

بررسی اثر غلظت‌های مختلف نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی و رشد اولیه ۵ گونه مرتعی

نادیا کمالی^۱ و احمد صادقی‌پور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۳/۰۲

چکیده

تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف (۰، ۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) نانودی اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه ۵ گونه مرتعی *Salsola rigida*، *Eurotia ceratoides* F.، *Nitraria schoberi* L.، *Kochia prostrata* (L.) A.J. Scott، *Halothamnus glaucus* Botsch.، Pall. گرفت. نتایج نشان داد، غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم نه تنها اثر منفی بر گیاهان نداشت بلکه باعث افزایش میزان جوانه‌زنی دو گونه *E. ceratoides* (از ۲۸ درصد به ۵۱ درصد) و *K. prostrate* (از ۶۸ درصد به ۸۴ درصد) گردیده است. غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر منفی بر جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه در سه گونه *N. schoberi* (کاهش درصد جوانه‌زنی از ۳۲ درصد به ۲۰ درصد و رشد ریشه‌چه از ۱۳/۸۵ سانتی‌متر به ۱۰/۶۸ سانتی‌متر)، *E. ceratoides* (کاهش درصد جوانه‌زنی از ۲۸ درصد به ۲۰ درصد و رشد ریشه‌چه از ۱۱/۶۳ سانتی‌متر به ۸/۷۸ سانتی‌متر) و *K. prostrate* (کاهش درصد جوانه‌زنی از ۶۸ درصد به ۵۶ درصد و رشد ریشه‌چه از ۱۱/۳ سانتی‌متر به ۸/۸ سانتی‌متر) داشته است. بطور کلی در اکثر گیاهان، غلظت‌های پایین نانودی اکسید تیتانیوم تاثیر معنی‌داری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نداشت ولی در غلظت بالا (۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) با ایجاد سمیت موجب کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه شد. بنابر این در کاربرد نانوذرات، توجه به میزان مصرفی که هم موثر باشد و هم سمیت ایجاد نکند بسیار حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: نانودی اکسید تیتانیوم، *Nitraria schoberi*، *Eurotia ceratoides*، *Salsola rigida*، *Halothamnus glaucus*، *Kochia prostrata*

۱- دانش آموخته دکتری مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان

* نویسنده مسئول: a.sadeghipour@profs.semnan.ac.ir

مقدمه

فناوری نانو بر بهبود عملکرد گیاهان برای جذب مواد غذایی، بهبود جوانه زنی، تولید گیاه، دفع آفات و امراض گیاه، ایجاد بستر کاشت گیاه و غیره تاثیر دارد. میزان جذب نانوذرات توسط گیاهان متفاوت بوده و بستگی به نوع گیاه، ترکیب شیمیایی و اندازه این ذرات دارد (۲۲، ۲ و ۸). نخستین مطالعه در مورد اثرات نانوذرات بر روی گیاه مریم گلی صورت گرفت (۱۱)، اثرات ضد و نقیضی از تاثیر نانوذرات مختلف بر روی گیاهان گزارش شده است (۲۱، ۲۳ و ۱۶). به عنوان یک مثال از تاثیر متفاوت نانوذرات می توان به تاثیر نانوکربن های تک جداره و چند جداره اشاره کرد. به طوریکه بعد از اعمال تیمار نانوکربن لوله ای چند جداره بر بذر گوجه فرنگی، جذب آب بیشتر توسط بذر و در نهایت افزایش قدرت و درصد جوانه زنی مشاهده شد (۱۳)، در حالیکه نانوکربن لوله ای تک جداره عامل دار نشده، باعث کاهش قابل ملاحظه مقدار رشد ریشه گوجه فرنگی می شود (۳).

دی اکسید تیتانیوم، یک اکسید معدنی غیر سیلیکاتی طبیعی است که در اشکال مختلف (آنازاس^۱، روتیل^۲ و بروکایت^۳) وجود دارد. این نانوذره دارای کاربردهای بسیار گسترده ای در علوم مختلف می باشد و می توان آن را از پرکاربردترین ذرات نانو به شمار آورد که حجم قابل ملاحظه ای از آن به طبیعت وارد می شود. در سال های اخیر استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به دلیل ویژگی های خاص بیولوژیک مورد توجه متخصصان فیزیولوژی گیاهی قرار گرفته است (۲۴ و ۱۸، ۲۰). از سوی دیگر، اگرچه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به طور گسترده ای در زندگی روزمره مورد استفاده قرار می گیرند، مطالعات در خصوص جذب و انتقال آن ها در گیاهان همچنان اثرات مثبت و منفی آن ها بر رشد و توسعه گیاهان باید بیشتر مورد توجه واقع شود. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به دلیل اندازه بسیار کوچک خود قادر به تشکیل پیوند کوالان با بیشتر مواد آلی هستند و از طریق این اتصالات قادر به ورود در بسیاری از بافت ها و

اندام ها می باشند (۱۰ و ۶). محققین بسیاری بر تاثیر این نانوذره بر رشد و توسعه گیاهان مطالعه داشته اند. برخی از آن ها این نانوذره را به عنوان یک عنصر سودمند در افزایش و تحریک رشد و افزایش محصول دهی در گیاهان می دانند (۱۲، ۲۹ و ۹)، همچنین برخی از مطالعات موید تاثیرات منفی این نانوذره بر رشد و توسعه گیاهان به ویژه در غلظت های بالا می باشد (۳۰ و ۲۵). مطالعه لی و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده است بین نرخ فتوسنتز و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه اسفناج همبستگی زیادی وجود دارد، که می تواند به دلیل بهبود جذب نور، انتقال و تبدیل انرژی نوری و یا افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو اکتیواز در حضور این نانوذره باشد (۱۵)، همچنین بهبود جوانه زنی و رشد گیاه *Brassica napus* در حضور این نانوذره مشاهده شد (۱۷). نانودی اکسید تیتانیوم پس از جذب توسط سلول های گیاه ذرت منجر به کاهش شاخص میتوزی و افزایش انحرافات کروموزومی شده است (۲۵). با توجه به تاثیرات متفاوت گزارش شده از این نانوذره ضرورت مطالعه اثر آن بر گیاهان مختلف احساس می شود، تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر نانودی اکسید تیتانیوم بر ۵ گونه مرتعی که در عملیات اصلاحی مراتع دارای اهمیت به سزایی هستند، صورت گرفت.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر غلظت های صفر، ۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نانودی اکسید تیتانیوم (انتخاب غلظت نانوذرات مطابق نتایج آزمایش محققان مختلف از جمله فیضی و همکاران^۴ (۲۰۱۲) و صمدی^۵ و همکاران (۲۰۱۴) بوده است) بر جوانه زنی، رشد ریشه چه و ساقه چه ۵ گونه مرتعی (*Nitraria schoberi*، *Eurotia*، *Halothamnus*، *Salsola rigida*، *ceratoides*، *Kochia prostrata*، *glaucus*) آزمایشی بر پایه طرح کاملا تصادفی با ۴ با ۲۵ بذر تکرار صورت گرفت. بذر گیاهان *Salsola rigida*، *Eurotia ceratoides*

- 1- Anatase
- 2- Rutile
- 3- Brucite

- 4- Feizi
- 5- Samadi

و ون وکتور^۱، (۲۰۰۰)، شمارش بذور روزانه صورت گرفت، در آخرین روز جوانه‌زنی، از هر پتریدیش ۵ گیاهچه به صورت تصادفی انتخاب شده و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی از رابطه (۱) محاسبه شد (کوپلند و همکاران^۲ ۱۹۹۵).

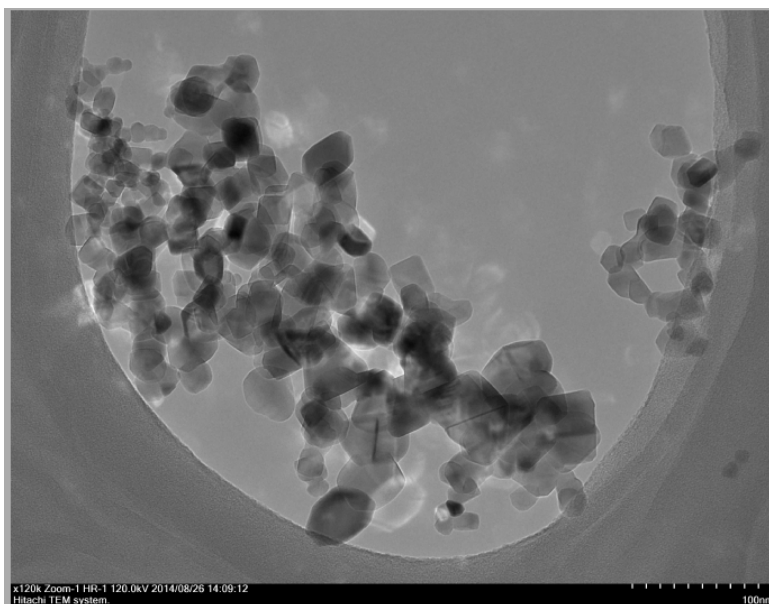
$$Gp = n/N * 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه Gp درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذورهای جوانه زده، N تعداد کل بذورهای مورد مطالعه می‌باشد. ساقه‌چه و ریشه‌چه توسط کولیس اندازه‌گیری شد، داده‌ها در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌ها با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

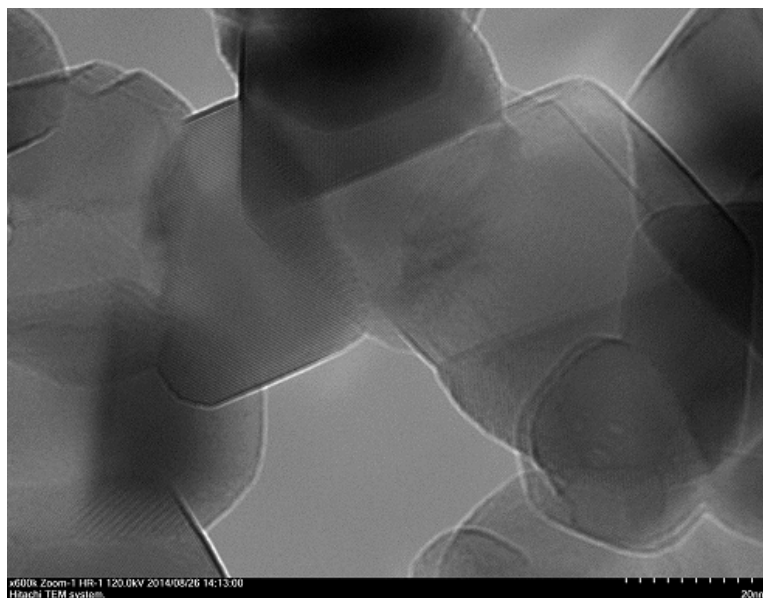
Kochia prostrata از ایستگاه تحقیقاتی سیسب واقع در خراسان شمالی تهیه گردید، بذر *Halothamnus glaucus* از ایستگاه کاظم آباد بردسکن تهیه شده و بذر *Nitraria schoberi* از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. نانودی اکسید تیتانیوم تهیه شده ساخت US-NANO آمریکا می‌باشد. خصوصیات نانوذره تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری پودر دی‌اکسید تیتانیوم توسط دستگاه TEM ساخت شرکت Hitachi ژاپن تهیه گردید (شکل ۱ و ۲). به‌منظور تهیه محلول نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۰، ۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ابتدا مقدار مشخص پودر نانودی‌اکسید تیتانیوم در یک لیتر آب ریخته و برای تهیه سوسپانسیون یکنواخت به‌مدت ۳۰ دقیقه در هم‌زنایزر التراسونیک قرار داده شد، قبل از استفاده از محلول از هم‌زن‌های مغناطیسی جهت جلوگیری از تجمع احتمالی ذرات استفاده شد. به‌منظور بررسی قابلیت حیات بذور از تست تترازولیوم استفاده شد، بذورهای تهیه شده با محلول هیپوکلریت سدیم به‌مدت ده دقیقه به‌طور سطحی ضدعفونی و سپس با آب مقطر سه بار شستشو داده شدند. همچنین به‌منظور استریل بذورهای مورد مطالعه و جلوگیری از آلودگی‌های قارچی بذرها با قارچ‌کش کربوکسیل تیرام دو در هزار ضدعفونی شدند، از پتریدیش‌های ۸ سانتی متری که توسط اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی شده بودند و کاغذ صافی واتمن شماره ۱ استریل به عنوان بستر بذر استفاده شد. بعد از قرار دادن بذرها در پتریدیش‌ها و افزودن محلول تهیه شده، نمونه‌ها در دستگاه ژرمیناتور (دمای 24 ± 2 و 14 ± 2 درجه سانتی‌گراد با پرپود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با رطوبت ۷۰ درصد) قرار داده شده و جهت جلوگیری از تبخیر، پتریدیش‌ها با پارافیلیم مسدود شدند. ملاک جوانه‌زنی خروج ۱ تا ۲ میلی‌متر ریشه‌چه بود (هاردیگری

جدول ۱- مشخصات نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

چگالی واقعی	چگالی ظاهری	شکل ظاهری	درصد خلوص	سطح ویژه	اندازه نانوذره	نانوذرات دی اکسید تیتانیوم
۳/۹ (گرم بر متر مکعب)	۰/۲۴ (گرم بر متر مکعب)	پودر سفید	+۹۹ درصد	۲۰۰-۲۴۰ (متر مربع بر گرم)	۱۰-۲۵ نانومتر	



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات دی اکسید تیتانیوم



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

نتایج

گونه‌های مورد بررسی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم تنها بر درصد جوانه‌زنی گونه *S. rigida* تاثیری نداشته است و بر جوانه‌زنی سایر گونه‌ها موثر است (جدول ۲).

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی گونه‌های مختلف نشان داد که در بین

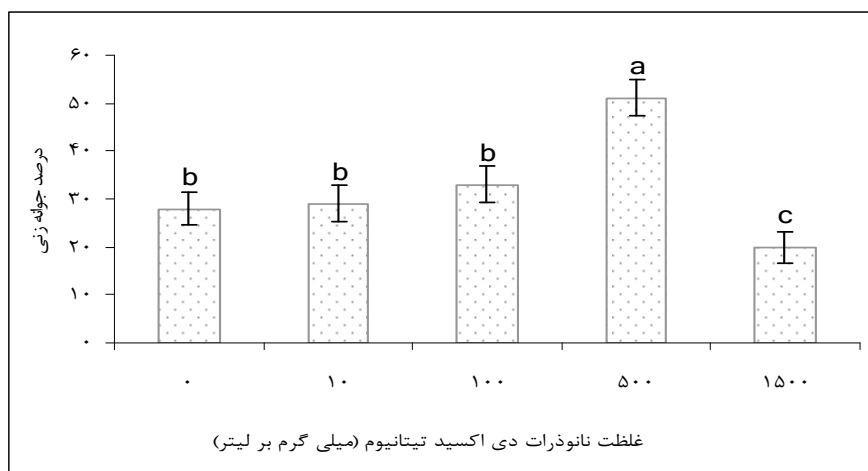
جدول ۲- تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی گونه‌های مورد بررسی تحت تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

گونه	میانگین مربعات	درجه آزادی	F
<i>N. schoberi</i>	۱۱۷/۲	۴	۹/۵۵۴**
<i>E. ceratoides</i>	۵۳۰/۸	۴	۴۰/۶۲۲**
<i>S. rigida</i>	۲/۸	۴	۰/۱۲۸
<i>H. glaucus</i>	۳۵۶/۸	۴	۲۳/۰۶۹**
<i>K. prostrata</i>	۴۴۲/۸	۴	۲۶/۷۸۲**

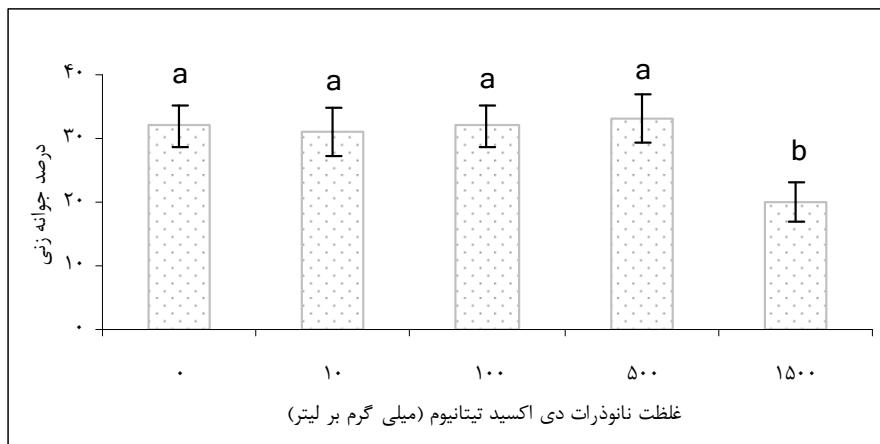
** معنی دار در سطح ۰/۰۱

درصد در گیاه می‌شود (شکل ۴)، در *K. prostrata* غلظت ۱۰۰ و ۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) تاثیر مثبت بر جوانه‌زنی گیاه دارند و غلظت ۱۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) این نانوذره کاهش میزان جوانه‌زنی را از ۶۸ درصد به ۵۶ درصد به دنبال دارد (شکل ۵)، در *H. glaucus* تنها غلظت ۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) نانوذره بر درصد جوانه‌زنی گیاه موثر است و افزایش جوانه‌زنی را از ۳۲ درصد به ۵۲ درصد به دنبال دارد (شکل ۶).

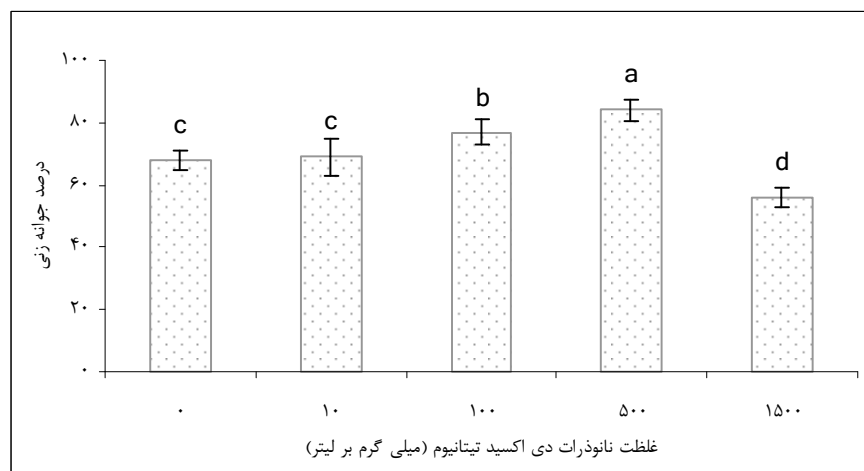
نتایج تحقیق نشان داد غلظت‌های متفاوت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم اثر متفاوت بر جوانه‌زنی گونه‌های مختلف دارد، غلظت ۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) این نانوذره باعث افزایش درصد جوانه‌زنی *E. ceratoides* (از ۲۸ درصد به ۵۱ درصد) می‌گردد و غلظت ۱۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) باعث کاهش جوانه‌زنی این گیاه از ۲۸ درصد به ۲۰ درصد می‌گردد (شکل ۳)، در *N. schoberi* تنها غلظت ۱۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی گیاه موثر است که باعث کاهش درصد جوانه‌زنی از ۳۲ درصد به ۲۰



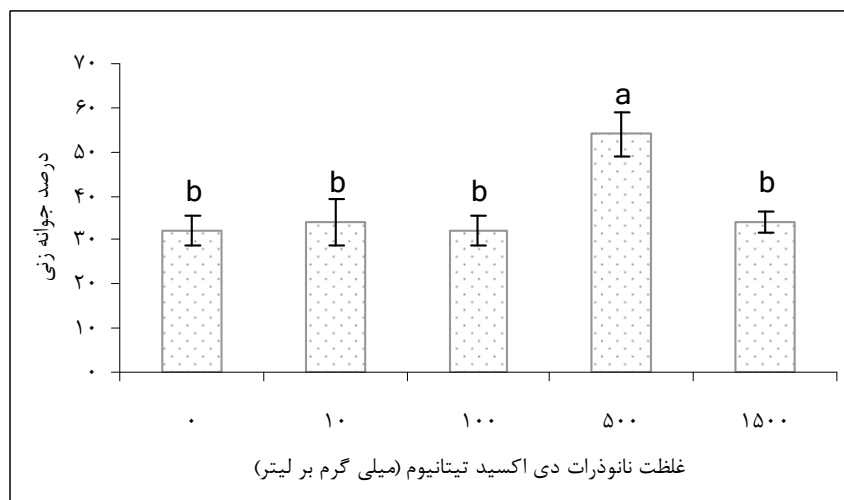
شکل ۳- تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر درصد جوانه‌زنی *E. ceratoides*



شکل ۴- تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر درصد جوانه زنی *N. schoberi*



شکل ۵- تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر درصد جوانه زنی *K. prostrate*



شکل ۶- تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر درصد جوانه زنی *H. glaucus*

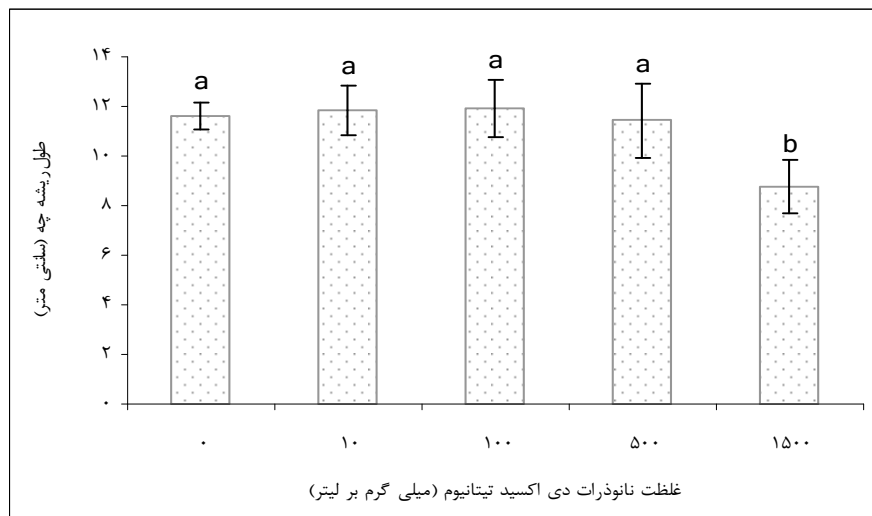
جدول ۳- تجزیه واریانس رشد ریشه چه گونه‌های مورد بررسی تحت تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

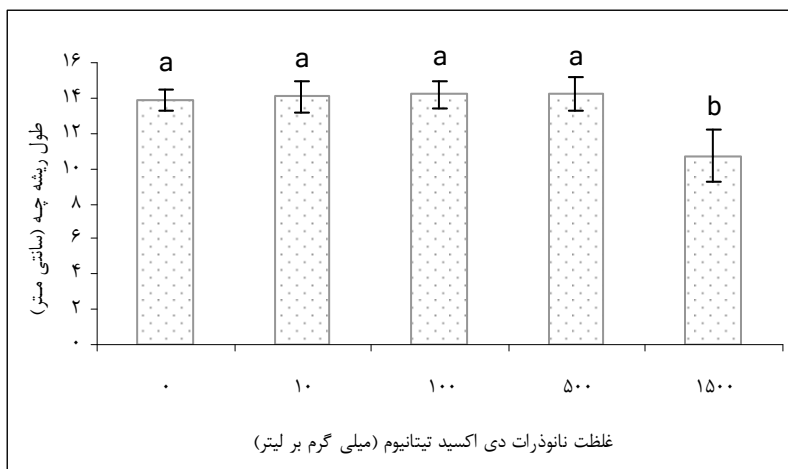
گونه	درجه آزادی	میانگین مربعات ریشه چه	میانگین مربعات ساقه چه	F ساقه چه	F ریشه چه
<i>N. schoberi</i>	۴	۹/۳۴۰	۰/۴۸۲	۱/۳۵۴	۹/۷۴۸**
<i>E. ceratoides</i>	۴	۶/۹۸۸	۰/۰۲۲	۰/۱۶۳	۵/۸۰۰**
<i>S. rigida</i>	۴	۰/۰۵۷	۰/۰۳۵	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸۷
<i>H. glaucus</i>	۴	۲/۵۹۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۳/۲۹۱
<i>K. prostrata</i>	۴	۵/۲۹۳	۰/۳۵۸	۰/۸۳۳	۶/۵۰۹**

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

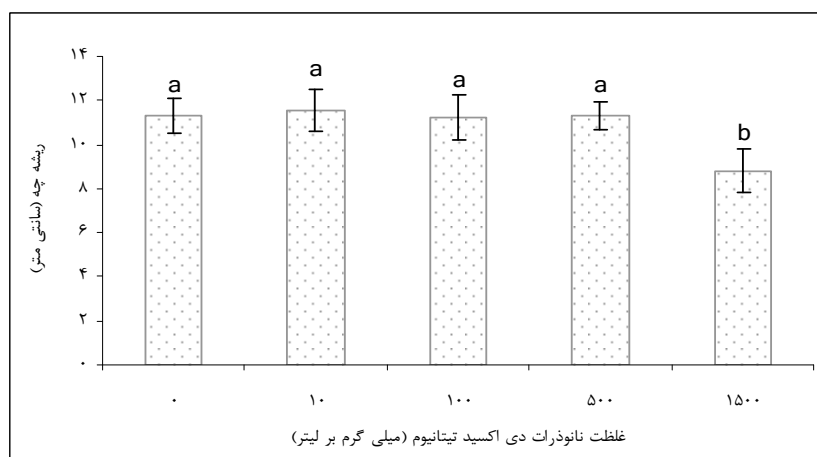
نتایج نشان داد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد ریشه چه در سه گونه *N. schoberi*، *E. ceratoides* و *K. prostrata* موثر است. در هر سه گونه تنها غلظت ۱۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) نانوذره بر رشد ریشه چه در گیاه موثر است، در گونه *N. schoberi* رشد ریشه چه از ۱۳/۸۵ سانتی‌متر به ۱۰/۶۸ سانتی‌متر، در *E. ceratoides* رشد ریشه چه از ۱۱/۶۳ سانتی‌متر به ۸/۷۸ سانتی‌متر و در *K. prostrata* رشد ریشه چه از ۱۱/۳ سانتی‌متر به ۸/۸ سانتی‌متر کاهش یافته است (شکل ۷، ۸ و ۹).
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد ساقه چه در هیچکدام از گونه‌های مورد بررسی تاثیر ندارد (جدول ۳).

نتایج نشان داد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد ریشه چه در سه گونه *N. schoberi*، *E. ceratoides* و *K. prostrata* موثر است. در هر سه گونه تنها غلظت ۱۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) نانوذره بر رشد ریشه چه در گیاه موثر است، در گونه *N. schoberi* رشد ریشه چه از ۱۳/۸۵ سانتی‌متر به ۱۰/۶۸ سانتی‌متر، در *E. ceratoides* رشد ریشه چه از ۱۱/۶۳ سانتی‌متر به ۸/۷۸ سانتی‌متر و در *K. prostrata* رشد ریشه چه از ۱۱/۳ سانتی‌متر به ۸/۸ سانتی‌متر کاهش یافته است (شکل ۷، ۸ و ۹).

شکل ۷- تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد ریشه چه *E. ceratoides*



شکل ۸- تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر رشد ریشه چه *N. schoberi*



شکل ۹- تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر رشد ریشه چه *K. prostrate*

که نشانگر مقاوم بودن گیاه به شرایط محیطی و آلودگی است. نتایج این مطالعه نشان داد افزایش غلظت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) باعث کاهش درصد جوانه زنی گیاهان می شود، این کاهش درصد جوانه زنی، بقاء گیاه را در سال های آتی دچار مشکل خواهد کرد، کاهش رشد ریشه چه نیز با توجه به اهمیت این عضو در جذب مواد غذایی و رشد و حیات گیاه در نهایت در قدرت تولید بذر و بنیه گیاه ایجاد مشکل خواهد کرد، این مسائل موید ضرورت بررسی تاثیر غلظت های مختلف نانوذرات در ورود به طبیعت است زیرا گیاهان اولین سطح زندگی در طبیعت می باشند، که نابودی آنها نابودی بسیاری از

بحث و نتیجه گیری

مطالعه اثر غلظت های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر گونه های مرتعی مختلف نشان داد که تاثیر غلظت های مختلف این نانوذره بر گونه های مختلف، همچنین در مراحل مختلف رشد گیاه متفاوت است. از بین گونه های مورد مطالعه سه گونه *E. N. schoberi*، *K. prostrata* و *ceratoides* بیش از سایر گونه ها، تحت تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم قرار گرفتند، که نشان دهنده قدرت این نانوذره در ورود به بذر و ریشه و ایجاد تغییر در درصد جوانه زنی و رشد ریشه چه می باشد. مقاومت *S. rigida* به نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در مراحل جوانه زنی و رشد گیاهچه بیش از سایر گونه ها می باشد

موجودات زنده را به دنبال دارد، از طرفی برخی مقادیر این نانوذره افزایش میزان جوانه‌زنی در گیاهان را به دنبال دارد که می‌تواند به‌عنوان تیمار افزایش‌دهنده قدرت جوانه‌زنی مدنظر قرار گیرد. اگرچه نانودی‌اکسید تیتانیوم، جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه در گیاهان مورد بررسی را تحت تاثیر قرار داد، ولی رشد ساقه‌چه از این نانوذره متاثر نشد. در هر حال نانوذرات از طریق استعمال مستقیم، انتشار تصادفی، رسوبات و خاک‌های آلوده و یا مواد اتمسفری به گیاهان رسیده و اثرات منفی معنی‌داری را بر روی گیاهان و زنجیره غذایی اعمال می‌کنند (۱ و ۲۸) که محققان باید حذف آلودگی‌های زیست‌محیطی آن‌ها و یا جلوگیری از ورود آن‌ها به طبیعت را مدنظر داشته باشند و با تعیین استانداردی، حداکثر غلظت مجاز نانوذرات مختلف در طبیعت را تعیین کنند. در بررسی تاثیر نانودی‌اکسید تیتانیوم بر رشد و توسعه گیاهان، توسط محققان نانودی‌اکسید تیتانیوم افزایش جوانه‌زنی، رشد و توسعه بسیاری از گیاهان را به همراه دارد. به‌عنوان مثال حضور آن موجب تسریع تبدیل نیتروژن معدنی به نیتروژن آلی شده و وزن خشک و تر برنج را بالا می‌برد، یا حضور آن به صورت معمولی و نانو افزایش جوانه‌زنی در گیاهان مختلف را به دنبال دارد (۲۴). قرارگیری بذرها در معرض ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانودی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش شدت و سرعت جوانه‌زنی بذرها شده، درحالی‌که غلظت‌های بالاتر تاثیری بر سرعت جوانه‌زنی بذرها نداشته است (۴). افزایش درصد جوانه‌زنی تحت تاثیر نانوذرات در گونه‌های مورد بررسی (مخصوصاً ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) موید اثر مثبت این ماده تا غلظت‌های مشخصی است. برخی مطالعات صورت گرفته نشان دهنده کاهش رشد ریشه گیاهان می‌باشد (۱۹ و ۷) که در مطالعه حاضر نیز کاهش رشد ریشه‌چه (غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) احتمالاً بدلیل انسداد سلول‌های ریشه با این نتایج همخوانی دارد. اثر سمی ایجاد شده توسط این نانوذره می‌تواند ناشی از انسداد سلول‌ها و

رسوب‌گذاری ذرات در محیط سلولی باشد (۱۴). از طرفی اثر سمی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند ناشی از آزاد شدن یون‌های تیتانیوم در اثر انحلال و ورود آن‌ها به محیط باشد (۲۴ و ۱۴).

در مطالعات بسیاری بی‌تاثیر بودن نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد و توسعه گیاهان مشاهده شده، به‌عنوان مثال، سیگر و همکاران^۱ (۲۰۰۹) بیان کردند، غلظت‌های (۰، ۱، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم هیچگونه سمیتی برای درخت بید ایجاد نمی‌کند. برخی مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان دهنده کاهش رشد ساقه‌چه در مجاورت این نانوذره می‌باشند (۵ و ۱۳) که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر به‌دلیل تفاوت غلظت و گونه گیاهی تطابق ندارد. در هر حال با توجه به کاربرد فراوان و گسترده نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در صنایع مختلف، ورود این نانوذره به محیط اجتناب‌ناپذیر است از این‌رو تاثیر غلظت‌های متفاوت این نانوذره بر رشد گیاهان باید مورد مطالعه بیشتر قرار گیرد و تاثیر آن بر فرمهای رویشی مختلف مطالعه گردد و بر اساس این مطالعات از نقش مثبت آن در بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه استفاده شود و از ورود غلظت‌های سمی آن برای گیاهان به طبیعت جلوگیری شود.

¹ . Seeger

References

1. Aslani F., Bagheri S., N. M., Julkapli., S. Abdul Juraimi., F. S. G. Hashemi & A. Baghdadi, 2014. Effects of Engineered Nanomaterials on Plants Growth: An Overview. The Scientific World Journal, Article ID 641759, 28 p.
2. Bagheri H., Z. Ayazi., A. Es'haghi & A. Aghakhani, 2012. "Reinforced polydiphenylamine nanocomposite for microextraction in packed syringe of various pesticides," Journal of Chromatography A, 1222, 13–21.
3. Canas J. E., M. Long., R. Nations, L. Vadan, Dai M. Luo & D. Olszyk, 2008. Environmental Toxicology and Chemistry, 27:1922-1931.
4. Castiglione M. R., L. C. Giorgetti Geri & R. Cremonini, 2011. "The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L.," Journal of Nanoparticle Research, 13 (6): 2443–2449.
5. Copland, L.O., & M.B. Donald, 1995. Principals of seed science and Technology. Third edition. Chapman and Hall, New York. 236p.
6. Feizi H., P. R. Moghaddam., N. Shahtahmassebi & A. Fotovat, 2012. "Impact of bulk and nanosized titanium dioxide (TiO₂) on wheat seed germination and seedling growth," Biological trace element research, 146, 101-106.
7. Foltête A., J., Masfaraud & E. Bigorgne, 2011. "Environmental impact of sunscreen nanomaterials: ecotoxicity and genotoxicity of altered TiO₂ nanocomposites on *Vicia faba*," Environmental Pollution, 159 (10): 2515–2522.
8. Ghormade V., M.V. Deshpande & K.M. Paknikar, 2011. "Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants," Biotechnology Advances, 29(6): 792–803
9. Hardegree, S.P. & S.S. Van Vactor, 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. Annals of Botany, 85: 379–390.
10. Hasan F., R.M. Parviz., S. Nasser & F. Amir, 2012. "Effects of concentrations of bulk and nanosized titanium dioxide (TiO₂) on germination of wheat seed," in Proceedings of the International Congress on Nanoscience & Nanotechnology (ICNN '12), 1–10.
11. Hassan F., A. Shahram., A., Farzin & J.P. Sae., 2013. "Comparative effects of nanosized and bulk titanium dioxide concentrations on medicinal plant *salvia officinalis* L.," Annual Review & Research in Biology, 3 (4): 814–824.
12. Hund-Rinke K. & M. Simon, 2006. "Ecotoxic effect of photocatalytic active nanoparticles (TiO₂) on algae and daphnids," Environmental Science and Pollution Research, 13 (4): 225–232.
13. Khodakovskaya M.V., K., DeSilva, A.S. Biris, E. Dervishi, & H. Villagarcia, 2012. "Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells," ACS Nano, 6 (3): 2128–2135.
14. Larue C., J. Laurette, N. Herlin-Boime, H. Khodja, B. Fayard, A.M. Flank, & M. Carriere, 2012. Accumulation, translocation and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): influence of diameter and crystal phase. Science of the total environment, 431: 197–208.
15. Lei, Z., Su M.Y., Wu X., Liu C., Qu C.X., Chen L., Huang H., Liu X.Q., & F.S. Hong., 2008. Interactions between manufactured nanomaterials and plants, Biol Trace Elem Res, 121: 69–79.
16. Lombi E., Nowack B., Baun A. & S.P. McGrath, 2012. "Evidence for effects of manufactured nanomaterials on crops is inconclusive," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109 (49): ID E3336.
17. Mahmoodzadeh H. & R. Aghili, 2014. "Effect on germination and early growth characteristics in wheat plants (*Triticum aestivum* L.) Seeds exposed to TiO₂ nanoparticles," Journal of Chemical Health Risks, 4 (1): 1–10.
18. Mohammadi R., Maali-Amiri R., & A. Abbasi, 2013. Molecular Mechanisms of Reduced Nerve Toxicity by Titanium Dioxide Nanoparticles in the Phoxim-Exposed Brain of *Bombyx mori* Biological trace element research 1–8.
19. Molina-Barahona L., Vega-Loyo L., & M. Guerrero, 2005. "Ecotoxicological evaluation of diesel-contaminated soil before and after a bioremediation process," Environmental Toxicology, 20 (1): 100–109.
20. Moore, M.N., 2006. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment?. Environ Int, 32 (8): 967–976.
21. Nadiminti, P. P., Dong Y.D., & C. Sayer, 2013. "Nanostructured liquid crystalline particles as an alternative delivery vehicle for plant agrochemicals," ACS Applied Materials and Interfaces, 5 (5): 1818–1826.
22. Nevius B.A., Chen Y. P., Ferry J. L., & A.W. Decho, 2012. "Surface-functionalization effects on uptake of fluorescent polystyrene nanoparticles by model biofilms," Ecotoxicology, 21 (8): 2205–2213.
23. Paret M. L., Vallad G. E., D. R. Averett, J. B. Jones, & S.M. Olson, 2013. "Photocatalysis: effect of light-activated nanoscale formulations of TiO₂ on *Xanthomonas perforans* and control of bacterial spot of tomato," Phytopathology, 103 (3): 228–236.

24. Qi, M., Liu, Y., & T. Li, 2013. Nano-TiO₂ Improve the Photosynthesis of Tomato Leaves Biological trace element research, 156: 323-328.
25. Qiu, Z., Yang, Q., & W. Liu, 2013. "Photocatalytic degradation of phytotoxic substances in waste nutrient solution by various immobilized levels of nano-TiO₂," Water, Air & Soil Pollution, 224 (3): 1-10.
26. Ruffini Castiglione, M., Giorgetti, L., Geri, C., & R. Cremonini, 2010. The effects of nano TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L and *Zea mays* L. Journal of Nanoparticle Research. 6: 2443-2449.
27. Samadi, N., Yahyaabadi, S. & Z. Rezayatmand, 2014. Effect of TiO₂ and TiO₂ Nanoparticle on Germination, Root and Shoot Length and Photosynthetic Pigments of *Mentha Piperita*, International Journal of Plant & Soil Science, 3(4): 408-418.
28. Seeger, E. M., Baun A., Kästner M. & S. Trapp, 2009. Insignificant acute toxicity of TiO₂ nanoparticles to willow trees, Journal of Soils and Sediments 9 (1): 46-53.
29. Stephen, G. W., Li H., Jennifer, H., Da-Ren In-Chul, C., K. & J.T. Yinjie, 2012. "Phytotoxicity of metal oxide nanoparticles is related to both dissolved metals ions and adsorption of particles on seed surfaces," Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology, 3: article 4.
30. Sunada, K., Ding X. G., Utami, M. S., Kawashima, Y., Miyama, Y. & K. Hashimoto, 2008. "Detoxification of phytotoxic compounds by TiO₂ photocatalysis in a recycling hydroponic cultivation system of asparagus," Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56 (12): 4819-4824.
31. Zheng, L., Hong, F., Lu, S., & C. Liu, 2005. "Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach," Biological Trace Element Research, 104 (1): 83-91.