

اثر تیمار بذور با نانوذرات تیتانیم معمولی و رنگی بر جذب عناصر و فعالیت آنزیمی

حسن میر^۱ - احمد غلامعلی زاده^{۲*} - نوشین میر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۸

چکیده

گزارشات بسیاری در مورد افزایش رشد گیاهانی که در معرض نانومواد و کاربرد خارجی آنها قرار گرفته‌اند وجود دارد. هدف از انجام این آزمایش بررسی احتمالی افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه سورگوم توسط نانوذرات تیتانیم حساس شده به رنگ می‌باشد که بدین منظور جهت بررسی اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم معمولی در مقایسه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم حساس به رنگ بر برخی خصوصیات گیاه سورگوم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار شامل شش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و شش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگ (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در ۳ تکرار اجرا شد. خصوصیات مورد نظر عبارتند از: وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه، عناصر غذایی شامل: فسفر، پتاسیم، منگنز و روی، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز و مقدار کلروفیل a مورد ارزیابی قرار گرفتند. طبق نتایج بدست آمده وزن خشک، فعالیت آنزیمی گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به ترتیب در غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ ۱/۲۵، ۲/۷ و ۳/۲۸ برابر و میزان عناصر فسفر، پتاسیم، منگنز و روی، به ترتیب در غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ ۲۲/۳۴، ۴۲/۸۵، ۷۳/۹۵ و ۲۸/۱۷ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند و دارای بالاترین عملکرد بودند، به استثنای دو خصوصیت وزن تر و کلروفیل a که کلروفیل a در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هر دو نانوذره از نظر آماری بالاترین مقدار را نشان داد، اما وزن تر برخلاف دیگر خصوصیت‌ها با اعمال نانوذرات معمولی بهترین عملکرد را نشان داد. به نظر می‌رسد که این نانوذرات بر اثر رنگ‌دار شدن، واکنش‌های مرتبط با نور و جذب عناصر را نسبت به نانوذرات معمولی شدت می‌دهند و در نتیجه عملکرد بهتری حاصل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، حساس به رنگ، سورگوم، عناصر غذایی، کلروفیل

مقدمه

نانو کودهایی که به آهستگی و در تمام طول فصل رشد گیاه عناصر غذایی خود را آزاد کنند، رهاسازی کنترل شده آفت‌کش‌ها و علف-کش‌ها، مصرف کارآمدتر و دقیق‌تر نهاده‌های شیمیایی و تولید سمومی با فرمولاسیون‌های جدید برای کنترل آفات، استفاده می‌شود. کاربرد خارجی نانوذرات دی‌اکسید سیلیسیم و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم جوانه‌زنی بذور سویا را با افزایش نیترات ردوکتاز (۲۲) و همچنین با افزایش توانایی بذرها برای جذب و استفاده از آب و عناصر غذایی بهبود می‌بخشند (۴۴). سایو و همکاران (۴۰) تأثیر سه نانوذره جیوه را که از لحاظ مورفولوژیکی با یکدیگر متفاوت بودند بر روی پاسخ فیزیولوژیکی و مولکولی گیاه شاهی گوش موشی (*Arabidopsis*) بررسی کردند و اظهار داشتند که نانوذرات جیوه ده وجهی بیشترین درجه توسعه رشد ریشه را نشان می‌دهد، در حالی که، نانوذرات جیوه کروی بر روی توسعه رشد ریشه اثری ندارد و بیشترین سطح تجمع آنتوسیانین را در جوانه‌های گیاه آزاد می‌سازند. افزایش میزان تولید گیاهان به روش‌های مختلف مورد توجه

هرچند که تا به امروز استفاده از علم نوظهور نانو در بخش کشاورزی عمدتاً محدود به تحقیقات تئوری بوده است با این حال نانو تکنولوژی به تدریج در حال گذار از مرحله‌ی آزمایشگاهی به مرحله‌ی عملیاتی و کاربردی است و این امر منجر به حضور محسوس‌تر این فناوری در بخش کشاورزی می‌شود (۳). در حال حاضر از مواد نانو مقیاس عمدتاً به منظور برطرف کردن بعضی از محدودیت‌ها و چالش‌های موجود در بخش کشاورزی نظیر مدیریت علف‌های هرز، تولید

۱ و ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

*- نویسنده مسئول: (Email: ahangar@uoz.ac.ir)

۳- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل

DOI: 10.22067/jsw.v33i1.67723

دادند و بعد از جوانه‌زنی، بذرها را با محلول نانوذره تیتانیوم دی‌اکسید به مدت ۳۵ روز محلول‌پاشی کردند. آن‌ها گزارش کردند که استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، نیتروژن کل، مقدار کلروفیل و پروتئین را به ترتیب ۲۳٪، ۳۴٪ و ۱۳٪ افزایش داد، وزن گیاه نیز در مقایسه با شاهد دو برابر شد (۹). مطالعات نشان داده که جوانه زنی بذور گوجه فرنگی، کاهو و پیاز در حضور اکسیدتیتانیوم و پس از قرار گرفتن در معرض نور باعث افزایش جوانه‌زنی گردید (۷). کلیه اثرات مثبت دی‌اکسید تیتانیوم وابسته به توانایی جذب نور آن است و از معایب عمده این ترکیب آن است که توانایی جذب نور مرئی خورشید را به میزان اندک دارد و بیشتر نور UV را جذب می‌کند. از آنجا که کسر بالایی از نور خورشید در محدوده مرئی قرار دارد، در صورتی که بتوان توانایی جذب نور مرئی این نانوذرات را بالا برد، می‌توان اثرگذاری آن را بهبود بخشید. این کار به کمک افزودن یک لایه رنگ بر روی سطح نانوذرات انجام می‌شود و به آن حساس‌سازی نانوذرات توسط رنگ گفته می‌شود. به دلیل جذب نور توسط نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، بویژه جذب اشعه فرابنفش فرض بر این است که ایجاد یک لایه رنگی روی این نانوذرات باعث افزایش جذب نور توسط نانوذرات مذکور شده و توانایی بیشتری در افزایش عملکرد گیاه را دارا خواهد شد. در نتیجه هدف از انجام این آزمایش بررسی احتمالی افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه سورگوم توسط نانوذرات تیتانیوم حساس شده به رنگ می‌باشد که بدین جهت با تیمار کردن بذرها را گیاه به هر دو نانوذره، برخی پارامترها مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه اثرات غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم معمولی در مقایسه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم حساس شده به رنگ بر روی برخی از خصوصیات گیاه سورگوم، آزمایشی در گلخانه آموزشی دانشگاه زابل انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار شامل شش غلظت نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) (۱۹، ۲۷ و ۲۹)، شش غلظت نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید حساس شده به رنگ (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار انجام شد. برای رنگ کردن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید از زعفران با غلظت مشخص استفاده شد. به منظور یکنواخت‌سازی سوسپانسیون غلظت‌های مصرفی، از دستگاه اولتراسوند استفاده شد. در ابتدا بذور در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در دو حالت رنگ شده و بدون رنگ به مدت ۴۸ ساعت در معرض نور قرار داده شدند.

کشاورزان می‌باشد. از جمله مهمترین عوامل کنترل کننده رشد، تغذیه مناسب گیاه است (۳۹). تیتانیوم به عنوان یک عنصر سودمند باعث افزایش و تحریک رشد می‌شود (۳۴). کاربرد تیتانیوم در محلول غذایی و یا محلول‌پاشی بر روی گیاه باعث افزایش زیست توده و رشد گونه های مختلف گیاهی شده است (۵). اظهار شده است که تیتانیوم یکی از عناصر سودمند جهت رشد گیاه است و می‌تواند جذب برخی از عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید (۳۴). رم و همکاران (۳۶) نشان دادند که تیتانیوم با افزایش انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به ۱، باعث افزایش فتوستنتز می‌شود. همچنین تیتانیوم باعث افزایش جذب عناصر موثر در تولید کلروفیل و فتوستنتز نظیر آهن و منیزیم (۶) می‌گردد. گزارش شده است تیتانیوم با افزایش میزان کلروفیل (۵) باعث افزایش رشد می‌شود. اوولاد و همکاران (۳۳) در آزمایشی که بر روی لوبیا چشم بلبلی انجام دادند، افزایش میزان این محصول را تحت تیمار ۱۲۵ میلی‌لیتر در هکتار تیتانیوم گزارش کردند. این محققین، دلیل افزایش محصول را نقش تیتانیوم در فعالیت نوری فتوستنتز دانستند. بنابراین تیتانیوم با افزایش میزان کلروفیل و فتوستنتز، خصوصاً از طریق افزایش انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به ۱، فعالیت نوری فتوستنتز و جذب عناصر مؤثر در تولید کلروفیل و فتوستنتز نظیر آهن، منیزیم و نیتروژن، باعث افزایش رشد می‌شود. تیتانیوم علاوه بر ویژگی‌هایی که در بالا ذکر شد که به واسطه جذب نور می‌باشد، دارای یک ویژگی بارز دیگر نیز می‌باشد و آن هم خاصیت فتوکاتالستی و حذف رادیکال‌های مضر می‌باشد (۳۸) بطوری که اثر سمیت تیتانیوم برای انسان گزارش نشده است (۱۱). اما این عنصر برای رشد گیاه و باکتری‌ها در بعضی از غلظت‌ها سمی است و در غلظت‌های کم برای رشد گیاه مؤثر می‌باشد (۱۱). اگرچه تحقیقات زیادی از ۸۰ سال قبل بر آثار مثبت تیتانیوم شروع شده، اما همچنان اثر آن بر بسیاری از گیاهان در شرایط مختلف و به دنبال آن بر جنبه‌های فیزیولوژیک گیاه، مجهول است (۲۰).

در سال‌های اخیر با توجه به گسترش فناوری نانو، استفاده از نانوذرات رو به افزایش است (۳۰). ژنگ و همکاران (۴۴) نشان دادند که بذرها را مسن اسفناج در تیمار با نانو TiO_2 دارای سرعت جوانه زنی، شاخص جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه بالاتری از بذرها شاهد بودند. ممکن است که یونش غیرمستقیم دی‌اکسید تیتانیوم، تولید اکسیژن فعال، همانند آنیون‌های سوپراکسید و هیدرواکسید کند که این مکانیسم به وسیله بذرها بالغ مجدداً فعال می‌شود، در نتیجه قابلیت نفوذ پوشش بذر افزایش می‌یابد و ورود آب و اکسیژن به درون سلول تسهیل می‌گردد، بنابراین متابولیسم و جوانه زنی بذرها سرعت می‌گیرد (۴۴). گائو و همکاران (۹) از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در تیمار کردن بذر و تغذیه برگ گیاه اسفناج استفاده کردند، آن‌ها ابتدا بذرها را در محلول ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به مدت ۴۸ ساعت در معرض نور قرار

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Some Physical and Chemical characteristics of the used soil

Mn	Cu	Fe	Zn	P	K	OM (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	Silt سیلت	Clay رس	Sand شن	Texture بافت
5.6	1.65	2.2	4.8	12.7	430	1.98	1.32	7.02	18	13	69	Sandy Loam

دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و در رسم شکل‌ها از اکسل استفاده شده است.

نتایج و بحث

شناسایی نانوذرات

طیف UV-Vis

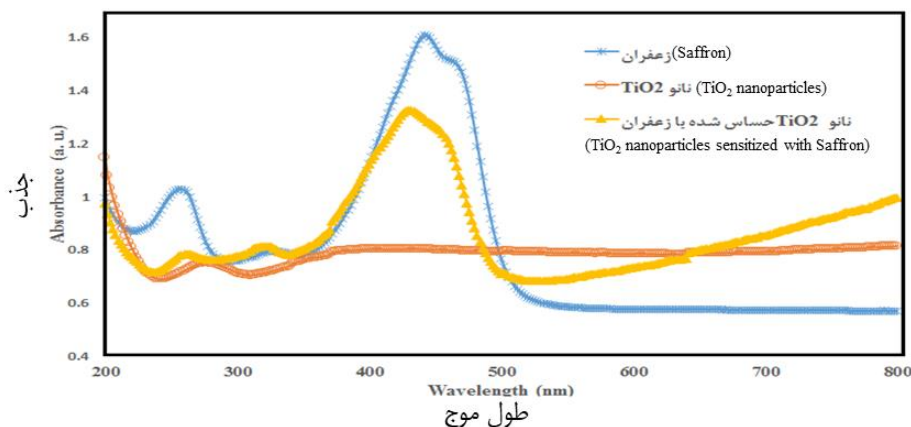
ترکیبات زعفران دارای پیک‌های بارزی در طیف UV-Vis می‌باشند. شکل ۱ نشان‌دهنده طیف UV-Vis زعفران، نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید (TiO₂) و نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید حساس شده با زعفران می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود طیف مربوط به نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در محدوده‌ی ماوراء بنفش (ناحیه بین طول موج ۲۰۰-۴۰۰ نانومتر) دارای یک پیک مشخص می‌باشد اما در ناحیه مرئی هیچ‌گونه جذبی از خود نشان نمی‌دهد. طیف مربوط به محلول زعفران که از حل کردن پودر زعفران در آب بدست آمده است دارای دو پیک قابل شناسایی در ۳۲۸ و ۲۵۸ نانومتر و یک پیک دوتایی در ۴۶۶ و ۴۴۲ نانومتر می‌باشد. پیک مشاهده شده در ۲۵۸ نانومتر مربوط به ترکیب پیکروکروسین که همان ماده تلخ بی‌رنگ موجود در زعفران است می‌باشد.

پیک دوتایی موجود بین ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر و نیز پیک ظاهر شده در ۳۲۸ نانومتر مربوط به کارتنوئیدهای موجود در زعفران می‌شود. کارتنوئید (کروسین All-trans) مسئول ایجاد پیک دوتایی در ناحیه مرئی می‌باشد (۴۱). کروسین (CIS) نیز دارای پیک‌های مشابهی می‌باشد که احتمالاً با پیک‌های ایزومر ترانس همپوشانی کرده و قابل تفکیک نیستند. طیف مربوط به نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید که با رنگ زعفران پوشانده شده‌اند نیز نمایانگر دو پیک در ۳۲۲ و ۲۶۰ و نیز یک پیک در ۴۳۰ نانومتر با یک شانه مشخص در ۴۵۸ نانومتر است. آنچه از مقایسه دو پیک مربوط به زعفران به تنهایی و زعفران ثابت شده بر روی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید بدست می‌آید این است که مولکول‌های کروسین موجود در زعفران بر روی نانوذرات چسبیده‌اند زیرا پیک دوتایی ناحیه مرئی و نیز پیک موجود در ۳۳۰-۳۲۰ نانومتر یک جابجایی آبی مشخص را نشان می‌دهند (۳۱).

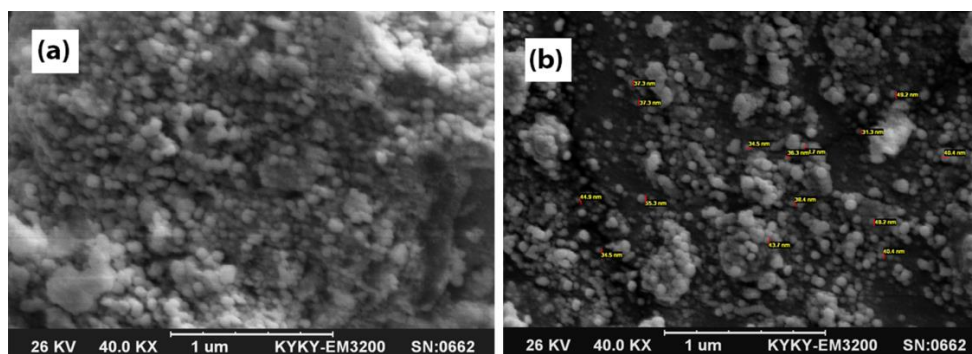
نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک جمع‌آوری و بعد از هوا- خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد. برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک عبارتند از: pH در گل اشباع (۲۶)، قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت‌سنج الکتریکی (۳۷)، درصد رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (۱۰)، درصد ماده آلی خاک به روش اکسایش تر (۳۲)، غلظت آهن و روی خاک با عصاره‌گیر DTPA (۲۱) و توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۱۳) توسط دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین گردید (جدول ۱).

کودهای پایه براساس نتایج آزمون خاک قبل از کشت به خاک هر گلدان اضافه گردید. برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت ۳ کیلوگرم استفاده شد. برای کشت، از بذر سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید استفاده و رطوبت خاک گلدان‌ها در زمان کاشت به حد ظرفیت زراعی رسید. گلدان‌ها در طی دوره رشد در دمای میانگین روز ۲۵ درجه و شب ۱۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. تعداد ۵ بذر سالم که قبلاً در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در دو حالت رنگ شده و بدون رنگ در معرض نور قرار داده شده بودند، در داخل هر گلدان کشت و پس از جوانه‌زنی و شمارش و اطمینان از استقرار کامل جوانه‌ها تعداد ۳ جوانه در هر گلدان باقی ماند و بقیه حذف شده تا شرایط برای همه گلدان‌ها یکسان باشد. آبیاری گلدان‌ها روزانه و با آب مقطر صورت گرفت. بعد از گذشت ۸ هفته از زمان آزمایش خصوصیات وزن تر و وزن خشک گیاه عناصر فسفر (P)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn) و روی (Zn)، فعالیت آنزیمی آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز و مقدار کروفیل a مورد ارزیابی قرار گرفتند.

برای تعیین مقدار کلروفیل a از روش آرنون (۲) و با استفاده از اسپکتوفتومتر با مدل شمدازو یو وی ۱۶۰ در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر انجام شد. فسفر به روش رنگ سنجی مولیبدات وانادات (۱۶)، پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (۴۲)، منگنز و روی اندام‌های هوایی گیاه با دستگاه جذب اتمی (۱۸) اندازه‌گیری شدند. میزان فعالیت آنزیمی آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز به روش ناکانو (۲۴) محاسبه شدند. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون



شکل ۱- طیف UV-Vis مربوط به زعفران، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم حساس شده با زعفران
Figure 1- UV-Vis spectrum related to Saffron, TiO₂ nanoparticles and TiO₂ nanoparticles sensitized with Saffron



شکل ۲- SEM از نانوذرات TiO₂
Figure 2- SEM of TiO₂ nanoparticles

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM36)

میکروسکوپ الکترونی روبشی یکی از مهمترین ابزارهای شناسایی نانوذرات است که به کمک آن می‌توان علاوه بر اندازه نانوذرات، مورفولوژی، میزان کلوخگی و برخی خواص دیگر را شناسایی نمود. تصاویر SEM مربوط به نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. اندازه ذرات که در شکل ۲b-۲ مشخص شده است بین ۳۰-۵۰ نانومتر می‌باشد. از این تصاویر مشخص است که مورفولوژی نمونه به صورت کروی می‌باشد و نانوذرات کمی کلوخه‌ای شده‌اند و به همین دلیل پیش از به کار بردن محلول‌های حاوی نانوذرات قرار دادن آن‌ها در حمام امواج ماوراء صوت ضروری است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲، اثرات ساده و متقابل نانوذرات تیتانیوم و غلظت بر تمامی صفات در سطح ۱ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار شده است.

بررسی مقایسه میانگین‌های آنزیم‌های پراکسیداز، کلروفیل a و وزن تر و خشک گیاه

در این کار تحقیقاتی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز مورد ارزیابی قرار گرفت، طبق نتایج بدست آمده و مطابق با جدول ۳ آنزیم آسکوربات پراکسیداز در اعمال بالاترین غلظت نانوذرات حساس شده به رنگ (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین فعالیت را در گیاه داشتند. همانطور که مشاهده می‌شود اعمال تیمارهای مختلف در گیاه بر روی عملکرد این آنزیم تأثیرات متفاوتی داشته و این تفاوت از نظر آماری نیز قابل مشاهده است. آنزیم گایاکول پراکسیداز مطابق با جدول ۳ در اعمال تمام تیمارها دارای نتایج متفاوتی از نظر آماری می‌باشد اما همانطور که مشاهده می‌شود بالاترین مقدار فعالیت این آنزیم مربوط به اعمال غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ می‌باشد. تفاوت فعالیت آنزیمی آنزیم‌های پراکسیداز در هر یک از نانوذرات نسبت به هم و شاهد در شکل ۳ نشان داده شده است. افزایش فعالیت آنزیم‌ها در گیاهان مختلف تحت تیمار تیتانیوم

آمینواسید، پروتئین (آنزیم) و نوکلئیک اسید مهم می‌باشد. کارواجال و آلکارز (۴) در آزمایشی که روی گیاه *Capsicum annuum* انجام دادند، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را در نتیجه اعمال برگی تیتانیوم اعلام کردند.

مورد بررسی قرار گرفته است، برای مثال اظهار شده است که افزایش مقدار کلروفیل و پروتئین (آنزیم) بوسیله نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید فقط با افزایش فتوسنتز در ارتباط نیست بلکه می‌تواند به دلیل افزایش متابولیسم نیتروژن نیز باشد (۱۴ و ۴۴). نیتروژن برای کلروفیل،

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات انواع نانوذرات تیتانیوم و غلظت بر خصوصیات گیاه
Table 2- Results of ANOVA of type of TiO₂ NPs and concentration on parameters of plant

متغیرها Variables	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (Mean Square)				
		وزن خشک Dry weight	وزن تر Fresh weight	کلروفیل a Chlo. a	گایاکول GPX	آسکوربات APX
TiO ₂ NPs	1	1.22**	2.03**	1.05**	1.26*10 ⁻⁷ **	2.15*10 ⁻⁶ **
غلظت Concentration	5	1.77**	23.98**	1.57**	2.62*10 ⁻⁸ **	1.41*10 ⁻⁶ **
TiO ₂ NPs*concentration	5	0.93**	6.20**	0.32**	1.76*10 ⁻⁸ **	3.28*10 ⁻⁷ **
خطا Error	24	0.034	0.035	0.00029	7.5*10 ⁻¹¹	1*10 ⁻⁸
ضریب تغییرات (CV)	-	10.21	1.87	0.56	7.23	10.49

متغیرها Variables	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (Mean Square)			
		P (g.100 ⁻¹)	K (g.100 ⁻¹)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
TiO ₂ NPs	1	5.21*10 ⁻² **	3.06*10 ⁻² **	0.0054**	8.36**
غلظت Concentration	5	7.49*10 ⁻² **	1.4**	0.2976**	18.21**
TiO ₂ NPs*concentration	5	1.11*10 ⁻² **	0.91**	0.1803**	50.29**
خطا Error	24	2.75*10 ⁻³ **	0.562	0.000101	0.8128
ضریب تغییرات (CV)	-	2.55	4.25	0.73	5.35

** Significant at 1%

** معنادار در سطح ۱ درصد

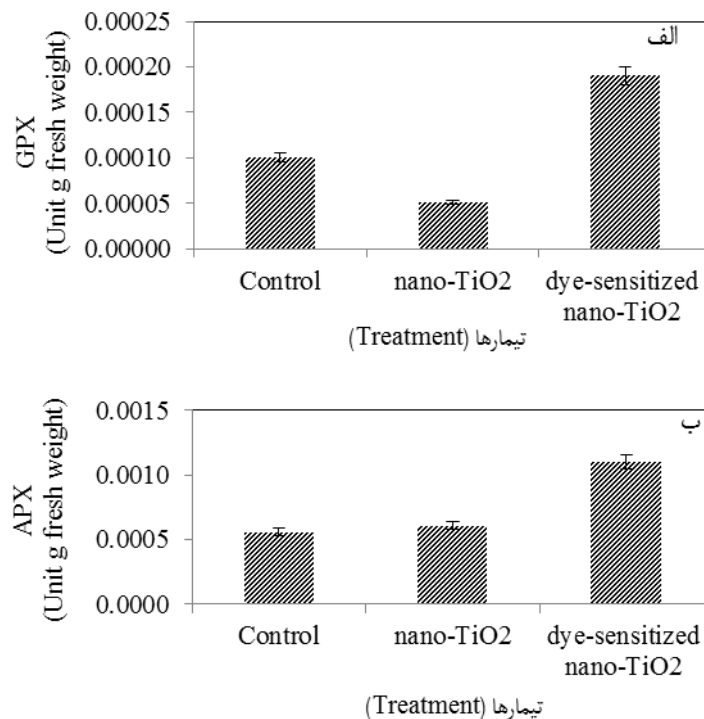
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های آنزیم‌های پراکسیداز، کلروفیل a و وزن تر و خشک گیاه

Table 3- Mean comparisons of peroxides enzymes, chlorophyll a and dry and fresh weight of plant

تیتانیوم Titanium	غلظت (mg.L ⁻¹) Concentration	آسکوربات (APX) (Unit)	گایاکول (GPX) (Unit)	کلروفیل a (Chlo. a) (mg.gr ⁻¹)	وزن تر Fresh weight (g.pot ⁻¹)	وزن خشک Dry weight (g.pot ⁻¹)
تیتانیوم معمولی (TiO ₂) nanoparticles	0	5.6*10 ⁻⁴ d	1*10 ⁻⁴ d	2.10 ^h	8.06 ^e	1.19 ^d
	1	8.6*10 ⁻⁴ c	1.6*10 ⁻⁵ h	3.35 ^c	7.88 ^e	2.61 ^c
	10	3.6*10 ⁻⁴ e	4.6*10 ⁻⁵ g	3.47 ^b	12.92 ^a	2.28 ^b
	50	2.3*10 ⁻⁴ e	8.6*10 ⁻⁵ e	3.36 ^c	10.61 ^c	1.02 ^{de}
	100	5.3*10 ⁻⁴ d	7*10 ⁻⁵ f	3.46 ^b	13.00 ^a	2.15 ^b
تیتانیوم حساس به رنگ (Dye-sensitized) (TiO ₂) nanoparticles	500	1.1*10 ⁻³ b	4*10 ⁻⁵ g	3.51 ^a	9.38 ^d	2.58 ^c
	0	5.6*10 ⁻⁴ d	1*10 ⁻⁴ d	2.10 ^h	8.06 ^e	1.19 ^d
	1	1.1*10 ⁻³ b	9.6*10 ⁻⁵ de	2.72 ^f	9.09 ^d	2.66 ^a
	10	8*10 ⁻⁴ c	1.3*10 ⁻⁴ c	3.26 ^e	12.56 ^b	2.68 ^a
	50	7.6*10 ⁻⁴ c	2.7*10 ⁻⁴ b	3.29 ^d	12.49 ^b	2.45 ^{ab}
رنگ	100	9*10 ⁻⁴ c	3.7*10 ⁻⁴ a	3.30 ^g	9.40 ^d	2.26 ^b
	500	2.4*10 ⁻³ a	9.3*10 ⁻⁵ de	3.52 ^a	7.39 ^f	0.80 ^e

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نشده‌اند.

In each column, the numbers having the same letters are not statistically significant in the Duncan test.

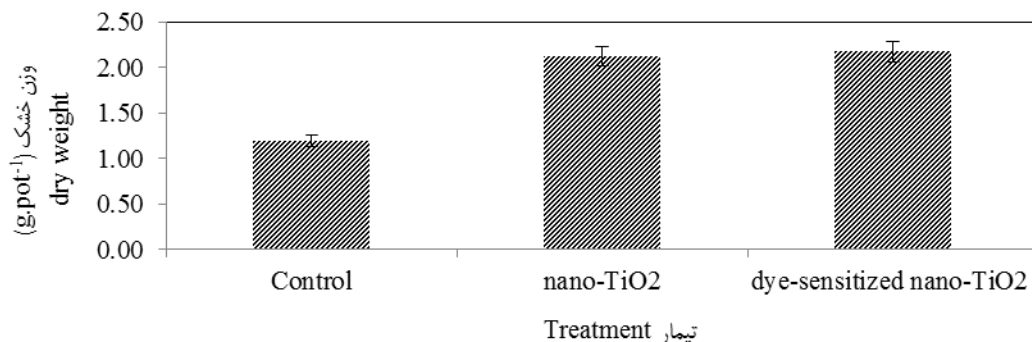


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر فعالیت آنزیم‌های الف) گایاکول پراکسیداز (GPX) و ب) آسکوربات پراکسیداز (APX)

Figure 3- Mean comparison of simple effects of Nano TiO₂ types on a) GPX and b) APX enzymatic activity

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (۱۱/۵ میلی گرم بر لیتر) حداکثر افزایش را نسبت به شاهد نشان دادند. وزن تر و وزن خشک کل گیاه همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است در مقایسه با شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت، همانطور که مشاهده می شود این دو ویژگی مانند سایر خصوصیات ارزیابی شده در غلظت‌های نانوذرات تیتانیوم دی اکسید حساس شده به رنگ و معمولی دارای تفاوت معنی دار از نظر آماری هستند، همانطور که مشاهده می شود وزن تر کل گیاه در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نانوذرات معمولی دارای بالاترین مقدار است، اما افزایش وزن خشک گیاه با اعمال نانوذرات دی اکسید تیتانیوم حساس شده به رنگ مشاهده شد، این تفاوت در شکل ۴ قابل مشاهده است. اما افزایش وزن تر و خشک گیاه در دیگر مطالعات بررسی شده است که نتایج بدست آمده از این تحقیق با آن‌ها مطابقت دارد. برای مثال یانگ و همکاران (۴۳)، افزایش وزن تر و خشک گیاه اسفناج را در کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم گزارش دادند. همچنین افزایش ۲۰ درصدی وزن خشک گیاه لوبیا پس از اعمال تیتانیوم گزارش شده است (۳۶). همچنین گزارش شده که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم جوانه زنی بذر و رشد ساقه چه و ریشه چه را در گیاه کلزا افزایش می دهند (۲۳). جبارزاده و همکاران (۱۵) گزارش کردند که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم رشد گیاه و اجزاء عملکرد گیاه را تحت شرایط تنش آبی افزایش می دهند.

طبق نتایج بدست آمده در جدول ۳ مقدار کلروفیل a برای تمام غلظت‌های به کار رفته در آزمایش از نظر آماری دارای تفاوت معنی دار می باشد و غلظت‌های هر دو نانوذره نسبت به شاهد عملکرد بالاتری را نشان دادند اما همانطور که مشاهده می شود مقدار کلروفیل a در غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر هر دو نانوذره دارای بالاترین مقدار است. به نظر می رسد که مقدار کلروفیل a با افزایش غلظت رابطه مستقیم دارد. افزایش میزان کلروفیل بوئیه افزایش مقدار کلروفیل a در مطالعات قبلی نیز نشان داده شده است: برای مثال مرتضی و همکاران (۲۸) در آزمایشی که روی ذرت (*Zea mays L.*) انجام دادند، افزایش مقدار کلروفیل a را در اعمال بالاترین غلظت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (۰.۳ درصد) اعلام کردند. همچنین یانگ و همکاران (۴۳) در آزمایشی تحت عنوان تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر متابولیسم نیتروژن در گیاه اسفناج، افزایش مقدار کلروفیل را بعد از اعمال نانوذرات دی اکسید تیتانیوم نسبت به تیمار شاهد گزارش کردند. جان محمدی و همکاران (۱۷) نیز بیان داشتند که محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، مقدار کلروفیل گیاه جو را افزایش می دهد. هاشمی دهکردی و همکاران (۱۲) در تحقیقی تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم را بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی توت فرنگی رقم کوئین الیزا بررسی کردند و بیان داشتند که میزان کلروفیل برگ، درصد تشکیل میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی در بالاترین غلظت



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر وزن خشک گیاه
Figure 4- Mean comparison of simple effects of Nano TiO₂ types on dry weight of plant

روی را تحریک نماید (۳۴).
مقدار عناصر روی و منگنز که از عناصر کم مصرف گیاه هستند دارای بالاترین مقدار در اعمال نانوذرات حساس شده به رنگ می باشند مطابق با جدول ۴ مقدار عنصر روی در اعمال غلظت ۵۰ میلی-گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ دارای بیشترین مقدار است، در حالی که منگنز در بالاترین غلظت نانوذرات حساس شده به رنگ (۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) بیشترین مقدار را دارد، تفاوت مقدار عنصر منگنز در هر یک از نانوذرات نسبت به هم و نسبت به شاهد در شکل ۵ مشاهده می شود. افزایش مقدار این عناصر با اعمال نانوذرات تیتانیوم معمولی در مطالعات قبلی نیز نشان داده شده است اما همانطور که مشاهده شد با اعمال نانوذرات حساس شده به رنگ این مقدار افزایش بیشتری پیدا کرد.

ارزیابی مقدار عناصر فسفر، پتاسیم، روی و منگنز در اندام هوایی

طبق نتایج بدست آمده میزان فسفر در تمام غلظت ها از نظر آماری دارای تفاوت معنی دار می باشد و تمام غلظت ها نسبت به شاهد عملکرد بالاتری را نشان می دهند اما بالاترین مقدار مربوط به اعمال غلظت های نانوذرات حساس شده به رنگ و در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر است. مقدار پتاسیم نیز علاوه بر این که در غلظت های مختلف دارای بازده متفاوتی است همانطور که مشاهده می شود برای هر دو نانوذره نسبت به شاهد دارای عملکرد بالاتری است اما بیشترین مقدار آن مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ می باشد (جدول ۴). قبلا نیز گزارش شده است تیتانیوم نه تنها یکی از عناصر سودمند جهت رشد گیاه است بلکه می تواند جذب برخی از عناصر نظیر نیتروژن، کلسیم، منیزیم، فسفر، آهن، منگنز و

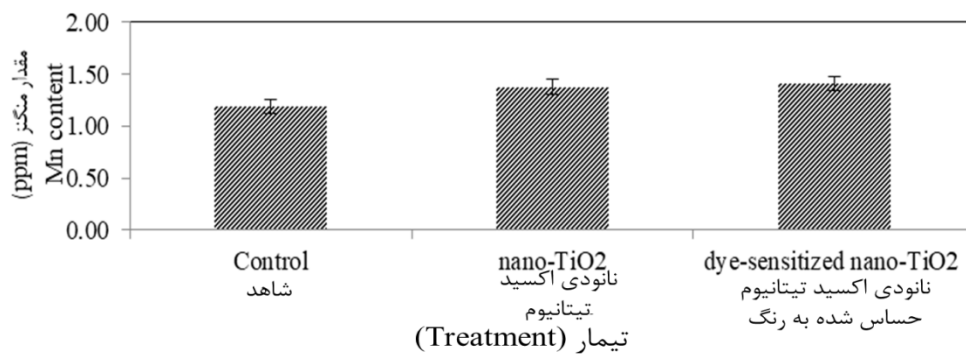
جدول ۴- مقایسه میانگین های برخی عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف

Table 4- Mean comparisons of some of macro and micro nutrients

تیتانیوم	غلظت (mg.L ⁻¹)	فسفر	پتاسیم	منگنز	روی
Titanium	Concentration	P (%)	K (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
تیتانیوم معمولی (TiO ₂) nanoparticles	0	0.47 ^h	4.9 ^e	1.19 ^h	18.46 ^b
	1	0.53 ^g	6.3 ^b	1.64 ^b	17.17 ^b
	10	0.61 ^{ef}	5.2 ^{ed}	1.52 ^c	18.34 ^b
	50	0.78 ^b	5.7 ^c	1.16 ⁱ	13.82 ^d
	100	0.58 ^f	5.5 ^{cd}	1.20 ^h	18.47 ^b
	500	0.68 ^d	5.4 ^{cd}	1.41 ^d	17.61 ^b
تیتانیوم حساس به رنگ (Dye-sensitized) TiO ₂ nanoparticles	0	0.47 ^h	4.9 ^e	1.19 ^h	18.46 ^b
	1	0.62 ^e	5.4 ^{cd}	1.34 ^e	14.82 ^{cd}
	10	0.81 ^a	5.1 ^{ed}	1.25 ^g	15.22 ^{cd}
	50	0.74 ^c	5.8 ^c	1.16 ⁱ	23.66 ^a
	100	0.67 ^d	7.0 ^a	1.26 ^f	15.58 ^c
	500	0.80 ^{ab}	5.2 ^{ed}	2.07 ^a	10.34 ^e

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی دار نشده اند.

In each column, the numbers having the same letters are not statistically significant in the Duncan test.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر مقدار منگنز در اندام‌های هوایی گیاه
Figure 5- Mean comparison of simple effects of Nano TiO₂ types on Mn content in shoots plant

آنزیم گایاکول پراکسیداز و مقدار پتاسیم اندام هوایی گیاه، در غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام، آنزیم آسکوربات پراکسیداز و مقدار منگنز اندام هوایی و در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار عنصر روی در اندام هوایی نسبت به شاهد و سایر تیمارها بیشترین افزایش را نشان دادند. در حالی‌که، کلروفیل a در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هر دو نانوذره از نظر آماری بالاترین مقدار را نشان می‌دهد، اما وزن تر برخلاف دیگر پارامترها با اعمال نانوذرات معمولی بهترین عملکرد را نشان داد. به نظر می‌رسد که این نانوذرات بر اثر رنگ‌دار شدن، واکنش‌های مرتبط با نور را نسبت به نانوذرات معمولی شدت می‌دهند و در نتیجه عملکرد بهتری حاصل می‌شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات گزین پژوهشی به شماره UOZ-GR-9517-20 دانشگاه زابل به انجام رسیده است. بدینوسیله از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه زابل قدردانی می‌گردد.

برای مثال پاپس (۳۵) چند ویژگی مفید از تیتانیوم را بیان کرد، شامل: اثر مثبت تیتانیوم بر رشد گیاه، افزایش فعالیت آنزیم و اثر مثبت آن بر متابولیسم، جلوگیری از اثر سمیت دیگر عناصر و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان. همچنین پیشنهاد شده است که تیتانیوم سبب افزایش جذب و فعالیت عنصر آهن شده و از این طریق سبب افزایش کلروفیل در سیتوپلاسم شده و در نتیجه فعالیت فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد (۴ و ۱). علاوه بر این غلظت بسیاری از عناصر ضروری وقتی که از تیمار تیتانیوم استفاده می‌شود افزایش می‌یابد که این افزایش جذب به روش استفاده از تیتانیوم وابسته نیست (۸ و ۲۵).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، هر دو نانوذره در تمامی پارامترها بیشترین عملکرد را نشان دادند اما در نانوذرات تیتانیوم حساس شده به رنگ در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن خشک کل گیاه و مقدار فسفر اندام هوایی گیاه، در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر،

منابع

- Alcaraz C.F., Carvajal M., Frutos M.J., Gimenez J.L., Martfnez-Sfinchez F., and Pastor J.J. 1994. The physiological role of titanium in *Capsicum annuum* L. plants. Proceedings of the 6th International Trace Element Symposium, Abstract. 2. Budapest.
- Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
- Baruah S., and Dutta J. 2009. Nanotechnology applications in Sensing and Pollution Degradation in Agriculture. *Environmental Chemistry Letters* 7: 191-204.
- Carvajal M., and Alcaraz C.F. 1995. Effect of Ti (IV) on Fe activity in *Capsicum annuum*. Elsevier Science Ltd Printed in Great Britain. All rights reserved 0031-9422/95 \$9.50+0.00.
- Carvajal M., and Alcaraz C.F. 1998. Why titanium is a beneficial element for plants. *Journal of Plant Nutrition* 21(4): 655-664.
- Carvajal M., Martfnez-Sfinchez F., and Alcaraz CF. 1994. Effect of Titanium (IV) application on some enzymatic activities in several developing stages of red pepper plants. *Journal of Plant Nutrition* 17: 243-253.
- Elghniji K., Sabrine S., Ben Mosbah M., Elimame E., and Moussaoui Y. 2014. Detoxification of 4-chlorophenol in TiO₂ sunlight system: effect of raw and treated solution on seed germination and plants growth of various sensitive vegetables. *Toxicological and Environmental Chemistry* 96: 869-879.
- Feher M., Papp K., Fodor P., and Pais I. 1987. The effect of titanium on the uptake of other nutritive elements. p.

- 69-100. In I. Pals (ed.) New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and the Analytical Problem of Trace Element Research. University of Horticulture, Budapest.
- 9- Gao F., Hong F., Liu C., Zheng L., Su M., Wu X et al. 2006. Mechanism of nano-anatase TiO₂ on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. *Biological Trace Element Research* 111: 239-253.
- 10- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part I. Agron. Monogr. 9.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 11- Haghghi M., and Daneshmand B. 2013. Comparing the effects of titanium and nano-titanium on growth and photosynthetic changes of tomato in hydroponic culture. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology* 4(1): 73-80. (In Persian with English abstract)
- 12- Hashemi Dehkourdi E., Mousavi M., Moallemi N., and Ghafariyan Moghareb M.H. 2016. Effect of nanoparticles of titanium dioxide (anatase) on physiological characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* c.v. Queen Elisa) in hydroponic condition. *Process and Plant Function* 5(16): 1-8. (In Persian with English abstract)
- 13- Helmke P.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. P. 551-574. In D.L. Sparks (Ed.) *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods and processes.* Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 14- Hong F.S., Zhou J., Liu C et al. 2005. Effect of nano-TiO₂ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biological Trace Element Research* 105: 269-280.
- 15- Jaberzadeh A., Moaveni P., Moghadam H.R.T., and Zahedi H. 2013. Influence of bulk and nanoparticles titanium foliar application on some agronomic traits, seed gluten and starch contents of wheat subjected to water deficit stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 41: 201-207.
- 16- Jakson M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*, Prentice- Hall of India Private Limited. New Dehli.
- 17- Janmohammadi M., Amanzadeh T., Sabaghnia N., and Dashti Sh. 2016. Impact of foliar application of nano micronutrient fertilizers and titanium dioxide nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. *Acta agriculturae Slovenica* 107: 265-276.
- 18- Jones J.R., Wolf J.B., and Mills H.A. 1991. *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling Preparation Analysis and Interpretation Guide.* Micro Macro Publishing Inc. Athens, Georgia, USA.
- 19- Kahila M.M.H., Najy A.M., Rahaie M., and Mir-Derikvand M. 2017. Effect of nanoparticle treatment on expression of a key gene involved in thymoquinone biosynthetic pathway in *Nigella sativa* L. *Natural Product Research* 1-5.
- 20- Kuzel S., Hruby M., Cigler P., Tlustos P., and Van P.N. 2003. Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. *Biological Trace Element Research* 91(2): 179-190.
- 21- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
- 22- Lu C.M., Zhang C.Y., Wen J.Q., Wu G.R., and Tao M.X. 2002. Research on the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Science* 21: 68-172.
- 23- Mahmoodzadeh H., Nabavi M., and Kashefi H. 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). *Journal of Ornamental Horticultural Plants* 3: 25-32.
- 24- Mano J.I., Endo T., and Miyake C. 2016. How do photosynthetic organisms manage light stress? A tribute to the late Professor Kozi Asada. *Plant and Cell Physiology* 57(7): 1351-1353.
- 25- Martfnez-S~chez E., Gim6nez J.L., Carvajal M., Moreno A., Fuentes J.L., and Alcaraz C.F. 1992. Efectos de tratamientos foliater con Ti(IV) sobre nutrici6n, producci6n y calidad de fruto en plantas de *Capsicum annuum* L. *Sueloy Planta* 2: 101-111.
- 26- Mclean E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. p. 199-224. In P. Al., M. Rh., and K. Dr. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agronomy Monograph. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 27- Mir H., Gholamalizade Ahangar A., and Mir N. 2016. Superior performance of dye-sensitized versus conventional TiO₂ nanoparticles for promoting germination and early growth of Barley: From photovoltaic to biotechnological application. *Journal of Nano Research* 35: 77-91.
- 28- Morteza E., Moaveni P., Aliabadi Farahaniand H., and Kiyani M. 2013. Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO₂ spraying at various growth stages. *Springer Plus* 2: 247.
- 29- Movafeghi A., Khataee A.R., Abedi M., Tarrahi R., Dadpour M.R., and Vafaei F. 2018. Effects of TiO₂ nanoparticles on the aquatic plant *Spirodela polyrrhiza*: Evaluation of growth parameters, pigment contents and antioxidant enzyme activities. *Journal of Environmental Sciences* 64: 130-138.
- 30- Nair R., Varghese S.H., Nair B.G., Maekawa T., Yoshida Y., and Kumar D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science* 179: 154-163.
- 31- Narula C., Kaur I., and Kaur N. 2015. Characterization and optoelectronics investigations of mixed donor ligand directed semiconductor ZnO nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 26(2): 791-800.
- 32- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, 2nd ed.* American Society of Agronomy, American Society of

- Agronomy, Madison, WI.
- 33- Owolade O.F., Ogunleti D.O., and Adenekan M.O. 2008. Titanium dioxide affects diseases, development and yield of edible cowpea. *Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 7(5): 2942-2947.
 - 34- Pais I. 1983. The biological important of titanium. *Journal of Plant Nutrition* 6: 3-131.
 - 35- Pais I. 1991. Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity. What is too little and too much? pp. 59-77. In I. Pais (ed.) *Cycling of the Nutritive Elementin Geo-and Biosphere*. University of Horticultural and Food Science, Budapest, Hungary.
 - 36- Ram N., Verloo M., and Cottenie A. 1983. Response of bean (*Phaseolus vulgaris*) to foliar spray of titanium. *Plant Soil* 73: 285-290.
 - 37- Rhoades J.D. 1982. Soluble salts. P. 167-178. In P. Al., M. Rh., and K. Dr. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, chemical and microbiological properties*. Agronomy Monograph. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
 - 38- Sawhney A.P.S., and Condon B. 2008. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal* 78: 731-739.
 - 39- Simon L., Hajdu F., Balogh A., and Pais I. 1988. Effect of titanium on growth and photosynthetic pigment composition of *Chlorella pyrenoidosa* (green alga). II. Effect of titanium ascorbate on pigment content and chlorophyll metabolism of chlorella. p. 87-101. In I. Pais. (Ed.) *New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and Their Role in the Food Chain*. University of Horticultural and Food Science, Budapest, Hungary.
 - 40- Syu Y.Y., Hung J.H., Chen J.C., and Chuang H.W. 2014. Impacts of size and shape of silver nanoparticles on Arabidopsis plant growth and gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 83: 57-64.
 - 41- Tarantilis P.A., Tsoupras G., and Polissiou M. 1995. Determination of saffron (*Crocus sativus* L.) components in crude plant extract using high-performance liquid chromatography-UV-visible photodiode-array detection-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 699: 107-118
 - 42- Waling I., Van W., Vark V.J.G., and Vander Lee. 1989. *Soil and Plant Analysis, a Series of Sylladi. Part 7. Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University.
 - 43- Yang F., Hong F.S., and You W.J. 2006. Influences of nano-anatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biological Trace Element Research* 110: 179-190.
 - 44- Zheng L., Hong F.S., Lu S.P., and Liu C. 2005. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biological Trace Element Research* 104(1): 83-91.



The Effect of Treated Seeds with Normal and Dye-sensitized TiO₂ Nanoparticles on the Elements Absorption and the Enzymatic Activity

H. Mir¹- A. Gholamalizadeh Ahangar^{2*}- N. Mir³

Received: 09-10-2017

Accepted: 19-11-2018

Introduction: Increasing the production rate became considerable for farmers in various ways. Modern technologies, such as biotechnology and nanotechnology could play an important role in increasing the production and improving the quality of agricultural products. Research into the direct application of nanotechnology into agriculture is set to increase in the future. One of the most remarkable plant growth factors is its nutrition. Titanium plays a beneficial role in increasing and stimulating plants growth. Titanium's usage in nutrition solution or spraying on the plant will increase the biomass and growth of different plant species. With respect to Nano technology enhancement in recent years the application of nano-particles is increasing. All the positive effects of titanium dioxide depend on its ability to absorb light and the main disadvantages of this combination are the low ability to absorb visible light from the sun and absorbing more UV light. It is possible to improve its effectiveness due to the high proportion of sunlight in the visible range by absorbing the visible light of nano-particles. To achieve this goal a layer of color will be added on the surface of the nanoparticles, which is called the nanoparticle sensitization by color. Due to the absorption of light by titanium dioxide nanoparticles, especially ultraviolet radiation, it is assumed that the creation of a color layer on these nano-particles increases the antibacterial and fungal properties of these nanoparticles. As a result, the goal of this experiment is to investigate the possible increase in light absorption and increase the yield of the sorghum plant by titanium dioxide nano-particles of Dye-Sensitized, which, some of the parameters were investigated by treating the seeds of the plant with both nanoparticles.

Materials and Methods: This research was performed in three replications in a completely randomized design with factorial arrangement and with 12 treatments containing 6 concentrations of titanium dioxide nanoparticles (0, 1, 10, 50, 100 and 500 mg.L⁻¹), 6 concentration of titanium dioxide nanoparticles of Dye-Sensitized (0, 1, 10, 50, 100 and 500 mg.L⁻¹). Fresh and dry weight of plants, plant nutrients content (Phosphorus, Potassium, Manganese, and Zinc), activity of ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and chlorophyll content parameters have been measured.

Discussion and Results: The saffron compounds have significant peaks in the UV-Vis spectrum. The spectrum of titanium dioxide nanoparticles has a specific peak in the ultraviolet range (Area between wavelengths of 200-400 nm) however there is no trace of absorption in visible areas. The spectrum of the saffron solution has two identifiable peaks at 328 and 258 nm, and a double peak at 466 and 442 nm. The observed peak at 258 nm is related to the combination of Picrocrocine, which is the same colorless bitter substance found in saffron. The dual peaks range between 400-500 nm and the peak appearing at 328 nm are related to the carotenoids found in saffron. Crocin also has similar peaks which are likely to be overlapping with trans-isomeric peaks and not separable. The Spectrum of titanium dioxide nano-particles covered with saffron color also represents two peaks at 322 and 260 nm, and a peak at 430 nm with a specific shoulder at 458 nm. What comes from the comparison of two saffron peaks alone and saffron coated on titanium dioxide nano-particles is that the Crocin molecules contained in saffron are attached to nano-particles. According to the results, dry weight and enzymatic activity of Guaiacol peroxide and Ascorbate peroxide showed a significant increase compared to the control and had the highest performance respectively at concentrations of 10, 100 and 500 mg.L⁻¹ of titanium dioxide nano-particles of Dye-Sensitized, and showed 1.25, 2.7 and 3.28 fold. The amount of plant nutrients such as phosphorus, potassium, manganese, and zinc at concentrations of 10, 100, 500 and 50 mg.L⁻¹ titanium dioxide nanoparticles of Dye-Sensitized had a 72.34, 42.85, 73.95 and 28.17 percent increase, except fresh weight and chlorophyll a. Chlorophyll a at a concentration of 500 mg.L⁻¹ of both nano-particles showed the highest amount, but the fresh weight, unlike other parameters, showed the best performance with normal

1 and 2- Former M.Sc. Student in Soil Science and Associate Professor Soil and Water Engineering Faculty, University of Zabol, Zabol, Iran

(*- Corresponding Author Email: ahangar@uoz.ac.ir)

3- Associate Professor in Chemistry, Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran

nanoparticles.

Conclusion: It seems that these nano-particles, by coloring, intensify light-related reactions compared to normal nano-particles, which results in better performance.

Keywords: Chlorophyll, Dye-sensitized, Enzyme, Nutrition, Sorghum