

بررسی اثر دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر گلدهی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل محمدی (*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: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹، 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*) به صورت 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، عدم استفاده 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 اندازه‌گیری شده 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 ۲۳٪ بیشترین عملکرد اسانس را داشت. نشت الکترولیت سلول‌های برگ در تیمار سه روز دور آبیاری ۴۹٪ و در تیمار ۶ روز دور آبیاری ۵۹٪ مشاهده شد. بیشترین مقدار نشت الکترولیت در بین تیمارهای تیتانیوم در تیمار عدم محلول‌پاشی با تیتانیوم به میزان ۶۸٪ و پس از آن در تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ۶۳٪ بود. افزایش فاصله بین آبیاری‌ها منجر به افزایش فنل کل و کاهش هدایت روزنه‌ای شد. به طوری که 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. به طور کلی کاربرد تیتانیوم در همه سطوح استفاده شده به‌ویژه در سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم در بهبود صفات رویشی و بیوشیمیایی گل محمدی مؤثر بود.

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

مقدمه

تولید را به شدت 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

تنش خشکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو ساخته و راندمان

رویسکو و نرخ فتوسنتز و در نتیجه 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 به صورت محلول‌پاشی روی برگ‌های فلفل باعث افزایش اسید آسکوربیک و کاپسانتین (مسئول ایجاد رنگ‌بزه 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 به دلیل برخورداری 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 عدم کاربرد 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 بذره‌های اسفناج به مدت ۴۸ ساعت در غلظت ۰/۲۵ درصد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ذرات غیرنانو، تحت شرایط نور با شدت ۴۵۰ 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

اهمیت بیشتری برخوردار است. حدود یک سوم کره زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک در برمی‌گیرد که وسعت این مناطق بیش از ۴۵ میلیون کیلومتر مربع تخمین زده شده است. وسعت مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران بیش از ۱/۵ میلیون کیلومتر مربع است (Tabaei Aghdai et al., 2010). تنش خشکی می‌تواند یکی از دلایل از بین رفتن گیاهان پس از سبز شدن و رشد رویشی آنها باشد (Vicas et al., 2008). در گیاهانی که در معرض تنش‌های گوناگون قرار گرفته‌اند میزان گل‌دهی جهت ذخیره‌سازی کربوهیدرات مورد نیاز برای حیات، کاهش پیدا می‌کند (Auge et al., 2003). بنابراین نیاز به انجام تحقیقات به منظور 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 ۴۵ درصدی کلروفیل a در نتیجه استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شده است (Zheng et al., 2005). نانو‌اکسید تیتانیوم 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 غیر آلی 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 رویسکو اکتیواز تحت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم افزایش یافت که منجر به بالا رفتن کربوکسیلاسیون

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. در نتیجه به بهبود رشد، تشدید سنتز کلروفیل و تحریک سرعت فتوسنتز و در نتیجه 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 رودکناز را در ریزوسفر سویا افزایش می‌دهد و در نتیجه جوانه‌زنی و رشد سویا را سرعت می‌بخشد (Lu et al., 2002). تحقیقات حاکی از گزارش‌هایی در مورد اثرات مثبت، منفی و حساسیت‌های گیاهان به نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم دارد (Klancnik et al., 2011). مطالعات Neumann و Asli (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 نانو ذرات 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 از عوامل 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 گل محمدی 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). گل محمدی با نام علمی *Rosa damascena* Mill از خانواده *Rosaceae* و متعلق به جنس *Rosa* است. گل محمدی 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 گل محمدی به‌عنوان تولیدات قابل مصرف 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 گل محمدی 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 25 ± 2 و 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۶۰-۷۰ 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

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

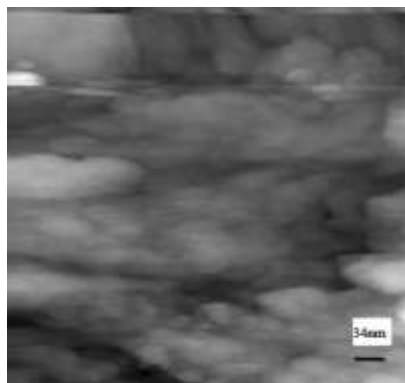
اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب	غلظت تیتانیوم (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب	بافت خاک
۷/۱	۵/۵	۱۵	۲۸	۱/۹	۱۹۰	لومی

دی اکسید تیتانیوم، ۳۰ میلی گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم، ۱۵ میلی گرم بر لیتر نانو دی اکسید تیتانیوم، ۳۰ میلی گرم بر لیتر نانو دی اکسید تیتانیوم) در نظر گرفته شد. به منظور اعمال تیمارها از نهال دو ساله گل محمدی (*Rosa damascena*) استفاده شد. بستر کشت حاوی ۷۰٪ خاک + ۳۰٪ ماسه بود. در جدول ۱ نتایج آنالیز بافت بستر کشت مورد آزمایش آمده است.

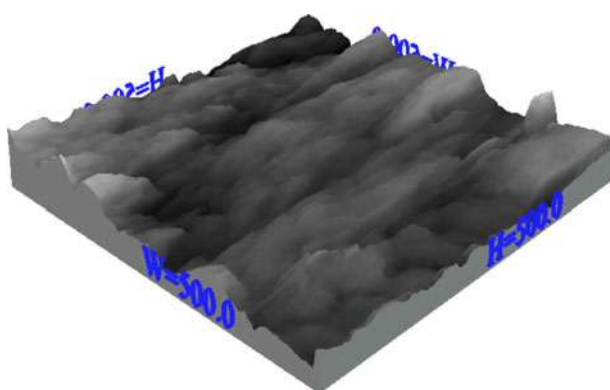
پس از آماده سازی بستر کشت نهال های دو ساله گل محمدی با اندازه های یکسان در دو نقطه به طور مستقیم در گلدان های شش کیلوگرمی با قطر دهانه ۴۰ سانتی متر کشت شد و دو هفته پس از استقرار کامل، رژیم های متفاوت آبیاری اعمال شد. میزان آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری براساس ظرفیت زراعی خاک استفاده شده معادل ۳۰۰ میلی لیتر 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 به مدت دو ماه تحت رژیم های متفاوت آبیاری قرار گرفتند. تعیین ظرفیت زراعی به منظور اعمال سطوح آبیاری به روش وزنی بود. بدین منظور ابتدا گلدان های یکدست با وزن و شکل یکسان تهیه و با استفاده از ترازو به صورت هم وزن از خاک مزرعه پر شدند. سپس با افزودن آب، خاک هر گلدان را به درجه اشباع رسانده و پس از پوشاندن سطح گلدان ها به وسیله فویل آلومینیمی (جهت جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک گلدان) به مدت ۴۸ ساعت روی سطح مشبک قرار داده شد تا هر گلدان پس از زهکشی آب اضافی به ظرفیت مزرعه برسد. در این مرحله گلدان ها به سرعت وزن شده و خاک آنها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و در مدت ۲۴ ساعت کاملاً خشک گردید. در ادامه پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال سطوح

آبیاری مختلف مشخص گردید. تیمارهای دی اکسید تیتانیوم به صورت محلول پاشی برگی در غلظت های ذکر شده 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 محلول پاشی شد. نانو دی اکسید تیتانیوم استفاده شده از شرکت Evonik Degussa GmbH آلمان تهیه شد. سطح ویژه نانوذرات تیتانیوم $50 \text{ m}^2/\text{g}$ ، متوسط اندازه ذرات نانو تیتانیوم 21 nm و با خلوص ۹۹/۵٪ بود. سایز و توپوگرافی نانوذرات تیتانیوم با میکروسکوپ تونلی رویشی تعیین شد (شکل ۱ و ۲). دی اکسید تیتانیوم غیرنانو از شرکت AppliChem GmbH با خلوص ۹۹٪ تهیه شد.

در انتهای آزمایش یعنی پس از اعمال دو رژیم آبیاری و محلول پاشی برگی سطوح تیتانیوم (تقریباً دو ماه پس از شروع آزمایش و پس از مشاهده علائم تنش)، قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی و هدایت روزنه ای با دستگاه پرومتر (Leaf promoter) ثبت شد. گلدهی حدود یک ماه ادامه داشت و در طی مرحله گلدهی تعداد گل به صورت پیوسته شمارش شد. گل ها جمع آوری شده و وزن خشک کل گل در هر تیمار اندازه گیری شد. به منظور به دست آوردن عملکرد اسانس، در آزمایشگاه اسانس گیری 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 و آن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی لیتر متانول ۹۶٪ ساییده تا به صورت توده یکنواختی در آید (عمل ساییدن و له کردن در محیط خنک و در نور کم انجام گرفت). مخلوط حاصل از کاغذ صافی رد شده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت (Dere et al., 1998).



شکل ۱- تصویر نانوذرات تیتانیوم گرفته شده با میکروسکوپ STM



شکل ۲- تصویر توپوگرافی نانوذرات تیتانیوم گرفته شده با میکروسکوپ STM

الکتریکی ثانویه (EC₂) پس از سرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش اندازه‌گیری شد. در نهایت مقادیر نشت الکترولیت از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$EI (\%) = (EC1/EC2) \times 100$$

فنل محلول کل موجود در عصاره برگ گل محمدی با معرف فولین سیکالتو با روش پیشنهادی Singleton و Rossi (۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری صفات، بوته‌ها از خاک خارج، ریشه‌ها شسته شده و جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی به مدت ۴۸ 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.

بلافاصله محلول روشناور را برداشته و با اسپکتروفتومتر ساخت شرکت Bio Quest انگلستان، مدل CE 2502، میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۶ و ۶۵۳ نانومتر خوانده شد و نهایتاً غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر به دست آمد.

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = 15.65 \text{ A666} - 7.340 \text{ A653}$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = 27.05 \text{ A653} - 11.21 \text{ A666}$$

$$\text{Chl (total)} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

$$\text{Cx+c} = 1000 \text{ A470} - 2.860 \text{ Ca} - 129.2 \text{ Cb}/245$$

به منظور تعیین میزان پایداری غشای سلولی از شاخص نشت الکترولیت استفاده شد. در این روش ابتدا قطعاتی برگ‌گی با اندازه ۲ سانتی‌متر تهیه شد. این قطعات پس از شستشو همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌ها به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به وسیله شیکر تکان داده شدند. در این مرحله هدایت الکتریکی اولیه (EC₁) به وسیله دستگاه هدایت‌سنج (EC متر)، اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به اتوکلاو با درجه حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. و بدین طریق هدایت

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در گل محمدی تیمار شده 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**	۹/۸۶**	۱۱۲/۱۳**	۰/۰۹۵**	۷/۱۱*	۱۹/۵۹ ^{ns}
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (B)	۴	۰/۰۰۰۱**	۸/۲۸**	۸۷/۳۸**	۰/۰۵۴**	۱۰/۰۲**	۱۷۳/۳۸**
A × B	۴	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۲/۳۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۵۶ ^{ns}	۲۳/۵۴ ^{ns}
خطا	۲۰	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۲/۴۳	۰/۰۰۱	۲/۰۴	۱۰/۳۰
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۳	۴/۴۴	۸/۸۰	۷/۲۲	۱۹/۲	۱۳/۳۲

*، ** به ترتیب 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 اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد اثر ساده رژیم‌های آبیاری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۰.۵٪ و بر وزن خشک گل، تعداد گل و قطر ساقه در سطح احتمال ۰.۱٪ اثر معنی‌دار داشت. همچنین استفاده از تیمار دی‌اکسید تیتانیوم منجر به ایجاد اختلاف معنی‌دار بر تمام صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده (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 گل محمدی اثر معنی‌دار نداشت، ولی مقدار کارتنوئید، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای و فنل کل تحت تأثیر این تیمار قرار گرفت ($P \leq 0.001$). در نتیجه 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 ۰.۱٪ نشان داد، این در حالی است که برهمکنش تیمارهای استفاده شده در هیچ یک از صفات ذکر شده 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. به طوری که 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 ۶/۹ گرم رسید (جدول ۴). تغییر دور آبیاری روی وزن خشک گل و تعداد گل هم تأثیر داشت، به طوری که با افزایش فاصله دو آبیاری وزن خشک هر گل از ۰/۵ به ۰/۴ گرم رسید. همچنین تعداد گل از میانگین ۱۹/۶ گل در هر بوته در تیمار هر سه روز آبیاری به ۱۵/۸ 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. به نظر می‌رسد کاهش مواد فتوسنتزی به علت کاهش وزن خشک گیاه ناشی از کاهش سطح برگ و انتقال مواد آسمیلاتی 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 ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم با میانگین وزن ۳۰ گرم در هر بوته بیشترین وزن خشک اندام

جدول ۳- میانگین مربعات صفات فیزیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در گل محمدی تیمار شده با دی‌اکسید و نانو دی‌اکسید تیتانیوم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	فنل کل	نشست الکترولیت	کارتونئید کل	کلروفیل کل	کلروفیل <i>b</i>	کلروفیل <i>a</i>
رژیم‌های آبیاری (A)	۱	۳۵۸**	۰/۱۸۴**	۷۱۸**	۰/۱۶**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (B)	۴	۱۷۸**	۰/۰۵۱**	۹۷۴**	۰/۱۲**	۰/۲۸۲**	۰/۰۷۷**	۰/۰۶۶**
A × B	۴	۱۱/۵ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۱/۸۰ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
خطا	۲۰	۱۵/۷	۰/۰۱۲	۲۱/۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات (%)		۹/۳۷	۱۱/۱	۸/۶۳	۸/۲۳	۷/۲۶	۶/۷۹	۸/۳۴

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده رژیم‌های آبیاری و دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر صفات مورفولوژیک و فیزیوشیمیایی گل محمدی

تیمارها	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای (mmol/m ² .s)	فنل کل (mg/g)	نشست الکترولیت (%)	کلروفیل کل (mg/gfw)	کارتونئید (mg/gfw)	کلروفیل <i>b</i>
رژیم‌های آبیاری (day)	۳	۴۵/۸ ^a	۰/۹۲۴ ^b	۴۹/۱۲ ^b	-	۰/۴۶۱ ^b	-
	۶	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	۶۸/۵۰ ^a	۱/۹۸ ^c	۰/۴۲۸ ^c	۰/۹۸ ^c
	۱۵	۳۹/۶ ^{cd}	۰/۹۷۴ ^{bc}	۵۶/۹۴ ^b	۲/۲۲ ^b	۰/۴۸۰ ^{bc}	۱/۱۰ ^b
	۳۰	۴۲/۱ ^{bc}	۰/۹۹۷ ^{bc}	۶۲/۹۴ ^a	۲/۳۳ ^b	۰/۴۹۰ ^b	۱/۱۸ ^b
	۱۵N	۴۹/۹ ^a	۱/۱۳۶ ^a	۴۲/۵۶ ^c	۲/۵۸ ^a	۰/۵۵۲ ^a	۱/۲۹ ^a
	۳۰N	۴۴/۴ ^b	۱/۰۲۷ ^{ab}	۳۹/۱۶ ^c	۲/۳۵ ^b	۰/۵۰۳ ^{ab}	۱/۱۷ ^b
LSD		۴/۷۷	۰/۱۳	۵/۶۱	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۰۹

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

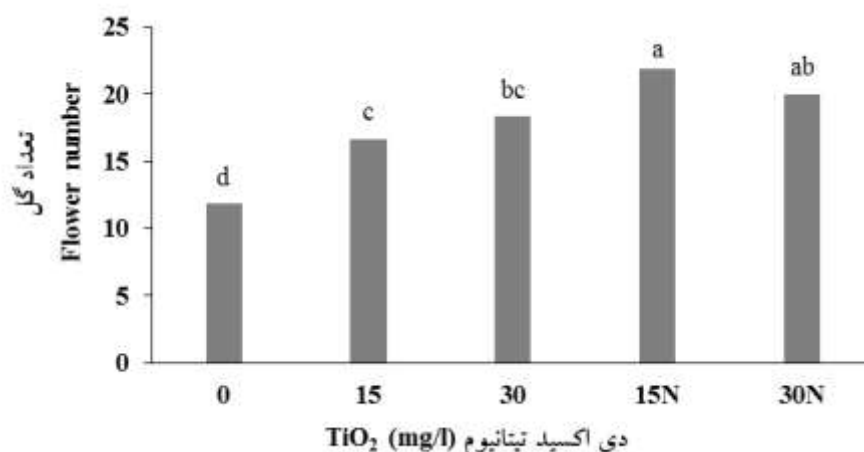
تیمار ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. همچنین با توجه به نتایج شکل ۳، با کاربرد ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم تعداد گل از میانگین ۱۱/۸ گل در هر بوته در شرایط شاهد (عدم محلول‌پاشی با تیتانیوم) به ۱۶/۶ گل در هر بوته افزایش یافت. گیاهانی که با تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر 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

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 محلول‌پاشی شده منجر به افزایش وزن خشک گل و تعداد گل شد. به این ترتیب بیشترین وزن خشک گل در دو

ادامه جدول ۴-

تیمارها	درجه آزادی	کلروفیل <i>a</i> (mg/gfw)	عملکرد اسانس (% Vol/wt)	قطر ساقه (cm)	تعداد گل	وزن خشک گل (g/plant)	وزن خشک ریشه
رژیم‌های آبیاری (day)	۳	-	۰/۱۸ ^b	۸/۰۶ ^a	۱۹/۶ ^a	۰/۵۱ ^a	۷/۸۹ ^a
	۶	-	۰/۲۱ ^a	۶/۹۱ ^b	۱۵/۸ ^b	۰/۴۰ ^b	۶/۹۱ ^b
دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (mg/l)	۰	۱/۰۰ ^c	۰/۱۸ ^c	۵/۹۶ ^e	۱۱/۸ ^d	۰/۳۱ ^d	۵/۶۷ ^c
	۱۵	۱/۱۲ ^b	۰/۱۸ ^c	۶/۷۹ ^d	۱۶/۶ ^c	۰/۴۱ ^c	۶/۸۷ ^{bc}
	۳۰	۱/۱۴ ^b	۰/۲۰ ^b	۷/۴۷ ^c	۱۸/۳ ^{bc}	۰/۴۶ ^b	۷/۴۵ ^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	۰/۴۰	۱/۸۷	۰/۰۳	۱/۷۲

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۰.۵٪، 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 ۰.۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

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 تأثیر غلظت‌های 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 ۱۶/۶٪ افزایش داد. این نتیجه نشان می‌دهد تنش آبی موجب

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 گل محمدی به‌عنوان شاخصی از عملکرد گیاه در نظر

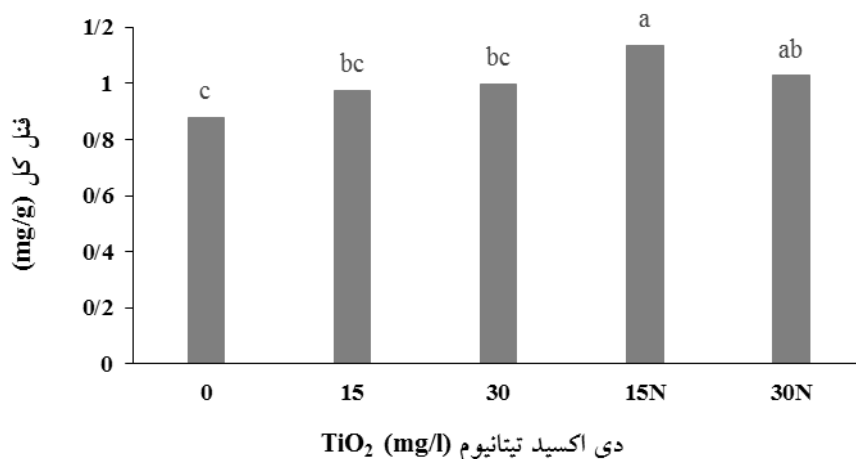
افزایش عملکرد اسانس گل محمدی می‌شود. در واقع در شرایط تنش، تولید مواد ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. این مواد از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Moghbeli et al., 2014). همچنین بین سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و شاهد (عدم محلول‌پاشی) اختلاف معنی‌داری بر عملکرد اسانس مشاهده نشد. 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 ۰/۴۶ 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 دی‌اکسید تیتانیوم و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم از نظر مقدار کلروفیل a، b و کل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در نتیجه استفاده از تیتانیوم مقدار کارتنوئید افزایش یافت به طوری که مقدار این صفت در شرایط عدم محلول‌پاشی تیتانیوم ۰/۴۲ میلی‌گرم بود و در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به ۰/۴۸ میلی‌گرم افزایش یافت. Gao و همکاران (۲۰۰۶) 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 رویسکو و در نهایت 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 در نتیجه 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 کلروشدن برگ می‌شود (Missaoui et al., 2011). نتایج Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) 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.

فصل کل، نشت الکترولیت و هدایت روزنه‌ای: نشت الکترولیت سلول‌های برگ‌گی در تیمار سه روز دور آبیاری ۰/۴۹٪ و در تیمار شش روز دور آبیاری ۰/۵۸/۹٪ مشاهده شد. بیشترین مقدار نشت الکترولیت در بین تیمارهای تیتانیوم در تیمار عدم محلول‌پاشی با تیتانیوم به میزان ۰/۶۸٪ و پس از آن در تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ۰/۶۲/۹٪ بود. افزایش فاصله بین آبیاری‌ها منجر به افزایش فصل کل و کاهش هدایت روزنه‌ای شد. به طوری که با افزایش فاصله آبیاری از سه به شش روز مقدار فصل کل ۰/۱۷٪ زیاد شد (شکل ۴). در بین سطوح تیتانیوم بیشترین مقدار فصل 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

افزایش عملکرد اسانس گل محمدی می‌شود. در واقع در شرایط تنش، تولید مواد ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. این مواد از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Moghbeli et al., 2014). همچنین بین سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم و شاهد (عدم محلول‌پاشی) 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 ۰/۴۶ 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 دی‌اکسید تیتانیوم و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم از نظر مقدار کلروفیل a، b و کل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در نتیجه استفاده از تیتانیوم مقدار کارتنوئید افزایش یافت به طوری که مقدار این صفت در شرایط عدم محلول‌پاشی تیتانیوم ۰/۴۲ میلی‌گرم بود و در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به ۰/۴۸ میلی‌گرم افزایش یافت. Gao و همکاران (۲۰۰۶) 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 رویسکو و در نهایت 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 در نتیجه 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 کلروشدن برگ می‌شود (Missaoui et al., 2011). نتایج Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) 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.



شکل ۴- تأثیر سطوح دی اکسید تیتانیوم و نانو دی اکسید تیتانیوم بر فنل کل. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

که فرایند خنک‌کننده گیاهان است. از طرفی بسته‌شدن روزنه‌ها، ورود دی‌اکسید کربن به برگ را مختل کرده و این امر باعث کاهش غلظت دی‌اکسید 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 رابیسکو 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 نانو ذرات 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

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. TiO₂ نانو توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود. Zheng و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند نانو تیتانیوم با افزایش تشکیل کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و افزایش سرعت فتوسنتز می‌تواند منجر به افزایش جوانه‌زنی و وزن خشک گیاه در اسفناج شود. همچنین Gao و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که فعالیت آنزیم رابیسکو در اسفناج تیمارشده با TiO₂ نانو دو برابر فعالیت رابیسکو در شاهد (TiO₂ بدون نانو) 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

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.

فنل کل و کارتوئید 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 گل محمدی می‌شود. در واقع در شرایط تنش، تولید مواد ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. سطح

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 dehydration 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 lipooxygenase. *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 Zadehan, 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 seed to 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 TiO₂ 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 (TiO₂) 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-TiO₂ 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 gibberellic 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-TiO₂. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 85-92.

- 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-TiO₂ 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 TiO₂ 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 TiO₂. *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 TiO₂ 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-TiO₂ 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 application 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 TiO₂ 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 TiO₂ 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-TiO₂ 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 TiO₂ on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. *Biological Trace Element Research* 119: 68-76.

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