

اثر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات بر خصوصیات مورفووفیزیولوژیکی و اسانس

Thymus vulgaris L. گیاه دارویی

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 دی اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات بر خصوصیات مورفووفیزیولوژیکی و اسانس این گیاه در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ 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 دی اکسید تیتانیوم (صفرا، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سطوح متیل جاسمونات (صفرا، ۱/۵ و ۲ میلی‌مolar) هر چهار روز یک بار پس از مرحله ۱۲-۱۰ 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 (۳۶۵/۵-۳۶۲/۸ گرم در مترمربع)، اسانس (۰/۹۷-۰/۹۵ درصد) و کلروفیل کل (۱/۶۹-۱/۷۱ ۱ میلی‌گرم در وزن خشک) متعلق به تیمار متیل جاسمونات (۱ میلی‌مolar) بود که هم‌گروه با تیمار نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفت. چهار ترکیب کارواکرول، پارا-سیمن، گاما-ترپین و تیمیل استات از دسته مونوتربین‌های حلقوی در تیمارهای مختلف بیش از ۶۲ درصد از ترکیبات اسانس را به خود اختصاص دادند. متیل جاسمونات (۱ میلی‌مolar) 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 میلی‌مolar جهت بهبود خصوصیات کمی و کیفی اسانس گیاه آویشن باغی در مناطق مشابه پیشنهاد می‌گردد.

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

مقدمه

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). کشت و کار این گیاه در کشور روسیه افزایش بوده و طبق آخرین آمار، میزان مساحت مورد کاشت

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

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 رشد نمو گیاه ضروری هستند. هنگامی که گیاهان در معرض محرک‌های طبیعی یا مصنوعی رشد مانند جاسمونات‌ها قرار می‌گیرند، 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 Mohamed تولید متabolیت‌های ثانویه کاربرد گسترده‌ای دارد (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 سیگنان مولکولی را تحریک و بیان ژن را تنظیم می‌کند که در نهایت منجر به تجمع متabolیت‌های 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 تنفس اکسیداتیو و فعال‌سازی ژن‌های دفاعی می‌شود. در طی فرآیند القای سیگنان چندین فرآیند از جمله فسفریل‌اسیون پروتئینی، اکسیداسیون لیپیدها، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD, G-POD, CAT) و فعال‌سازی و بیوسنتر مجدد فاکتورهای رونویسی و در نتیجه بیان متعاقب ژن‌های 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*)

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 (Statistics of agriculture, 2022). عملکرد انسانس 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 انسانس افزایش می‌یابد. تاکنون ۳۸ ترکیب در انسانس این گیاه شناسایی شده است. مهمترین مواد مؤثره تشکیل‌دهنده انسانس، ترکیبات مونوتربنی از جمله کارواکرول، تیمول، آلفا-ترپین، پارا-سیمن و گاما-ترپین 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 مقابل 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 متabolیت‌های ثانویه را کاهش می‌دهد (Yadegari, 2022; Abdi *et al.*, 2022).

محرك‌های رشدی، ترکیباتی با منشأ زیستی یا غیرزیستی، هستند که از طریق القای سیستم دفاعی، باعث بیوسنتر و انباشت متabolیت‌های ثانویه و همچنین تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک، در گیاهان دارویی می‌شوند. در طی دهه‌های اخیر، از برخی محرک‌های رشد به صورت گسترده برای بهبود و افزایش تولید متabolیت‌های ثانویه در تعداد زیادی از

ترکیبات مصرف شده از تیتانیوم در دنیا شامل تیتانیوم فلزی، اکسید تیتانیوم و تیتانیوم کلرید هستند. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به دلیل پایداری بالا، اثرات ضد باکتریایی و خواص فتوکاتالیستی، کاربردهای وسیع تری دارند (Shi *et al.*, 2013). غلظت بهینه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم برای افزایش رشد در گونه های مختلف گیاهی متفاوت است و با افزایش غلظت عملکرد گیاه بهبود نمی یابد (Ullah *et al.*, 2020). اگر چه تیمار نانوذرات تیتانیوم با توجه به نوع گیاه اثرات متفاوتی دارد ولی با بهینه سازی غلظت دی اکسید تیتانیوم برای گیاهان دارویی و معطر مختلف می توان کیفیت و تولید مواد مؤثره بهویژه انسان را افزایش داد (Ahmad *et al.*, 2018). حرکت تیتانیوم در خاک بسیار کند است و استفاده از این ترکیب به صورت محلول پاشی مؤثرتر از اضافه کردن نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در خاک است. تیمار نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با افزایش فتوستتر، تولید ترکیبات پرورده گیاه را افزایش داده و با تقویت رشد ریشه، جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه ها را افزایش می دهد و از این طریق بیوماس گیاه بهبود می یابد (Alharby *et al.*, 2021). علاوه بر این نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با تأثیر بر متابولیسم اولیه گیاه، تولید متابولیت های ثانویه را تحت تأثیر قرار می دهد. در مطالعات قبلی ثابت شده که غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر در مقایسه با سایر غلظت های نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، به عنوان سطح بهینه بوده و با افزایش غلظت عملکرد گیاه بهبود نمی یابد (Ahmad *et al.*, 2018). استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم مناسب ترین و بهترین گرینه از لحاظ تحويل بهینه عنصر به مقصد مورد نظر و استفاده صحیح از آن است. در مقایسه با سایر نانوذرات، دی اکسید تیتانیوم کارایی بیشتر و خطرات زیست محیطی کمتری دارد (Ullah *et al.*, 2020).

با توجه به بررسی منابع، تاکنون تحقیق جامعی راجع به اثر گذاری محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات بر خواص کمی و کیفی انسان گیاه دارویی آویشن باغی، انجام نشده است و از آنجایی که استخراج متابولیت های ثانویه گیاه آویشن باغی در جهان مورد توجه

۰/۲۱۰۲-۰/۱۰۵۱ (Yadegari, 2018) میلی مولار، کاهوی سبز (Cucumis sativus L.) Moreno- (Lactuca sativa L.) (Jiang *et al.*, 2017) ۱۵-۹۰ میکرومولار و آفتباگردان ۱۰۰ (Escamilla *et al.*, 2020) (Helianthus annuus L.) (Rowe *et al.*, 2012) میکرومولار گزارش شده است.

در جهت انحلال بهتر در آب و جذب از طریق روزنه ها، امروزه شکل نانوذره برای انواع کودهایی که به صورت محلول پاشی هستند، استفاده می شوند. انواع مختلفی از نانو کودها مانند نقره، آهن، روی، تیتانیوم، مولیبدن و سیلیس تولید شده و بر روی سیستم های مختلف زراعی اعمال می شوند. نانومواد در غلظت های معین تأثیر بیشتری بر طول ریشه، طول ساقه، زیست توده گیاه، محتوای کلروفیل و جوانه زنی بذرها دارند. همچنین کودهای نانو شکل در مقایسه با کودهای معمولی سریع تر حرکت می کنند، آنها از قوانین ترمودینامیک پیروی می کنند و نفوذ آنها به غشای سلولی گیاهان آسان است (Dasgupta *et al.*, 2017). نفوذ نانوذرات در گیاهان به اندازه و همچنین خصوصیات آن نانوذره خاص بستگی دارد. دامنه اندازه نانوذرات در محدوده اندازه منافذ دیواره سلول است، به طوری که این ذرات به طور مؤثری با عبور از دیواره سلولی وارد سلول می شوند تا به غشای پلاسمایی بررسند. سرعت عبور به اندازه و خصوصیات سطحی نانوذرات بستگی دارد. در مقابل، نانوذرات بزرگ تر قادر به ورود به سلول از طریق منافذ دیواره سلولی نیستند (Gohari *et al.*, 2020). از این رو، تنها می توانند از طریق هیدراتودها، کلاله های گل یا روزنه ها وارد شوند. به دنبال ورود به سلول این نانوذرات همانند یون های فلزی عمل کرده و با گروه های سولفیدریل و کربوکسیل برهم کنش برقرار می کنند و در نهایت فعالیت پروتئینی را تغییر می دهند (Ahmad *et al.*, 2018). تیتانیوم نهmin عنصر فراوان در پوسته زمین می باشد که در غلظت های پایین برای گیاه مفید است و فرآیندهای متعدد گیاهی را تحت تأثیر قرار می دهد. برای استفاده از تأثیرات مفید آن این عنصر به ترکیبات عناصر ریزمغذی افزوده می شود. گستردگری

دیاکسید تیتانیوم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (آنالیز TEM) بررسی شدند (شکل ۱).

نشاههای ۶-۴ برجی آویشن تهیه شده 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 بالافصله 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 برجی هر چهار روز یک بار در سه نوبت محلول‌پاشی انجام شد (Allahverdi *et al.*, 2023; Taheri *et al.*, 2021) 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 اوچ رویش (۲۵۲-۲۷۰ برجی) 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 برج گیاهان تیمارشده جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نمونه‌برداری انجام گرفت. جهت ارزیابی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نمونه‌های برداشت‌شده در محل تولید بالافصله 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 برنده 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 میان آب با نقطه میان اسانس، هر دو در دو فاز مجزا قرار گرفتند. در طی فرآیند تقطیر، واکنش‌های شیمیایی از جمله هیدرولیز، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون بین مواد و

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.

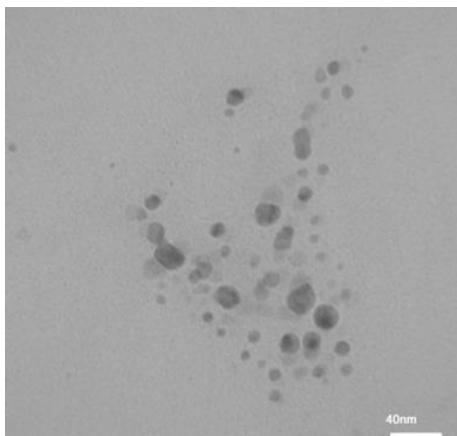
مواد و روش‌ها

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 ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ 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 به صورت دو آزمایش مستقل در قالب طرح بلوك‌های 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 باگی، برای نانوذرات دیاکسید تیتانیوم، غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورد استفاده قرار گرفت. متیل جاسمونات در غلظت‌های صفر، ۱/۵ 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 ۱۰-۲۵ نانومتر، سطح ویژه ۲۰۰-۲۴۰ 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 آب مقطر 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

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

سال	۱۴۰۲	۱۴۰۱
فسفر (میلی گرم بر لیتر)	۸۲	۸۳
پتاسیم (میلی گرم بر لیتر)	۲۰۹/۲	۲۱۲
نیتروژن (میلی گرم بر لیتر)	۰/۰۹	۰/۰۸
هدايت الکتریکی (دسى زیمنس بر متر)	۰/۴۱	۰/۴۲
کربن آلی (درصد)	۰/۷۷	۰/۸۵
اسیدیته	۷/۴	۷/۳
متوسط بارندگی سالیانه (میلی متر)	۳۱۱/۱	۳۰۹/۳
متوسط درجه حرارت سالیانه (درجه سانتی گراد)	۱۱/۶	۱۱/۲
متوسط حداقل درجه حرارت (درجه سانتی گراد)	۲۲/۶	۲۱/۸
متوسط حداقل درجه حرارت (درجه سانتی گراد)	-۱۲/۴	-۱۲/۱



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

برگ، ۰/۵ گرم از جوانترین برگ توسعه یافته هر گیاه جدا کرده و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر 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 سانتی گراد 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):

$$\text{درصد محتوای نسبی آب برگ} = (\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})$$

ترکیبات تشکیل دهنده صورت پذیرفت (Adams, 2007). انسانس گیاهان مورد نظر پس از آماده سازی، جهت شناسایی ترکیبات به دستگاه GC/MS (مدل 7890A/5975C) ساخت اجیلت آمریکا) مجهز به ستون مؤئنه HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرون با محدوده دمایی آون ستون از ۶۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی گراد 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

(L.S.D) در سطح یک درصد انجام و برای اطمینان از مقادیر خطای استاندارد (SE)، به طور جداگانه با نرم افزار Excel ver. 2013 برآورد مجدد انجام شد.

نتایج و بحث

اسانس و ترکیبات اسانس: تیمارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر به طور معنی داری بر مقدار و ترکیبات اسانس اثرگذار بودند (جدول ۲ و ۳). تمام غلظت‌های متیل جاسمونات موجب افزایش معنی دار اسانس ساختار هوایی گیاهان آویشن باعث شد که مقدار اسانس در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۱ میلی مولار به طور معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بود. اشکال کرومتوگرام‌های تیمارهای برتر (نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، متیل جاسمونات ۱ میلی مولار و تیمار شاهد) در شکل‌های ۴-۲ دیده می‌شوند. مقدار اسانس ساختار هوایی برداشت شده از گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از گیاهان شاهد بود (شکل ۵). تیمار متیل جاسمونات در غلظت ۱ میلی مولار 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 استخراج شده از ساختار هوایی گیاهان آویشن باعث را به طور متوجه به ترتیب به میزان ۳۵ و ۲۹ درصد در مقایسه با گیاهان تیمار نشده (شاهد) افزایش داد که بیانگر کارایی بالاتر متیل جاسمونات در افزایش سنتز و تجمع اسانس گیاه آویشن باعث 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 از دو برابر شد. بیشترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس در تمام گیاهان تحت تیمار شامل پارا-سیمن، گاما-ترپین، کارواکرول و تیمیل استات بود. تیمارهای مورد استفاده منجر به افزایش در ترکیبات مذکور در گیاهان تحت تیمار

کلروفیل کل: برای اندازه‌گیری کلروفیل کل، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی لیتر استون ۰/۸۰ و ۰/۱ گرم کربنات کلسیم (برای خشی نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده تا به صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژ کردن عصاره حاصل محلول رویی برداشته و جذب نور توسط آن در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) بر حسب (میلی گرم در کیلو گرم وزن تر) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به عنوان محلول مرجع خوانده شد (Dere *et al.*, 1998).

$$\text{کلروفیل کل} = \frac{۰/۰۲}{۰/۰۲} \times \text{حداکثر جذب نور کلروفیل a} + \frac{۰/۲۱}{۰/۲۱} \times \text{حداکثر جذب نور کلروفیل b}$$

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

پس از انجام آزمون بارتلت جهت بررسی اطمینان از همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی تجزیه مرکب میزان اسانس و ترکیبات مؤثره اسانس گیاهان تحت تیمارهای اسانس و ترکیبات مؤثره اسانس گیاهان تحت تیمارهای مختلف کودی و نیز همبستگی ساده بین اسانس و اجزای اسانس از روش پیرسون، با نرم افزار آماری SAS ver.8 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها از روش حداقل اختلاف معنی دار

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اسانس و ترکیبات عمدۀ اسانس تحت تأثیر محلول پاشی متیل جاسمونات

درجه آزادی	منابع تغییرات	اسانس	کامفن	لیمونن	بتا-پین	۳-اکتانون	آلفا-تریپین	بتا-میرسن	آلfa-تریپین	استات	تیمیل
۱	سال	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۱۴ ns	۰/۰۰۱۲ ns	۰/۰۱۸ **	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۳۸ **	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۸۹ ns	۰/۰۰۱۹ ns
۴	تکرار (سال)	۰/۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۳	متیل جاسمونات	۰/۷۲۵ **	۰/۶۶۵ **	۰/۵۴۲ **	۰/۴۴۲ **	۰/۶۷۲ **	۰/۱۲۲ **	۰/۳۶۹ **	۱/۳۲ **	۰/۷۲۰ ns	۰/۰۰۲ ns
۳	سال × متیل جاسمونات	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱ **	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۲ **	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۵
۱۲	خطا	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۷/۵۴
-	ضریب تغییرات (%)	۷/۷۲	۹/۲۲	۸/۱	۸/۹۹	۷/۷۸	۷/۵۴	۴/۹۸			۷/۵۴

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

ادامه جدول ۲-

درجه آزادی	منابع تغییرات	سیمن	پارا-	لینالول	گاما-	تریپین-۴-	آلفا-	نرال	تیمول	متیل اتر	کارواکرول
۱	سال	۴۴/۱ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۱۸ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۷۶ **	۰/۰۲۱ **	۰/۰۰۱۹ ns	۰/۰۰۱۹ ns	۰/۰۰۰۱۹ ns	۰/۰۰۰۱۹ ns
۴	تکرار (سال)	۹۲/۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۸۱
۳	متیل جاسمونات	۴۵۲۲/۱ **	۲/۴۴ **	۰/۰۵۶۷ **	۰/۳۴۹ **	۰/۸۹۲ **	۰/۷۸۱ **	۰/۷۸۱ **	۰/۸۱۹ **	۰/۸۸۳ **	۰/۰۰۰۵ ns
۳	سال × متیل جاسمونات	۲۲/۱ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۷ **	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۲ **	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۶
۱۲	خطا	۱۵/۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۶/۹
-	ضریب تغییرات (%)	۱۱/۳	۶/۵۵	۹/۶	۵/۹	۷/۶۶	۶/۱	۸/۳۳	۸/۳۳	۶/۹	۷/۵۴

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 عمدۀ اسانس تحت تأثیر محلول پاشی دی اکسید تیتانیوم

درجه آزادی	منابع تغییرات	اسانس	کامفن	لیمونن	بتا-پین	۳-اکتانون	آلفا-تریپین	بتا-میرسن	آلfa-تریپین	استات	تیمیل
۱	(Y)	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۶۵ **	۰/۰۰۴۳ ns	۰/۰۰۰۶۵ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns
۴	تکرار (سال)	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱
۳	(T) دی اکسید تیتانیوم	۲/۴۴ **	۰/۸۶۴ **	۰/۶۷۳ **	۱/۲ **	۰/۸۹۲ **	۰/۸۹ **	۰/۹۸۲ **	۰/۸۹ **	۰/۷ **	۰/۷
۳	T × Y	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۹۲ **	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۶ ns
۱۲	خطا	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۶	۵/۸
-	ضریب تغییرات (%)	۶/۶	۹/۶	۵/۶	۹/۶	۸/۸	۷/۱	۵/۸	۵/۸	۷/۱	۷/۵۴

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

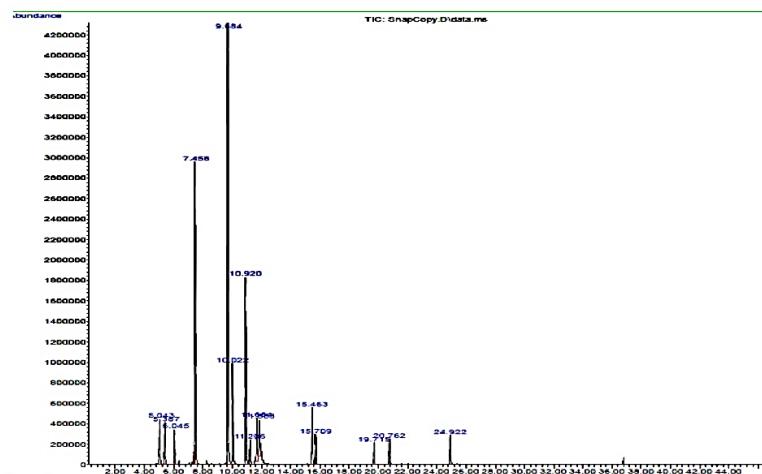
تیتانیوم بیشتر از سایر تیمارها بود. در سال نخست این پژوهش در بین تیمارهای متیل جاسمونات، بیشترین مقادیر جاسمونات و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از نانوذرات دی اکسید شدند که این اثربخشی در تیمارهای ۱ میلی مولار متیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

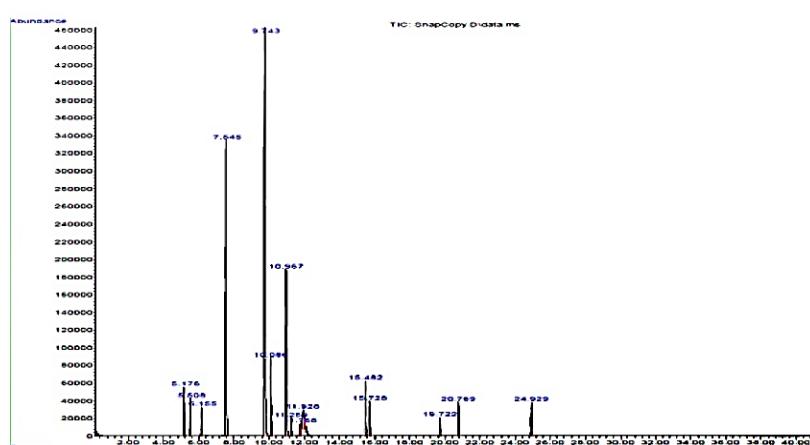
ادامه جدول -۳

منابع تغییرات	آزادی	درجه سیمین	پارا-	لینالول	گاما-تریپین	ترپین-ال	-آلفا-تریپینشول	نرال	تیمول متیل اتر	کارواکرول
سال (Y)	۱	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۴۳ns	۰/۰۰۶۷**	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۰۰۰۲ns	۰/۰۰۵۴**	۰/۰۰۰۸Vns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۶۷ns
تکرار (سال)	۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳
دی اکسید تیتانیوم (T)	۳	۰/۰۵۵ **	۰/۰۵۶۴ **	۰/۰۳۴۲ **	۰/۰۹۳۱ **	۰/۰۷۴۹ **	۰/۰۷۴۲ **	۰/۰۷۴۱ **	۰/۰۶۰۹ **	۰/۰۰۹
TX Y	۳	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۰۰۴ns	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۵ ns
خطا	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۶	۵/۵	۵/۱	۶/۴	۷/۳	۹/۱	۶/۸	۷/۶	۹/۶

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

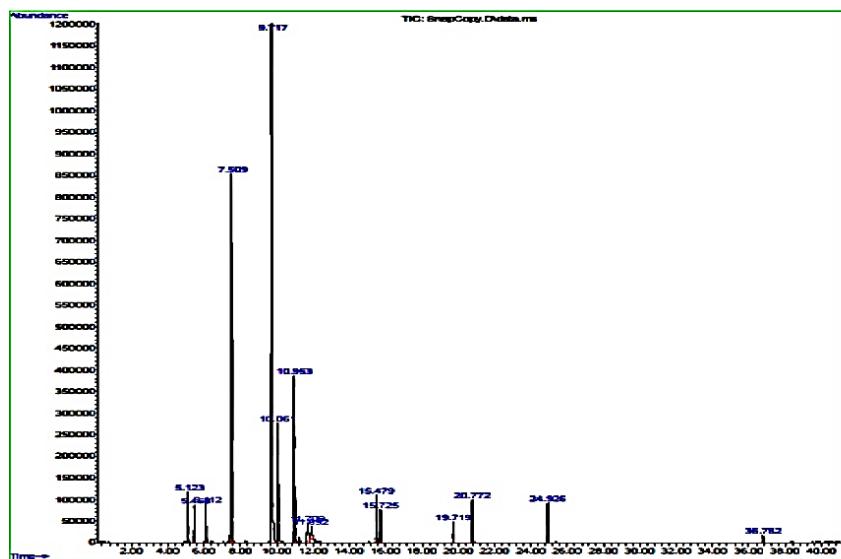


شکل ۲- کروماتوگرام مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

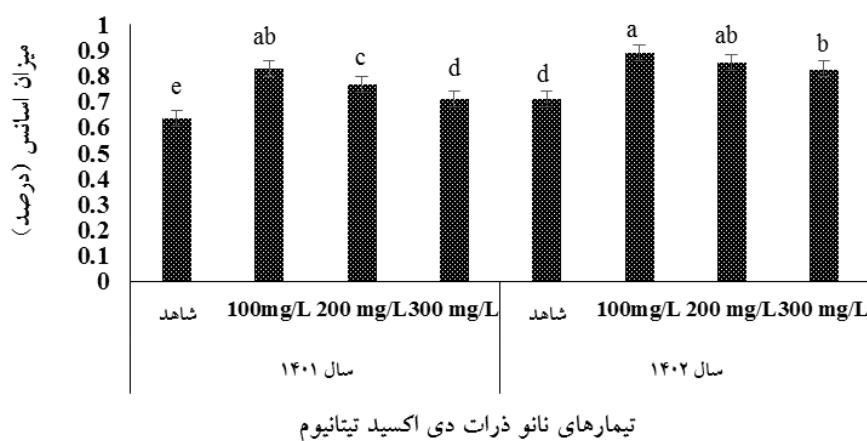


شکل ۳- کروماتوگرام مربوط به تیمار یک میلی مولار متیل جاسمونات

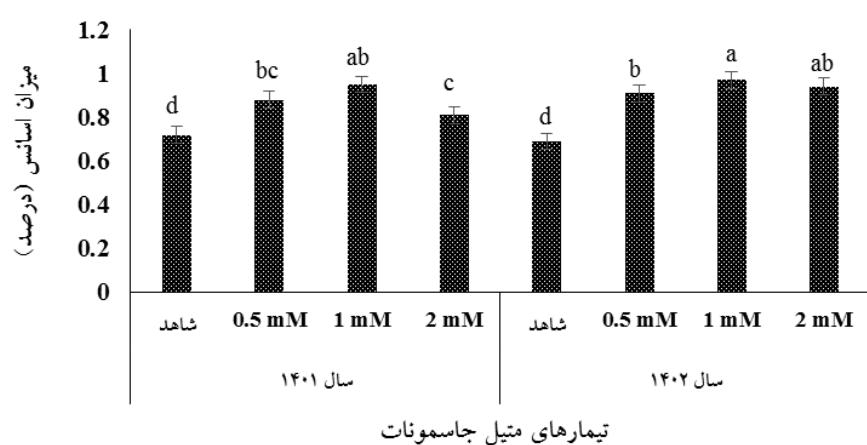
گاما-تریپین ($۱۵/۰\pm۰/۹$)، کارواکرول ($۳۷/۰\pm۱/۸$ درصد)، پاراسیمین ($۸/۸۵\pm۰/۷$ درصد)، مونو-تریپین‌های حلقوی از جمله



شکل ۴- کروماتوگرام مربوط به تیمار شاهد



شکل ۵- اثر محلول پاشی غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر مقدار اسانس ساختار هوایی گیاه آویشن باگی



شکل ۶- اثر محلول پاشی غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بر مقدار اسانس ساختار هوایی گیاه آویشن باگی

گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Ali *et al.*, 2019). متیل جاسمونات از طریق تشکیل اسید آمینولولینیک، فعالیت آنزیم‌های کلیدی در بیوستز کلروفیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته این اثر در غلظت‌های پایین متیل جاسمونات صورت می‌گیرد. همچنین متیل جاسمونات به عنوان 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 بخشدید 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 فتوستز تأثیر می‌گذارد (Kolencik *et al.*, 2020). تیتانیوم از دو طریق سبب افزایش فتوستز می‌شود. اول با افزایش میزان کلروفیل و دوم با ایجاد تغییر در فعالیت پروتئین‌های دخیل در فتوستز از جمله فروکوتوز ۱۶-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.), ذرت (*Zea mays* L.), یادگاری (*Yadegari*, 2018) (Ali *et al.*, 2019) (*Coriandrum sativum* L.), شوید (2020) و توسط نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در گیاهان گندم (Alharby *et al.*, 2021) (*Triticum aestivum* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (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 باعث 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

استات (۴/۹۹±۰/۲۴) در تیمارهای نیم و ۱ میلی‌مولار بدست آمد که بیشترین افزایش نسبت به شاهد در ماده مؤثره پارا-سیمین به میزان ۶۲٪ بود و در سال دوم بیشترین مقادیر پاراسیمین (۰/۳۲±۰/۰۱ درصد)، گاما-ترپین (۱/۱±۰/۴۳)، کارواکرول (۱/۴±۰/۲۲)، تیمیل استات (۰/۳۶±۰/۰۷) در تیمارهای نیم و ۱ میلی‌مولار حاصل شد که بیشترین افزایش نسبت به شاهد در ماده مؤثره پارا-سیمین به میزان ۳۴٪ بود (جدول ۴ و ۵). همچنین در سال اول این پژوهش در بین تیمارهای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین مقادیر پارا-سیمین (۰/۰۸±۰/۰۱ درصد)، گاما-ترپین (۰/۹۲±۰/۰۷)، کارواکرول (۰/۰۵±۰/۰۵)، تیمیل استات (۰/۰۵±۰/۰۵) 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 پاراسیمین (۰/۰۴±۰/۰۱ درصد)، گاما-ترپین (۰/۳۱±۰/۰۴)، کارواکرول (۰/۱۱±۰/۰۵)، تیمیل استات (۰/۰۶۳±۰/۰۷) 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، عملده ترکیبات گیاه آویشن باعث تحت تأثیر تیمارهای مختلف شامل مونوتربین‌های حلقوی از جمله گاما-ترپین، کارواکرول، پاراسیمین، تیمول متیل اتر، کارواکرول، تیمیل استات، لیمونن، بتا-پین، آلفا-ترپین، ترپین-۴-آل و آلفا-تریپنول؛ مونوتربین‌های دو حلقه‌ای از جمله کامفن، ترکیبات آلی کتونی از جمله ۳-اکتانون؛ مونوتربن غیرحلقوی مانند بتا-میرسن، لینالول و نرال بود. مواد مؤثره از دسته مونوتربین‌های حلقوی بیش از ۵۰ درصد ترکیبات انسانس گیاهان تحت تیمارهای مختلف را در دو سال تحقیق به خود اختصاص دادند.

فتوستز 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

جدول ۴- مقایسات میانگین ترکیبات عمدۀ اسانس گیاه آویشن با غلظت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات در سال ۱۴۰۱

تیمار محلول پاشی	کامفن	لیمونن	بتا-پینن	بتا-میرسن	آلفا-ترپین	پارا-سیمن	لینالول
متیل جاسمونات (mM)	۰/۰۵	۱/۹۱±۰/۰۴	۱/۸۱±۰/۰۸	۱/۴۸±۰/۰۹	۲/۲۱±۰/۰۱	۳/۳۲±۰/۰۲	۰/۰۵±۰/۰۶
نанوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۱/۰۵	۰/۵۶±۰/۰۵	۳/۷۶±۰/۰۷	۲/۴۴±۰/۰۵	۱/۷۷±۰/۰۶	۴/۷۳±۰/۰۴	۸/۸۳±۰/۱
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۱/۰۰	۰/۹۹±۰/۰۳	۲/۳۶±۰/۰۶	۱/۳۶±۰/۰۴	۱/۷۵±۰/۰۶	۴/۸۰±۰/۰۵	۸/۸۵±۰/۰۷
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۲	۰/۸۸±۰/۰۵	۱/۹۲±۰/۰۴	۱/۸۲±۰/۰۵	۱/۵۰±۰/۰۳	۲/۴۴±۰/۰۱	۶/۴۴±۰/۰۹
LSD	۰/۲	۰/۷۱۴	۰/۷۶	۰/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۴
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۰/۰۵	۰/۷۸±۰/۰۹	۱/۶۹±۰/۰۳	۲/۱±۰/۰۷	۱/۰۸±۰/۰۷	۲/۱۸±۰/۰۶	۴/۷۶±۰/۰۷
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۱۰۰	۰/۹۹±۰/۰۴	۲/۷۸±۰/۰۴	۰/۹۹±۰/۰۴	۱/۸۶±۰/۰۸	۳/۲۲±۰/۰۵	۵/۲۲±۰/۰۹
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۲۰۰	۰/۸۸±۰/۰۳	۲/۱۱±۰/۰۷	۱/۷۸±۰/۰۵	۱/۶۴±۰/۰۸	۳/۰۱±۰/۰۵	۶/۰۱±۰/۰۸
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۳۰۰	۰/۹۲±۰/۰۵	۱/۷۵±۰/۰۱	۱/۴۴±۰/۰۵	۱/۳۵±۰/۰۲	۲/۱۱±۰/۰۷	۵/۰۷±۰/۰۶
LSD	۰/۱۷	۰/۸۹۲	۰/۷۳	۰/۰۹۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۳

^a: مقدادر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P<0.05).

-۴ ادامه جدول

تیمار محلول پاشی	گاما-ترپین	ترپینن-۴-ال	آلفا-ترپینول	نراز	تیمول متیل اتر	کارواکرول	تیمیل استات
متیل جاسمونات (mM)	۰/۰۵	۱۲/۳۳±۱/۱۷	۱/۳۳±۰/۰۶	۱/۵۲±۰/۰۳	۱/۹۹±۰/۰۷	۱/۱۴±۰/۰۳	۳۱/۵۵±۱/۸
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۱۰۰	۱۵/۰۲±۰/۰۹	۱/۸۷±۰/۰۵	۱/۶۵±۰/۰۳	۲/۱±۰/۰۶	۱/۰۵±۰/۰۲	۳۵/۷۸±۲/۱
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۲۰۰	۱۴/۲۲±۱/۰۲	۱/۸۹±۰/۰۹	۱/۹۸±۰/۰۷	۲/۲۲±۰/۰۵	۱/۶۳±۰/۰۶	۳۷/۰۱±۱/۸
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۳۰۰	۱۲/۰۱±۰/۰۸	۱/۰۵±۰/۰۵	۱/۸۶±۰/۰۴	۲/۰۳±۰/۰۸	۰/۹۹±۰/۰۲	۳۰/۸۶±۱/۲
LSD	۱/۰۰	۰/۴۲۳	۰/۰۸۴۵	۱/۰۰	۰/۸۱۳	۰/۰۹۲	۰/۸۸
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۱۰۰	۱۱/۳۹±۰/۸۹	۰/۹۹±۰/۱۷	۰/۸۷±۰/۰۴	۰/۹۱±۰/۰۱	۰/۵۲±۱/۴	۲۷/۵۲±۱/۴
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۲۰۰	۱۴/۷۰±۰/۹۲	۱/۲۳±۰/۱۸	۱/۴۵±۰/۰۳	۱/۰۵±۰/۰۲	۱/۴۴±۰/۰۲	۳۴/۷۲±۱/۰۵
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (ppm)	۳۰۰	۱۲/۹۱±۱/۱	۱/۱۱±۰/۱۸	۱/۴۹±۰/۰۵	۱/۳۹±۰/۲۲	۱/۴۶±۰/۰۵	۳۳/۱۰±۱/۰۳
LSD	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۶۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۸۵	۰/۹۳

^b: مقدادر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار (P<0.05).

باغی را به طور متوسط به ترتیب ۲۶ و ۳۱ درصد در مقایسه با گیاهان تیمار نشده (شاهد) افزایش داد که بیانگر کارایی بالاتر تیمارهای دی اکسید تیتانیوم (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و متیل جاسمونات (۱ میلی مولار) در افزایش فتوستتر و عملکرد ساختار هوایی گیاه آویشن باغی است (جدول ۸). براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، محلول پاشی گیاهان

محلول پاشی شده با غلظت های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بیشتر از گیاهان شاهد بود و بین غلظت های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تفاوت معنی داری از نظر میزان عملکرد مشاهده شد (جدول ۸). در پژوهش حاضر و در دو سال انجام تحقیق محلول پاشی متیل جاسمونات و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم مقدار عملکرد ساختار هوایی گیاهان آویشن

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

تیمار محلول پاشی	کامفن	لیمونن	بتاب-پین	۳-اکтанون	بتاب-میرسن	آلfa-ترپین	پارا-سیمن	لینالول
متیل جاسمونات (mM)	۰/۹۶±۰/۰۲۳	۲/۴۴±۰/۱	۱/۹۳±۰/۰۹	۲/۲۹±۰/۲	۳/۷۷±۰/۱	۵/۹۷±۰/۰۵۵	۰/۸۹±۰/۱	۰/۸۹±۰/۰۱
	۰/۸۹±۰/۰۳	۰/۸۹±۰/۰۳	۲/۳۱±۰/۰۸	۱/۸۵±۰/۰۴	۳/۵۵±۰/۱	۴/۵۵±۰/۲	۸/۰۱±۰/۳۲	۱/۴۴±۰/۰۵
	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±۰/۰۴
	۰/۹۲±۰/۰۵	۰/۹۲±۰/۰۵	۲/۸۷±۰/۱	۱/۷۲±۰/۰۶	۲/۸۱±۰/۱	۳/۶۱±۰/۲	۶/۸۹±۰/۰۵	۰/۹۳±۰/۰۳
LSD	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۷۷
نانو ذرات دیاکسید تیتانیوم (ppm)	۰/۸۳±۰/۱	۰/۸۳±۰/۱	۲/۴۹±۰/۱	۲/۲۱±۰/۲	۲/۶۶±۰/۲	۲/۸۲±۰/۰۹	۵/۸۹±۰/۰۲	۰/۸۹±۰/۰۶
	۱/۱۱±۰/۳	۱/۱۱±۰/۳	۲/۴۵±۰/۱	۱/۹۲±۰/۴	۳/۵۵±۰/۰۵۱	۴/۰۸±۰/۰۸	۸/۰۱±۰/۰۴	۱/۴۳±۰/۰۸
	۰/۹۷±۰/۲	۰/۹۷±۰/۲	۱/۹۳±۰/۲	۲/۸۸±۰/۲	۳/۴۱±۰/۲	۳/۹۱±۰/۲	۷/۲۲±۰/۰۳	۱/۴۵±۰/۰۵
	۰/۷۹±۰/۱	۰/۷۹±۰/۱	۲/۴۴±۰/۰۵	۲/۰۳±۰/۰۴	۲/۰۸±۰/۰۳	۳/۷۲±۰/۰۳	۶/۰۵±۰/۰۲	۰/۹۹±۰/۰۷
LSD	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۶۵	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۸۸

٪ مقدار میانگین سه تکرار ± انحراف معیار ($P < 0.05$).

ادامه جدول ۵

تیمار محلول پاشی	گاما-ترپین	ترپین-۴-ال	آلfa-ترپنتول	نرا	تیمول متیل اتر	کارواکرول	تیمیل استات	تیمیل اکرون
متیل جاسمونات (mM)	۱۴/۱±۰/۰۵۳	۱/۰۹±۰/۰۳	۱/۷۷±۰/۰۳	۱/۰۹±۰/۰۲	۰/۸۸±۰/۰۲	۳۰/۰۲±۱/۱	۳/۷۷±۰/۰۸	۳۰/۰۲±۰/۰۹۸
	۱۶/۳±۰/۶۵	۱/۶۶±۰/۰۴	۲/۱±۰/۰۵	۱/۹۷±۰/۱	۱/۴۳±۰/۰۱	۳۷/۰۶±۱/۰۵	۴/۶۴±۰/۰۵۵	۳۷/۰۶±۰/۰۵
	۱۶/۴۳±۱/۱	۱/۷۲±۰/۰۴	۲/۱۵±۰/۰۶	۱/۹۹±۰/۰۴	۱/۴۰±۰/۰۲	۳۷/۲۲±۱/۰۴	۴/۷۷±۰/۰۳۶	۳۷/۲۲±۰/۰۳۶
	۱۴/۴۵±۰/۹۶	۱/۰۱±۰/۰۷	۱/۹۳±۰/۰۴	۱/۸۲±۰/۰۲	۱/۳۱±۰/۰۱	۳۱/۲۲±۱/۱	۳/۶۶±۰/۰۴۶	۳۱/۲۲±۰/۰۴۶
LSD	۰/۹۶	۰/۶۶	۰/۷۷	۰/۹۵	۰/۷۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۵
نانو ذرات دیاکسید تیتانیوم (ppm)	۱۲/۳۹±۱/۱	۰/۹۷±۰/۰۹	۰/۹۸±۰/۰۹	۰/۹۶±۰/۰۱	۰/۹۳±۰/۰۱	۲۶/۹۸±۱/۰۲	۳/۶۵±۰/۰۸۱	۲۶/۹۸±۰/۰۸۱
	۱۵/۰۴±۱/۳۱	۱/۵۵±۰/۱۱	۱/۶۶±۰/۰۱	۱/۶۶±۰/۰۸	۱/۵۲±۰/۰۳	۳۶/۸۸±۱/۰۱	۴/۸۲±۰/۰۶۳	۳۶/۸۸±۰/۰۶۳
	۱۵/۱۲±۱/۰۲	۱/۲۵±۰/۰۸	۱/۸۱±۰/۰۲	۱/۷۵±۰/۰۹	۱/۳۲±۰/۰۲	۳۵/۹۲±۱/۰۳	۴/۰۹±۰/۰۷۳	۳۵/۹۲±۰/۰۷۳
	۱۲/۲۴±۲/۰۳	۱/۴۳±۰/۰۲۱	۱/۵۱±۰/۰۲۴	۱/۷۲±۰/۰۲	۱/۲۹±۰/۰۱	۲۹/۷۷±۱/۰۲	۳/۶۸±۰/۰۸۱	۲۹/۷۷±۰/۰۸۱
LSD	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۸۳

٪ مقدار میانگین سه تکرار ± انحراف معیار ($P < 0.05$).

اسانس نیز مشاهده شد (شکل ۵ و ۶- جدول ۸). در مورد سایر صفات مورفوژیولوژیکی 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

آویشن باعی با محرك‌های متیل جاسمونات و نانو ذرات 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 محلول‌پاشی شده با نانو ذرات دیاکسید تیتانیوم، بیشتر از تیمارهای متیل جاسمونات بود و این روند در مورد درصد

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفو فیزیولوژیکی گیاهان آویشن باگی تحت تأثیر محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

	منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	فول کل	سال (Y)
۰/۱۴**	۱/۱**	۰/۷۸**	۵۵/۳ ns	۱			
۰/۷۷ **	۱/۹ **	۰/۹۲ **	۹۲/۳	۴			تکرار (سال)
۰/۰۵ **	۲/۸**	۰/۸۸ **	۶۴۲۹/۱**	۳			دی اکسید تیتانیوم (T)
۰/۱۱**	۱/۹**	۰/۷۵**	۲۲/۱ ns	۳			T × Y
۰/۰۰۲	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۱۰/۶	۱۲			خطا
۴/۴	۸/۳	۳/۴	۹/۳	-			ضریب تغییرات (%)

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

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفو فیزیولوژیکی آویشن باگی تحت تأثیر محلول پاشی متیل جاسمونات

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

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

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات مورفو فیزیولوژیکی آویشن باگی تحت تأثیر محرك‌های رشدی در دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

	تیمار محلول پاشی	وزن خشک	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل کل	فول کل	سال
۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
۱/۱۲±۰/۰۵	۱/۱۴±۰/۰۶	۱/۰۶±۰/۰۶	۱/۱۸±۰/۰۳	۴۷/۸±۱/۲	۴۸/۱±۱/۴	۲۶۸/۸±۱۰/۱
۱/۷۷±۰/۰۳	۱/۶۷±۰/۰۵	۱/۶۸±۰/۰۲	۱/۶۶±۰/۰۱	۵۷/۵±۱/۵	۵۷/۵±۱/۳	۳۵۵/۴±۱۴/۹
۱/۴۳±۰/۰۸	۱/۳۹±۰/۰۱	۱/۰۵±۰/۰۱	۱/۵۸±۰/۰۳	۵۵/۶±۲/۵	۵۶/۴±۱/۲	۳۳۶/۲±۱۱/۳
۱/۳۱±۰/۰۴	۱/۳۳±۰/۰۲	۱/۱۴±۰/۰۳	۱/۲۲±۰/۰۲	۵۱/۷±۲/۲	۵۰/۳±۱/۳	۲۹۵/۶۸±۱۲/۱
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۷۶
۱/۲۱±۰/۰۴	۱/۱۱±۰/۰۳	۱/۱۳۳±۰/۰۲	۱/۱۸±۰/۰۴	۴۹/۱±۱/۲	۵۱/۱±۱/۴	۲۹۲/۲±۸/۲
۱/۴۱±۰/۰۴	۱/۵۲±۰/۰۶	۱/۵۱±۰/۰۲	۱/۵۵±۰/۰۵	۵۲/۸±۲/۲	۵۳/۴±۲/۴	۳۳۹/۸±۹/۱
۱/۶۱±۰/۰۵	۱/۵۷±۰/۰۶	۱/۷۱±۰/۰۱	۱/۶۹±۰/۰۷	۶۲/۲±۱/۴	۵۹/۱±۱/۱	۳۶۵/۵±۱۱/۲
۱/۲۹±۰/۰۶	۱/۳۱±۰/۰۴	۱/۱۴±۰/۰۵	۱/۲۱±۰/۰۲	۵۲/۲±۳/۲	۵۱/۷±۱/۲	۳۲۱/۴±۸/۱
۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۷۷	۰/۸۵
						LSD
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۸۸
۱/۲۱±۰/۰۴	۱/۱۱±۰/۰۳	۱/۱۳۳±۰/۰۲	۱/۱۸±۰/۰۴	۴۹/۱±۱/۲	۵۱/۱±۱/۴	۲۹۲/۲±۸/۲
۱/۴۱±۰/۰۴	۱/۵۲±۰/۰۶	۱/۵۱±۰/۰۲	۱/۵۵±۰/۰۵	۵۲/۸±۲/۲	۵۳/۴±۲/۴	۳۳۹/۸±۹/۱
۱/۶۱±۰/۰۵	۱/۵۷±۰/۰۶	۱/۷۱±۰/۰۱	۱/۶۹±۰/۰۷	۶۲/۲±۱/۴	۵۹/۱±۱/۱	۳۶۵/۵±۱۱/۲
۱/۲۹±۰/۰۶	۱/۳۱±۰/۰۴	۱/۱۴±۰/۰۵	۱/۲۱±۰/۰۲	۵۲/۲±۳/۲	۵۱/۷±۱/۲	۳۲۱/۴±۸/۱
۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۷۷	۰/۸۵
						LSD

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

در گیاهان تیمارشده با نانوذرات بهدلیل وضعیت تغذیه‌ای متعادل و بهبود فرآیند فتوستتری گیاه، تولید انرژی بیشتر است و از این طریق غلظت عناصر غذایی مانند پتاسیم که به صورت 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 تشیدد 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) 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 فتوستتر 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 استفاده شده 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-تریپین، کارواکرول و تیمیل استات، برتری با تیمارهای متیل جاسمونات (mM) ۱ و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (ppm ۱۰۰) بود (جدول ۴ و ۵). افزایش توأم میزان اسانس همراه با ترکیبات غالب اسانس به خصوص پارا-سیمن، گاما-تریپین، کارواکرول و تیمیل استات در نتایج محققین قبل نیز گزارش شده است (Yadegari, 2018; 2017).

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).

تیمار متیل جاسمونات (یک و دو میلی‌مولار) به طور معنی‌داری میزان ترکیبات عمدی اسانس از جمله کارواکرول، تیمول، پارا-سیمن و گاما-تریپین را در گیاه آویشن باگی افزایش داد. متیل جاسمونات با افزایش ظرفیت فتوستتری و کربوهیدرات‌ها، مواد اولیه را برای سنتز ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و آنتوسيانین‌ها فراهم می‌آورد (Mohamed and Latif, 2017). محققین علت افزایش ترکیبات فنلی در تیمار با جاسمونات‌ها را، اثر این ماده بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین Ali *et al.*, (2017) 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 محرك‌های 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 دستررسی 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).

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

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

* و ** به ترتیب معنی دار 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.

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

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

(۱) ۳۷/۲۲-۳۷/۰۱ (درصد) در تیمار متیل جاسمونات ۱ و ۲ میلی مولار؛ گاما-ترپین (۱۵/۰۲ - ۱۶/۴۳ - ۱۶/۴۳ (درصد) در تیمار نیم و ۱ میلی مولار متیل جاسمونات؛ پارا-سیمن (۸/۰۱-۸/۸۵) در تیمارهای ۱ میلی مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر دیاکسید تیتانیوم و تیمیل استات (۴/۹۹-۴/۹۹ درصد) در تیمارهای ۱ میلی مولار متیل جاسمونات و ۴/۸۲ در تیمارهای ۱ میلی مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر دیاکسید تیتانیوم بدست آمد. در غالب

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 میلی گرم در لیتر) قرار گرفت. چهار ترکیب کارواکرول، پارا-سیمن، گاما-ترپین 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

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 دی اکسید تیتانیوم در سال ۱۴۰۱.

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

* و ** به ترتیب معنی دار 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.

(۹)	(۸)	(۷)	(۶)	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	
۱ اسانس									۱
							۰/۸۸**		۲ وزن خشک
					۰/۵۹**	۰/۷۵**			۳ فنول کل
				۰/۸۸**	۰/۶۶**	۰/۸۹**			۴ کلروفیل کل
		۰/۸۸**	۰/۷۹**	۰/۶۱*	۰/۸۸**	۰/۸۹**			۵ محتوای نسبی آب برگ
		۰/۷۴**	۰/۷۷**	۰/۸۳**	۰/۸۸**	۰/۷۲**			۶ پارا-سیمن
		۰/۷۵**	۰/۸۲**	۰/۷۵**	۰/۸۴**	۰/۷۶**	۰/۶۲**		۷ گاما-ترپین
		۰/۶۹**	۰/۵۵**	۰/۷۹**	۰/۷۴**	۰/۷۷**	۰/۶۳**	۰/۸۹**	۸ کارواکرول
۱	۰/۶۹**	۰/۷۵**	۰/۷۹**	۰/۸۱**	۰/۹۱**	۰/۸۷**	۰/۸۳**	۰/۶۲**	۹ تیمیل استات

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Matricaria (Farsi et al., 2020) (majorana L.

Salvia (Salimi et al., 2014) (chamomilia L.

Mazarie et al., 2019; Yadegari, 2018) (officinalis L.

گزارش شده است. به طور کلی 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 به دلیل افزایش فعالیت فتوستتری گیاه

موارد تیمارهای ۱ میلی مولار متیل جاسمونات و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر دی اکسید تیتانیوم هم از لحاظ درصد اسانس و هم ترکیبات غالب اسانس در بالاترین گروه آماری بودند. میزان و کیفیت اسانس آویشن باعی در این تحقیق تحت تأثیر تیمارهای برداشت از اسانس در گیاهان دارویی ریحان (*Ocimum*)، مرزنجوش (*Origanum*)، مرزنجوش (*Zlotek et al., 2016*) (*basilicum*)

در پژوهش حاضر محلول پاشی گیاه آویشن باگی با محركهای رشدی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و متیل جاسمونات، با افزایش صفات مورفوفیزیولوژیکی منجر به افزایش اسانس و ترکیبات غالب اسانس از آویشن باگی شد. براساس نتایج حاصل تیمار متیل جاسمونات (در غلظت ۱ میلی مولار) در مقایسه با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) نقش مؤثرتری در بهبود رشد و عملکرد اسانس در گیاه آویشن باگی داشت. از نظر اقتصادی با توجه به هزینه‌های اعمال شده از یکسو و از سوی دیگر قیمت اسانس آویشن باگی، مصرف متیل جاسمونات (در غلظت ۱ میلی مولار) در اقلیم مشابه صرفه اقتصادی داشته و توصیه می‌شود.

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 باگی در برگ‌ها قرار دارند، هر عاملی که سبب افزایش سطح و وزن برگ‌ها شود، مقدار اسانس را نیز افزایش خواهد داد. از این‌رو به نظر می‌رسد افزایش تولید کلروفیل، سبب افزایش بافت‌های فتوستتری، 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).

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). Investigating the effect of methyl jasmonate and titanium dioxide nanoparticles on physiological and phytochemical variations of *Rosa damascena*. Mill. essential 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](http://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-TiO₂ 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 (TiO₂ NPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and

- 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>
- Khademhosseini, 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 University 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>
- Sheikhaliour, M., Esmaelpour, B., Gohari, G., Haghghi, 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>
- Statistics of Agriculture. (2022). Ministry of Jahade-Keshavarzi. Tehran, Iran.
- Statistics in Meteorology. (2023). Organization Meteorological. Chaharmahal and Bakhtiari 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. <https://doi.org/10.1001.1.23222727.1399.9.39.17.6>
- 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.

- 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 TiO₂ 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

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 V₁₂-V₂₀ 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