مقاله پژوهشی

اثر زمان کاربرد نانوذرات تیتانیوم و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، رشدی و بیوشیمیایی گیاه مرزه دنایی (*Satureja hortensis* L.)

بهناز کاظمی[۱]، منیره رنجبر[۱*]، زهرا رضایتمند[۱]، علی‌محمد احدی[۲]

[۱] گروه زیست‌شناسی دانشگاه آزاد فلاورجان اصفهان، ایران

[۲] گروه ژنتیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۸/۱۸)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت‌های (صفر، ۰/۱، ۱ و ۱۰) میلی‌مولار و نانوذرات تیتانیوم با غلظت‌های(صفر، ۲۰، ۳۰ و ۴۰) میکرومولار بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه مرزه دنایی، آزمایش مزرعه‌ای در شهر اصفهان در تابستان ۱۳۹۸ به شکل فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار با دو عامل در چهار سطح در دو زمان برداشت ۴۸ و ۲۴ اجـرا شـد. نتایج پژوهش نشان داد در مقایسه با تیمار شاهد، تیمارهای متیل جاسمونات باعث افزایش معنادار در سطح ۱٪ در سطح برگ، وزن تر برگ، وزن خشک برگ و طول بخش هوایی در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار شده است. تیمارهای نانوذره تیتانیوم باعث افزایش معناداری در سطح ۱٪ در عرض برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن تر برگ و طول بخش هوایی گیاه شدند و همچنین میزان فلاونوئید افزایش معناداری در غلظت ۳۰ میکرومولار در سطح ۱٪ داشت. در تیمارهای توأم در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار، در وزن خشک برگ، سطح برگ، وزن تر برگ و طول بخش هوایی افزایش معنادار در سطح ۱٪ دیده شد و افزایش معناداری درسطح ۵ ٪ در میزان فلاونوئید و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مشاهده گردید. از پژوهش حاضر نتیجه‌گیری شد که زمان مناسب برداشت محصول ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمارها است و همچنین به‌کار بردن توأم غلظت‌های متیل جاسمونات ۱یا ۰/۱ میلی‌مولار با نانوذره ۴۰ میکرومولار و متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار با نانو-ذره ۳۰ میکرومولار بر روی گیاه اثر مثبت داشته و می‌تواند باعث افزایش رشد و فاکتورهای بیوشیمیایی گیاه مرزه شود.

واژگان کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین، سطح برگ، فلاونوئید، نانوذره، وزن تر و خشک

مقدمه

گیاه داوریی مرزه با نام علمی *Satureja hortensis* L. از گیاهان تیره نعناع است. عوامل محیطی باعث تغییراتی در رشد گیاهان دارویی و در مقدار و کیفیت مواد مؤثره آنها (نظیر آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها، اسانس‌ها) می‌گردد (امیدبیگی، ۱۳۸۸). محصول زراعی یک گیاه دارویی وقتی مقرون به صرفه است که مقدار متابولیت‌های اولیه و ثانویه آن به حد مطلوب رسیده باشد. با انتخاب عوامل محیطی و ارقام گیاهی مناسب می‌توان به حداکثر محصول دست یافت (جعفری و همکاران، ۱۳۸۶). در کشاورزی پیشرفته امروزی استفاده از مواد فعال و سازگار با محـیط بـرای حفظ نباتات و افزایش رشد آنها امری ضـروری برای کشاورزی مدرن

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ranjbar@iaufala.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

محسوب می‌شود. یکی از روش‌هایی کـه به تازگی توجه پژوهشگران را به خود معطوف کرده است استفاده از فناوری‌های مدرنی مانند علم نانو فناوری است که جایگاه شاخصی در علوم مختلف از جمله علوم گیاهی و کشاورزی یافته است (Scrinis and Lyons, 2007). پاسخ گیاهان به نانوذرات براساس نوع گونه، مرحله رویشی، سن و ماهیت نانوذرات متفاوت است؛ با وجود این، آثار مثبت برخی نانوذرات از جمله دی‌اکسید تیتانیوم در برخی گیاهان اثبات شده است (Zhang *et al*., 2005). نانو دی‌اکسید تیتانیوم باعث بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو (Mingyu *et al*., 2007) افزایش جذب نیترات (Yang *et al*., 2006) و تسریع تبدیل مواد غیرآلی به مواد آلی (Nair *et al*., 2010) گیاه می‌شود. دی‌اکسید تیتانیوم از طریـق افـزایش فتوسـنتز و کـاهش خسارت ناشی از آفت‌ها و بیمـاری‌هـا باعـث افـزایش محصول تـا ۳۰ ٪ می‌شود (Chao and Choi, 2005)؛ همچنین کـاربرد آن در محلول غذایی و یا محلول‌پاشی روی برگ‌های گیـاه باعث افزایش زیست‌توده و رشد گونه‌های مختلف گیاهی می‌شود (Nair *et al*., 2010). پژوهش درباره سازوکار نانو دی‌اکسید تیتانیوم نشان می‌دهد این ماده باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و کاهش تجمع رادیکال‌های اکسیژن و سطح مالون دی‌آلدهید می‌شود (Hong *et al*., 2005). جاسمونیک اسید و مشتقات آن، که معمولاً با عنوان جاسمونات‌ها شناخته می‌شوند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی پیچیده‌ای هستند که بر طیف وسیعی از واکنش‌های فیزیولوژیکی و نموی گیاه اثر می‌گذارند (Wasternack, 2007) و به‌عنوان ترکیبات پیش‌برنده پیری، بازدارنده رشد و محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گیاهان عالی شناخته شدند (Koo and Howe, 2009). جاسمونیک اسید ترکیبی است که از اسید چرب لینولئیک اسید مشتق می‌شود و ممانعت از پیری و ریزش برگ گیاه، مهم‌ترین نقش آن است (Rahman *et al*., 2009). این هورمون پس از زخم‌شدن گیاه به‌سرعت در بافت‌های زخمی و غیرزخمی تجمع می‌یابد (Yu *et al*., 2007). در آزمایشی به‌منظور بررسی تعیین نقش متیل جاسمونات بر عملکرد فیزیولوژیک گیاه سویا مشخص شد متیل جاسمونات در غلظت‌های کم با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو موجب بهبود رشد گیاه سویا شد، درحالی‌که غلظت‌های بالای آن موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش رشد گیاه شد (کرامت و دانشمند، ۱۳۹۱) همچنین نشان داده شده است که متیل جاسمونات در شرایط تنش شوری باعث بهبود صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در ریحان شد (مقدم و طالبی، ۱۳۹۵). گزارش شده است متیل جاسمونات فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی نظیر جوانه‌زنی و توسعه نهال‌ها، توسعه گل، غده‌دهی، نحوه رشد پیچک، رشد ریشه، پیری برگ و رسیدن میوه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (Choi *et al*., 2005) و دارای آثار القایی بر تشکیل ریشه‌های نابجا است (Zhang *et al*., 2005)، تجزیه کلروفیل، پیری و ریزش برگ، انسداد روزنه‌ها، بیوسنتز اتیلن و تحریک سیستم‌های دفاعی گیاه است (Rohwer and Erwin, 2008). نتایج پژوهش‌های معاونی و همکاران (۲۰۱۱c) روی گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) نشان دادند نانوذرات تیتانیوم سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌شوند. همچنین طی پژوهشی روی گیاه ذرت گزارش شد اثر نانوذرات تیتانیوم روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز معنادار است (Moaveni *et al*., 2011). گونه‌هـای جنـس مـرزه از تیـره نعنائیـان و از گیاهان دارویـی رایـج در کشـور هسـتند. گیاهـان علفی چند سـاله یا بوتـه‌ای یا علفی یکسـاله کـه بـه‌نـدرت درختچـه‌ای است. مرزه دارای ساقه‌ای منشعب با ارتفاع ۳۰-۱۰ سانتی‌متر به رنگ سبز متمایل به خاکستری، برگ‌های نرم و تقریباً بدون دمبرگ، باریک، نوک تیز، پوشیده از کرک و دارای تارهای غده‌ای اسانس‌دار است (Hajhashemi *et al*., 2012). اسـانس‌ها در غده‌های ترشـحی کـه معمـولاً به‌صورت نقـاط کروی بـراق دیده می‌شـود، عمدتاً روی برگ‌هـای گیـاه وجـود دارد. در رویشگاه‌های مختلف ایران در فاصله ماه‌های تیر تا شهریور به گل می‌نشیند. به‌طورکلی خواص ضدمیکروبی، ضداسپاسم، ضدالتهاب، ضد-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

تهوع، ضداسهال، خلط‌آور و تقویت‌کننده معده برای این گیاه گزارش شده است. همچنین بخش‌های هوایی مرزه در صنایع غذایی و دارویی کاربرد فراوانی دارد و به‌عنوان یک آنتی-اکسیدان طبیعی توجه محققان را به خود معطوف کرده است (Vahidyan *et al*., 2012). این گیاه دارای تانن، مواد چرب، ترکیبات فنولی و اسانس است. عمده‌ترین ترکیبات تشکیل-دهنده اسانس مرزه را تیمول، کارواکرول، آلفا و بتا پینن و پاراسمین تشکیل می‌دهند (Momtaz and Abdollah, 2010) و ممکن است تحت‌تأثیر شرایط خاک و آب‌وهوای رویشگاه در مناطق مختلف مقدار اسانس و اجزای آن تغییر نمایید. جنس مرزه در ایران دارای ۱۷ گونه بومی است که ۱۱ گونه از آنها انحصاری ایران محسوب می‌شوند (جم‌زاده، ۱۳۸۸، ۱۳۹۱؛ Maroofi, 2010). انتشار جغرافیایی آن در ایران حوالی آذربایجان، کرمانشاه، خراسان، ارسباران و گیلان است (بقاییان، ۱۳۷۹). گونه‌های مختلف جنس مرزه به‌دلیل خواص دارویی در طب سنتی در کشورهای مختلف جهان مورد توجه بوده است. همچنین شباهت زیادی بین ترکیبات شیمیایی اسانس مرزه و آویشن وجود دارد. در جنس مرزه همانند آویشن، مهمترین ترکیبات شیمیایی اسانس مربوط به گروه منوترپنوئیدها است و از میان آنها دو ترکیب فنلی تیمول و کارواکرول جز ترکیبات شاخص به حساب می‌آیند. در دهه اخیر طی مراجعه مکرر و مستمر به رویشگاه‌های مرزه‌های ایران کاهش بسیار واضح و شدید سطح رویشگاه و تعداد پایه‌های گیاهان مذکور مشاهده شده است. حفاظت از گونه‌های گیاهی به‌ویژه گیاهان دارویی و انحصاری ایران همواره از دغدغه-های گیاه‌شناسان منابع طبیعی است (جم‌زاده، ۱۳۸۸، ۱۳۹۱؛ Maroofi, 2010). باتوجه به اهمیت گیاه مرزه و مطالب یادشده درباره نقش جاسمونیک اسید و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در بهبود و افزایش رشد برخی گیاهان، در پژوهش حاضر اثر محلول‌پاشی جاسمونیک اسید و دی‌اکسید تیتانیوم به‌طور مجزا و توأم روی برخی صفت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نحوه کاشت و تیمار گیاه: در این پژوهش بذر گیاه مرزه دنایی (*Satureja hortensis* L.) از مرکز توزیع و پخش بذر (شرکت پاکان بذر) در شهر اصفهان تهیه شد و آزمایشات جهت بررسی تأثیر متیل جاسمونات (ALDRICH، شرکت شهرآزما، تهران) با غلظت‌های (صفر، ۰/۱، ۱ و ۱۰) میلی‌مولار و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (Houston, anatase/rutile, 20 nm) با غلظت‌های (صفر، ۲۰، ۳۰ و ۴۰) میکرومولار بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و صفات مورفولوژی و بیوشیمیایی گیاه مرزه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در تاریخ ۱۹ شهریور ۱۳۹۸ در زمین کشاورزی به مساحت ۳۰ متر مربع در شهر ابریشم اصفهان انجام گرفت. ابتدا بذرها به‌مدت ۵ دقیقه درون اسید کلریدریک ۳-۲٪ استریل شد و۳ الی ۴ بار با آب‌مقطر استریل شستشو داده و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر خیسانده شد. بذرها در زمینی با خاک رس و ماسه کشت شد. شش روز اول روزی دو بار و بعد از جوانه‌زنی یک بار در روز با آب چاه آبیاری انجام شد. بعد از جوانه‌زنی به زمین کود پتاس اضافه شد. جهت تهیه غلظت‌های ذکرشده، ابتدا متیل جاسمونات مایع (جرم مولی ۲۲۴/۳ g/mol) و پودر نانوذره تیتانیوم (۷۹/۸۶۶ g/mol) به‌صورت جداگانه در آب‌مقطر حل شدند و براساس جرم مولی به حجم رسانده شد و غلظت‌های میلی‌مولار و میکرومولار تهیه گردید و در مرحله ۵ یا ۶ برگی (۲۰ روز بعد از جوانه‌زنی) به‌مدت دو هفته، هفته‌ای دو بار به‌وسیله آبپاش در بعد از ظهر بر روی برگ‌های گیاه محلول‌پاشی شد. بر روی برگ‌های گیاه شاهد آب‌مقطر اسپری شد. در دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از آخرین تیمارها، برداشت گیاه در مرحله گیاهچه‌ای (۳۰) روزه انجام شد و سپس گیاهچه‌ها جهت ارزیابی پارامترهای مورد نظر از هر گروه مقداری جهت تهیه عصاره، در آون خشک و مقداری برای آزمایش‌هایی که نیاز به بافت تازه داشتند در فریزر در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

اندازه‌گیری وزن خشک، تر، طول، عرض و سطح برگ: ابتدا وزن تر برگ‌ها (برگ پنجم از رأس گیاه) و بخش‌های هوایی گیاه در مرحله رویشی با ترازوی دیجیتالی (۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. طول برگ‌ها از نوک تا نقطه تقاطع برگ با ساقه و عرض برگ‌ها از عریض‌ترین قسمت برگ با یک خط‌کش معمولی (۰/۱ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. سطح هر برگ با استفاده از کاغذ شطرنجی و شمارش مربعات تعیین شد. سپس برگ‌ها گیاه برای اندازه‌گیری وزن خشک به آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت منتقل شدند و پس از گذشت این زمان با ترازوی دیجیتالی (۰/۰۰۱ گرم) وزن شدند (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۹).

نحوه تهیه عصاره برای سنجش ترکیبات فنلی و فلاونوئید: برگ‌های گیاه مرزه پس از برداشت با آب‌مقطر شستشو و در فویل‌های آلومینیومی مجزا قرار داده شدند. درون آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا خشک شوند. سپس آسیاب شده و مقدار ۱۰ گرم از پودر خشک‌شده نمونه‌های گیاه سویا را با ترازوی دیجیتالی حساس اندازه گرفته و به هر نمونه ۱۵۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ ٪ اضافه شد و به‌مدت ۷۲ ساعت در دستگاه شیکر قرار گرفت و پس از صاف‌کردن با کاغذ صافی با روش تبخیر خشک گردید و تا زمان آزمایش در یخچال دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Shimada *et al*., 1992).

سنجش میزان فلاونوئید: میزان فلاونوئید و فلاونول کل به روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم و برحسب استاندارد روتین اندازه‌گیری شد (Pourmorad *et al*., 2006; Miliauskas *et al*., 2004).

ابتدا محلول‌های استاندارد با غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر از روتین در متانول ۶۰٪ تهیه و آنگاه یک میلی‌لیتر از محلول کلرید آلومینیوم ۲ ٪ به آن اضافه گردید. سپس ۶ میلی‌لیتر از محلول ۵ ٪ استات پتاسیم به آن افزوده شد و میزان جذب نوری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر پس از ۴۰ دقیقه در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر برای استاندارد فلاونوئید خوانده و بر این اساس نمودار استاندارد رسم گردید. سپس ۰/۰۱ گرم از نمونه خشک‌شده عصاره‌ها را در متانول ۶۰ ٪ حل کرده و به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده و براساس رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم میزان فلاونوئید کل تعیین گردید، با این تفاوت که بجای محلول استاندارد، از محلول عصاره‌ها استفاده شد. نمونه بلانک در این آزمایش متانول ۶۰٪ است. میزان جذب خوانده‌شده را در نمودار استاندارد قرار داده و مقدار فلاونوئید کل برحسب میلی‌گرم بر گرم عصاره محاسبه گردید. تمامی آزمایش‌ها سه بار تکرار و مقادیر متوسط حاصل از سه مرتبه تکرار با استفاده از میانگین و انحراف معیار گزارش شدند.

سنجش ترکیبات فنلی: میزان ترکیبات فنلی، براساس روش رنگ‌سنجی فولین سیوکالیتو و برحسب اسید گالیک اندازه‌گیری شد (Sumaya-Martinez *et al*., 2011; Sharafati-Chaleshtori *et al*., 2011).

محلول‌های استاندارد با غلظت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸ و ۰/۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر از اسید گالیک در متانول ۶۰ ٪ تهیه شد. و به آنها یک میلی‌لیتر از محلول ۱۰ ٪ واکنشگر فولین سیو کالیتو اضافه و پس از ۳ الی ۸ دقیقه به آن یک میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم ۷ ٪ اضافه گردید. آنگاه لوله‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه نگهداری وپس از آن میزان جذب نوری به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و بر این اساس نمودار استاندارد رسم گردید. سپس ۰/۰۱ گرم از نمونه خشک‌شده عصاره را در متانول ۶۰ ٪ حل کرده و به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و براساس روش فولین سیو کالیتو میزان فنل کل تعیین گردید، با این تفاوت که بجای محلول استاندارد، از محلول عصاره‌ها اضافه شد. نمونه بلانک در این آزمایش متانول ۶۰ ٪ است. سپس جذب خوانده‌شده را در نمودار استاندارد قرار داده و به این ترتیب مقدار فنل کل برحسب میلی‌گرم بر گرم معادل اسید گالیک بدست آمد. این آزمایش با استفاده از میانگین و انحراف معیار حاصل از سه مرتبه تکرار گزارش گردید.

سنجش پرولین: مقدار پرولین با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) در این سنجش، مقدار معین بافت تر گیاهی را به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

همراه اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و محلول همگن حاصل را پس از افزودن معرف اسید نین‌هیدرین و اسید استیک درون بن‌ماری قرار داده شد و در مرحله بعد پس از افزودن تولوئن و تشکیل دو لایه مجزا مقدار معینی را جدا و در درون دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر مقدار جذب اندازه‌گیری شد و سپس میزان غلظت پرولین برحسب مقدار پرولین برحسب میلی‌گرم بر لیتر محاسبه گردید.

سنجش مالون دی‌آلدهید: طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه برگی توزین می‌شود و در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱٪ ساییده و عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی ۴/۵ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک ۲۰٪ که دارای ۵ گرم اسید تیوباربیتوریک در ۱۰۰ گرم بود اضافه و مخلوط حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه با ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ گردد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر برای جذب در این طول‌موج کمپلکس قرمز است. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردد (قربانعلی و همکاران، ۱۳۹۱).

تهیه عصاره جهت سنجش آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز: عصاره‌گیری به روش Kar و Mishra (۱۹۷۶) صورت گرفت. مقدار ۵۰ میلی‌گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی سرد با ۲ میلی‌لیتر بافر ۰/۱ مولار با pH ۶/۸ هموژن شد. پس از سانتریفوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، از فاز بالایی عصاره برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) انجام شد. به ۲/۷ میلی‌لیتر بافر فسفات مونوسدیم (۲۵ میلی‌مولار) با pH برابر ۶/۸، ۱۰۰ میکرو لیترگایاگول (۲۰ میلی‌مولار)، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه (۴۰ میلی‌مولار) اضافه شد. فعالیت آنزیمی با اضافه‌کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش شروع شد. محلول بلانک حاوی ۲/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات مونوسدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۸، ۱۰۰میکرولیتر گایاکول (۲۰ میلی‌مولار) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی است. افزایش جذب نور در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر مابین زمان‌های ۱۵ و ۷۵ ثانیه بعد از اضافه‌کردن آب اکسیژنه اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم برحسب تغییرات جذب به نسبت میلی‌گرم پروتئین عصاره بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: مخلوط واکنش برای سنجش فعالیت آنزیم شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۰/۰۱۳ مولار، EDTA ۰/۱ میکرومولار و ریبوفلاوین ۲ میکرومولار است که در تاریکی کامل نگهداری شد. بلافاصله پس از اضافه‌کردن ریبوفلاوین، ۳ میلی‌لیتر از آن را درون لوله آزمایش ریخته و به هر لوله ۱۰۰ میکرولیتر نمونه عصاره پروتئینی اضافه شد. لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۶ دقیقه در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از منبع نور قرار گرفت و در این فاصله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر و توسط محلول تاریکی به‌عنوان شاهد تنظیم شد. پس از ۱۶ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول‌موج مذکور خوانده شد. از آنجائیکه یک واحد آنزیم مذکور عبارت است از میزانی از آنزیم که ۵۰ درصد بازداشت ایجاد کند، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس واحد آنزیمی به ازای هر میلی‌گرم پروتئین برای تمام نمونه‌ها محاسبه گردید (Giannopolitis and Ries, 1997).

داده‌ها پس از جمع‌آوری با نرم‌افزار SPSS بررسی و تحلیل شدند. برای بررسی نتایج و مقایسه میانگین عصاره‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها برای هر گروه، سه بار تکرار ومقادیر به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطوح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ استفاده شد. نمودارهای مناسب جهت تجزیه و تحلیل توسط نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر عرض برگ پنجم گیاهچه مرزه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان دادند در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار، نانوذره اثر معناداری در سطح ۰/۰۱ بر روی عرض برگ مرزه داشته است. نانوذره تیتانیوم باعث افزایش عرض برگ نسبت به شاهد شده است و بیشترین اثرمربوط به نانوذره با غلظت ۲۰ میکرومولار است (شکل ۱). در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار، تیتانیوم اثر معناداری بر عرض برگ مرزه نداشته است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات گیاه مرزه تحت تیمار با متیل جاسمونات و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

زمان (ساعت)	منابع تغییرات	درجه آزادی	عرض برگ	طول برگ	سطح برگ	طول ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ
۲۴	متیل جاسمونات	۳	۰/۰۲۱	۰/۷۱۴	۰/۴۲۰**	۳/۷۵۶**	۰/۱۹۲	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
	تیتانیوم	۳	۰/۰۲۱**	۱/۴۹۹**	۱/۷۶۸*	۰/۵۶۳	۰/۱۰۶	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**
	توأم	۸	۰/۰۱۶	۰/۷۳۷**	۰/۷۴۰*	۴/۰۸۸**	۰/۱۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**
	ضریب تغییرات		۰/۰۸۶	۰/۱۱۶	۰/۱۴۱	۰/۱۱۹		۰/۴۶۲	۰/۱۹	۰/۲۲۵
۴۸	متیل جاسمونات	۳	۰/۰۴۴	۰/۹۰۵	۰/۶۰۰ **	۹/۱۷۴**	۰/۱۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**
	تیتانیوم	۳	/۰۳۰	۰/۴۵۹**	۰/۴۰۶	۲۱/۱۶۷**	۰/۱۳۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱
	توأم	۸	۰/۰۳۶	۰/۵۱۹**	۰/۳۳۲**	۱۰/۵۴۴**	۰/۱۶۱	۰/۰۶۸	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**
	ضریب تغییرات		۰/۱۳۸	۰/۰۹۵	۰/۱۴	۰/۱۶۶		۰/۳۳۸	۰/۲۱	۰/۷۵

*** و ** به‌ترتیب وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ را نشان می‌دهد بقیه فاقد معناداری هستند.**

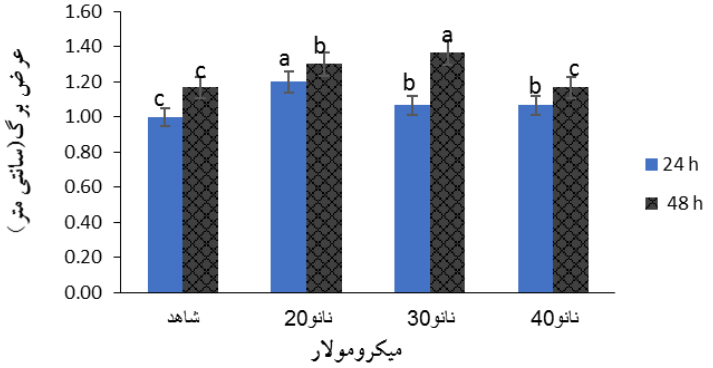
بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر طول برگ پنجم گیاهچه مرزه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان دادند که اثر متیل جاسمونات بر روی طول برگ پنجم گیاهچه مرزه در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار معنادار نیست. اثر نانوذره تیتانیوم بر روی طول برگ در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است.

نانوذره باعث افزایش طول برگ نسبت به شاهد شده است و بیشترین افزایش به‌ترتیب مربوط به نانو با غلظت ۲۰ میکرومولار در ۲۴ ساعت و ۳۰ میکرومولار در ۴۸ ساعت است. اثر توأم متیل جاسمونات با نانوذره تیتانیوم بر روی طول برگ در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. در تیمارهای توأم بیشترین طول برگ با میانگین ۰/۶۶ ± ۵/۷۳۳ مربوط به متیل جاسمونات یک میلی‌مولار با نانوذره تیتانیوم ۳۰ میکرومولار در زمان ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار است (شکل ۲).

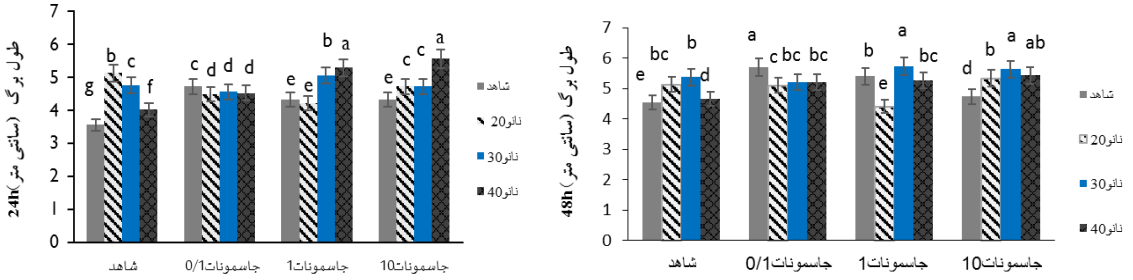
بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر سطح برگ پنجم گیاهچه مرزه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داد تیمار متیل جاسمونات اثر معناداری تیمار در سطح ۰/۰۱ بر روی سطح برگ در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار دارد. متیل جاسمونات در زمان ۴۸ ساعت باعث افزایش سطح برگ نسبت به شاهد شده است. اثر نانوذره تیتانیوم در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۵ معنادار است و افزایش معناداری در تیمار ۳۰ میکرومولار با میانگین ۰/۱۲۸ ± ۴/۱۰۶ نسبت به شاهد نشان داد. اما تیمارهای توأم در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار به‌ترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنادار است. در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار کاهش سطح برگ دیده شد اما در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

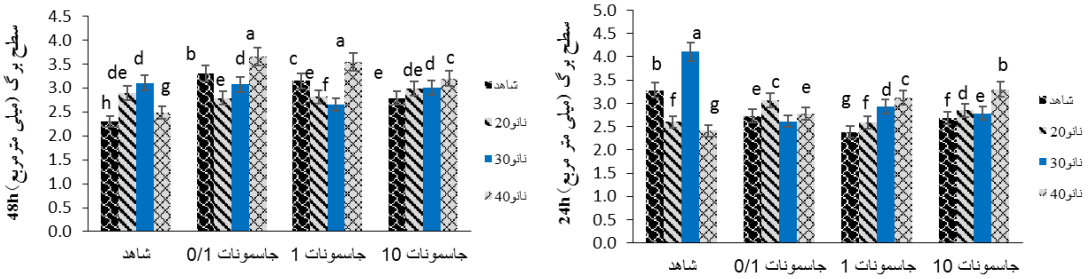
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]



شکل ۱- اثر نانوذره تیتانیوم بر عرض برگ گیاه مرزه. (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).



شکل ۲- طول برگ مرزه تیمار با متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).

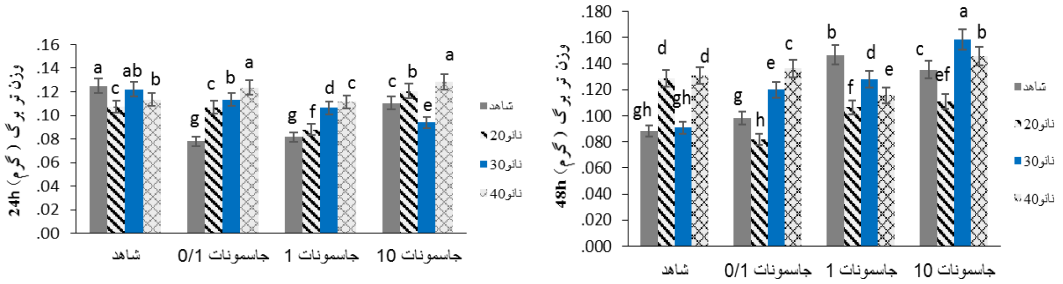


شکل ۳- نمودار سطح برگ مرزه تیمار با متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).

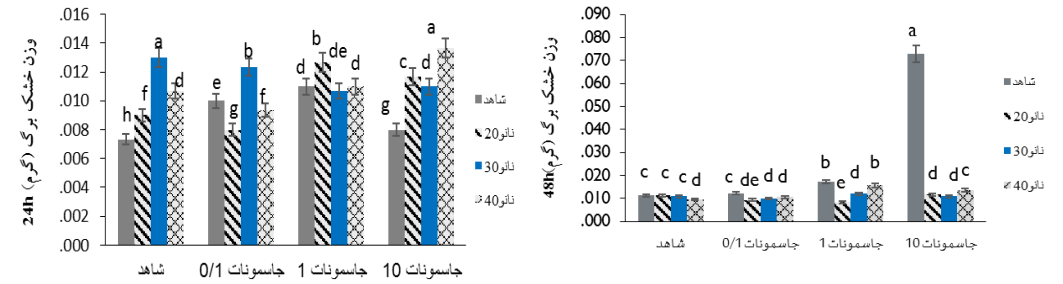
افزایش سطح برگ مشاهده شد که بیشترین افزایش مربوط به تیمار توأم متیل جاسمونات ۱ میلی‌مولار با نانوذره تیتانیوم ۳۰ میکرومولار با میانگین ۰/۶۶۵ ± ۵/۷۳۳ است (شکل ۳).

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر وزن تر برگ پنجم گیاهچه مرزه: باتوجه‌به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ مشاهده شد اثر متیل جاسمونات بر وزن تر برگ در زمان ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. بیشترین وزن تر مربوط به تیمار متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار است. اثر نانوذره تیتانیوم بر روی وزن تر برگ در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]



شکل ۴- نمودار وزن تر برگ مرزه تیمار با متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).



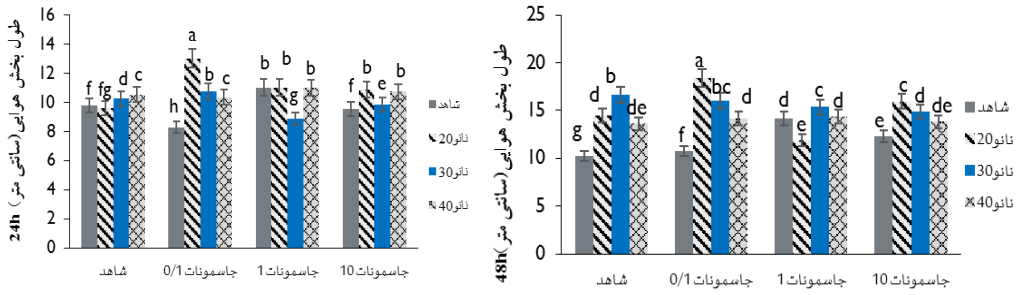
شکل ۵- نمودار وزن خشک برگ مرزه تیمار با متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).

ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. بالاترین وزن تر در زمان ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در اثر تیمار با نانوذره ۲۰ و ۴۰ میکرومولار دیده شد. اثر توأم متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. بالاترین وزن تر در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در اثر تیمار توأم ۱۰ میلی‌مولار متیل جاسمونات با نانوذره تیتانیوم ۳۰ میکرومولار با میانگین ۰/۶۶ ± ۵/۷۳۳ مشاهده شد (شکل ۴).

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر خشک برگ پنجم گیاهچه مرزه: باتوجه‌به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ مشاهده شد اثر متیل جاسمونات بر وزن خشک برگ در زمان ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. افزایش چشمگیر در متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار مشاهده شد. اثر نانوذره تیتانیوم بر روی وزن خشک برگ در زمان ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. بیشترین افزایش در نانو ۳۰ میکرومولار است. اثر توأم متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. بیشترین اثر مربوط به تیمار توأم متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار با نانوذره ۴۰ میکرومولار در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار است (شکل ۵).

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر طول بخش هوایی گیاهچه مرزه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان دادند اثر متیل جاسمونات بر روی طول بخش هوایی در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار افزایش معنادار در متیل جاسمونات ۱ میلی‌مولار مشاهده شد. اثر نانوذره تیتانیوم بر روی طول بخش هوایی در زمان ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار به‌ترتیب در سطح ۰/۰۱معنادار است که باعث افزایش ساقه هوایی شده است که بیشترین افزایش مربوط به نانو ۳۰ میکرومولار است. اما اثر توأم متیل جاسمونات با نانوذره تیتانیوم بر روی وزن تر بخش هوایی در دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]



شکل ۶- نمودار طول بخش هوایی گیاهچه مرزه تیمار با متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح ۰/۰۱ >P براساس آزمون دانکن هستند).

بالاترین اثر تیمار توأم مربوط به تیمار نانوذره تیتانیوم ۰/۱ میلی‌مولار با نانو ۲۰ میکرومولار است (شکل ۶).

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر وزن تر بخش هوایی گیاهچه مرزه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داد اثر تیمارهای متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر وزن تر بخش هوایی در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار معنادار نیست.

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر وزن خشک بخش هوایی گیاهچه مرزه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داد اثر متیل جاسمونات بر وزن خشک بخش هوایی در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. در اثر اعمال تیمار متیل جاسمونات کاهش معناداری در وزن خشک بخش هوایی در گیاه مرزه نسبت به شاهد دیده شد که کمترین وزن خشک در تیمار متیل جاسمونات مربوط به تیمار باغلظت ۰/۱ میلی‌مولار است. اثر نانوذره تیتانیوم بر روی وزن خشک بخش هوایی در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار در سطح ۰/۰۱ معنادار است. در تیمار نانوذره تیتانیوم کاهش معناداری در وزن خشک بخش هوایی دیده شد که کمترین آنها مربوط به تیمار نانوذره با غلظت ۲۰ میکرومولار است. اما اثر توأم متیل جاسمونات با نانوذره تیتانیوم بر روی وزن خشک بخش هوایی در هر دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار معنادار نیست (شکل ۷).

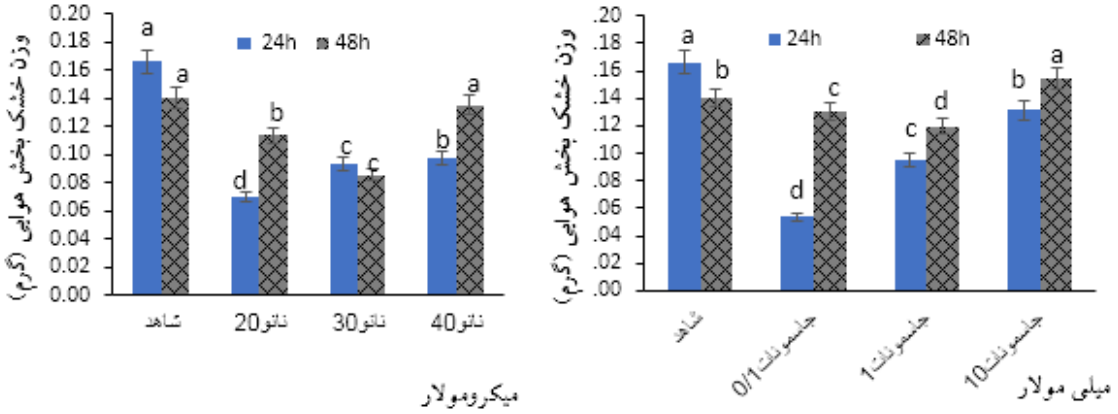
بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر میزان پرولین در گیاهچه مرزه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم در هیچ کدام از زمان‌های برداشت (۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار) معنادار نیست.

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر مالون دی‌آلدهید در گیاهچه مرزه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم در هیچ کدام از زمان‌های برداشت (۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار) معنادار نیست.

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر فلاونوئید در گیاهچه مرزه: نتایج تجریه واریانس در جدول ۲ نشان داد میزان فلاونوئید در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار، در هیچکدام از تیمارها معنادار نیست. در زمان ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار، میزان فلاونوئید در تیماربا تیتانیوم در سطح ۰/۰۱ معنادار بود. در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار با تیتانیوم ۳۰ میکرومولار میزان فلاونوئید نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در تیمارهای توأم بیشترین میزان فلاونوئید در تیمار توأم متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار با نانوذره ۳۰ میکرومولار نسبت به شاهد دیده شد و کمترین میزان فلاونوئید نسبت به شاهد در تیمار توأم متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار با نانوذره ۲۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۸).

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر فنل کل در گیاهچه مرزه: نتایج آنالیز واریانس در جدول ۲ نشان داد، در زمان ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار، اثر متیل جاسمونات بر روی ترکیبات فنلی تام در سطح ۰/۰۱ معنادار است. در ۲۴

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

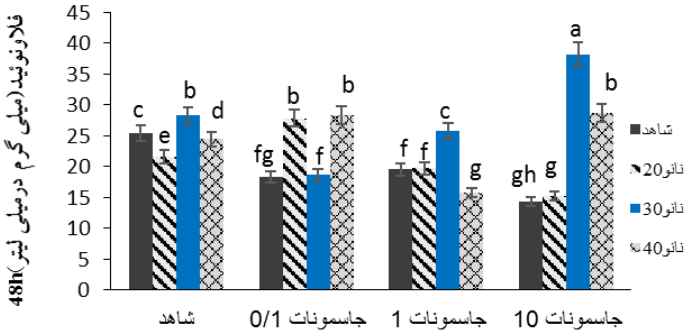


شکل ۷- نمودار وزن خشک بخش هوایی گیاهچه مرزه تیمار با متیل جاسمونات ونانوذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی بررسی‌شده در گیاه مرزه تحت تیمار با متیل جاسمونات و نانوذرات دی-اکسید تیتانیوم

زمان (ساعت)	منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	مالون دی‌آلدئید	فنل کل	فلاونوئید	پراکسیداز	دیسموتاز
۲۴	متیل جاسمونات	۳	۱۷/۶۶۹	۰/۰۴۲	۹۵/۴۵۱**	۱۹۷/۸۰۴	۲۳۷۵۸/۶۲۵**	۱۹۹/۲۸۰**
	تیتانیوم	۳	۱۹/۱۹۳	۰/۰۱۴	۱۹۷/۹۶۵**	۵۴۲/۴۴۸	۶۴۳۸/۹۱۰	۵۵/۸۸۷
	توأم	۸	۱۷/۴۶۱	۰/۰۴۷	۴۱/۹۶۳	۶۰۳/۶۰۳	۱۹۸۱/۷۷۰	۲۴/۲۱۵
	ضریب تغییرات				۰/۳۷۱	۰/۷۳۲	۰/۸۵۲	۰/۸۰۱
۴۸	متیل جاسمونات	۳	۰/۸۸۶	۰/۲۲۶	۴۰/۲۲۷	۳۴/۳۷۸	۶۷/۲۴۰	۱۷۸/۷۶۱*
	تیتانیوم	۳	۰/۲۸۵	۰/۲۶۹	۵/۶۲۶	۱۹۳/۵۱۵**	۱۳۸/۲۵۲	۱۱۹/۴۰۵*
	توأم	۸	۰/۲۸۱	۰/۱۶۳	۳۸/۹۷۷	۱۳۷/۶۳۰**	۱۳۲/۹۷۶	۵۹/۱۴۲*
	ضریب تغییرات				۰/۲۲	۰/۲۹۲	۰/۲۴۴	۰/۷۵۸

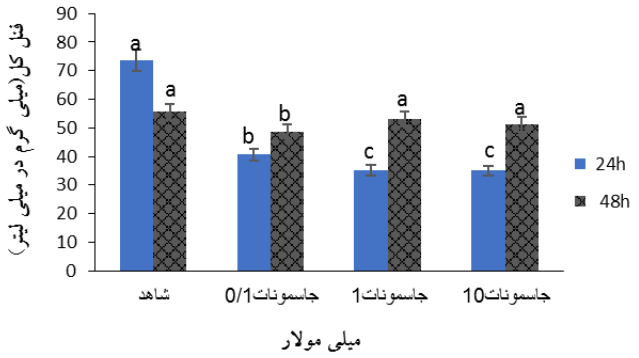
*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنادار، اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد و اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد و بقیه فاقد معناداری هستند.**



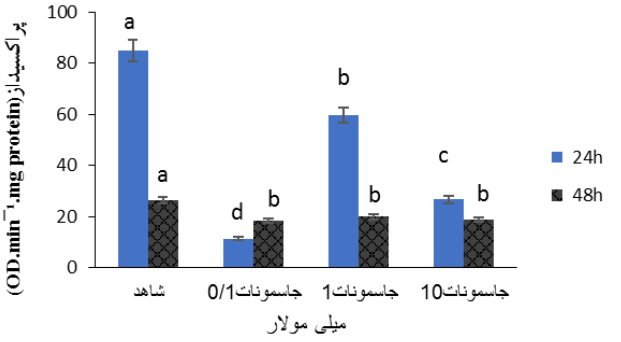
شکل ۸- اثر تیمارها بر میزان فلاونوئید (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

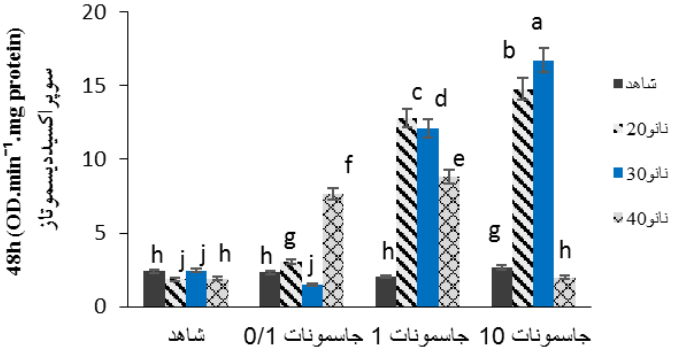
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]



شکل ۹- میزان فنل تام با تیمار متیل جاسمونات (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).



شکل ۱۰- میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز تیمار با متیل جاسمونات (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان-کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).



شکل ۱۱- اثر تیمارها بر روی فعالیت آنزیم دیسموتاز در تیمار با متیل جاسمونات و نانو ذره تیتانیوم (مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کننده عدم تفاوت معنادار در سطح P< ۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند).

ساعت پس از آخرین تیمار، اثر متیل جاسمونات باعث کاهش معنادار میزان فنل کل نسبت به شاهد شده است و کمترین آنها مربوط به اثر متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار است (شکل ۹).

بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهچه مرزه: نتایج آنالیز واریانس در جدول ۲ نشان داد، در زمان ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار، اثر متیل جاسمونات بر روی فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح ۰/۰۱ معنادار است. متیل جاسمونات باعث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

کاهش معنادار میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شده است و کمترین آنها مربوط به اثر متیل جاسمونات ۰/۱ میلی‌مولار است (شکل ۱۰). **بررسی اثر متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه مرزه:** نتایج آنالیز واریانس در جدول ۲ نشان داد، در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در همه تیمارها در سطح ۰۵/ معنادار است. برخی از تیمارهای توأم افزایش فعالیت آنزیم را نشان دادند و بالاترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز درتیمار توأم متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار با نانوذره ۳۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱۱).

بحث

طول و عرض برگ، در بررسی تأثیر متیل جاسمونات روی کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.) گزارش شد که پایین‌ترین غلظت متیل جاسمونات بطور قابل‌توجهی طول برگ تازه را افزایش داد (Closas *et al.*, 1999). براساس نتایج ذکرشده، محلول‌پاشی غلظت بالای متیل جاسمونات سبب افزایش طول برگ گیاه شده است. که نشان‌دهنده این است طول و عرض برگ تحت‌تأثیر غلظت بالا و متوسط متیل جاسمونات قرار گرفته اند (محمدی ازنی و همکاران، ۱۳۹۹). از آنجایی که فقط برگ‌های جوان برای اندازه‌گیری انتخاب شدند این اثر رشد متیل جاسمونات می‌تواند مربوط به نقش متیل جاسمونات در رشد ریشه‌های موئین و تنظیم جذب عناصر باشد، با نتایج حاصل از این پژوهش همسو است. Carvajal و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم در محلول غذایی و یا محلول‌پاشی روی برگ‌های گیاهان می‌تواند رشد گونه‌های مختلف گیاهی را افزایش دهد. تیتانیوم به‌صورت محلول‌پاشی روی شاخ و برگ باعث تحریک رشد قسمت هوایی گیاه خرفه شد (Khan, 2006). در پژوهش حاضر متیل جاسمونات و نانو تیتانیوم هر دو باعث افزایش معنادار طول برگ شد که در مطالعات گزارش‌شده با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

سطح برگ، محققان در آزمایشی بر روی گیاه شنبلیله به مدت ۱۶ روز تحت تیمار با نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم نشان دادند که بالاترین غلظت نانوذره اکسید تیتانیوم، سطح برگ را تا ۲۰٪ نسبت به گیاه کنترل کاهش می‌دهد (Missaou *et al.*, 2017). همچنین، گزارش شده است که علت کاهش سطح برگ در اثر نانوذره اکسید تیتانیوم، نبود برهمکنش مستقیم آن با مسیر بیوسنتز کلروفیل و همچنین احتمالاً به‌دلیل کاهش چگالی کلروپلاست است (Zayneb *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار، نانوذره تیتانیوم باعث کاهش معنادار در سطح برگ گیاه مرزه نسبت به شاهد گردید. نتایج گزارش شده با نتایج این تحقیق مطابق دارد. با توجه به نتاج بدست آمده در ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار، در تیمارهای توأم افزایش معنادار در سطح برگ گیاه مرزه دیده می‌شود. استفاده از تیمار با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات افزایش سطح بیشتر از تیمار متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار دیده می‌شود. El-Sayed (۱۹۹۹) گزارش کرد که تیمار درختان زیتون تحت تنش شوری با ۱۵۰ میلی‌گرم اسید جاسمونیک باعث افزایش سطح برگ آنها شد. در بررسی تأثیر متیل جاسمونات روی کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.) گزارش شد که پایین‌ترین غلظت متیل جاسمونات بطور قابل توجهی سطح برگ را افزایش داد. این نتایج بیان می‌کند که هورمون متیل جاسمونات درغلظت‌های پایین مؤثرتر است (Closas *et al.*, 1999). در پژوهشی بر روی نعناع فلفلی بیان شده است استفاده از غلظت ۶۰ میکرومولار متیل جاسمونات موجب افزایش سطح برگ گردید (وطن‌خواه و همکاران، ۱۳۹۵) نتایج با نتایج حاصل از این پژوهش همسو است.

وزن خشک و تر بخش هوایی و برگ، Carvajal و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم در محلول غذایی و یا محلول‌پاشی روی برگ‌های گیاهان می‌تواند رشد گونه‌های مختلف گیاهی را افزایش دهد. پیش از این افزایش بیوماس با کاربرد تیتانیوم گزارش شده بود (Nair *et al.*, 2010). Zhang و همکاران (۲۰۰۵)، بیان داشتند که تیمار با نانوذره تیتانیوم باعث افزایش تشکیل کلروفیل، فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

آنزیم روبیسکو و سرعت فتوسنتز باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود. اعمال تیمار تیتانیوم به‌صورت محلول‌پاشی روی شاخ و برگ کاهش وزن خشک خرفه شد. علت کاهش وزن خشک شاخ و برگ را می‌توان کاهش در مقدار کلروفیل برگ در اثر تنش واردشده به گیاه دانست که با کاهش سنتز مواد لازم برای رشد گیاه همراه است (Khan, 2006). این گزارش همسو با نتایج تحقیق حاضر است. نتایج Moaveni و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که نانوذرات تیتانیوم اثر معنی‌داری بر وزن تر گیاه خرفه داشت. بیشترین وزن تر محلول‌پاشی ۳ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین وزن تر در عدم محلول‌پاشی این نانوذرات بدست آمد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم اثر افزایشی بر سرعت فتوسنتز دارد و باعث افزایش رشد می‌شود. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب افزایش جذب و متابولیسم نیتروژن و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز می‌گردد، بنابراین محتوای آمونیوم نیز در گیاه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر این نانوذرات میزان اسیمیلاسیون آمونیوم و همچنین آنزیم‌های درگیر در آن را افزایش داده و باعث می‌شود آمونیوم سریعاً به نیتروژن آلی مانند پروتئین، اسیدهای آمینه و کلروفیل تبدیل گردد (Yang *et al.*, 2006). از طرفی فراهمی آب برای گیاه در این شرایط می‌تواند در سنتز مولکول‌های ذکرشده مؤثر واقع شده و دلیل افزایش بیوماس و وزن خشک گیاه باشد. صابر و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند نانو تیتانیوم به‌واسطه تسریع فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، سبب افزایش سنتز اسیدهای آمینه، پروتئین، کلروفیل و افزایش فتوسنتز می‌گردد. بدین ترتیب رشد اسفناج و وزن خشک و تر آن نیز افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد جاسمونیک اسید سبب بهبود وزن تر و خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی شد (Ashraf and Foolad, 2007). Agayi و Mohebali pour (۲۰۱۴) بیان کردند با افزایش غلظت جاسمونیک اسید از صفر به ۱ میلی‌مولار وزن تر و خشک گیاهچه بادرنجبویه افزایش یافت. تأثیر متیل جاسمونات به عواملی نظیر گونه، مرحله نموی گیاه، نحوه اعمال تیمار و غلظت آن وابسته است، متیل جاسمونات در غلظت‌های بالاتر وضعیت اکسایشی گیاه را بیش از حد توان گیاه تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و درنهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود. Kovacik و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر متیل جاسمونات روی کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.) گزارش شد که پایین‌ترین غلظت متیل جاسمونات بطور قابل توجهی وزن برگ تازه، را افزایش داد و بالاترین غلظت متیل جاسمونات وزن تر و خشک برگ را کاهش داد. این نتایج بیان می‌کند که هورمون متیل جاسمونات درغلظت‌های پایین مؤثرتر است (Closas *et al.*, 1999).

اثر نانوذرات تیتانیوم در سطح احتمال ۵ درصد بر روی طول ساقه معنی‌دار شد داده‌ها نشان داد که بیشترین طول ساقه محلول‌پاشی ۳ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین طول ساقه در عدم محلول‌پاشی این نانوذرات بدست آمد (سرتیپ و سیروس مهر، ۱۳۹۶). Moaveni و همکاران (۲۰۱۱) نیز بیان کردند که ارتفاع بوته گندم در پاسخ به تیمارهای مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم افزایش یافت. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم اثر افزایشی بر سرعت فتوسنتز دارد (Yang و همکاران، ۲۰۰۶) و باعث افزایش رشد می‌شود. نتایج حکایت از افزایش ارتفاع نعناع فلفلی در اثر کاربرد جاسمونیک اسید بوته می‌گردد (Hassani, 2006). گزارش شد که نشان می‌داد با اعمال تیمار جاسمونیک اسید ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی افزایش یافت (Farzaneh and Tafazoli, 2014). بنابراین به‌نظر می‌رسد که جاسمونیک اسید طویل‌شدن و تقسیم سلولی را به‌همراه مواد دیگری از قبیل اکسین تنظیم کند و با افزایش میزان تقسیم سلولی مریستم انتهایی سبب افزایش رشد طولی گیاه می‌شود. در بررسی تأثیر متیل جاسمونات روی کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.) گزارش شد که پایین‌ترین غلظت متیل جاسمونات ارتفاع گیاه تازه را افزایش داد و بالاترین غلظت متیل جاسمونات ارتفاع گیاه را کاهش داد. این نتایج بیان می‌کند که هورمون متیل جاسمونات درغلظت‌های پایین مؤثرتر است (Closas *et al.*, 1999). براساس نتایج ذکرشده، محلول‌پاشی غلظت بالای متیل جاسمونات سبب افزایش طول ساقه و ارتفاع گیاه شده است (محمدی ازنی و همکاران، ۱۳۹۹). از آنجایی که فقط برگ‌های جوان برای اندازه‌گیری انتخاب شدند این اثر رشد متیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

جاسمونات می‌تواند مربوط به نقش متیل جاسمونات در رشد ریشه‌های موئین و تنظیم جذب عناصر باشد. در تحقیق حاضر همسو با نتایج تحقیقی که نشان داد متیل جاسمونات سبب افزایش شاخص‌های رشدی ومحتوای کلروفیل گیاهچه‌های گل اطلسی می‌شود (Zarghami-Moghaddam *et al*., 2014). شاخص‌های رشدی و محتوای کلروفیل تحت تیمار متیل جاسمونات افزایش یافت که ممکن است به‌دلیل جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های کلروفیل اکسیداز مرتبط باشد که مانع تجزیه کلروفیل شده و از این طریق سبب افزایش فتوسنتز می‌شوند (طالعی و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهش حاضر، ۴۸ ساعت پس از آخرین تیمار نانو و توأم آن با متیل باعث افزایش معنادار طول ساقه شد که با نتایج ذکرشده مطابقت دارد.

اسیدآمینه کلیدی است که به‌عنوان یک اسمولیت سازگار عمل می‌کند. زیرا می‌تواند بدون اینکه مولکول‌های بزرگ سلول را خراب کند، در غلظت‌های زیاد در سلول تجمع یابد (Hare *et al*., 1998). Huang (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای بیان کردند آمینواسیدهایی مانند پرولین ممکن است نقش محافظت‌کننده برای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و دیگر سیستم‌های غشایی داشته باشند. پرولین با تحت‌تأثیر قراردادن حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف از تغییر ماهیت آنها جلوگیری می‌کند. در گزارشی بیان شده است محلول‌پاشی با نانوذرات تیتانیوم تأثیر فزاینده‌ای بر میزان پرولین ندارد؛ درحالی‌که نتایج پژوهش دیگری نشان دادند محلول‌پاشی با نانوذرات تیتانیوم سبب افزایش میزان پرولین در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد می‌شود (Zarafshar, 2015). یافته‌های Amirjani و همکاران (۲۰۱۴) که بیان کردند افزایش غلظت‌های نانواکسید روی مقدار پرولین را در اندام‌های هوایی گیاه دارویی پریوش افزایش می‌دهد. تجمع پرولین دارای نقش تنظیم اسمزی، حفظ پایداری غشا و پروتئین است و موجب ذخیره کربن، نیتروژن و انرژی می‌شود (Kaya *et al*., 2006). El-Sayed و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که تیمار اسید جاسمونیک دارای اثر مثبت بر محتوای پرولین برگ زیتون بود. جاسمونیک اسید با تحریک سنتز بازدارندهٔ پروتئیناز و بیان ژن آن سبب پایداری پروتئین‌های گیاهان می‌شود (Guo *et al*., 2006). نتایج مطالعه نشان دادند میزان پرولین با کاربرد جاسمونیک اسید نسبت به گیاهان شاهد افزایش می‌یابد و به‌نظر می‌رسد جاسمونیک اسید با تنظیم افزایشی بیان ژن‌های پروتئین‌های بازدارنده به‌ویژه پرولین سبب افزایش میزان این آمینواسید در گیاهان می‌شود (Wang *et al*., 2009). در مطالعه‌ای متیل جاسمونات با القای آنزیم سنتزکننده پرولین باعث افزایش تولید پرولین می‌شود؛ احتمالاً اسید جاسمونیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز پرولین باعث افزایش سطح پرولین شدند (Gupta *et al*., 1993).

محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غیراشباع سلول است. از این‌رو به‌عنوان یک نشانگر زیستی مناسب، جهت تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از تنش اکسنده در سلول به‌کار برده می‌شود (زینالی یادگاری و همکاران، ۱۳۸۸). بررسی غلظت مالون دی‌آلدهید بافت گیاهی می‌تواند بیانگر میزان تخریب غشاء سلولی باشد زیرا این ترکیب تحت‌تأثیر تخریب غشاء سلولی آزاد می‌شود (Farooq and Azam, 2006). میزان پراکسیداسیون لیپید در گیاهان اغلب برای ارزیابی اثر تنش‌های محیطی تعیین می‌شود. پراکسیداسیون لیپید یک فرایند وابسته به رادیکال‌های آزاد است. رادیکال‌های آزاد اکسیژن و آنیون‌های سوپراکسید به اسیدهای چرب غیراشباع حمله کرده، درنتیجه منجر به تغییر ساختار و عمل غشا (Verma and Dubey, 2003). در تحقیق قناتی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش شده در تیمار با متیل جاسمونات، میزان مالون دی‌آلدهید هم در ریشه و هم در اندام هوایی گیاه همیشه‌بهار در مقایسه با گیاهان شاهد، تغییر معنی‌داری نداشت. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر نتایج معنادار نبود این مطالعات با نتایج حاضر همخوانی دارد. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در ۲۴ ساعت پس از تیمار باعث افزایش مالون دی‌آلدهید شد اما این افزایش معنادار نیست که با تحقیق Amirjani و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

فلاونوییدها (ترکیبات فنلی گیاهی) در سیتوپلاسم و نیز سطح سیتوپلاسمی شبکه آندوپلاسمی، سنتز می‌شوند و با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، نقش حفاظتی دارند. اکسیداسیون فلاونوییدها در شرایط تنش، سبب تولید ترکیبات جاروب‌کننده آب اکسیژنه مانند سمی کوئینون‌ها و کوینون‌ها می‌شود (Pource *et al*., 2006). براساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش معنادار میزان فلاونوئید شده است در اثر تیمارهای توأم متیل و نانو هر چه غلظت متیل افرایش داشته است میزان فلاونوئید هم به‌طور معناداری در سطح ۰/۰۱ افزایش نشان داده است بنابراین می توان احتمال داد که افزایش میزان فلاونوئید تا حدی برای مقابله با استرس باشد. در گیاه *Pueraria tuberosa* L. غلظت ۴۰ میکرومول متیل جاسمونات باعث افزایش تولید فلاونوئیدها شده، درحالی‌که غلظت‌های بالاتر متیل جاسمونات باعث کاهش تولید ایزوفلاونوئیدها شده است (Goyal and Ramawat, 2008). ترکیبات فنولی نقش آنتی‌اکسیدانی خود را با سازوکارهایی مانند پاکروبی رادیکال‌های آزاد، دادن هیدروژن، کلات‌کردن یون‌های فلزی و یا در همکاری با پراکسیدازها برای جمع‌آوری یا حذف پراکسید هیدروژن ایفا می‌کنند (Silva *et al*., 2007). نتایج محققان نشان داد، محلول‌پاشی با جاسمونیک اسید سبب افزایش ۵۰ درصدی فنول کل نسبت به گیاهان شاهد می‌شود. کاربرد متیل جاسمونات مقدار ترکیبات فنولی را در برخی گیاهان نظیر مارچوبه (Reyes and Cisneros-Zevallos, 2003) و لوبیا سبز (Heredia and Cisneros-Zevallos, 2009) افزایش می‌دهد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در تحقیق دیگری روی گیاه ریحان شیرین (*Ocimum basilicum*) از متیل جاسمونات به‌صورت محلول‌پاشی روی گیاه استفاده شد و کل محتوای فنلی به‌صورت قابل‌توجهی بعد از اعمال تیمار در مقایسه با گیاه شاهد افزایش یافت (Kim *et al*., 2006). نتایج مطالعات نشان دادند میزان فنول با بیشترشدن غلظت نانو دی‌اکسید تیتانیوم نسبت به شاهد افزایش می‌یابد (Oloumi *et al*., 2015). گزارش کردند نانوذرات مس و روی آثار مثبتی بر محتوای ترکیبات فنولی نهال‌های شیرین‌بیان دارند. این مطالعه نیز به گونه‌ای با مطالعات ما همسویی دارد.

ترکیبات فنلی جز متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند (Taiz and Zeiger, 2002) به‌طور طبیعی ترکیبات فنلی مختلف با تأثیرهایی از قبیل دخالت در ساخت دیواره سلولی، دخیل در مکانیسم دفاعی گیاه و دخیل در خصوصیات میوه مانند رنگ، عطر، طعم و مزه، در گیاه وجود دارد. همچنین ترکیبات فنلی به‌عنوان شاخص‌هایی برای مراحل فیزیولوژیکی در طول رشد میوه نیز در نظر گرفته می‌شوند (Macheix *et al*., 1990). براساس یافته‌ها، اولین مرحله در فعالیت دفاعی گیاه، تجمع ترکیبات فنلی در گیاه است (Matern and Kneeusal, 1998). ترکیبات فنولی به علت ویژگی آنتی‌اکسیدانی قوی رادیکال‌های آزاد را به دام می‌اندازند و گیاهان این ترکیبات را در پاسخ به برخی ترکیبات پیام‌رسان دارای نقش دفاعی مهم آزاد می‌کنند (Sheraphti *et al*., 2008). Kovacik و همکاران (۲۰۰۹) در گزارشی بیان کردند ترکیبات فنولی نقش آنتی‌اکسیدانی خود را با سازوکارهایی مانند پاکروبی رادیکال‌های آزاد، دادن هیدروژن، کلات‌کردن یون‌های فلزی و یا در همکاری با پراکسیدازها برای جمع‌آوری یا حذف پراکسید هیدروژن ایفا می‌کنند. ترکیبات فنولی با شرکت در واکنش حذف رادیکال‌های آزاد به رادیکال فنوکسیل اکسید می‌شوند و سپس از طریق واکنش رادیکال‌های فنوکسیل با آسکوربات به حالت اولیه بر می‌گردند (Silva *et al*., 2007). Caldwell در سال ۲۰۰۲ اعلام کرد که در برگ گیاه اسفناج تحت تیمار با غلظت‌های پایین مس، افزایش محتوای ترکیبات فنلی دیده می‌شود، درحالی‌که در غلظت‌های بالای مس، محتوای ترکیبات فنلی کاهش می‌یابد، این مطالعه نیز به گونه‌ای با مطالعات ما همسویی دارد. با وجود القای سنتز ترکیبات فنلی در تنش‌های گوناگون، مقدار واقعی آنها حاصل توازن بین سرعت سنتز آنها و سرعت کاهش و یا مصرف آنهاست. کاهش مشاهده‌شده در میزان ترکیبات فنلی محلول، نشان‌دهنده کوچک‌تربودن سرعت سنتز به سرعت کاهش یا مصرف این ترکیبات است. این مسئله پیامد تشکیل ترکیبات فنلی نامحلول و یا پلیمریزاسیون فنلیک‌ها درنتیجه اکسیداسیون است. بنابراین می‌توان احتمال داد که کاهش ترکیبات فنلی در این پژوهش نیز به‌دلیل فوق

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

باشد (Anagnostopoulou *et al*., 2006).

اولین آنزیم پاکسازی‌کننده سوپراکسید دیسموتاز است که تبدیل رادیکال سوپراکسید به پراکسید هیدروژن که یک مولکول با خاصیت غیررادیکالی است را بر عهده دارد. طبق نتایج حاصل، اثر متیل جاسمونات بر روی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به‌طور معناداری در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار، کاهش و سپس در ۴۸ ساعت در حد شاهد ثابت مانده است نانوذره هم در حد شاهد افزایش نشان داده است اما در تیمارهای توأم هر چه غلظت متیل جاسمونات در تیمارهای توأم افزایش پیدا کرده فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز هم افزایش نشان داده است که بیشترین آن در تیمار متیل جاسمونات ۱۰ میلی‌مولار با نانوذره دیده می‌شود که می‌توان این‌طور استدال کرد که ممکن است گیاه وارد فاز استرس شده باشد. افزایش فعالیت SOD به‌دلیل مقابله با تنش اکسیداتیو و محافظت از سیستم دفاعی گیاه در برابر آسیب اکسیداتیو است (Malecka *et al*., 2012). اولین مرحله در فعالیت دفاعی گیاه، تجمع ترکیبات فنلی در گیاه است ممکن است کاهش آنزیم SOD به این علت باشد که ابتدا افزایش ترکیبات فلاونوئیدی جهت حذف رادیکال‌های آزاد سریع‌تر وارد عمل شده و رادیکال‌های آزاد را کاهش داده و دلیل دیگر اینکه ممکن است غلظت متیل جاسمونات و نانوذره آن‌قدری کافی نبوده که در ۲۴ ساعت پس از آخرین تیمار بتواند روی سیستم آنزیمی اثر گذاشته و فعالیت آنها را افزایش دهد و به تدریج طی زمان ۴۸ ساعت فعالیت آنزیم مذکور رو به افزایش گذاشته است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند متیل جاسمونات به عنوان مولکول‌های هشداردهنده در گیاه فعالیت می‌کنند (Memelink, 2009) گزارش‌های مختلفی نیز مبنی بر تأثیر متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه آرابیدوپسیس (Jung, 2004) و بادام‌زمینی (Comparot *et al*., 2002) ارائه شده‌اند که متیل جاسمونات سطوح رادیکال‌های آزاد را از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان کاهش می‌دهد. غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات موجب افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه بادام‌زمینی می‌شود (Kumari *et al*., 2006). در گزارشی بیان شده است تیمار گیاه پریوش با نانواکسید روی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گایاگول پراکسیداز می‌شود (Amirjani *et al*., 2014) پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم آثار مخرب افزایش رادیکال‌های آزاد (Lei *et al*., 2008). میزان نشت الکترولیت در سلول را با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (Okuda *et al*., 1991). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کوتاه مدت می‌تواند دلیل افزایش سریع گونه‌های اکسیژن باشد و کاهش فعالیت آنزیم‌ها نشان‌دهنده این باشد که سیستم دفاعی گیاه توانسته تنش اکسیداتیو را کنترل کند. نقش مهم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پاکسازی سلول از گونه‌های فعال اکسیژن هستند (Yadeghari *et al*., 2008; Yong *et al*., 2008). نتایج آزمایش‌های مختلف نشان داده نمی‌توان روند خاصی را برای تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفت ولی در بسیاری از آزمایش‌ها افزایش این آنزیم‌ها در شرایط تنش گزارش شده است (Anjum *et al*., 2010). برخی آزمایش‌ها عدم وجود همبستگی بین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را نشان می‌دهد و دلیل خاصی برای عدم وجود رابطه در این آزمایش‌ها گزارش نشده است (Honty *et al*., 2008; Arnnok *et al*., 2010).

گایاکول پراکسیدازها (POX) گلیکوپروتئین‌هایی هستند که فنل‌ها را مانند یک دهنده هیدروژن مصرف کرده و در فرایندهای نمو، لیگنین‌سازی، بیوسنتز اتیلن، دفاع و التیام زخم‌ها شرکت می‌کنند (Verma and Dubey, 2003). آنزیم پراکسیداز به‌عنوان یک القاشونده سیستمیکی و به‌عنوان مارکری برای القا مقاومت در گیاه برای ایجاد پیوند و محکم کردن دیواره سلولی ضروری است (Kuc, 2001). پراکسیدازهای گیاهی در متابولیسم اکسین، لیگنین و تشکیل سوبرین، اتصال متقابل اجزای دیواره سلولی، سنتز فیتوالکسین و متابولیسم ROS درگیر هستند. پراکسیدازهای گیاهی آنزیم‌های حاوی هم هستند که اکسیداسیون تک الکترون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

چندین سوبسترا را با مصرف پراکسید هیدروژن کاتالیز می‌کنند (Passardi *et al*., 2007). بنابراین به‌نظر می‌رسد در مطالعه ما القای سیستمیک وجود نداشته و میزان استرس به نسبت کم بوده و بنابراین فقط آنزیم دیسموتاز افزایش یافته است. بنابراین در کل، بی نظمی مشاهده شده در فعالیت هر دو آنزیم می‌تواند نشان‌دهنده آمادگی بیشتر آنزیم دیسموتاز نسبت به آنزیم پراکسیداز باشد. در بسیاری موارد تجمع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در پی تجمع رونوشت ژن رخ می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که میزان کافی فعالیت آنزیم دیسموتاز، یکی از دلایل، رونویسی کمتر ژن‌های پراکسیداز در این گیاه نیز بوده باشد. Hare و همکاران (۱۹۹۸)، در پژوهشی اثر متیل جاسمونات را بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز بررسی و گزارش کردند متیل جاسمونات اثری بر فعالیت آنزیم گایاکول در تاتوره (*Datura wrightii*) ندارد کاهش کارایی چرخه مهلر در کلروپلاست سبب افزایش شدت آسیب به مولکول‌های زیستی حیاتی از جمله غشاها می‌شود و کاهش کارایی چرخه یادشده از کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ناشی می‌شود؛ علاوه بر این، تجمع رادیکال سوپراکسید فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیدازها را کاهش می‌دهد آنزیم‌های یادشده نقش ویژه‌ای در جمع‌آوری پراکسید هیدروژن موجود در سلول دارند (Sairam *et al*., 2001). بروکی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند فعالیت آنزیم گایاگول پراکسیداز تحت‌تأثیر محلول‌پاشی متیل جاسمونات افزایش یافت. اثر متقابل بین غلظت و زمان برای این صفت معنی‌دار بود. به‌طوریکه این آنزیم در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار و در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از محلول‌پاشی بیشترین فعالیت را نشان داد و پس از آن میزان فعالیت این آنزیم همچنان افزایش را نشان داد. با توجه به اینکه اثر تیمارها باعث کاهش آنزیم پراکسیداز شده است گزارش‌ها تا حدوی با مطالعات حاضر همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش متیل جاسمونات و نانوذره تیتانیوم به‌صورت جداگانه در اغلب شاخص‌ها باعث افزایش رشد در گیاه مرزه گردید. متیل جاسمونات به تنهایی در اغلب شاخص‌ها اثر کاهشی داشته است. متیل جاسمونات بر وزن خشک ساقه اثر منفی نشان داد. نانو تیتانیوم در غلظت ۳۰ میکرومولار بهترین غلظت را از نظر عملکرد نشان داد. افزایش غلظت تیتانیوم اثر سمی بر رشد گیاه مرزه نشان نداد و همچنین اثر توأم نانو تیتانیوم و متیل جاسمونات در بعضی از تیمارها به مراتب بهتر از استفاده آنها به‌صورت جداگانه است و کاربرد توأم نانوذره تیتانیوم و متیل جاسمونات در غلظت‌های مختلف بر روی فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه مرزه در کل اثر مثبت داشته و بسته به غلظت‌های به‌کار برده شده اثرات متفاوتی نشان داد. به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم آنها یک نوع برهمکنش خاص در جهت کاهش اثرات منفی یکدیگر ایجاد کرده و باعث افزایش در برخی از شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه مرزه گردیده است. می‌توان ازهر دو ماده که یکی جز عناصر و دیگری جز تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه است به‌صورت توأم جهت کیفیت محصول استفاده کرد البته، تأیید نتایج حاصل نیاز به پژوهش‌های مشابه و تحقیقات بیشتری در زمینه‌های سلولی – مولکولی و تجزیه و تحلیل بیان ژن در این زمینه دارد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از خانواده مهربانم، اساتید عزیز و همه افراد و سازمان‌هایی که در تهیه این مقاله به من کمک کردند جهت دریافت درجه دکترا گیاهی از دانشگاه آزاد فلاورجان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تأمین مالی

این تحقیق هیچ‌گونه کمک بلاعوض خاصی از آژانس‌های تأمین مالی در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

منابع

امید بیگی، ر. (۱۳۸۸) رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد اول، انتشارات فکر روز، تهران.

بروکی، ا.، حسنی، ل.، عبدالهی، ب.، درویش‌زاده، ر.، خردمند، ف. و حسنی، ع. (۱۳۹۵) تأثیر غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و محتوی پروتئین کل ریحان. به‌زراعی کشاورزی ۱: ۱۱۵-۱۰۳.

بقالیان، ک. و نقدی بادی، ح. (۱۳۷۹) گیاهان اسانس‌دار، نشر اندرز.

زینالی یادگاری، ل.، حیدری، ر. و کاراپتیان، ژ. (۱۳۸۸) تغییر نفوذپذیری غشاهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه سویا در پاسخ به دمای پایین. مجله زیست‌شناسی ایران ۲۲: ۲۳۶-۲۲۹.

جعفری، س.، منوچهری کلانتری، خ. و احمدی موسوی، ع. (۱۳۸۶) اثر پاکلوبوترازول بر تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها در نهال‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما (*Lycopersicum esculentom* L.). مجله زیست‌شناسی ایران ۲۰: ۲۱۷-۲۰۶.

جم‌زاد، ز. (۱۳۹۱) فلـور ایـران- تیـره نعنـا، شـماره ۷۶. انتشـارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.

جم‌زاده، ز. (۱۳۸۸) آویشن و مرزه‌های ایران. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.

سرتیپ، ح. و سیروس مهر، ع. (۱۳۹۶) اثر نانوذرات تیتانیوم و سطوح مختلف آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، کربوهیدرات-های محلول و پارامترهای رشدی خرفه. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی ۲۸.

صابر، س.، قسیمی حق، ز. و مصطفوی، ش. (۱۳۹۲) تأثیر مکانیسم نانواکسید تیتانیوم بر فرایندهای فیزیولوژی گیاه اسفناج. دومین همایش ملی و توسعه پایدار کشاورزی و محیطزیست سالم ۱۶-۱.

طالعی، د.، شریفی، ر. و پیرصالحی، س. م. (۱۳۹۷) مطالعه واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه خرفه *Portulaca oleracea* L. به متیل جاسمونات تحت تنش شوری. به‌زراعی کشاورزی ۲۰: ۶۷۸-۶۶۷.

قربانعلی، م.، احمدی، ف.، منفرد، ا. و بخشی خانیکی، غ. (۱۳۹۱) تنش شوری و برهمکنش آن با آسکوربات بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پرولین و مالون دی‌آلدهید در گیاه زیره سبز *Cuminum cyminum* چهار هفته بعد از جوانه‌زنی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۸: ۲۷-۱۴.

قناتی، ف.، بختیاریان، س. و عبدالملکی، پ. (۱۳۸۹) تأثیر متیل جاسمونات بر متابولیت‌های ثانویه گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). علوم و فناوری زیستی مدرس ۱.

کرامت، ب. و دانشمند، ف. (۱۳۹۱) نقش دوگانه متیل جاسمونات بر عملکردهای فیزیولوژیک در گیاه سویا (*Glycin max* L.). فرایند و کارکرد گیاهی ۱.

کریمیان فریمان، ز.، موسوی بزاز، آ. بنایان اول، م. (۱۳۹۱) مدل‌سازی سطح برگ گیاه دارویی بادرشبی *Dracocephalum moldavica* L. با استفاده از روش‌های تخریبی و غیرتخریبی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۸: ۱۸۶-۱۷۶.

محمدی ازنی، م.، مرادی، ح.، قاسمی، ک. و بی‌پروا، پ. (۱۳۹۹) تأثیر تیمار سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر برخی صفات مورفولوژیکی و پارامترهای فتوسنتزی گیاه خرفه *Portulaca oleracea* L. نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی. ۱: ۱۸۶-۱۷۵.

وطن‌خواه، ا.، کلانتری، ب. و عندلیبی، ب. (۱۳۹۵) اثر متیل جاسمونات بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیو شیمیایی گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری. فرایند و کارکرد گیاهی ۵: ۱۷۱-۱۵۷.

Agayi, F. and Mohebali pour, N. (2014) Effect of different level of foliar spraying of salicylic acid, methyl jasmonate and medium on shoot growth characteristics of lemon balm to in vitro culture. First International and 13th Iranian of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

Crop Sciences Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference, Seed and Plant Improvment Institute Karaj.

Amirjani, M. R., Askari, M. and Askari, P. (2014) The effect nano oxide zinc on the amount of alkaloids, enzymatic and non-enzymatic antioxidants and some indicators of physiology *Catharantus roseu*. Cells and Tissues Journal 5: 173-183.

Anagnostopoulou, M. A., Kefalas Papageorgiou, V. P., Assimopoulou, A. N. and Boskou, D. (2006) Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (*Citrus sinensis*). Journal Food Chemistry 94: 19-25.

Anjum, N. A., Umar, S. and Chan, M. T. (2010) Ascorbate-glutathione pathway and stress tolerance in plants. Springer Dordrecht Heidelberg 265-291.

Arnnok, P., Ruangviriyachai, C., Mahachai, R., Techawongstien, S. and Chanthai, S. (2010) Optimization and determination of polyphenol oxidase and peroxidase activities in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) pericarp. Food Research Journal 17: 385-392.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

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

Caldwell, C. R. (2002) Effect of elevated copper on phenolic compounds of spinach leaf tissues. Journal of Plant Nutrition 25: 1225-1237.

Carvajal, M., Martinez-Sanchez, F. and Alcaraz, C. F. (1994)Effect of TiO_2 on some physiological activity indicators of *Capsicum annuum* L. plants. Horticultural Science 69: 427-432.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidase. Methods in Enzymologist 11: 764-755.

Chao, S. H. L. and Choi, H. S. (2005) Method for Providing Enhanced Photosynthesis. Korea Research Institute of Chemical Technology, Korea Bulletin.

Choi, C. Y., Kim, Y. H., Kim, Y. O., Park, S. J., Kim, E. A., Riemenschneider, W., Gajewski, K., Schulz, R. A. and Kim, Y. (2005) Phosphorylation by the DHIPK2 protein kinase modulates the corepressor activity of groucho. Journal of Biological Chemistry 280: 21427-21436.

Closas, L. M., Toro, F. J., Calvo, G. and Pelacho, A. M. (1999) Effect of methyl Jasmonate on the first developmental stages of globe artichoke. International Society for Horticultural Science. Acta Horticulturae 660 5th International Congress on Artichoke. Bari, Italy.

Comparot, S. M., Graham, C. M. and Reid, D. M. (2002) Methyl jasmonate elicits a differential antioxidant response in light and dark grown canola (*Brassica napus*) roots and shoots. Journal Plant Growth Regulation 38: 21-30.

El-Sayed, O. M., El-Gammal, O. H. M. and Salama, A. S. M. (2014) Effect of ascorbic acid, proline and jasmonic acid foliar sprying onfruit set and yield of Manzanillo olive trees under salt stress. Scientia Horticulturae 176: 32-37.

El-Sayed, A. F. M. (1999) Alternative dietary protein sources for farmed tilapia *Oreochromis* sp. Aquaculture 179: 149-168.

Farzaneh, M. and Tafazoli, A. S. (2014) Methyl jasmonic effect on carotenoid pigments and morphological characters of tomato under salt stress conditions. The First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture 125-135.

Farooq, S. and Azam, F. (2006)The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerance wheat varieties. Journal of Plant Physiology 163: 629-637.

Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1997) Superoxide dismutase I. occurrence in higher plants. Plant Physiology 59: 309-314.

Gupta, A. K., Singh, J., Kaur, N. and Singh, R. (1993) Effect of polyethylene glycol induced water stress on uptake introversion and transport of sugars in chickpea seedling. Plant Physiology and Biochemistry 31: 743-747.

Guo, Z., Ouw Lu, S. and Zhong, Q. (2006) Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry 44: 828-836.

Hajhashemi, V., Zolfaghari, B. and Yousefi, A. (2012) Antinociceptive and anti inflammatory activities of *Satureja hortensis* seed essential oil, hydroalcoholic and polyphenolic extracts in animal models. Medical Principles and Practice 21: 178-182.

Hare, P. D., Cress, W. A. and Van Staden, J. (1998) Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. Plant Cell Environment 21: 535-553.

Hashemi, M., Aghdam, M. B., Mahdian, R. and Kamyab, A. R. (2012) A novel multiplex real-time pcr assay using taqman MGB probes for rapid detection of trisomy 21. World Academy of Science Engineering and Technology 68: 1019.

Hassani, A. (2006) Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22: 256-261.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

Heredia, J. B. and Cisneros-Zevallos, L. (2009) The effect of exogenous ethylene and methyl jasmonate on pal activity, phenolic profiles and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*) under different wounding intensities. Postharvest Biology and Technology 51: 242-249.

Hong, F. S., Yang, P., Liu, C., Ma, Z. N. and Wu, C. (2005) Effect of nano-TiO_2 on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research 105: 269-280.

Honty, K., Sardi, E., Stefanovits-Banyai, E. and Toth, M. (2008) Frost induced changes in enzyme activities and carbohydrate content in the spurs of some pear cultivars during the dormancy. International Journal of Horticultural Science 14: 41-44.

Huang, J. W., Cunningham, S. D. and Chen, W. R. (1997) Phytoremodiation of lead contaminated soils. Environmental Science and Technology 31: 800-805.

Jung, S. (2004) Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. Journal of Plant Physiology and Biochemistry 42: 231-255.

Kar, M. and Mishra, D. (1979) Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase activities during Rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Kaya, M. D., Okci, G., Atak, M., Cikili, Y. and Kolsarici, O. (2006) Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy 24: 291-295.

Khan, M., Zaheer Ahmed, A. M. and Hameed, A. (2006) Effect of sea salt and L- ascorbic acid on the seed germination of halophytes. Journal of Arid Environments 67: 535-540.

Kim, H. J., Chen, F., Wang, X. and Rajapakse, N. C. (2006) Effect of chitosan on the biological properties of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricucture and Food Chemistry 53: 3696-3701.

Koo, A. J. K. and Howe, G. A. (2009) The wound hormone jasmonate. Journal of Photochemistry and Photobiology 70: 1571-1580.

Kovacik, J., Backor, M., Strnad, M. and Repcak, M. (2009) Methyl jasmonate-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. Plant Cell Reports 28: 135-143.

Kovacik, J., Klejdus, B. and Backor, M. (2009) Phenolic metabolism of *Matricaria chamomilla* plants exposed to nickel. Journal Plant Physiology 166: 1460-1464.

Kuc, J. (2001) Concepts and direction of induced systemic resistence in plants and its application. European Journal of Plant Pathology 107: 7-12.

Kumari, G. J., Reddy, A. M., Naik, S. T., Kumar, S. G., Prasanthi, J., Sriranganayakulu, G., Reddy, P. C. and Sudhakar, C. (2006) Jasmonic acid induced changes in protein pattern, antioxidative enzyme activities and peroxidase isozymes in peanut seedlings. Biologia Plantarum 50: 219-226.

Macheix, J. J., Fleuriet, A. and Billot, J. (1990) Fruit Phenolics. Boca Raton, CRC Press.

Malecka, A., Piechalak, A., Mensinger, A., Hanc, D., Baralkiewicz, D. and Tomaszewska, B. (2012) antioxidative defense system in *Pisum sativum* roots exposed to heavy metals (Pb, Cu, Cd, Zn). Polish Journal of Environmental Studies 21: 1721.

Maroofi, H. (2010) Two new plant species from Kurdistan province, west of Iran. Iranian Journal of Botany 16: 76-80.

Matern, U. and Kneusal, R. E. (1998) Phenolic compounds in palnt disease resistance. Phytoparasitica 16: 153-170.

Memelink, J. (2009) Regulation of gene expression by jasmonate hormones. Phytochemistry 70: 1560-1570.

Miliauskas, G., Venskutonis, P. R. and Van-Beek, T. A. (2004) Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry 85: 231-237.

Mingyu, S., Hong, F., Liu, C., Wu, X., Liu, X. and Chen, L. (2007) Effects of nano-anatase TiO_2 on absorption, distribution of light and photo reduction activities of chloroplast membrane of spinach. Biological Trace Element Research 118: 120-130.

Missaoui, T., Smiri, M., Chmingui, H. and Hafiane, A. (2017) Effects of nanosized titanium dioxide on the photosynthetic metabolism of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Comptes Rendus Biologies Physiology 340: 499-511.

Moaveni, P., Aliabadi Farahani, H. and Maroufi, K. (2011) Effect of TiO_2 nanoparticles spraying on wheat (*Triticum aestivum* L.) under field condition. Advances in Environmental Biology 5: 2208-2210.

Moaveni, P., Valadabadi, S. A., Aliabadi Farahani, H. and Maroufi, K. (2011c) Nanoparticles TiO_2 spraying affected on calendula (*Calendula officinalis*) under field condition. Advances in Environmental Biology 5: 2242-2244.

Momtaz, S. and Abdollahi, M. (2010) An update on pharmacology of satureja species: From antioxidant, antimicrobial, anti diabetes and anti-hyperlipidemic to reproductive stimulation. International Journal of Pharmacology 6: 454-61.

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi Kumar, D. (2010) Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science 179: 154-163.

Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. J. and Shahabimajd, N. (2006) Antioxidant activity phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology 5: 1142-1145.

Passardi, F., Theiler, G., Zamocky, M., Cosio, C., Rouhier, N., Teixera, F., Margis-Pinheiro, M., Ioannidis, V., Penel, C., Falquet, L. and Dunand, C. (2007) Peroxi base: The peroxidase database. Phytochemistry 68: 1605-1611.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

Pourcel, L., Routaboul, J. M.,Cheynier ,V., Lepiniec, L. and Debeaujon, I. (2006) Flavonoid oxidation in plants: From biochemical properties to physiological functions. Trends in Plant Science 12: 132.

Okuda, T., Matsuda, Y., Yamanaka, A. and Sagisaka, S. (1991) Abrupt increase in the level of hydrogen- peroxide in leaves of winter wheat is caused by cold treatment. Plant Physiology 97: 1265-1267.

Omidbaigi, R. (2009) Production and Processing of Medicinal Plants. 2nd Ed. Astan Quds Razavi.

Reyes, L. and Cisneros-Zevallos, F. (2003) Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purpleflesh potatoes. Journal of Agronomy and Crop Science 51: 5296-5300.

Oloumi, H., Soltaninejad, R. and Baghizadeh, A. (2015) The comparative effects of nano and bulk size particles of CuO and ZnO on glycyrrhizin and phenolic compounds contents in *Glycyrrhiza glabra* seedlings. Journal of Plant Physiology 20: 157-161.

Rahman, A., Seth, D., Mukhopadhyaya, S. K., Brahmachary, R. L., Ulrichs, C. and Rao, P. B. (2009) Nanoparticle-virus complex shows enhanced immunological effect against baculovirus. Journal of Nanoscience Nanotechnol 9: 5567-5571.

Rohwer, C. L. and Erwin, J. E. (2008) Horticultural applications of jasmonates. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 83: 283-304.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2001) Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activiy in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science 186: 63-70.

Scrinis, G. and Lyons, K. (2007) The emerging nano-corporate paradigm: Nanotechnology and the transformation of nature, food and Agri-food systems. International Journal of Agriculture and Food 15: 22-44.

Sharafati-Chaleshtori, R., Sharafati-Chaleshtori, F. and Rafieian-Kopaei, M. (2011) Biological characterization of Iranian walnut (*Juglans regia*) leaves.Turkish Journal of Biology 35: 635-639.

Sheraphti chaleshtari, F., Sheraphti chaleshtari, R. and Momeni, M. (2008) The antimicrobial effects of aqueous extract and ethanol plant *Scrophularia striata* on *E. coli* in laboratory. University of Medical Sciences Shaher Kord 10: 32-37.

Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K. and Nakamura, T. (1992) Antioxidative properties of xanthin on autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40: 945-948.

Silva, M. A., Jifon, J. L., Silva, J. A. G. and Sharma, V. (2007) Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Journal of Plant Physiology 19: 193-201.

Sumaya-Martinez, M. T., Cruz-Jaime, S., Madrigal-Santillan, E., Garcia-Paredes, J. D., Carino-Cortes, R. and Cruz-Cansino, N. (2011) Betalain acid ascorbic phenolic contents and antioxidant properties of purple red yellow and white cactus pears. International Journal of Molecular Sciences 12: 6452-68.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) Plant Physiology. 3rd Ed.

Vahidyan, H., Sahari, M. A., Barzegar, M. and Naghdi Badi, H. (2012) Application of zataria *Multiflora boiss* and *Satureja hortensis* L. essential oils as two natural antioxidants in *Mayonnaise formulated* with linseed oil. Journal of Medicinal Plants 11: 69-79.

Verma, S. and Dubey, R. S. (2003) Effect of Cd on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. Biologia Plantarum 44: 117-123.

Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P. and Kwak, S. (2009) Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry 47: 570-577.

Wasternack, C. (2007) Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. Annals of Botany 100: 681-97.

Yadeghari, L. Z., Heidari, R. and Carapetian, J. (2008) Cold pretreatment-induced changes in antioxidant enzyme activities and relative water content and soluble sugars in shoots and roots of soybean seedlings. Journal of Biological Sciences 3: 68-73.

Yang, F., Hong, F. S. andYou, W. J. (2006) Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-190.

Yong, Z. T., Hao, R. U. and Ya, L. (2008) Varation in antioxidant enzyme activities of two strawberry cultivars with short-term low temperature stress. World Journal of Agriculture and Soil Science 4: 458-462.

Yu, X., Du, X. and Song, L. (2007) Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the *Rhus typhina*. Science Silvge Sinicae 43: 57-61.

Zarafshar, M., Akbarinia, M., Askari, F., Hosseini, M. and Rahaie, M. (2015) The effect of the application of titanium dioxide nanoparticles under drought stress in *Pyrus biosseriana* buhse. Journal of Plant Ecosystem Conservation 3: 94-81.

Zarghami-Moghaddam, M., Shoor, M., Ganjeali, A., Moshtaghi, N. and Tehranifar, A. (2014) Effect of methyl jasmonate on morphological and ornamental characteristics of *Petunia hybrida* at drought stress. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4: 523-532.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

Zayneb, C., Bassem, K., Zeineb, K., Grubb, C., Noureddine, D. D., Hafedh, M. and Amine, E. (2015) Physiological responses of fenugreek seedlings and plants treated with cadmium. Environmental Science and Pollution Research 22: 10679-10689.

Zhang, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. (2005) Effects of nano-TiO2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Reserch 105: 83-89.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]

Examination of the effect of application time of titanium and methyl jasmonate nanoparticles on physiological, growth, and biochemical characteristics of Savory Daenesis (*Satureja hortensis L*)

Behnaz Kazemi[1], Monireh Ranjbar[1]*, Zahra Rezayatmand[1], Ali Mohammad Ahadi[2]

[1] Department of Biology, Falavarjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[2] Department of Genetics, faculty of Science, Shahrekord. University, Shahrekord, Iran
(Received: 21/06/2021, Accepted: 09/11/2021)

Abstract

An experiment was performed to examine the effect of methyl jasmonate foliar spray with concentrations (10, 1, 0.1 mM and 0) and titanium nanoparticles with concentrations (40, 30, 20 µM and 0) on the physiological indices of Savory. The field experiment was carried out in Isfahan in the summer of 2019. This experiment was conducted in a factorial manner based on completely randomized design and 3 replications with 2 factors and 4 levels in two harvest times of 24 and 48 hours after the last treatment. According to the results of this research, compared to the control treatment, methyl jasmonate treatments resulted in a significant increase of 1 percent in leaf area, leaf fresh weight, leaf dry weight and length of aerial part in 48 hours after the last treatment. Titanium nanoparticle treatments resulted in a significant increase at the level of 1 percent in leaf width, leaf area, leaf dry weight, leaf fresh weight and length of the aerial part of the plant. Similarly, the flavonoid content increased significantly at a concentration of 30 µM at the level of 1 percent. In combined treatments that were conducted at 48 hours after the last treatment, there was a significant increase in leaf dry weight, leaf area, leaf fresh weight and length of aerial part at the level of 1 percent and a significant increase at the 5 percent level in flavonoid content and activity of dismutase enzyme. It was concluded from the current research that 48 hours after the last treatment is the best time for harvesting. The use of both concentrations of 1 or 0.1 mM methyl jasmonate with 40 µM nanoparticles and 10 mM methyl jasmonate with 30 µM nanoparticles affects the plant positively and can increase the growth and biochemical factors of Savory.

Keywords: Antioxidant Enzymes, Proline, Leaf Area, Flavonoid, Nanoparticles, Wet and Dry Weight
.

Corresponding author, Email: ranjbar@iaufala.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.20.1]