مقاله پژوهشی

بررسی اثر دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر گلدهی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل‌محمدی (*Rosa damascena*) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

یحیی سلاح ورزی*، مریم کمالی و حمید احمدپور

گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰٤/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۳۰)

چکیده

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر تولیدات گیاهی تأثیر منفی می‌گذارد. با توجه به نقش نانوذرات در بهبود عملکرد و مقاومت بیشتر گیاهان به تنش‌های محیطی این آزمایش بر روی گل‌محمدی (*Rosa damascena*) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه‌های علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در بهار و تابستان ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو رژیم آبیاری (هر سه روز (شاهد) و شش روز) و پنج سطح تیتانیوم [صفر (شاهد، عدم‌استفاده از تیتانیوم)، ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم، ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم] بود. نتایج نشان داد اگر چه برهمکنش دو تیمار رژیم‌های آبیاری و دی‌اکسید تیتانیوم بر هیچ یک از صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار نشد اثر ساده رژیم‌های آبیاری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ ٪ و بر وزن خشک گل، تعداد گل و قطر ساقه در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌دار داشت. به این ترتیب سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم با ۰/۲۳٪ بیشترین عملکرد اسانس را داشت. نشت الکترولیت سلول‌های برگی در تیمار سه روز دور آبیاری ٤۹٪ و در تیمار ٦ روز دور آبیاری ۵۹٪ مشاهده شد. بیشترین مقدار نشت الکترولیت در بین تیمارهای تیتانیوم در تیمار عدم‌محلول‌پاشی با تیتانیوم به میزان ٦۸٪ و پس از آن در تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ٦۳٪ بود. افزایش فاصله بین آبیاری‌ها منجر به افزایش فنل کل و کاهش هدایت روزنه‌ای شد. به‌طوری‌که با افزایش فاصله آبیاری از سه به شش روز مقدار فنل کل ۱۷٪ زیاد شد. در بین سطوح تیتانیوم بیشترین مقدار فنل کل (۱/۱۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم و بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمارهای حاوی نانوذرات تیتانیوم یعنی دو تیمار ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. به‌طور کلی کاربرد تیتانیوم در همه سطوح استفاده شده به‌ویژه در سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم در بهبود صفات رویشی و فیزیوشیمیایی گل‌محمدی مؤثر بود.

کلمات کلیدی: تعداد گل، فنل کل، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، وزن خشک

مقدمه

تنش خشکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو ساخته و راندمان تولید را به‌شدت کاهش می‌دهد (Auge *et al*., 2003). خشکی از عوامل مهم محدودکننده تولیدات زراعی و باغی در جهان است و این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Selahvarzi@um.ac. ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

اهمیت بیشتری برخوردار است. حدود یک سوم کره زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک در برمی‌گیرد که وسعت این مناطق بیش از ٤٥ میلیون کیلومتر مربع تخمین زده شده است. وسعت مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران بیش از ۱/۵ میلیون کیلومتر مربع است (Tabaei Aghdaei *et al*., 2010). تنش خشکی می‌تواند یکی از دلایل از بین‌رفتن گیاهان پس از سبزشدن و رشد رویشی آنها باشد (Vicas *et al*., 2008). در گیاهانی که در معرض تنش‌های گوناگون قرار گرفته‌اند میزان گل‌دهی جهت ذخیره‌سازی کربوهیدرات موردنیاز برای حیات، کاهش پیدا می‌کند (Auge *et al*., 2003). بنابراین نیاز به انجام تحقیقات به‌منظور جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان، توسعه ارقام مقاوم به خشکی و دستیابی به دانسته‌های اساسی و بنیادین در زمینه اثرات تنش خشکی روی گیاهان و تأکید بر افزایش پایداری سیستم‌های گیاهی در شرایط خشکی و سال‌های خشک امری ضروری است (Baher *et al*., 2007). یکی از راهکارهای کاهش اثرات زیان‌بار تنش خشکی استفاده از روش‌های تغذیه معدنی نظیر تیتانیوم است (Daood *et al*., 1998). تیتانیوم به‌عنوان یک عنصر سودمند باعث افزایش و تحریک رشد می‌شود (Pais, 1983). نرخ فتوسنتز سه برابر و افزایش ٤٥ درصدی کلروفیل a درنتیجه استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شده است (Zheng *et al*., 2005). نانواکسید تتیانیوم قادر است با بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم رویسکو (Mingyu *et al*., 2007) و نیز افزایش جذب نیترات (Yang *et al*., 2006) و تسریع در تبدیل مواد غیرآلی به آلی باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه شود. تأثیر مثبت نانوذرات تیتانیوم بر فتوسیستم II و غشای تیلاکوئیدی در گیاه اسفناج گزارش شده است. اگر چه دیواره سلول گیاهی به‌عنوان یک سد از ورود عوامل خارجی جلوگیری می‌کند ولی نانوذرات با قطر کمتر از ۲۰ نانومتر قادرند با راحتی از حفرات دیواره سلولی عبور کرده و وارد فضای داخلی سلول و غشای پلاسمایی شوند (Moore, 2006). Gao و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند فعالیت روبیسکو اکتیواز تحت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم افزایش یافت که منجر به بالارفتن کربوکسیلاسیون روبیسکو و نرخ فتوسنتز و درنتیجه توسعه رشد گیاه شد. تحقیقات نشان داده است که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم قادر است با تقویم سیستم آنتی‌اکسیدانی از اثرات مخرب تنش اکسیداتیو و مرگ سلول گیاهی جلوگیری کند (Lei *et al*., 2008). علاوه بر افزایش رشد، تیتانیوم باعث افزایش کیفیت محصولات نیز می‌گردد. گزارش شده است کاربرد تیتانیوم به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌های فلفل باعث افزایش اسید آسکوربیک و کاپسانتین (مسئول ایجاد رنگیزه قرمز) در میوه فلفل شد (Martinez Sanchez *et al*., 1990). از طرفی استفاده از نانوذرات در علم کشاورزی رو به افزایش است و تحقیقات زیادی در بررسی اثرات نانوذرات بر گیاهان مختلف انجام شده است. استفاده از کودهای نانو به‌دلیل برخورداربودن از راندمان جذب بالاتر در دسترسی سریع گیاه به عناصر غذایی، نسبت به کودهای معمولی برتری داشته و مفیدتر هستند (Martinez Sanchez *et al*., 1993). در آزمایشی با محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در دو شرایط کاربرد و عدم‌کاربرد نیتروژن نشان داده شد که در تیمار شاهد تمام برگ‌های پیر اسفناج تحت شرایط کمبود نیتروژن زرد شدند اما وقتی از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شد، این اتفاق نیفتاد. این امر نشان می‌دهد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب تثبیت نیتروژن در برگ‌های اسفناج شده است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که فعالیت نیترات ردوکتاز، گلوتامات و هیدروژناز، گلوتامین سنتاز و گلوتامیک، پیرویک ترانس آمیناز توسط تیمار با نانو دی‌اکسید تیتانیوم افزایش می‌یابد و تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند اسفناج را به جذب نیترات تحریک نماید و تبدیل نیتروژن معدنی را به نیتروژن آلی (نظیر پروتئین و کلروفیل) تشدید کند و عملکرد اسفناج را افزایش دهد (Yang *et al*., 2007). Xuming و همکاران (۲۰۰۸) بعد از خیساندن بذرهای اسفناج به‌مدت ٤٨ ساعت در غلظت ۰/۲۵ درصد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ذرات غیرنانو، تحت شرایط نور با شدت ٤٥۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه در گلدان کاشتند. گیاهچه‌ها در مرحله دو برگی با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۲۵ درصدی اسپری شدند. این کار را تا مرحله هشت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

برگی، هفته‌ای یک بار انجام دادند. نتایج نشان داد در این شرایط فتوسنتز خالص اسفناج در مقایسه با شاهد به میزان ۲۹/۹ درصد بهبود داشت. درنتیجه به بهبود رشد، تشدید سنتز کلروفیل و تحریک سرعت فتوسنتز و درنتیجه افزایش وزن خشک و تجمع مواد آلی در اسفناج منجر شد. محققان دیگری اعلام نمودند که ترکیب نانواکسید سیلیسیوم و تیتانیوم نانو در مقادیر پایین فعالیت نیترات رودکتاز را در ریزوسفر سویا افزایش می‌دهد و درنتیجه جوانه‌زنی و رشد سویا را سرعت می‌بخشد (Lu *et al*., 2002). تحقیقات حاکی از گزارش‌هایی در مورد اثرات مثبت، منفی و حساسیت‌های گیاهان به نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم دارد (Klancnik *et al*., 2011). مطالعات Asli و Neumann (۲۰۰۹) نشان داد که نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌وسیله پرکردن فضای بین میکروفیبریل‌های سلولزی در دیواره سلولی، اثر منفی بر رشد برگ، فعالیت هیدورکسی ریشه و تعرق در گیاهچه ذرت دارد (Asli and Neumann, 2009). در مقایسه Feizi و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر مثبت دی‌اکسید تیتانیوم نانو را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای غیرنانویی آن گزارش نمودند (Feizi *et al*., 2011). گزارش‌های متعددی مبنی بر کاهش اثرات مخرب تنش خشکی توسط نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ارائه شده است (Feizi *et al*., 2011; Zheng, 2007). در واقع این ماده با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مالون دی‌آلدهید در کاهش اثرات ناشی از کم‌آبی مؤثر است (Zheng, 2007). با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و کمبود منابع آبی، آب به‌عنوان یکی ازعوامل محدودکننده تولید، نقش مهمی را در تعیین نوع فعالیت‌های کشاورزی ایفا می‌کند. تغییر الگوی کشت یک راهکار اساسی برای اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی است (Ebrahimi and Sharifzadegan, 2016). با تغییر الگوی کشت از محصولاتی که به آب زیاد در طول دوره رشد خود نیازمند هستند به سمت محصولات با مقاومت بالاتر نسبت به کم‌آبی و محصولاتی که سازگاری بیشتری با شرایط اقلیمی و منطقه‌ای دارند، می‌توان گامی در جهت مدیریت صحیح آب و افزایش بهره‌وری آن برداشت. یکی از محصولات مهم در این زمینه گل محمدی است که با کشت و کار آن در مناطقی که با محدودیت آب مواجه‌اند، می‌توان در راستای افزایش بهره‌وری آب و توسعه پایدار بخش کشاورزی حرکت کرد. در واقع توقع اندک گل‌محمدی و سازگاری و پایداری آن در برابر شرایط نامساعد محیطی و همچنین توجیه اقتصادی بالای آن باعث شده این گیاه در بسیاری از عرصه‌های کشور به‌خصوص زمین‌های کوهپایه‌ای که در آنها امکان کشت بسیاری از گیاهان زراعی محدود است، به‌عنوان یک گیاه راهبردی و اقتصادی مورد توجه قرار گیرد (Ebrahimi and Sharifzadegan, 2016). گل‌محمدی با نام علمی *Rosa damascena* Mill از خانواده *Rosaceae* و متعلق به جنس Rosa است. گل‌محمدی مهم‌ترین گونه معطر خانواده رز در دنیا و از مشهورترین گیاهان در تاریخ باغبانی است و دارای تنوع ژنتیکی بالایی در ایران بوده و از جنبه‌های زینتی، دارویی و صادراتی دارای اهمیت است (Ghahraman, 1994). افزایش تقاضا برای استفاده از گل‌محمدی به‌عنوان تولیدات قابل‌مصرف در صنایع بهداشتی و دارویی و عطرسازی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاه را مشخص می‌سازد (Ghahraman, 1994). بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر عملکرد و صفات فیزیوشیمیایی گل‌محمدی در شرایط کم‌آبیاری اجرا شد.

مواد و روش

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار و سه تکرار در گلخانه‌های علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در بهار و تابستان ۱۳۹۷ اجرا شد. متوسط دمای روزانه و شبانه در گلخانه به‌ترتیب برابر با ۲ ± ۲۵ و ۲ ± ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۷۰-۶۰ درصد تنظیم شد. تیمارهای آزمایش شامل دو رژیم آبیاری (هر سه روز (شاهد) و شش روز) و پنج سطح تیتانیوم (صفر (شاهد، عدم‌استفاده از تیتانیوم)، ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	غلظت تیتانیوم (mg/kg)	پتاسیم قابل‌جذب (mg/kg)	بافت خاک
۷/۱	۵/۵	۱۵	۲۸	۱/۹	۱۹۰	لومی

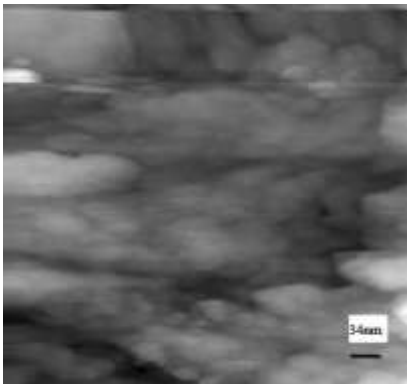
دی‌اکسید تیتانیوم، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم، ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم) در نظر گرفته شد. به‌منظور اعمال تیمارها از نهال دو ساله گل‌محمدی (*Rosa damascena*) استفاده شد. بستر کشت حاوی ۷۰٪ خاک + ۳۰٪ ماسه بود. در جدول ۱ نتایج آنالیز بافت بستر کشت مورد آزمایش آمده است.

پس از آماده‌سازی بستر کشت نهال‌های دو ساله گل‌محمدی با اندازه‌های یکسان در دو نقطه به‌طور مستقیم در گلدان‌های شش کیلوگرمی با قطر دهانه ٤٠ سانتی‌متر کشت شد و دو هفته پس از استقرار کامل، رژیم‌های متفاوت آبیاری اعمال شد. میزان آب موردنیاز در هر نوبت آبیاری براساس ظرفیت زراعی خاک استفاده شده معادل ۳۰۰ میلی‌لیتر در نظر گرفته شد که به فواصل هر سه روز یک بار (سه روز در میان) و هر شش روز یک بار (شش روز در میان) اعمال گردید. گیاهان جمعاً به‌مدت دو ماه تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری قرار گرفتند. تعیین ظرفیت زراعی به‌منظور اعمال سطوح آبیاری به روش وزنی بود. بدین منظور ابتدا گلدان‌های یکدست با وزن و شکل یکسان تهیه و با استفاده از ترازو به‌صورت هم وزن از خاک مزرعه پر شدند. سپس با افزودن آب، خاک هر گلدان را به درجه اشباع رسانده و پس از پوشاندن سطح گلدان‌ها به‌وسیله فویل آلومینیمی (جهت جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک گلدان) به‌مدت ٤٨ ساعت روی سطح مشبک قرار داده شد تا هر گلدان پس از زهکشی آب اضافی به ظرفیت مزرعه برسد. در این مرحله گلدان‌ها به سرعت وزن شده و خاک آنها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت ٢٤ ساعت کاملاً خشک گردید. در ادامه پس از مشخص‌شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال سطوح آبیاری مختلف مشخص گردید. تیمارهای دی‌اکسید تیتانیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگی در غلظت‌های ذکرشده در پنج نوبت با فواصل هفت روز (دو نوبت قبل از آغاز تنش خشکی و سه نوبت بعد شروع تیمار تنش خشکی) اعمال شد. به این منظور تمام اندام هوایی گیاه با تیمارهای تیتانیوم کاملاً محلول‌پاشی شد. نانو دی‌اکسید تیتانیوم استفاده‌شده از شرکت Evonik Degussa GmbH آلمان تهیه شد. سطح ویژه نانوذرات تیتانیوم m^2/g ۵۰، متوسط اندازه ذرات نانو تیتانیوم nm ۲۱ و با خلوص ۹۹/۵٪ بود. سایز و توپوگرافی نانوذرات تیتانیوم با میکروسکوپ تونلی رویشی تعیین شد (شکل ۱ و ۲). دی‌اکسید تیتانیوم غیرنانو از شرکت AppliChem GmbH با خلوص ۹۹٪ تهیه شد.

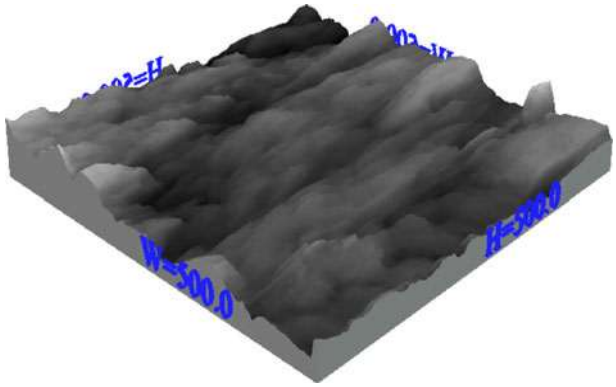
در انتهای آزمایش یعنی پس از اعمال دو رژیم آبیاری و محلول‌پاشی برگی سطوح تیتانیوم (تقریباً دو ماه پس از شروع آزمایش و پس از مشاهده علایم تنش)، قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال و هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (Leaf prometer) ثبت شد. گلدهی حدود یک ماه ادامه داشت و در طی مرحله گلدهی تعداد گل به‌صورت پیوسته شمارش شد. گل‌ها جمع‌آوری شده و وزن خشک کل گل در هر تیمار اندازه‌گیری شد. به‌منظور به‌دست‌آوردن عملکرد اسانس، در آزمایشگاه اسانس‌گیری از گل تازه به روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر انجام شد. برای استخراج کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید برگ تازه به میزان ۰/۲ گرم را کاملاً خرد کرده وآن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹٦٪ ساییده تا به‌صورت توده یکنواختی در آید (عمل ساییدن و له‌کردن در محیط خنک و در نور کم انجام گرفت). مخلوط حاصل از کاغذ صافی رد شده و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت (Dere *et al*., 1998).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]



شکل ۱- تصویر نانوذرات تیتانیوم گرفته‌شده با میکروسکوپ STM



شکل ۲- تصویر توپوگرافی نانوذرات تیتانیوم گرفته‌شده با میکروسکوپ STM

بلافاصله محلول روشناور را برداشته و با اسپکتروفتومتر ساخت شرکت Bio Quest انگلستان، مدل CE 2502، میزان جذب نور در طول‌موج‌های ٦٦٦ و ٦٥٣ نانومتر خوانده شد و نهایتاً غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر به‌دست آمد.

Chl a (µg/ml) = 15.65 A666 - 7.340 A653
Chl b (µg/ml) = 27.05 A653 - 11.21 A666
Chl (total) = Chl a + Chl b
Cx+c = 1000 A470 - 2.860 Ca - 129.2 Cb/245

به‌منظور تعیین میزان پایداری غشای سلولی از شاخص نشت الکترولیت استفاده شد. در این روش ابتدا قطعاتی برگی با اندازه ۲ سانتی‌متر تهیه شد. این قطعات پس از شستشو همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌ها به‌مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر تکان داده شدند. در این مرحله هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج (EC متر)، اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به اتوکلاو با درجه حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. و بدین طریق هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) پس از سردشدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش اندازه‌گیری شد. درنهایت مقادیر نشت الکترولیت از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

El (%) = (EC1/EC2) × 100

فنل محلول کل موجود در عصاره برگ گل‌محمدی با معرف فولین سیکالتو با روش پیشنهادی Singleton و Rossi (۱۹٦۵) اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری صفات، بوته‌ها از خاک خارج، ریشه‌ها شسته شده و جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به آون منتقل شدند و با ترازوی دیجیتال مدل GF-300 با دقت ۰/۰۰۱ مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

آنالیز آماری داده‌های این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C Version 1.42 صورت گرفت و برای رسم نمودارها از برنامه Excel 2007 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری‌شده در گل‌محمدی تیمارشده با دی‌اکسید و نانو دی‌اکسید تیتانیوم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد اسانس	قطر ساقه	تعداد گل	وزن خشک گل	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی
رژیم‌های آبیاری (A)	۱	۰/۰۰۰۱**	۹/۸٦**	۱۱۲/۱۳**	۰/۰۹٥**	۷/۱۱*	۱۹/٥۹^{ns}
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (B)	٤	۰/۰۰۰۱**	۸/۲۸**	۸۷/۳۸**	۰/۰٥٤**	۱۰/۰۲**	۱۷۳/۳۸**
A × B	٤	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۲/۳۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/٥٦^{ns}	۲۳/٥٤^{ns}
خطا	۲۰	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۲/٤۳	۰/۰۰۱	۲/۰٤	۱۰/۳۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۳	٤/٤٤	۸/۸۰	۷/۲۲	۱۹/۲	۱۳/۳۲

*، ** **به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و** ^{ns} **بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار**

نتایج و بحث

براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اگر چه برهمکنش دو تیمار رژیم‌های آبیاری و دی‌اکسید تیتانیوم بر هیچ یک از صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار نشد اثر ساده رژیم‌های آبیاری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵٪ و بر وزن خشک گل، تعداد گل و قطر ساقه در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌دار داشت. همچنین استفاده از تیمار دی‌اکسید تیتانیوم منجر به ایجاد اختلاف معنی‌دار بر تمام صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری‌شده (وزن خشک اندام هوایی، ریشه و گل، تعداد گل و قطر ساقه) شد.

استفاده از تیمار آبیاری بر کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل موجود در برگ گیاه گل‌محمدی اثر معنی‌دار نداشت، ولی مقدار کارتنوئید، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای و فنل کل تحت تأثیر این تیمار قرار گرفت ($P\leq0.001$). درنتیجه استفاده از سطوح متفاوت دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو، تمام صفات فیزیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در آزمایش (کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کارتنوئید، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای و فنل کل) اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ نشان داد، این در حالی است که برهمکنش تیمارهای استفاده‌شده در هیچ یک از صفات ذکرشده در جدول ۳ اثر معنی‌دار نداشت.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه، قطر ساقه، وزن خشک گل و تعداد گل، عملکرد اسانس: براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین اگر چه تغییر دور آبیاری از سه به شش روز تأثیری روی وزن خشک اندام هوایی نداشت، ولی منجر به کاهش وزن خشک ریشه شد. به‌طوری‌که وزن خشک ریشه در تیمار هر سه روز یک بار آبیاری ۷/۸ گرم بود و پس از تغییر دور آبیاری به هر شش روز به ٦/۹ گرم رسید (جدول ٤). تغییر دور آبیاری روی وزن خشک گل و تعداد گل هم تأثیر داشت، به‌طوری‌که با افزایش فاصله دو آبیاری وزن خشک هر گل از ۰/٥ به ۰/٤ گرم رسید. همچنین تعداد گل از میانگین ۱۹/٦ گل در هر بوته در تیمار هر سه روز آبیاری به ۱٥/۸ گل در تیمار هر شش روز آبیاری کاهش یافت. مطالعات روی گیاه همیشه‌بهار نشان داد کاهش عملکرد گل (وزن خشک گل)، ناشی از کاهش تعداد گل و اندازه گلبرگ‌هاست (Rahmani *et al.*, 2009). از طرفی با افزایش فاصله دو آبیاری وزن خشک گل کم شد. به‌نظر می‌رسد کاهش مواد فتوسنتزی به‌علت کاهش وزن خشک گیاه ناشی از کاهش سطح برگ و انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت گل‌ها، سبب کاهش وزن آنها می‌شود (Hopkins, 1995). براساس نتایج، قطر ساقه در گیاهان با فاصله آبیاری هر شش روز حدود ۱/۱ سانتی‌متر کمتر از گیاهانی بود که با فاصله هر سه روز آبیاری می‌شدند. در بین ۵ تیمار تیتانیوم، تیمار ۱٥ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم با میانگین وزن ۳۰ گرم در هر بوته بیشترین وزن خشک اندام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

جدول ۳- میانگین مربعات صفات فیزیوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده در گل‌محمدی تیمارشده با دی‌اکسید و نانو دی‌اکسید تیتانیوم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	فنل کل	نشت الکترولیت	کارتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل *b*	کلروفیل *a*
رژیم‌های آبیاری (A)	۱	۳۵۸**	۰/۱۸٤**	۷۱۸**	۰/۱٦**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (B)	٤	۱۷۸**	۰/۰۵۱**	۹۷٤**	۰/۱۲**	۰/۲۸۳**	۰/۰۷۷**	۰/۰٦٦**
A × B	٤	۱۱/۵^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۱/۸۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۱٦^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
خطا	۲۰	۱۵/۷	۰/۰۱۲	۲۱/۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰٦	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات (٪)		۹/۳۷	۱۱/۱	۸/٦۳	۸/۲۳	۷/۲٦	٦/۷۹	۸/۳٤

*، ** **به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و** ^{ns} **بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار**

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده رژیم‌های آبیاری و دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر صفات مورفولوژیک و فیزیوشیمیایی گل‌محمدی

تیمارها	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای ($mmol/m^2.s$)	فنل کل (mg/g)	نشت الکترولیت (٪)	کارتنوئید (mg/gfw)	کلروفیل کل	کلروفیل *b*
رژیم‌های آبیاری (day)	۳	٤۵/۸^{a}	۰/۹۲٤^{b}	٤۹/۱۲^{b}	۰/٤٦۱^{b}	-	-
	٦	۳۸/۷^{b}	۱/۰۸۱^{a}	۵۸/۹۱^{a}	۰/۵۱۱^{a}	–	-
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (mg/l)	۰	۳۵/۳^{d}	۰/۸۷۹^{c}	٦۸/۵۰^{a}	۰/٤۲۸^{c}	۱/۹۸^{c}	۰/۹۸^{c}
	۱۵	۳۹/٦^{cd}	۰/۹۷٤^{bc}	۵٦/۹٤^{b}	۰/٤۸۰^{bc}	۲/۲۲^{b}	۱/۱۰^{b}
	۳۰	٤۲/۱^{bc}	۰/۹۹۷^{bc}	٦۲/۹٤^{a}	۰/٤۹۰^{b}	۲/۳۳^{b}	۱/۱۸^{b}
	۱۵N	٤۹/۹^{a}	۱/۱۳٦^{a}	٤۲/۵٦^{c}	۰/۵۵۲^{a}	۲/۵۸^{a}	۱/۲۹^{a}
	۳۰N	٤٤/٤^{b}	۱/۰۲۷^{ab}	۳۹/۱٦^{c}	۰/۵۰۳^{ab}	۲/۳۵^{b}	۱/۱۷^{b}
LSD		٤/۷۷	۰/۱۳	۵/٦۱	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۰۹

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

هوایی را داشت. این در حالی است که بین دو تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم در صفت وزن خشک اندام هوایی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم در مقایسه با تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم ۳۳٪ افزایش وزن خشک ریشه داشت. تمام سطوح تیتانیوم محلول‌پاشی‌شده منجر به افزایش وزن خشک گل و تعداد گل شد. به این ترتیب بیشترین وزن خشک گل در دو تیمار ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. همچنین با توجه به نتایج شکل ۳، با کاربرد ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم تعداد گل از میانگین ۱۱/۸ گل در هر بوته در شرایط شاهد (عدم‌محلول‌پاشی با تیتانیوم) به ۱٦/٦ گل در هر بوته افزایش یافت. گیاهانی که با تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم محلول‌پاشی شدند به‌طور میانگین ۱۰ گل بیشتر از گیاهانی داشتند که در آنها محلول‌پاشی صورت نگرفته بود. قطر ساقه بدون اختلاف معنی‌دار در

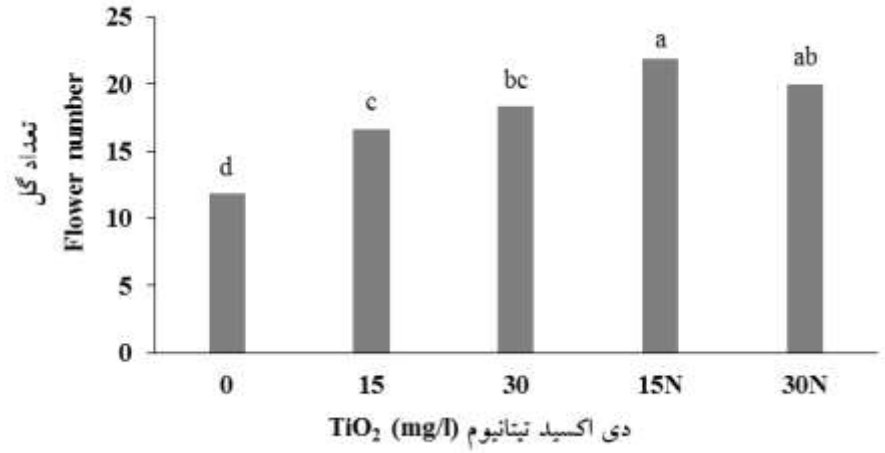
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

ادامه جدول ٤-

تیمارها	درجه آزادی	کلروفیل *a* (mg/gfw)	عملکرد اسانس (% Vol/wt)	قطر ساقه (cm)	تعداد گل	وزن خشک گل (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)
رژیم‌های آبیاری (day)	۳	–	۰/۱۸^{b}	۸/۰٦^{a}	۱۹/٦^{a}	۰/۵۱^{a}	۷/۸۹^{a}
	٦	–	۰/۲۱^{a}	٦/۹۱^{b}	۱۵/۸^{b}	۰/٤۰^{b}	٦/۹۱^{b}
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (mg/l)	۰	۱/۰۰^{c}	۰/۱۸^{c}	۵/۹٦^{e}	۱۱/۸^{d}	۰/۳۱^{d}	۵/٦۷^{c}
	۱۵	۱/۱۲^{b}	۰/۱۸^{c}	٦/۷۹^{d}	۱٦/٦^{c}	۰/٤۱^{c}	٦/۸۷^{bc}
	۳۰	۱/۱٤^{b}	۰/۲۰^{b}	۷/٤۷^{c}	۱۸/۳^{bc}	۰/٤٦^{b}	۷/٤۵^{b}
	۱۵N	۱/۲۹^{a}	۰/۲۳^{a}	۸/۹۵^{a}	۲۱/۸^{a}	۰/۵۵^{a}	۹/۱۹^{a}
	۳۰N	۱/۱۷^{b}	۰/۲۰^{b}	۸/۲۵^{b}	۲۰/۰^{ab}	۰/۵۲^{a}	۷/۸۱^{ab}
LSD		۰/۱۱	۰/۸	۰/٤۰	۱/۸۷	۰/۰۳	۱/۷۲

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.



شکل ۳- تأثیر سطوح دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر تعداد گل. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

تیمارهای ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و تیمار شاهد بود. مطالعات روی گیاه ریحان نشان داد محلول‌پاشی با نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم، موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد گره، عملکرد سرشاخه گلدار، تعداد سرشاخه گلدار، وزن تر و خشک سرشاخه گلدار به‌خصوص در شرایط تنش خشکی شده است (Kia Pour *et al*., 2015). اگر وزن خشک گل و تعداد گل را در گل‌محمدی به‌عنوان شاخصی از عملکرد گیاه در نظر بگیریم مشاهده می‌شود که کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم به دو صورت نانو و غیرنانو منجر به افزایش عملکرد شده است. منطبق با این نتایج در بررسی تأثیرغلظت‌های مختلف نانو دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد و دی‌اکسید تیتانیوم غیرنانویی بر گیاه جو، نتایج نشان داد عملکرد گیاه در تیمار ۰/۰۳٪ نانو دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ۳۲٪ بیشتر از شاهد بود (Moaveni *et al*., 2011).

افزایش فاصله آبیاری از سه به شش روز عملکرد اسانس را ۱٦/٦٪ افزایش داد. این نتیجه نشان می‌دهد تنش آبی موجب

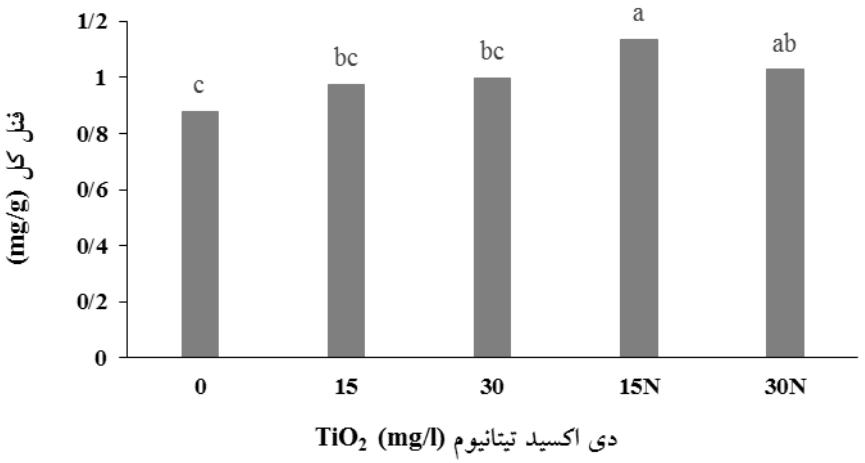
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

افزایش عملکرد اسانس گل‌محمدی می‌شود. در واقع در شرایط تنش، تولید مواد ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. این مواد از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Moghbeli Davudi *et al*., 2014). همچنین بین سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و شاهد (عدم‌محلول‌پاشی) اختلاف معنی‌داری بر عملکرد اسانس مشاهده نشد. سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم با ۰/۲۳٪ بیشترین عملکرد اسانس را داشت و دو تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر عملکرد اسانس تأثیر یکسان داشتند. در واقع یکی از اولین واکنش‌ها به تنش آبی، کاهش رشد است و با طولانی‌شدن دوره خشکی، رشد شاخه و تاج‌پوش اغلب گیاهان کاهش پیدا می‌کند در حالی که رشد ریشه تحریک می‌شود (Walterland, 2010).

کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کارتنوئید: اگر چه رژیم‌های آبیاری اثری بر مقادیر کلروفیل *a*، *b* و کل نداشت با افزایش دور آبیاری مقدار کارتنوئید از ۰/٤٦ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ گیاه گل‌محمدی به ۰/۵۱ میلی‌گرم افزایش یافت. بیشترین مقدار کلروفیل *a*، *b* و کل در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بود و بین سطوح ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسیدتیتانیوم و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم از نظر مقدار کلروفیل *a*، *b* و کل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. درنتیجه استفاده از تیتانیوم مقدار کارتنوئید افزایش یافت به‌طوری‌که مقدار این صفت در شرایط عدم‌محلول‌پاشی تیتانیوم ۰/٤۲ میلی‌گرم بود و در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به ۰/٤۸ میلی‌گرم افزایش یافت. Gao و همکاران (۲۰۰٦) نانوذرات را به‌عنوان یک حسگر محرک زیستی معرفی کرده‌اند که در بهبود جذب نور، تبدیل انرژی نورانی به انرژی الکتریکی و شیمیایی، جذب گاز کربنیک، بیان ژن فعال روبیسکو و درنهایت جلوگیری از پیری کلروپلاست تأثیر دارد (Gao *et al*., 2006). مطالعات بر گیاه اسفناج نشان داد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش رشد شده که این امر به افزایش مقدار کلروفیل، سرعت فتوسنتز و افزایش جذب نور نسبت داده شده است (Hong *et al*., 2005). در مطالعه‌ای علت تجمع کلروفیل درنتیجه استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم را به اثرات مکمل‌های غذایی مانند منیزیم، آهن و گوگرد نسبت دادند (Mahmoodzadeh *et al*., 2013). از طرفی استفاده از نانوذرات تیتانیوم می‌تواند ساختار کلروفیل را بهبود بخشد، جذب نور را افزایش دهد و تشکیل کلروفیل را آسان‌تر کند (Mahmoodzadeh *et al*., 2013). گزارش شده است ۱۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم منجر به افزایش کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در گیاه توت‌فرنگی شد (Hashemi Dehkourdi and Mosavi, 2013; Hashemi Dehkourdi *et al*., 2015). اگر چه در پژوهش حاضر استفاده از تمام سطوح تیتانیوم منجر به افزایش کلروفیل برگ شد، گزارش شده است کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم در شنبلیله منجر به کلروزشدن برگ می‌شود (Missaoui *et al*., 2011). نتایج Mohammadi و همکاران (۲۰۱٦) نشان داد در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم میزان کلروفیل کاهش یافت. از طرفی در گیاه گندم تأثیری از نانوذرات تیتانیوم بر مقدار کلروفیل برگ مشاهده نشد (Mohammadi *et al*., 2016). این نتایج مختلف نشان‌دهنده تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذره در گونه‌های مختلف گیاهان است.

فنل کل، نشت الکترولیت و هدایت روزنه‌ای: نشت الکترولیت سلول‌های برگی در تیمار سه روز دور آبیاری ٤۹٪ و در تیمار شش روز دور آبیاری ۵۸/۹٪ مشاهده شد. بیشترین مقدار نشت الکترولیت در بین تیمارهای تیتانیوم در تیمار عدم‌محلول‌پاشی با تیتانیوم به میزان ٦۸٪ و پس از آن در تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ٦۲/۹٪ بود. افزایش فاصله بین آبیاری‌ها منجر به افزایش فنل کل و کاهش هدایت روزنه‌ای شد. به‌طوری‌که با افزایش فاصله آبیاری از سه به شش روز مقدار فنل کل ۱۷٪ زیاد شد (شکل ٤). در بین سطوح تیتانیوم بیشترین مقدار فنل کل (۱/۱۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم و بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمارهای حاوی نانوذرات تیتانیوم یعنی دو تیمار ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]



شکل ٤- تأثیر سطوح دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر فنل کل. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

شد. گزارش شده است خشکی باعث کمبود آب سلول‌های گیاهی، بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده که با مهار متابولیسم و کاهش میزان فتوسنتز گیاهان منجر به پژمردگی دائم در گیاه می‌شود (Jaleel *et al.*, 2008). از طرفی Qi و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کرد با کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، هدایت آب و سرعت تعرق در برگ‌های گوجه‌فرنگی افزایش پیدا کرد که با نتایج این تحقیق در ارتباط با تأثیر نانوذرات بر هدایت روزنه‌ای گیاه مطابقت دارد. در آزمایشی Lu و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده نمودند ذرات تیتانیوم فعالیت نیترات ردوکتاز را در سویا افزایش داد. TiO_2 نانو توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود. Zheng و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند نانوتیتانیوم با افزایش تشکیل کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم روبسکو و افزایش سرعت فتوسنتز می تواند منجر به افزایش جوانه‌زنی و وزن خشک گیاه در اسفناج شود. همچنین Gao و همکاران (۲۰۰٦) نشان دادند که فعالیت آنزیم روبیسکو در اسفناج تیمارشده با TiO_2 نانو دو برابر فعالیت روبیسکو در شاهد (TiO_2 بدون‌نانو) بود. به این ترتیب نانوذرات تیتانیوم در افزایش فتوسنتز مؤثر است. از طرفی بین فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای رابطه مستقیم وجود دارد. به‌طوری‌که کاهش هدایت روزنه‌ای نشان‌دهنده بسته‌شدن نسبی روزنه‌ها و کاهش تعرق که فرایند خنک‌کننده گیاهان است است. از طرفی بسته‌شدن روزنه‌ها، ورود دی‌اکسید کربن به برگ را مختل کرده و این امر باعث کاهش غلظت دی‌کسید کربن در جایگاه آنزیم رابیسکو شده که نتیجه آن کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس نوری و درنهایت کاهش ماده خشک تولیدی و متعاقب آن کاهش عملکرد خواهد بود. بنابراین با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو تحت تأثیر تیتانیوم میزان هدایت روزنه‌ای افزایش می‌یابد (Karimzade *et al.*, 2017). همان‌طور که در نتایج ذکر شد افزایش فاصله آبیاری منجر به افزایش فنل کل و کارتنوئید شد. در واقع در تنش خشکی با تولید رادیکال‌های آزاد باعث آسیب به گیاهان شده و در این راستا گیاهان قادرند با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی نظیر ترکیبات فنلی و کارتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولیدشده در شرایط تنش محافظت کنند (Bettaieb *et al.*, 2007). تحقیقات نشان داده است نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم قادر است سیستم آنتی‌اکسیدانتی را تقویت و از مرگ سلول جلوگیری کند (Zheng, 2007).

نتیجه‌گیری

افزایش فاصله آبیاری از سه به شش روز منجر به کاهش صفات رویشی و فیزیولوژیک گل‌محمدی شد. مقدار تجمع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

فنل کل و کارتنوئید را افزایش داد. همچنین کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم به هر دو فرم نانو و غیرنانو میزان وزن خشک کل بوته و تعداد گل را افزایش داد. در بهبود کلروفیل برگ گیاه اثر داشت و منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش نشت الکترولیت شد. افزایش فاصله آبیاری از سه به شش روز عملکرد اسانس را افزایش داد. این نتیجه نشان داد تنش آبی موجب افزایش عملکرد اسانس گل‌محمدی می‌شود. در واقع در شرایط تنش، تولید مواد ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین عملکرد اسانس را داشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از واحد ویژه خدمات تخصصی علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد بابت تأمین هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

Asli, S. and Neumann, P. M. (2009) Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. Plant, Cell and Environment 32: 577-584.

Auge, R. M., Stodola, A. J. W., Moore, J. L., Klingeman, W. E. and Duan, X. (2003) Comparative dehydratation tolerance of foliage of several ornamental crops. Science Horticulture 98: 511-516.

Baher Nik, Z., Mirza1, M., Abbaszadeh, B. and Naderi Hajy Bagher Candy, M. (2007) The effect of metabolism in response to water stress in *Parthenium argentatum* Gray. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23: 315-322.

Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. (2010) Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. Acta Physiology Plant 33: 1103-1111.

Daood, H. G., Biacs, P., Feher, M., Hajdu, F. and Pais, I. (1998) Effect of titanium on the activity of lipoxygenase. Journal of Plant Nutrition 11: 505-516.

Dere, S., Gunes, T. and Sivaci, R. (1998) Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Journal of Botany 22: 13-17.

Ebrahimi, M. H. and Sharif Zadegan, R. (2016) Getting to know with the principles of *Rosa damascena*. Agricultural Coordinator of Agriculture Promotion Organization of Qom Province.

Feizi, H., Rezvani Moghadam, P., Fotovat, A. and Shah Tahmasbi, N. (2011) Reaction of wheat seedto different concentrations of titanium dioxide nanoparticles in comparison with nonnano-particles. In: Proceeding of the 2th Congress on Science and Technology Seed, Mashhad, Iran.

Gao, F., Hong, F., Liu, C., Zheng, L., Su, M., Wu, X., Yang, F., Wu, C. and Yang, P. (2006) Mechanism of nanoanatase TiO_2 on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: Inducing complex of rubisco-rubisco activase. Biological Trace Element Research 111: 239-253.

Ghahraman, A. (1994) Iranian Cormophytes (Systematic Herbal)3th Ed. Academic Publishing Center, Tehran.

Hashemi Dehkourdi, E. and Mosavi, M. (2013) Effect of anatase nanoparticles (TiO_2) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) in vitro. Biological Trace Element Research 155: 283-286.

Hashemi Dehkourdi, E., Mousavi, M., Moallemi, N. and Ghafariyan moghareb, M. H. (2015) Effect of nanoparticles of titanium dioxide (anatase) on physiological characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* c.v.Queen Elisa) in hydroponic condition. Journal of Plant Physiology 5: 1-8.

Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L. and Yang, P. (2005) Effect of nano-TiO_2 on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research 105: 269-279.

Hopkins, W. G. (1995) Introduction to plant physiology. John Wiley and Sons, Inc, New York, USA.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Lakshmanan, G. M. A., Gomathinayagam, M. and Panneerselvam, R. (2008) "Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus*under soil water deficits", colloids and surfaces B. Biointerfaces 61: 298-303.

Karimzade, H., Nezami, A., Kafi, M. and Tadayon, M. R. (2017) Evaluation of stomatal conductance, plant shading temperature and leaf water content of chitai bean genotypes in low irrigation conditions. Journal of Crop Physiology 8: 105-118.

Kia pour, H., Moaveni, P. and Habibi, D. (2015) Evaluation of the application of gibbrellic acid and titanium dioxide nanoparticles under drought stress on some traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR) 6: 138-150.

Klancnik, K., Drobne, D., Valant, J. and Dolenc Koce, J. (2011) Use of a modified allium test with nano-TiO_2. Ecotoxicology and Environmental Safety 74: 85-92.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

Lei, Z., Su, M. Y., Wu, X., Liu, C., Qu, C. X., Chen, L., Huang, H., Liu, X. Q. and Hong, F. S. (2008) Effect of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research 121: 69-79.

Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wen, J. Q., Wu, G. R. and Tao, M. X. (2002) Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. Soybean Science 21: 168-172.

Mahmoodzadeh, H., Aghili, R. and Nabavi, M. (2013) Physiological effects of TiO_2 nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum*). Technical Journal of Engineering and Applied Sciences 3: 1365-1370.

Martinez-Sanchez, F., Gimenez, J. L., Martinez-Canadas, M. A., Pastor, J. J. and Alcaraz, C. F. (1990) Micronutrient composition in several portions of capsicum plants and their relation with red fruit color. Acta Aliment 19: 177-185.

Martinez-Sanchez, F., Nunez, M., Amoros, A., Gimenez, J. L. and Alcaraz, C. F. (1993) Effect of titanium leaf spray treatments on ascorbic acid levels of *Capsicum annuum* L. fruits. Journal Plant Nutrition 16: 975-981.

Mingyu, W., Xiao, L., Chao, Q., Chunxiang, L., Xiaoqing, C., Liang, H. and Hao, H. (2007) Promotion of energy transfer and oxygen evolution in spinach photosystem II by nano-anatase TiO_2. Biological Trace Element Research 119: 183-192.

Missaoui, T. M., Smiri, H. and Chmingui 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. A., TalebiAliabadi Farahani, H. and Maroufi, K. (2011) Study of nano particles TiO2 spraying on some yield components in barley (*Hordem Vulgare* L.). International Conference on Environmental and Agriculture Engineering 15: 115-119.

Moghbeli Darudi, A., Delbari, M. N. and Kuhi, N. (2014) Effect of surface and sub-surface drip irrigation on the yield of mohammadi flower under different irrigation regimes. Iranian Journal of Soil and Water Research 45: 405-412.

Mohammadi, H., Esmalipour, M. and Gheranpaye, A. (2016) Effects of TiO_2 nanoparticles and water-deficit stress on morpho-physiological characteristics of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) plants. Acta Agriculturae Slovenica 107: 385-396.

Moore, M. N. (2006) Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? Environment International 32: 967-976.

Pais, I. (1983) The biological importance of titanium. Journal of Plant Nutrition 6: 3-131.

Qi, M., Liu, Y. and Li, T. (2013) Nano-TiO_2 improves the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. Biological Trace Element Research 156: 323-328.

Rahmani, N., Daneshian, J., Valadabadi, S. A. R. and Bigdeli, M. (2009) Effects of water deficit stress and application of nitrogen on yield and growth characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L). Journal of Iranian Field Crop Research 7: 443-450. (In Farsi)

Singleton, V. L. and Rossi, J. A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture 16: 144-158.

Tabaei Aghdaei, S. R., Gllab Ghadaksaz, R. and Ashraf Jafari, A. (2010) Correlation between flower yield and different characters in *Rosa damascena* mill. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 11: 61-70.

Vicas, S. I., Purcarea, C., Ruszkai, L. and Laslo, V. (2008) Separation of pigments from petunia's petals using thin layer chromatography. Faculty of Environmental Protection 8: 251-255.

Walterland, N. L. (2010) Abscisic acid applocation enhances drought stress tolerance in bedding plants. Horticulture Science 45: 409-413.

Xuming, W., Fengqing, G., Linglan, M., Jie, L., Sitao, Y., Ping, Y. and Fashui, H. (2008) Effects of nano-anatase on ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase mRNA expression in spinach. Biological Trace Element Research 126: 280-289.

Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C. and Yang, P. (2006) Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-190.

Yang, F., Liu, C., Gao, F., Su, M., Wu, X., Zheng, L., Hong, F. and Yang, P. (2007) The improvement of spinach growth by nano-anatase TiO_2 treatment is related to nitrogen photoreduction. Biological Trace Element Research 119: 77-88.

Zheng, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. (2005) Effect of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research 105: 83-91.

Zheng, L., Su, M., Liu, Ch., Chen, L., Huang, H., Wu, X., Liu, X., Yang, F. and Hong, F. (2007) Effects of nanoanatase TiO_2 on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. Biological Trace Element Research 119: 68-76.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]

Effect of nano and balk titanium dioxide on flowering and morph physiological traits of *Rosa damascena* under different irrigation regimes

Yahya Selahvarzi*, Maryam Kamali and Hamid Ahmadpour
Department of Horticultural Science and landscape engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Received: 20/07/2019, Accepted: 21/12/2019)

Abstract

Drought is one of the most important environmental stresses that negatively affects crop production. Considering the role of nanoparticles in improving the yield and resistance of plants to environmental stresses, this experiment was conducted on *Rosa damascena* as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications that was performed in the greenhouses of the Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad in spring and summer of 2018. The treatments consisted of two irrigation regimes (every three days (control), and every six days) and five levels of titanium (0 (control, no titanium), 15 ppm titanium dioxide, 30 ppm titanium dioxide, 15 ppm nano-titanium dioxide, 30 ppm nano-titanium dioxide). The results showed that although the interaction of two treatments of irrigation and titanium dioxide regimes on any of the morphological traits was not significant, the simple effect of irrigation regimes on root dry weight, flowers dry weight, number of flowers and stem diameter had a significant effect. Thus, the level of 15 ppm nano-titanium dioxide with 0.23% had the highest essential oil yield. The electrolyte leakage was observed at 49% for 3 days of irrigation and 58.9% for 6 days irrigation intervals. The highest amount of electrolyte leakage was observed in the control (68%) and then in 30 ppm titanium dioxide treatment (62.9%). Increasing the distance between irrigations resulted in increased total phenol and reduced stomatal conductance. Among the titanium levels, the highest total phenol (1.13 mg/g) was observed in 15 ppm nano-titanium dioxide treatment and the highest stomatal conductance was observed in 15 and 30 ppm nano titanium dioxide treatments. In general, the use of titanium at all levels, especially in the 15-ppm nano titanium dioxide, was effective in improving the vegetative and physiochemical properties of *Rosa damascene*.

Keywords: Chlorophyll, Dry weight, Flower number, Stomatal conductance, Total phenol

Corresponding author, Email: Selahvarzi@um.ac. ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.12.9]