلی‌مولار مقدار اسانس را از ۰/۷۲ به ۰/۹۵ درصد در سال نخست و از ۰/۶۹ به ۰/۹۷ درصد در سال دوم افزایش داد (شکل ۶). در تحقیق حاضر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات مقدار اسانس استخراج‌شده از ساختار هوایی گیاهان آویشن باغی را به‌طور متوسط به ترتیب به میزان ۳۵ و ۲۹ درصد در مقایسه با گیاهان تیمارنشده (شاهد) افزایش داد که بیانگر کارایی بالاتر متیل جاسمونات در افزایش سنتز و تجمع اسانس گیاه آویشن باغی است (شکل ۵ و ۶). با توجه به اطلاعات برآمده از دو سال انجام این تحقیق مشخص گردید که بیشترین اثرگذاری بر ترکیبات اسانس در تیمار متیل جاسمونات و در مورد ماده مؤثره لینالول در سال نخست بود که میزان این ترکیب نسبت به شاهد بیش ار دو برابر شد. بیشترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس در تمام گیاهان تحت تیمار شامل پارا- سیمن، گاما- ترپینن، کارواکرول و تیمیل استات بود. تیمارهای مورد استفاده منجر به افزایش در ترکیبات مذکور در گیاهان تحت تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اسانس و ترکیبات عمده اسانس تحت تأثیر محلول‌پاشی متیل جاسمونات

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسانس	کامفن	لیمونن	بتا-پینن	۳-اکتانون	بتا-میرسن	آلفا-ترپینن	تیمیل استات
سال	۱	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۳۸**	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۱۸ **	۰/۰۰۱۲ns	۰/۰۰۱۴ns	۰/۰۸۹ns
تکرار (سال)	۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۴
متیل جاسمونات	۳	۱/۳۲ **	۰/۳۶۹ **	۰/۱۲۲**	۰/۶۷۲ **	۰/۴۴۲ **	۰/۵۴۲ **	۰/۶۶۵ **	۰/۷۲۵**
سال×متیل‌جاسمونات	۳	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲**	۰/۰۰۳ ns	۰/۱ **	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۲ns
خطا	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۹۸	۷/۵۴	۷/۷۸	۸/۹۹	۸/۱	۹/۲۲	۷/۷۲	۷/۵۴

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ادامه‌جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	پارا-سیمن	لینالول	گاما-ترپینن	ترپین-۴-ال	آلفا-ترپینئول	نرال	تیمول متیل اتر	کارواکرول
سال	۱	۴۴/۱ ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۱۸ns	۰/۰۷۶**	۰/۰۰۳ns	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۱۹ns	۰/۰۰۱۹ns
تکرار (سال)	۴	۹۲/۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸۱
متیل جاسمونات	۳	۴۵۲۳/۱**	۲/۴۴ **	۰/۵۶۷ **	۰/۳۴۹**	۰/۸۹۲**	۰/۸۱۹**	۰/۷۸۱ **	۰/۸۸۳ **
سال×متیل‌جاسمونات	۳	۲۲/۱ ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۷**	۰/۰۰۶ns	۰/۳۲ **	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۵ ns
خطا	۱۲	۱۵/۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۱/۳	۶/۵۵	۹/۶	۵/۹	۷/۶۶	۶/۱	۸/۳۳	۶/۹

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اسانس و ترکیبات عمده اسانس تحت تأثیر محلول‌پاشی دی اکسید تیتانیوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسانس	کامفن	لیمونن	بتا-پینن	۳-اکتانون	بتا-میرسن	آلفا-ترپینن	تیمیل استات
سال (Y)	۱	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۷۶**	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۶۵ **	۰/۰۰۶۵ns	۰/۰۰۴۳ns	۰/۰۰۱ns
تکرار (سال)	۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
دی‌اکسید تیتانیوم (T)	۳	۲/۴۴ **	۰/۸۶۴ **	۰/۶۷۳**	۱/۲ **	۱/۵ **	۰/۸۹ **	۰/۹۸۲ **	۰/۷ **
T× Y	۳	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۹۲**	۰/۰۰۴ ns	۰/۹۲ **	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۶ns
خطا	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
ضریب‌تغییرات(٪)	-	۶/۶	۹/۶	۵/۶	۹/۶	۸/۸	۷/۱	۵/۸	۷/۱

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

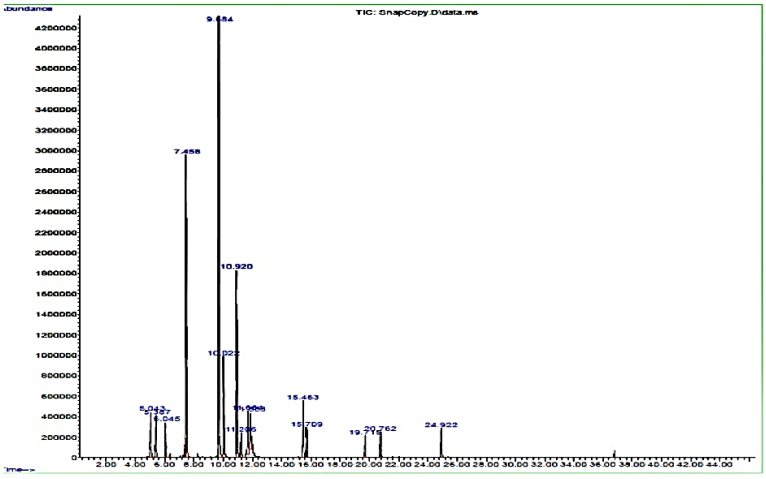
شدند که این اثربخشی در تیمارهای ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از سایر تیمارها بود. در سال نخست این پژوهش در بین تیمارهای متیل جاسمونات، بیشترین مقادیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

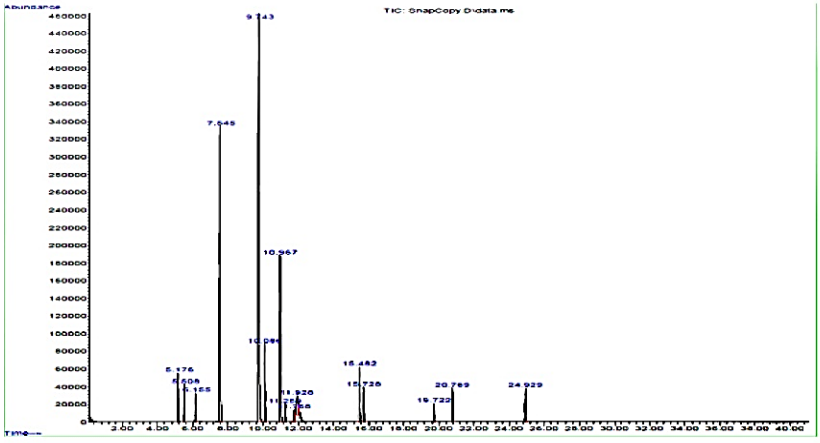
ادامه جدول ۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	پارا-سیمن	لینالول	گاما-ترپینن	ترپین-۴-ال	آلفا-ترپینئول	نرال	تیمول متیل اتر	کارواکرول
سال (Y)	۱	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۴۳^{ns}	۰/۰۶۷**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۵۴ **	۰/۰۰۸۷^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۶۷^{ns}
تکرار (سال)	۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
دی‌اکسید تیتانیوم (T)	۳	۰/۵۵ **	۰/۵۶۴ **	۰/۳۴۲**	۰/۹۳۱ **	۰/۷۴۹ **	۰/۷۴۲ **	۰/۷۴۱**	۰/۶۵۹ **
T× Y	۳	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۵**	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۴ **	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
خطا	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۶	۶/۸	۹/۱	۷/۳	۶/۴	۵/۱	۵/۵	۹/۶

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۲- کروماتوگرام مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

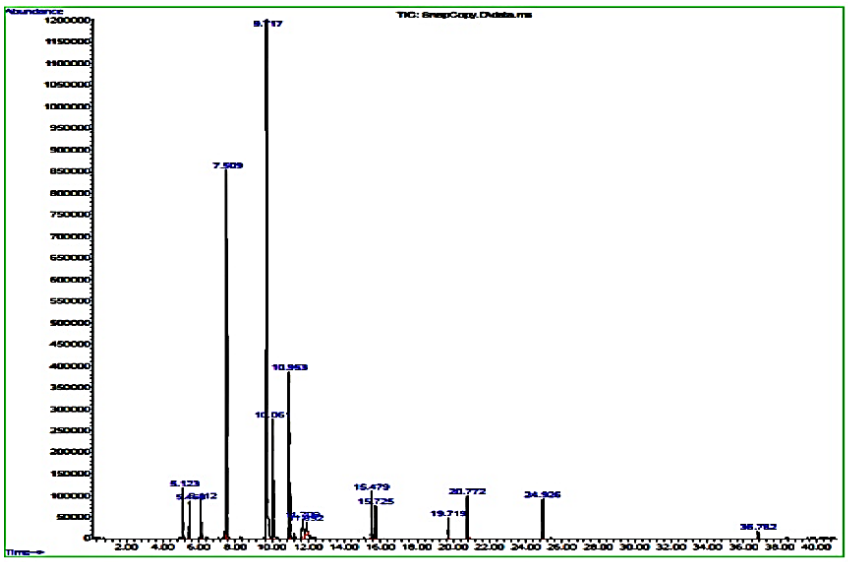


شکل ۳- کروماتوگرام مربوط به تیمار یک میلی‌مولار متیل جاسمونات

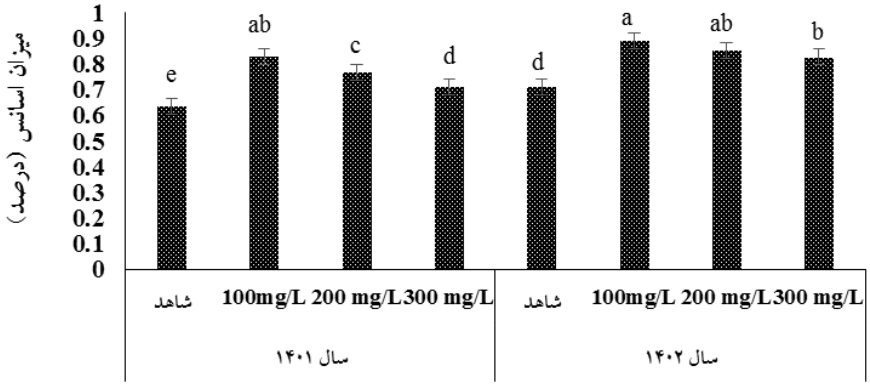
مونوترپن‌های حلقوی از جمله پاراسیمن (۰/۷ ± ۸/۸۵ درصد)، گاما-ترپینن (۰/۹±۱۵/۰۲)، کارواکرول (۱/۸±۳۷/۰۱)، تیمیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

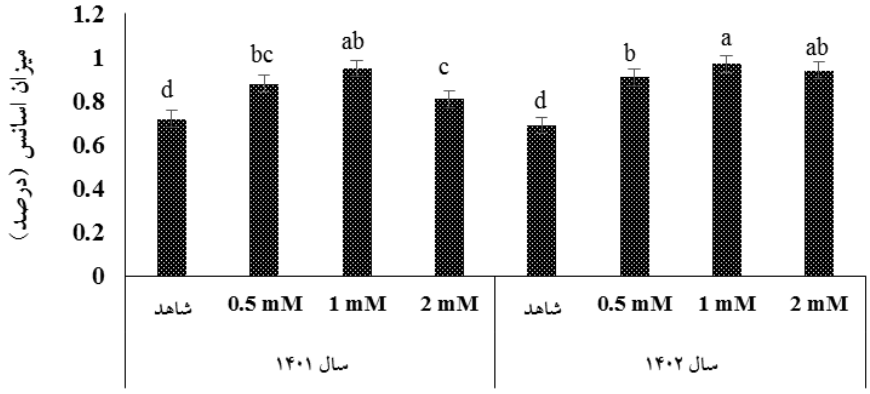
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]



شکل ۴- کروماتوگرام مربوط به تیمار شاهد



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر مقدار اسانس ساختار هوایی گیاه آویشن باغی



شکل ۶- اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بر مقدار اسانس ساختار هوایی گیاه آویشن باغی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

استات (۴/۹۹±۰/۲۴) در تیمارهای نیم و ۱ میلی‌مولار بدست آمد که بیشترین افزایش نسبت به شاهد در ماده مؤثره پارا-سیمن به میزان ۶۲ ٪ بود و در سال دوم بیشترین مقادیر پاراسیمن (۰/۳۲± ۸/۰۱ درصد)، گاما-ترپینن (۱/۱±۱۶/۴۳)، کارواکرول (۱/۴ ±۳۷/۲۲)، تیمیل استات (۰/۳۶±۴/۷۲) در تیمارهای نیم و ۱ میلی‌مولار حاصل شد که بیشترین افزایش نسبت به شاهد در ماده مؤثره پارا-سیمن به میزان ۳۴ ٪ بود (جدول ۴ و ۵). همچنین در سال اول این پژوهش در بین تیمارهای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین مقادیر پارا-سیمن (۰/۸± ۶/۰۱ درصد)، گاما-ترپینن (۰/۹۲±۱۴/۷)، کارواکرول (۱/۵ ±۳۴/۷۲)، تیمیل استات (۰/۵±۴/۵۵) در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد که بیشترین افزایش نسبت به شاهد در ماده مؤثره تیمیل استات به میزان ۴۱٪ بود و در سال دوم بیشترین مقادیر پاراسیمن (۰/۴± ۸/۰۱ درصد)، گاما-ترپینن (۱/۳۱±۱۵/۵۴)، کارواکرول (۱/۱ ±۳۶/۸۸)، تیمیل استات (۰/۶۳±۴/۸۲) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد که بیشترین افزایش نسبت به شاهد در ماده مؤثره کارواکرول به میزان ۳۶ ٪ بود (جدول ۴ و ۵). در دو سال اجرای این پژوهش، عمده ترکیبات گیاه آویشن باغی تحت تیمارهای مختلف شامل مونوترپن‌های حلقوی از جمله گاما-ترپینن، کارواکرول، پاراسیمن، تیمول متیل اتر، کارواکرول، تیمیل استات، لیمونن، بتا-پینن، آلفا-ترپینن، ترپینن-۴-ال و آلفا-ترپینئول؛ مونوترپن‌های دو حلقه‌ای از جمله کامفن، ترکیبات آلی کتونی از جمله ۳-اکتانون؛ مونوترپن غیرحلقوی مانند بتا-میرسن، لینالول و نرال بود. مواد مؤثره از دسته مونوترپن‌های حلقوی بیش از ۵۰ درصد ترکیبات اسانس گیاهان تحت تیمارهای مختلف را در دو سال تحقیق به خود اختصاص دادند.

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 می‌کنند تا بر عوامل بازدارنده رشدی غلبه کنند. این ترکیبات با تحت تأثیر قراردادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Ali *et al*., 2019). متیل جاسمونات از طریق تشکیل اسید آمینولوولینیک، فعالیت آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته این اثر در غلظت‌های پایین متیل جاسمونات صورت می‌گیرد. همچنین متیل جاسمونات به‌عنوان یک محرک رشد، موجب بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود که می‌تواند از تخریب رنگیزه‌های گیاهی جلوگیری کند (Tayyab *et al*., 2020). از سوی دیگر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ساختار کلروفیل را بهبود بخشیده و با افزایش جذب نور، تشکیل کلروفیل را آسان‌تر می‌کند. این ترکیب با انتقال انرژی نور به الکترون‌های فعال، بر فعالیت‌های شیمیایی و در نهایت بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد (Kolencik *et al*., 2020). تیتانیوم از دو طریق سبب افزایش فتوسنتز می‌شود. اول با افزایش میزان کلروفیل و دوم با ایجاد تغییر در فعالیت پروتئین‌های دخیل در فتوسنتز از جمله فروکتوز ۱و۶ بی‌فسفاتاز که در چرخه کالوین مؤثر است. همچنین در چرخه پنتوز فسفات اکسیداز که در متابولیسم کربوهیدرات‌ها مهم است، نقش دارد (Gao *et al*., 2008). افزایش مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها تحت تأثیر متیل جاسمونات در گیاهان مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) (Yadegari, 2018)، ذرت (*Zea mays* L.) (Tayyab *et al*., 2020)، شوید (*Coriandrum sativum* L.) (Ali *et al*., 2019) و توسط نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در گیاهان گندم (*Triticum aestivum* L.) (Alharby *et al*., 2021) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Kolencik *et al*., 2020) نیز گزارش شده است.

صفات مورفوفیزیولوژیکی: نتایج دو ساله اطلاعات برآمده از این پژوهش نشان داد که میزان عملکرد ساختار هوایی، میزان فنول، کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ گیاهان آویشن باغی تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق، تغیرات چشم‌گیری داشت (جدول ۷). تیمار متیل جاسمونات در غلظت ۱ میلی‌مولار میزان عملکرد ساختار هوایی را از ۲۸۵ به ۳۶۲/۸ گرم در مترمربع در سال نخست و از ۲۹۲/۲ به ۳۶۵/۵ گرم در مترمربع در سال دوم افزایش داد. مقدار عملکرد گیاهان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۴- مقایسات میانگین ترکیبات عمده اسانس گیاه آویشن باغی تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات در سال ۱۴۰۱

تیمار محلول‌پاشی		کامفن	لیمونن	بتا-پینن	۳-اکتانون	بتا-میرسن	آلفا-ترپینن	پارا-سیمن	لینالول
متیل جاسمونات (mM)	۰	۰/۵±۰/۰۵[y]	۱/۹۱±۰/۰۴	۱/۸۱±۰/۰۸	۱/۴۸±۰/۰۹	۲/۲۱±۰/۰۱	۳/۳۲±۰/۲	۵/۴۴±۰/۸	۰/۵±۰/۰۶
	۰/۵	۰/۵۶±۰/۰۵	۳/۷۶±۰/۰۷	۲/۴۴±۰/۰۵	۱/۷۷±۰/۰۶	۳/۷۳±۰/۰۳	۴/۷۳±۰/۴	۸/۷۳±۱/۱	۱/۰۲±۰/۴
	۱	۰/۹۹±۰/۰۳	۲/۳۶±۰/۰۶	۱/۳۶±۰/۰۴	۱/۷۵±۰/۰۶	۳/۸۵±۰/۰۲	۴/۸۵±۰/۵	۸/۸۵±۰/۷	۱/۱±۰/۳
	۲	۰/۸۸±۰/۰۵	۱/۹۲±۰/۰۴	۱/۸۲±۰/۰۵	۱/۵۵±۰/۰۳	۲/۴۴±۰/۱	۳/۴۴±۰/۲	۶/۴۴±۰/۹	۰/۸۸±۰/۰۲
LSD		۰/۲	۰/۷۱۴	۰/۷۶	۰/۵۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۴
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (ppm)	۰	۰/۷۸±۰/۰۹	۱/۶۹±۰/۰۳	۲/۱±۰/۰۷	۱/۰۸±۰/۰۷	۲/۱۸±۰/۰۶	۲/۷۶±۰/۴	۴/۷۶±۰/۷	۰/۸۲±۰/۰۶
	۱۰۰	۰/۹۹±۰/۰۴	۲/۷۸±۰/۰۴	۲/۳۰±۰/۱۰	۱/۸۶±۰/۰۸	۳/۲۲±۰/۱۶	۳/۲۲±۰/۵	۵/۲۲±۰/۹	۱/۲۴±۰/۰۸
	۲۰۰	۰/۸۸±۰/۰۳	۲/۱۱±۰/۰۷	۱/۷۸±۰/۰۵	۱/۶۴±۰/۰۸	۳/۰۱±۰/۰۵	۴/۰۱±۰/۶	۶/۰۱±۰/۸	۱/۲۱±۰/۰۵
	۳۰۰	۰/۹۲±۰/۰۵	۱/۷۵±۰/۰۱	۱/۴۴±۰/۰۵	۱/۳۵±۰/۰۲	۲/۱۱±۰/۰۷	۳/۵۷±۰/۸	۵/۵۷±۰/۶	۰/۷۸±۰/۰۷
LSD		۰/۱۷	۰/۸۹۲	۰/۷۳	۰/۹۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۳

[y] : **مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P <0.05).**

ادامه جدول ۴-

تیمار محلول‌پاشی		گاما-ترپینن	ترپینن-۴-ال	آلفا-ترپینئول	نرال	تیمول متیل اتر	کارواکرول	تیمیل استات
متیل جاسمونات (mM)	۰	۱۲/۳۳±۱/۱[y]	۱/۳۳±۰/۰۶	۱/۵۲±۰/۰۳	۱/۹۹±۰/۰۷	۱/۱۴±۰/۰۳	۳۱/۵۵±۱/۸	۳/۵۲±۰/۲
	۰/۵	۱۵/۰۲±۰/۹	۱/۸۷±۰/۰۵	۱/۶۵±۰/۰۳	۲/۱±۰/۰۶	۱/۵۵±۰/۰۲	۳۵/۷۸±۲/۱	۴/۵۶±۰/۳۱
	۱	۱۴/۲۲±۱/۲	۱/۸۹±۰/۰۹	۱/۹۸±۰/۰۷	۲/۲۲±۰/۰۷	۱/۶۳±۰/۰۶	۳۷/۰۱±۱/۸	۴/۹۹±۰/۲۴
	۲	۱۲/۰۱±۰/۸	۱/۵۵±۰/۰۵	۱/۸۶±۰/۰۴	۲/۰۳±۰/۰۸	۰/۹۹±۰/۰۲	۳۰/۸۶±۱/۲	۳/۳۱±۰/۳۳
LSD		۱/۰۰	۰/۴۲۳	۰/۸۴۵	۱/۰۰	۰/۸۱۳	۰/۹۲	۰/۸۸
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (ppm)	۰	۱۱/۳۹±۰/۸۹	۰/۹۹±۰/۱۷	۰/۸۷±۰/۰۴	۰/۹۸±۰/۱	۰/۹۱±۰/۰۱	۲۷/۵۲±۱/۴	۳/۲۱±۰/۴
	۱۰۰	۱۴/۷۰±۰/۹۲	۱/۲۳±۰/۱۸	۱/۴۵±۰/۰۳	۱/۵۹±۰/۲	۱/۴۴±۰/۰۲	۳۴/۷۲±۱/۵	۴/۵۵±۰/۵
	۲۰۰	۱۲/۹۱±۱/۱	۱/۱۱±۰/۱۸	۱/۴۹±۰/۰۵	۱/۳۹±۰/۲۲	۱/۴۶±۰/۰۵	۳۳/۰۱±۱/۳	۳/۶۶±۰/۶۲
	۳۰۰	۱۱/۸۲±۰/۹۸	۱/۳±۰/۱۰	۱/۰۲±۰/۰۴	۱/۵۶±۰/۳	۰/۸۹±۰/۰۳	۳۲/۸۶±۱/۶	۳/۸۶±۰/۷۳
LSD		۱/۰۰	۰/۶۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۹۳

[y]: **مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P <0.05).**

محلول‌پاشی شده با غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از گیاهان شاهد بود و بین غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی‌داری از نظر میزان عملکرد مشاهده شد (جدول ۸). در پژوهش حاضر و در دو سال انجام تحقیق محلول‌پاشی متیل جاسمونات و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم مقدار عملکرد ساختار هوایی گیاهان آویشن باغی را به‌طور متوسط به ترتیب ۲۶ و ۳۱ درصد در مقایسه با گیاهان تیمارنشده (شاهد) افزایش داد که بیانگر کارایی بالاتر تیمارهای دی‌اکسید تیتانیوم (۱۰۰میلی‌گرم در لیتر) و متیل جاسمونات (۱ میلی‌مولار) در افزایش فتوسنتز و عملکرد ساختار هوایی گیاه آویشن باغی است (جدول ۸). براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، محلول‌پاشی گیاهان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۵- مقایسات میانگین ترکیبات عمده اسانس گیاه آویشن باغی تحت تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات در سال ۱۴۰۲

تیمار محلول‌پاشی		کامفن	لیمونن	بتا-پینن	۳-اکتانون	بتا-میرسن	آلفا-ترپینن	پارا-سیمن	لینالول
متیل جاسمونات (mM)	۰	۰/۶۶±۰/۰۲ʸ	۲/۴۴±۰/۱	۱/۹۳±۰/۰۹	۱/۰۹±۰/۰۶	۲/۲۹±۰/۲	۳/۷۷±۰/۱	۵/۹۷±۰/۵۵	۰/۸۹±۰/۱
	۰/۵	۰/۸۹±۰/۰۳	۳/۵۹±۰/۲	۲/۳۱±۰/۰۸	۱/۸۵±۰/۰۴	۳/۵۵±۰/۱	۴/۵۵±۰/۲	۸/۰۱±۰/۳۲	۱/۴۴±۰/۵
	۱	۱/۲۱±۰/۰۳	۳/۸۸±۰/۲	۲/۵۶±۰/۰۴	۱/۸۱±۰/۰۳	۳/۶۱±۰/۳	۳/۹۲±۰/۳	۷/۳۲±۰/۴	۱/۲۳±۰/۴
	۲	۰/۹۲±۰/۰۵	۲/۸۷±۰/۱	۱/۳۹±۰/۰۷	۱/۷۲±۰/۰۶	۲/۸۱±۰/۱	۳/۶۱±۰/۲	۶/۸۹±۰/۵	۰/۹۳±۰/۳
LSD		۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۷۷
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (ppm)	۰	۰/۸۳±۰/۱	۱/۴۵±۰/۲	۲/۲۱±۰/۲	۲/۴۹±۰/۱	۲/۶۶±۰/۲	۲/۸۲±۰/۰۹	۵/۸۹±۰/۲	۰/۸۹±۰/۰۶
	۱۰۰	۱/۱±۰/۳	۱/۹۳±۰/۴	۲/۴۵±۰/۱	۱/۹۲±۰/۴	۳/۵۵±۰/۵۱	۴/۰۸±۰/۰۸	۸/۰۱±۰/۴	۱/۴۳±۰/۰۸
	۲۰۰	۰/۹۷±۰/۲	۱/۵۵±۰/۱	۱/۹۳±۰/۲	۲/۸۸±۰/۲	۳/۴۱±۰/۲	۳/۹۱±۰/۲	۷/۲۲±۰/۳	۱/۴۵±۰/۰۵
	۳۰۰	۰/۷۹±۰/۱	۱/۴۴±۰/۳	۲/۰۳±۰/۴	۲/۴۴±۰/۵	۲/۰۸±۰/۳	۳/۷۲±۰/۳	۶/۰۵±۰/۲	۰/۹۹±۰/۰۷
LSD		۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۶۵	۰/۹۵	۰/۷۸	۱/۰۰	۰/۸۸

ʸ: **مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P <0.05)**.

ادامه جدول ۵-

تیمار محلول‌پاشی		گاما-ترپینن	ترپین-۴-ال	آلفا-ترپینئول	نرال	تیمول متیل اتر	کارواکرول	تیمیل استات
متیل جاسمونات (mM)	۰	۱۴/۱±۰/۵۵ʸ	۱/۰۹±۰/۳	۱/۷۷±۰/۰۳	۱/۰۹±۰/۲	۰/۸۸±۰/۲	۳۰/۰۲±۱/۱	۳/۷۷±۰/۹۸
	۰/۵	۱۶/۳±۰/۶۵	۱/۶۶±۰/۴	۲/۱±۰/۰۵	۱/۹۷±۰/۱	۱/۴۳±۰/۱	۳۷/۰۶±۱/۵	۴/۶۴±۰/۵۵
	۱	۱۶/۴۳±۱/۱	۱/۷۲±۰/۴	۲/۱۵±۰/۰۶	۱/۹۹±۰/۴	۱/۴۵±۰/۲	۳۷/۲۲±۱/۴	۴/۷۲±۰/۳۶
	۲	۱۴/۴۵±۰/۹۶	۱/۰۱±۰/۷	۱/۹۳±۰/۰۴	۱/۸۲±۰/۲	۱/۳۱±۰/۱	۳۱/۲۲±۱/۱	۳/۶۶±۰/۴۶
LSD		۰/۹۶	۰/۶۶	۰/۷۷	۰/۹۵	۰/۷۲	۰/۹۲	۰/۷۵
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (ppm)	۰	۱۲/۳۹±۱/۱	۰/۹۷±۰/۰۹	۰/۹۸±۰/۰۹	۰/۹۶±۰/۱	۰/۹۳±۰/۱	۲۶/۹۸±۱/۲	۳/۶۵±۰/۸۱
	۱۰۰	۱۵/۵۴±۱/۳۱	۱/۵۵±۰/۱۱	۱/۶۶±۰/۱	۱/۶۶±۰/۰۸	۱/۵۲±۰/۳	۳۶/۸۸±۱/۱	۴/۸۲±۰/۶۳
	۲۰۰	۱۵/۱۲±۱/۰۲	۱/۲۵±۰/۰۸	۱/۸۱±۰/۲	۱/۷۵±۰/۰۹	۱/۳۲±۰/۲	۳۵/۹۲±۱/۳	۴/۰۹±۰/۷۳
	۳۰۰	۱۲/۲۴±۲/۰۳	۱/۴۳±۰/۲۱	۱/۵۱±۰/۲۴	۱/۷۲±۰/۰۲	۱/۲۹±۰/۱	۲۹/۷۷±۱/۲	۳/۶۸±۰/۸۱
LSD		۰/۹۷	۰/۸۵	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۸۳

ʸ: **مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P <0.05)**.

آویشن باغی با محرک‌های متیل جاسمونات و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه گردید که همراه با افزایش میزان اسانس بود. مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزایش عملکرد ماده خشک در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، بیشتر از تیمارهای متیل جاسمونات بود و این روند در مورد درصد اسانس نیز مشاهده شد (شکل ۵ و ۶- جدول ۸).

در مورد سایر صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد برآورد مشاهده شد که مقادیر فنول کل، کلروفیل کل و محتوای نسبی آب برگ تحت اثر تیمارهای مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۶ و ۷). بالاترین مقادیر صفات مورد ارزیابی در تیمارهای دی‌اکسید تیتانیوم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و متیل جاسمونات ۱

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان آویشن باغی تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	فنول کل
سال(Y)	۱	۵۵/۳ ns	۰/۷۸**	۱/۱**	۰/۱۴**
تکرار (سال)	۴	۹۲/۳	۰/۹۲ **	۱/۹ **	۰/۷۷ **
دی‌اکسید تیتانیوم (T)	۳	۶۴۲۹/۱**	۰/۸۸ **	۲/۸**	۰/۵۵ **
T× Y	۳	۲۲/۱ ns	۰/۷۵**	۱/۹**	۰/۱۱**
خطا	۱۲	۱۰/۶	۰/۰۲۴	۰/۱۲	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۳	۳/۴	۸/۳	۴/۴

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیکی آویشن باغی تحت تأثیر محلول‌پاشی متیل جاسمونات

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	فنول کل
سال(Y)	۱	۳۲/۶ ns	۰/۶۹**	۲/۳**	۰/۲۳**
تکرار (سال)	۴	۸۷/۱۴۳	۰/۸۵ **	۱/۶ **	۰/۸۴ **
دی‌اکسید تیتانیوم (T)	۳	۵۰۳۲/۶**	۰/۷۷ **	۴/۴**	۰/۶۲ **
T× Y	۳	۱۷/۵ ns	۰/۶۱**	۱/۶**	۰/۳۸**
خطا	۱۲	۱۴/۶	۰/۰۱۹	۰/۲۸	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۲/۶۵	۲/۱۴	۵/۹	۵/۷۶

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۸- مقایسات میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی آویشن باغی تحت تأثیر محرک‌های رشدی در دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

تیمار محلول‌پاشی		وزن خشک		محتوای نسبی آب برگ		کلروفیل کل		فنول کل	
سال		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
شاهد		۲۶۲/۲±۹/۲	۲۶۸/۸±۱۰/۱	۴۸/۱±۱/۴	۴۷/۸±۱/۲	۱/۱۸±۰/۰۳	۱/۰۶±۰/۰۶	۱/۱۴±۰/۰۶	۱/۱۲±۰/۰۵
دی‌اکسید تیتانیوم	۱۰۰	۳۴۲/۲±۱۲/۳	۳۵۵/۴±۱۴/۹	۵۷/۵±۱/۳	۵۷/۵±۱/۵	۱/۶۶±۰/۰۱	۱/۶۸±۰/۰۲	۱/۶۷±۰/۰۵	۱/۷۷±۰/۰۳
	۲۰۰	۳۳۳/۷±۱۴/۱	۳۳۶/۲±۱۱/۳	۵۶/۴±۱/۲	۵۵/۶±۲/۵	۱/۵۸±۰/۰۳	۱/۵۵±۰/۰۱	۱/۳۹±۰/۱	۱/۴۳±۰/۰۸
	۳۰۰	۲۷۷/۴±۱۱/۲	۲۹۵/۶۸±۱۲/۱	۵۰/۳±۱/۳	۵۱/۷±۲/۲	۱/۲۲±۰/۰۲	۱/۱۴±۰/۰۳	۱/۳۳±۰/۰۲	۱/۳۱±۰/۰۴
LSD		۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
شاهد		۲۸۵/۱±۱۱/۴	۲۹۲/۲±۸/۲	۵۱/۱±۱/۴	۴۹/۱±۱/۲	۱/۱۸±۰/۰۴	۱/۳۳±۰/۰۲	۱/۱۱±۰/۰۳	۱/۲۱±۰/۰۴
متیل جاسمونات	۰/۵	۳۴۱/۱±۱۱/۹	۳۳۹/۸±۹/۱	۵۳/۴±۲/۴	۵۲/۸±۲/۲	۱/۵۵±۰/۰۵	۱/۵۱±۰/۰۲	۱/۵۲±۰/۰۶	۱/۴۱±۰/۰۴
	۱	۳۶۲/۸±۱۱/۸	۳۶۵/۵±۱۱/۲	۵۹/۱±۱/۱	۶۲/۲±۱/۴	۱/۶۹±۰/۰۷	۱/۷۱±۰/۰۱	۱/۵۷±۰/۶	۱/۶۱±۰/۰۵
	۲	۳۳۳/۱±۹/۲	۳۲۱/۴±۸/۱	۵۱/۷±۱/۲	۵۲/۲±۳/۲	۱/۲۱±۰/۰۲	۱/۱۴±۰/۰۵	۱/۳۱±۰/۰۴	۱/۲۹±۰/۰۶
LSD		۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵

ɣ: مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P <0.05).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

میلی‌مولار بوجود آمد هر چند که تیمار متیل جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار در بسیاری از موارد با تیمار متیل جاسمونات ۱ میلی‌مولار در یک گروه آماری قرار گرفتند. در سوی مقابل در برخی از صفات مورد ارزیابی تیمار دی‌اکسید تیتانیوم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمار شاهد در یک گروه آماری واقع شد (جدول ۸).

ضرایب همبستگی: نتایج برآمده از ضرایب همبستگی ساده پیرسون بین صفات مورد ارزیابی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات مورد بررسی وجود داشت که در این بین ضرایب مربوط به وزن خشک و اسانس با ترکیبات غالب اسانس چشم‌گیرتر بود (جدول ۹-۱۲).

تیمار متیل جاسمونات (یک و دو میلی‌مولار) به‌طور معنی‌داری میزان ترکیبات عمده اسانس از جمله کارواکرول، تیمول، پارا-سیمن و گاما-ترپینن را در گیاه آویشن باغی افزایش داد. متیل جاسمونات با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها، مواد اولیه را برای سنتز ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین‌ها فراهم می‌آورد (Mohamed and Latif, 2017). محققین علت افزایش ترکیبات فنلی در تیمار با جاسمونات‌ها را، اثر این ماده بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز و افزایش فعالیت این آنزیم ذکر نموده‌اند (Ali *et al.*, 2019; Ho *et al.*, 2020). متیل جاسمونات یک مولکول پیام‌رسان مهم در سلول‌های گیاهی است و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را با توجه به شرایط فیزیولوژیکی سلول، مستقیم یا غیرمستقیم کنترل می‌کند (Jiang *et al.*, 2017). نکته قابل توجه این است که بررسی مطالعه حاضر و سایر پژوهش‌ها، بیانگر تفاوت در تأثیر غلظت‌های مختلف محرک‌های استفاده شده است. باید در نظر داشت تعیین غلظت بهینه برای محلول‌پاشی بسته به گونه گیاهی، شرایط محیطی و روش استفاده، متفاوت است (Sheikhalipour *et al.*, 2021). نانوکودهای حاوی عناصر ریزمغذی به علت دسترسی سریع به سطوح گیاهی، توانایی حمل عناصر غذایی و رساندن هدفمند عناصر ریزمغذی به بافت‌های مشخص از گیاه، سبب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شوند (Shi *et al.*, 2013). در گیاهان تیمارشده با نانوذرات به‌دلیل وضعیت تغذیه‌ای متعادل و بهبود فرآیند فتوسنتزی گیاه، تولید انرژی بیشتر است و از این طریق غلظت عناصر غذایی مانند پتاسیم که به‌صورت فعال و با صرف انرژی جذب گیاه می‌شوند، افزایش می‌یابد (Alharby *et al.*, 2021). ذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز می‌شوند و توانایی جذب و استفاده از آب و کود را در گیاهان تیمارشده تشدید می‌نمایند (Lyu *et al.*, 2017). افزایش در مقدار عناصر غذایی گیاه تحت تأثیر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و افزایش مقدار اسانس در گزارشات قبلی محققین بیان گردیده است (Alharby *et al.*, 2021; Markiewicz and Kleiber, 2014). با کاربرد نانوکودها، زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود و از این‌رو ضمن کاهش آبشویی عناصر، گیاه قادر به جذب بیشترین عناصر غذایی می‌شود (Markiewicz and Kleiber, 2014). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش جذب نیتروژن و منیزیم، میزان کلروفیل و فتوسنتز را افزایش داده که منجر به بهبود رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر معدنی می‌گردد (Kolencik *et al.*, 2020). گزارشات مختلف با نتایج متفاوت در مورد اثر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر مقدار عناصر ریزمغذی وجود دارد که برخی افزایش و برخی دیگر کاهش این عناصر را در واکنش به تیمار محلول‌پاشی گزارش کرده‌اند. اثرات متفاوت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به تفاوت در گونه گیاهی، مرحله رشد، اندام مورد مطالعه، غلظت‌های استفاده‌شده و نحوه اعمال محلول‌پاشی نسبت داده شده است (Markiewicz and Kleiber, 2014).

در اکثر موارد بیشترین مقادیر ترکیبات مؤثره اسانس از جمله پارا-سیمن، گاما-ترپینن، کارواکرول و تیمیل استات، برتری با تیمارهای متیل جاسمونات (۱ mM) و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۱۰۰ ppm) بود (جدول ۴ و ۵). افزایش توأم میزان اسانس همراه با ترکیبات غالب اسانس به‌خصوص پارا-سیمن، گاما-ترپینن، کارواکرول و تیمیل استات در نتایج محققین قبل نیز گزارش شده است (Yadegari, 2018; 2017).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۹- ضرایب همبستگی ساده بین میزان صفات مورفوفیزیولوژیکی، اسانس و ترکیبات غالب اسانس گیاهان آویشن تحت تأثیر تیمار متیل جاسمونات در سال ۱۴۰۱.

	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
۱ اسانس	۱								
۲ وزن خشک	۰/۹۶**	۱							
۳ فنول کل	۰/۸۲**	۰/۷۶**	۱						
۴ کلروفیل کل	۰/۸۹**	۰/۷۵**	۰/۷۷**	۱					
۵ محتوای نسبی آب برگ	۰/۷۷**	۰/۷۹**	۰/۹۳**	۰/۶۵**	۱				
۶ پارا-سیمن	۰/۸۲**	۰/۸۸**	۰/۷۵**	۰/۷۶**	۰/۷۹**	۱			
۷ گاما-ترپینن	۰/۶۸**	۰/۵۹**	۰/۹۶**	۰/۸۸**	۰/۷۳**	۰/۹**	۱		
۸ کارواکرول	۰/۷۲**	۰/۶۶**	۰/۶۸**	۰/۶۴**	۰/۷۷**	۰/۷۶**	۰/۸۹**	۱	
۹ تیمیل استات	۰/۸۱**	۰/۷۵**	۰/۸۲**	۰/۷۷**	۰/۹۱**	۰/۷۵**	۰/۸۴**	۰/۹**	۱

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد**

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی ساده بین میزان صفات مورفوفیزیولوژیکی، اسانس و ترکیبات غالب اسانس گیاهان آویشن تحت تأثیر تیمار متیل جاسمونات در سال ۱۴۰۲.

	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
۱ اسانس	۱								
۲ وزن خشک	۰/۷۷**	۱							
۳ فنول کل	۰/۸۱**	۰/۶**	۱						
۴ کلروفیل کل	۰/۷**	۰/۶۶**	۰/۷۲**	۱					
۵ محتوای نسبی آب برگ	۰/۸۳**	۰/۷۹*	۰/۸۱**	۰/۹۱**	۱				
۶ پارا-سیمن	۰/۸۲**	۰/۸۸**	۰/۹۳**	۰/۶۵**	۰/۸۵**	۱			
۷ گاما-ترپینن	۰/۸۲**	۰/۹۱**	۰/۸۳**	۰/۶۸**	۰/۶۸**	۰/۶۶**	۱		
۸ کارواکرول	۰/۸۳**	۰/۶۳**	۰/۸۲**	۰/۶۹**	۰/۹۱**	۰/۵۵**	۰/۸۲**	۱	
۹ تیمیل استات	۰/۷۷**	۰/۷۵**	۰/۹۴**	۰/۸۲**	۰/۸۴**	۰/۸۲**	۰/۷**	۰/۸۸**	۱

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد**

بیشترین مقادیر اسانس (۰/۹۵ درصد در سال اول و ۰/۹۷ درصد در سال دوم) متعلق به تیمار متیل جاسمونات (۱ میلی-مولار) بود که هم‌گروه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفت. چهار ترکیب کارواکرول، پارا-سیمن، گاما-ترپینن و تیمیل استات در تیمارهای مختلف بیش از ۶۲ درصد از ترکیبات اسانس را به خود اختصاص دادند. بالاترین مقادیر ترکیبات غالب اسانس شامل کارواکرول (۳۷/۰۱-۳۷/۲۲ درصد) در تیمار متیل جاسمونات ۱ و ۲ میلی‌مولار؛ گاما-ترپینن (۱۵/۰۲ – ۱۶/۴۳ درصد) در تیمار نیم و ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات؛ پارا-سیمن (۸/۸۵-۸/۰۱ درصد) در تیمارهای ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و تیمیل استات (۴/۹۹-۴/۸۲ درصد) در تیمارهای ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. در غالب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی ساده بین ضرایب همبستگی ساده بین میزان صفات مورفوفیزیولوژیکی، اسانس و ترکیبات غالب اسانس گیاهان آویشن تحت تأثیر تیمار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در سال ۱۴۰۱.

	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
۱ اسانس	۱								
۲ وزن خشک	۰/۹۴**	۱							
۳ فنول کل	۰/۷۲**	۰/۶۶**	۱						
۴ کلروفیل کل	۰/۹۱**	۰/۶۶**	۰/۷۷**	۱					
۵ محتوای نسبی آب برگ	۰/۶۶**	۰/۷۵**	۰/۹**	۰/۷۲**	۱				
۶ پارا-سیمن	۰/۸۲**	۰/۸۸**	۰/۸۳**	۰/۹۳**	۰/۸۳**	۱			
۷ گاما-ترپینن	۰/۷۵**	۰/۹۱**	۰/۷۵**	۰/۶۵**	۰/۸۸**	۰/۸۲**	۱		
۸ کارواکرول	۰/۸۲**	۰/۶۹**	۰/۸۹**	۰/۷۲**	۰/۷۵**	۰/۶۶**	۰/۸۹**	۱	
۹ تیمیل استات	۰/۷۵**	۰/۷۸**	۰/۹۱**	۰/۸۹**	۰/۸**	۰/۷۸**	۰/۷**	۰/۸۵**	۱

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد**

جدول ۱۲- ضرایب همبستگی ساده بین ضرایب همبستگی ساده بین میزان صفات مورفوفیزیولوژیکی، اسانس و ترکیبات غالب اسانس گیاهان آویشن تحت تأثیر تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در سال ۱۴۰۲.

	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
۱ اسانس	۱								
۲ وزن خشک	۰/۸۸**	۱							
۳ فنول کل	۰/۷۵**	۰/۵۹**	۱						
۴ کلروفیل کل	۰/۸۹**	۰/۶۶**	۰/۸۸**	۱					
۵ محتوای نسبی آب برگ	۰/۸۸**	۰/۶۱*	۰/۷۹**	۰/۸۸**	۱				
۶ پارا-سیمن	۰/۷۲**	۰/۸۸**	۰/۸۳**	۰/۷۷**	۰/۷۴**	۱			
۷ گاما-ترپینن	۰/۶۲**	۰/۷۶**	۰/۸۴**	۰/۷۵**	۰/۸۳**	۰/۷۵**	۱		
۸ کارواکرول	۰/۸۹**	۰/۶۳**	۰/۷۷**	۰/۷۴**	۰/۷۹**	۰/۵۵**	۰/۶۹**	۱	
۹ تیمیل استات	۰/۶۲**	۰/۸۳**	۰/۸۷**	۰/۹۱**	۰/۸۱**	۰/۷۹**	۰/۷۵**	۰/۶۹**	۱

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد**

موارد تیمارهای ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید تیتانیوم هم از لحاظ درصد اسانس و هم ترکیبات غالب اسانس در بالاترین گروه آماری بودند. میزان و کیفیت اسانس آویشن باغی در این تحقیق تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده قرار گرفت. تأثیر مثبت متیل جاسمونات بر افزایش مقدار اسانس در گیاهان دارویی ریحان (*Ocimum basilicum*) (Zlotek *et al.*, 2016)، مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) (Farsi *et al.*, 2020)، بابونه (*Matricaria chamomilia* L.) (Salimi *et al.*, 2014) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) (Mazarie *et al.*, 2019; Yadegari, 2018) نیز گزارش شده است. به‌طورکلی هر افزایشی در کل کربوهیدرات‌های گیاه موجب افزایش سنتز اسانس در بافت مسئول سنتز این ترکیبات می‌شود. یکی از دلایل بیشتر شدن مقدار اسانس را می‌توان به‌دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

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 می‌شود. از آنجایی که غده‌های ترشح‌کننده اسانس آویشن باغی در برگ‌ها قرار دارند، هر عاملی که سبب افزایش سطح و وزن برگ‌ها شود، مقدار اسانس را نیز افزایش خواهد داد. از این‌رو به‌نظر می‌رسد افزایش تولید کلروفیل، سبب افزایش بافت‌های فتوسنتزی، افزایش رشد برگ‌ها و در نتیجه افزایش تعداد کرک‌های ترشحی اسانس می‌گردد و در نهایت منجر به افزایش عملکرد اسانس خواهد شد (Ali *et al.*, 2019; Gohari *et al.*, 2020; Zlotek *et al.*, 2016).

در پژوهش حاضر محلول‌پاشی گیاه آویشن باغی با محرک‌های رشدی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات، با افزایش صفات مورفوفیزیولوژیکی منجر به افزایش اسانس و ترکیبات غالب اسانس از آویشن باغی شد. براساس نتایج حاصل تیمار متیل جاسمونات (در غلظت ۱ میلی‌مولار) در مقایسه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نقش مؤثرتری در بهبود رشد و عملکرد اسانس در گیاه آویشن باغی داشت. از نظر اقتصادی با توجه به هزینه‌های اعمال‌شده از یکسو و از سوی دیگر قیمت اسانس آویشن باغی، مصرف متیل جاسمونات (در غلظت ۱ میلی‌مولار) در اقلیم مشابه صرفه اقتصادی داشته و توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

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. *Journal of Plant Process and Function, 11*, 195-210. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.48.13.4

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

Ahmad, B., Shabbir, A., Jaleel, H., Khan, M. M. A., & Sadiq, Y. (2018). Efficacy of titanium dioxide nanoparticles in modulating photosynthesis, peltate glandular trichomes and essential oil production and quality in *Mentha piperita* L. *Current Plant Biology, 13*, 6-15. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.04.002

Alharby, H. F., Rizwan, M., Iftikhar, A., Hussaini, K. M., Rehman, M. Z., & Bamagoos, A. A. (2021). Effect of gibberellic acid and titanium dioxide nanoparticles on growth, antioxidant defense system and mineral nutrient uptake in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 221*, 112436. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112436

Allahverdi, Z., Yadegari, M., & Moghaddam, M. (2023). Investiganting the effect of methyl jasmonate and titanium dioxide nanoparticles on physiological and phytochemical variations of *Rosa damascena*. Mill. esential oil. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 11*, 109-129. Doi: 10.30495/ejmp.2023.702419

Ali, M., Mujib, A., Gulzar, B., & Zafar, N. (2019). Essential oil yield estimation by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) after methyl jasmonate (MeJA) elicitation in in vitro cultivated tissues of *Coriandrum sativum* L. *Biotechnology, 11*, 414-422. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1936-9

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.

Dasgupta, N., Ranjan, Sh., & Ramalingam, Ch. (2017). Applications of nanotechnology in agriculture and water quality management. *Environmental Chemistry Letters, 15*, 591-605. http://dx.doi.org/10.1007/s10311-017-0648-9

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*(1), 13-17. https://www.researchgate.net/publication/235938850

Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A., & Ghasemi, Sh. (2020). Effect of methyl jasmonate on growth and essential oil content of marjoram (*Origanum majorana* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Research, 33*, 674-688. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.3.14.8

Gao, F., Liu, C., Qu, C., Zheng, L., Yang, F., Su, M., & Hong, F. (2008). Was improvement of spinach growth by nano-TiO_2 treatment related to the changes of Rubisco activase? *Biometals, 21*, 211-217. https://doi.org/10.1007/s10534-007-9110-y

Gohari, G., Mohammadi, A., Akbari, A., Panahirad, S., Dadpour, M. R., & Fotopoulos, V. (2020). Titanium dioxide nanoparticles (TiO_2 NPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

biochemical attributes of *Dracocephalum moldavica*. *Scientific Reports, 10*, 1-14. https://doi.org/10.1038/s41598-020-57794-1

Ho, T. T., Murthy, H. N., & Park, S. Y. (2020). Methyl jasmonate induced oxidative stress and accumulation of secondary metabolites in plant cell and organ cultures. *International Journal of Molecular Sciences, 21*, 716-729. https://doi.org/10.3390%2Fijms21030716

Jiang ,Y., Ye, J., Li, S., & Niinemets, U. (2017). Methyl jasmonate-induced emission of biogenic volatiles is biphasic in cucumber: A high-resolution analysis of dose dependence. *Journal of Experimental Botany, 68*, 4679-4694. https://doi.org/10.1093/jxb/erx244

Khademalhosseini, Z., Jafarian, Z., Roshan, V., & Ranjbar, Gh. (2022). The effect of salinity levels of irrigation water on some biochemical characteristics of medicinal plant of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Plant Process and Function, 10*, 97-113. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.1.1

Kolencik, M., Ernst, D., Urik, M., Durisova, L., & Bujdos, M. (2020). Foliar application of low concentrations of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles to the common sunflower under field conditions. *Nanomaterials, 10*, 1619-1632. https://doi.org/10.3390/nano10081619

Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X., & Pan, D. (2017). Titanium as a beneficial element for crop production. *Frontiers in Plant Science, 8*, 597-611. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00597

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

Markiewicz, B. & Kleiber, T. (2014). The effect of Tytanit application on the content of selected microelements and the biological value of tomato fruits. *Journal of Elementology, 19*, 1065-1072. http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2014.19.3.486

Mazarie, A., Mousavi Nik, S., Ghanbari, A., & Fahmideh, L. (2019). Effect of different spraying concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant system activity of Sage (*Salvia officinalis* L.). *Iranian Journal of Plant Biology, 39*, 1-22. https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110510.1092

Mohamed, H. I. & Latif, H. H. (2017). Improvement of drought tolerance of soybean plants by using methyl jasmonate. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 23*, 545-556. https://doi.org/10.1007/s12298-017-0451-x

Moreno-Escamilla, J. O., Jimenez-Hernandez, F. E. A., Alvarez-Parrilla, E., Rosa, L. A., Martinez-Ruiz, N. R., Gonzalez-Fernandez, R., & Rodrigo-Garcia, J. N. (2020). Effect of elicitation on polyphenol and carotenoid metabolism in Butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata). *ACS Omega, 5*, 11535-11546 . https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00680

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

Murthy, H. N., Lee, E. J., & Paek, K. Y. (2014). Production of secondary metabolites from cell and organ cultures: Strategies and approaches for biomass improvement and metabolite accumulation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 118*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s11240-014-0467-7

Rahimi, S., Kim, Y. J., & Yang, D. C. (2015). Production of ginseng saponins: Elicitation strategy and signal transductions. *Applied Microbiology and Biotechnology, 99*, 6987-6996. https://doi.org/10.1007/s00253-015-6806-8

Rowe, H. C., Ro, D. K., & Rieseberg, L. (2012). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaf surface defenses to exogenous methyl jasmonate. *Plos One, 7*, e37191. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0037191

Salimi, F., Shekari, F., Azimi, M. R., & Zangani, E. (2014). Effect of methyl jasmonate application on improving salt resistance of german chamomile (*Matricaria chamomilia* L.) through change on some morphological characters. *Journal of Crop Production and Processing, 11*, 123-131. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1393.4.11.11.5

Sharafi, Gh., Changizi, M., Gomarian, M., & Khagani, Sh. (2022). Effect of drought stress and vermicompost biofertilizer on morphophysiological traits of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Plant Process and Function, 10*, 147-160. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.44.8.4

Sheikhalipour, M., Esmaielpour, B., Gohari, G., Haghighi, M., & Jafari, H. (2021). Salt stress mitigation via the foliar application of chitosan-functionalized selenium and anatase titanium dioxide nanoparticles in Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *Molecules, 26*, 4090-4105. https://doi.org/10.3390/molecules26134090

Shi, H., Magaye, R., Castranova, V., & Zhao, J. (2013). Titanium dioxide nanoparticles: A review of current toxicological data. *Particle and Fibre Toxicology, 10*, 1-33. https://doi.org/10.1186/1743-8977-10-15

Statictics of Agriculture. (2022). Ministry of Jahade-Keshavarzi. Tehran, Iran.

Statistics in Meteorology. (2023). Organization Meteororological. Chaharmahal and Bakhtyari Province, Iran.

Taheri, M., Rastegar, S., & Karami, A. (2021). Methyl jasmonate, salicylic acid, zinc and boron application on the quantitative and qualitative characteristics of *Rosa damascena* Mill. *Journal of Plant Process and Function, 39*, 179-196. 20.1001.1.23222727.1399.9.39.17.6

Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., & Nosheen, A. (2020). Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *PLoS One, 15*, e0232269.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269

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

Ullah, S., Adeel, M., Zain, M., Rizwan, M., Kashif Irshad, M., Jilani, Gh., Hameed, A., Khan, A., Arshad, M., Raza, A., & Rui, Y. (2020). Physiological and biochemical response of wheat (*Triticum aestivum*) to TiO_2 nanoparticles in phosphorous amended soil: A full life cycle study. *Journal of Environmental Management, 263,* 110365. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110365

Yadegari, M. (2022). Effects of NPK complete fertilizer, botamisol, and humic acid on morphophysiological characteristics and essential oil in three *Thymus* species under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 38,* 301-321. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.357303.3119

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*(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*, 307-315. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269796

lotek, U., Michalak-Majewska, M., & Szymanowska, U. (2016). Effect of jasmonic acid elicitation on the yield, chemical composition, and antioxidant and anti-inflammatory properties of essential oil of lettuce leaf basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food Chemistry, 213,* 1-7. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.06.052

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]

Foliar application effect of Titanium Dioxide Nanoparticles and Methyl Jasmonate on morpho-physiological characters and essential oil of *Thymus vulgaris* L.

Mehrab Yadegari

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

(Received: 2023/11/23, Accepted: 2024/03/04)

Abstract

Thymus vulgaris L. belongs to the Lamiaceae family, which is considered one of the most important medicinal and industrial plants. In the present study, the effects of foliar application of methyl jasmonate and titanium dioxide nanoparticles on the quantitative and qualitative characters of essential oil in Thyme based on a randomized complete block design with 3 replications in two growing seasons (2022 and 2023) were evaluated by two separate experiments in the Research Farm of the Islamic Azad University Branch of Shahrekord. Foliar application of methyl jasmonate (0, 0.5, 1, 2 mM) and titanium dioxide nanoparticles (0, 100, 200 and 300 mg. L^{-1}) was performed three times with a 4-day interval after the V_{12}-V_{20} stage. For measurement of the content and yield of the volatile oil, 1000g of the fresh shoots were harvested, mixed with water and placed in a flask connected to the condenser of a Clevenger apparatus and the GC analysis was done to detect the essential oil composition. In two years, the highest weight of dry matter (362.8-365.5 $g.m^{-2}$), essential oil content (0.95-0.97%) and total chlorophyll (1.69-1.71 $mg.dw^{-1}$) were observed in plants treated with 1 mM methyl jasmonate which was the same group as 100 mg L^{-1} titanium dioxide nanoparticles. Four components of Thymyl acetate, P-cymene, Gamma terpinen and Carvacrol are classified as cyclic monoterpene that make up more than 62% of the essential oil content in different treatments. Methyl jasmonate at a concentration of 1 mM increased the essential oil content of treated plants (0.97%) compared to control plants (0.69%) by 40%. According to the obtained results, applied methyl jasmonate at concentration of 1 mM is suggested to improve the quantitative and qualitative characters of essential oil in Thyme plants in same climate.

Keywords: Carvacrol, Elicitor, Gamma terpinen, Thyme, Thymyl acetate

Corresponding author, Email: mehrabyadegari@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.247]