

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 میلی گرم 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 میلی گرم 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. prostrata* (از ۶۸ درصد به ۸۴ درصد) گردیده است. غلظت ۱۵۰۰ میلی گرم 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 سانتی متر به ۱۰/۶۸ سانتی متر)، *E. ceratoides* (کاهش درصد جوانه‌زنی از ۲۸ درصد به ۲۰ درصد و رشد ریشه‌چه از ۱۱/۶۳ سانتی متر به ۸/۷۸ سانتی متر) و *K. prostrata* (کاهش درصد جوانه‌زنی از ۶۸ درصد به ۵۶ درصد و رشد ریشه‌چه از ۱۱/۳ سانتی متر به ۸/۸ سانتی متر) داشته است. بطور کلی در اکثر گیاهان، غلظت‌های پایین نانودی اکسید تیتانیوم تاثیر معنی داری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نداشت ولی در غلظت بالا (۱۵۰۰ میلی گرم 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 همچنین 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 (*Eurotia Nitrraria schoberi*، *Halothamnus Salsola rigida*، *ceratoides Kochia prostrata*، *glaucus*) آزمایشی بر پایه طرح کاملاً 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).

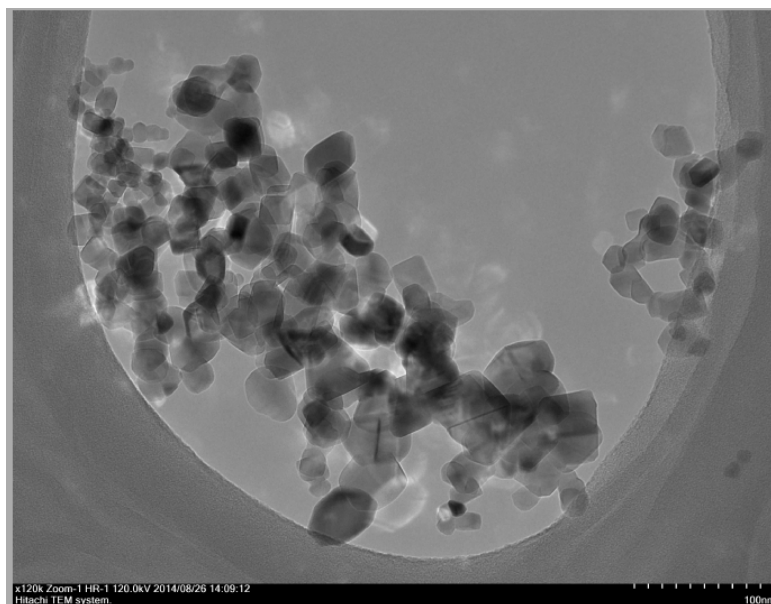
$$\text{رابطه ۱} \quad G_p = n/N * 100$$

که در این رابطه G_p 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.

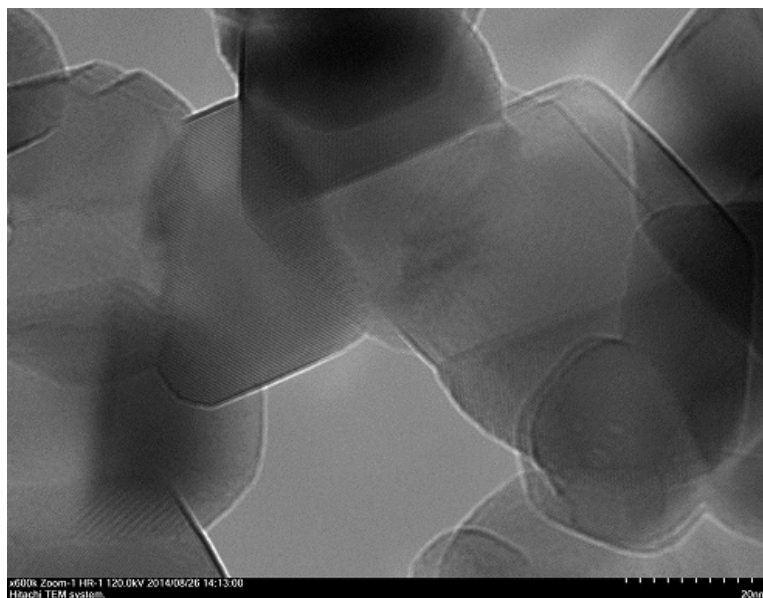
Kochia prostrata از ایستگاه تحقیقاتی سیسپاب واقع در خراسان شمالی تهیه گردید، بذر *Halothamnus glaucus* از ایستگاه کاظم آباد بردسکن تهیه شده و بذر *Nitraria schoberi* از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. نانودی اکسید تیتانیوم تهیه شده ساخت US-NANO آمریکا می‌باشد. خصوصیات نانوذره تهیه شده در جدول ۱ آورده 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 نانودی اکسید تیتانیوم در یک لیتر آب ریخته و برای تهیه سوسپانسیون یکنواخت به مدت ۳۰ دقیقه در هموژنایزر 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 تترازیلیوم استفاده شد، بذورهای تهیه شده با محلول هیپوکلریت سدیم به مدت 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 پریود 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

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



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* تأثیری نداشته است و بر جوانه‌زنی سایر گونه‌ها موثر است (جدول ۲).

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

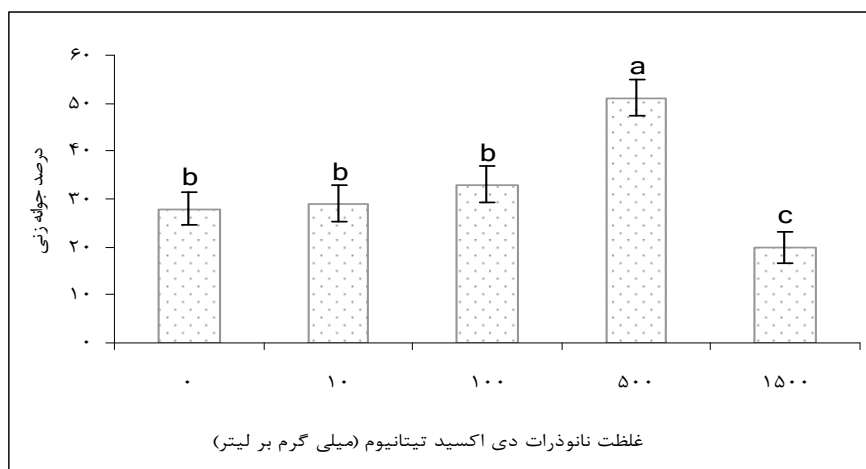
جدول ۲- تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی گونه‌های مورد بررسی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

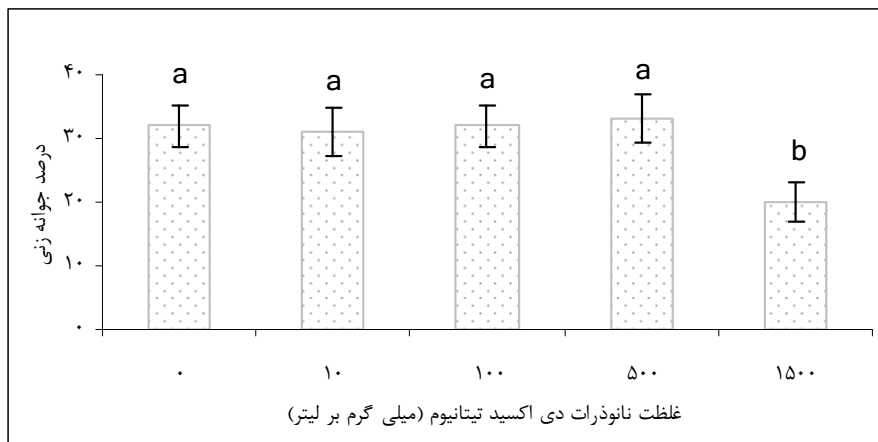
گونه	میانگین مربعات	درجه آزادی	F
<i>N. schoberi</i>	۱۱۷/۲	۴	۹/۵۵۴ ^{**}
<i>E. ceratoides</i>	۵۳۰/۸	۴	۴۰/۶۲۲ ^{**}
<i>S. rigida</i>	۲/۸	۴	۰/۱۲۸
<i>H. glaucus</i>	۳۵۶/۸	۴	۲۳/۰۶۹ ^{**}
<i>K. prostrata</i>	۴۴۲/۸	۴	۲۶/۷۸۲ ^{**}

** معنی دار در سطح ۰/۰۱

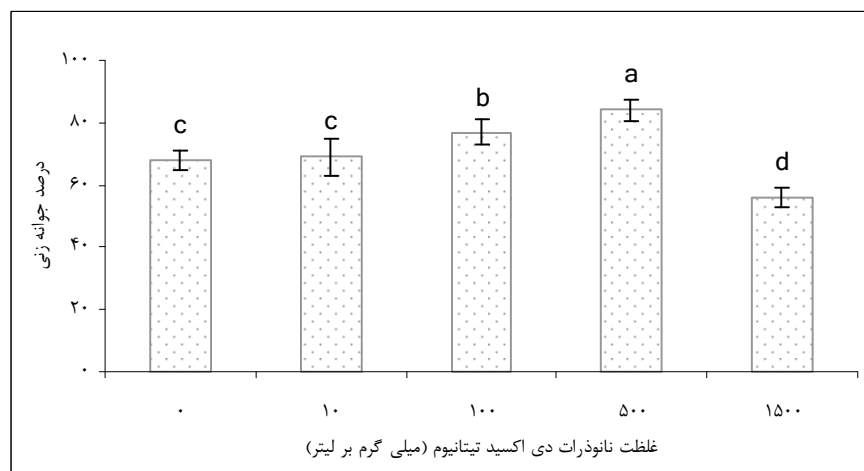
درصد در گیاه می‌شود (شکل ۴)، در *K. prostrata* غلظت ۱۰۰ و ۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) تأثیر مثبت بر جوانه‌زنی گیاه دارند و غلظت ۱۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) این نانوذره کاهش میزان جوانه‌زنی را از ۶۸ درصد به ۵۶ درصد به دنبال دارد (شکل ۵)، در *H. glaucus* تنها غلظت ۵۰۰ (میلی گرم بر لیتر) نانوذره بر درصد جوانه‌زنی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

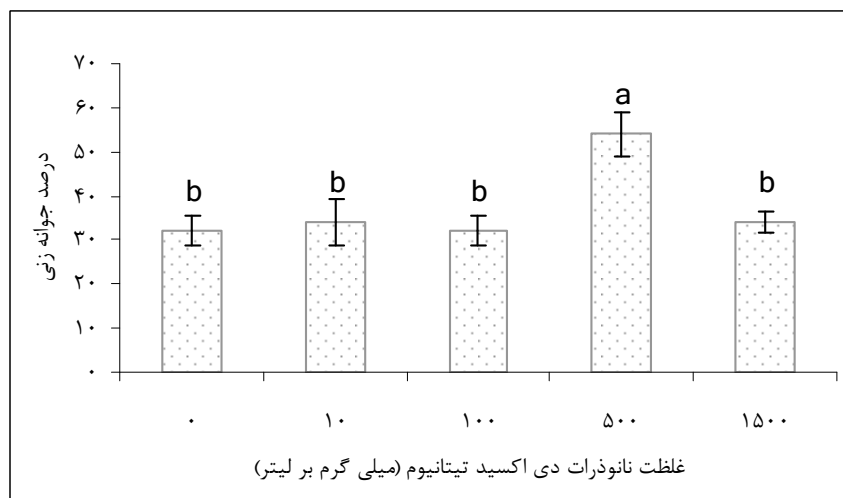
شکل ۳- تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر درصد جوانه‌زنی *E. ceratoides*



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*

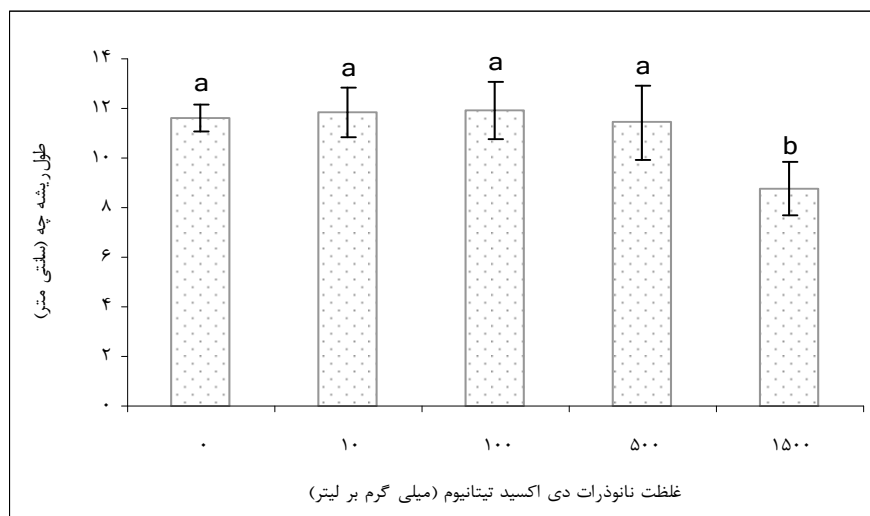
جدول ۳- تجزیه واریانس رشد ریشه‌چه گونه‌های مورد بررسی تحت تاثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

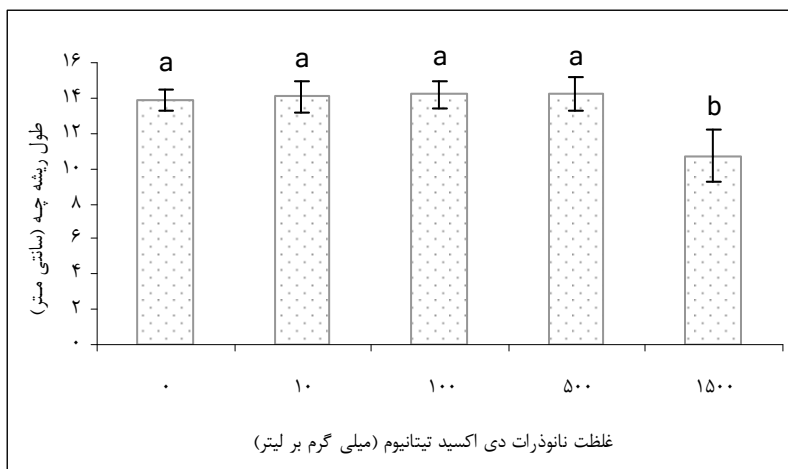
گونه	درجه آزادی	میانگین مربعات ریشه‌چه	میانگین مربعات ساقه‌چه	F ساقه‌چه	F ریشه‌چه
<i>N. schoberi</i>	۴	۹/۳۴۰	۰/۴۸۲	۱/۳۵۴	۹/۷۴۸**
<i>E. ceratoides</i>	۴	۶/۹۸۸	۰/۰۲۲	۰/۱۶۳	۵/۸۰۰**
<i>S. rigida</i>	۴	۰/۰۵۷	۰/۰۳۵	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸۷
<i>H. glaucus</i>	۴	۲/۵۹۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۳/۲۹۱
<i>K. prostrata</i>	۴	۵/۲۹۳	۰/۲۵۸	۰/۸۳۳	۶/۵۰۹**

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

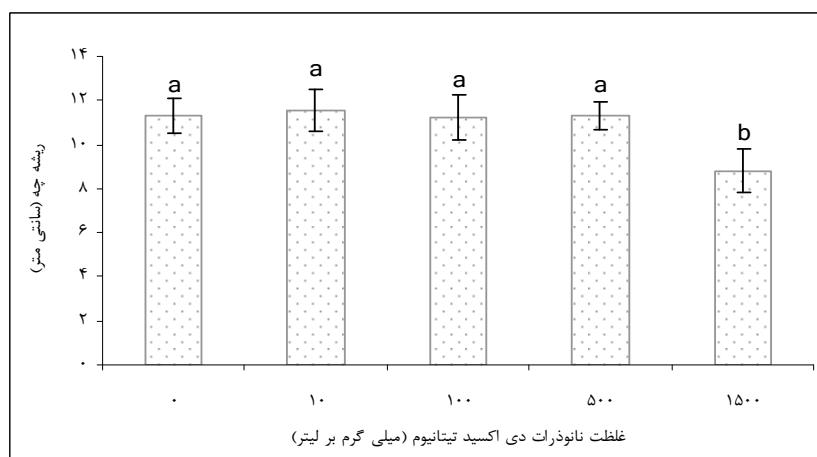
prostrate رشد ریشه‌چه از ۱۱/۳ سانتی‌متر به ۸/۸ سانتی‌متر کاهش یافته است (شکل ۷، ۸ و ۹).
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد ساقه‌چه در هیچکدام از گونه‌های مورد بررسی تاثیر ندارد (جدول ۳).

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

شکل ۷- تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر رشد ریشه‌چه *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 نانودی 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 آن ها نابودی بسیاری از

بحث و نتیجه گیری

مطالعه اثر غلظت های مختلف نانودی 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 نانودی 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 نانودی 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 جوانه زنی در گیاهان را به دنبال دارد که می تواند به عنوان تیمار افزایش دهنده قدرت جوانه زنی مدنظر قرار گیرد. اگرچه نانودی اکسید تیتانیوم، جوانه زنی و رشد ریشه چه در گیاهان مورد بررسی را تحت تاثیر قرار داد، ولی رشد ساقه چه از این نانوذره متاثر نشد. در هر حال نانوذرات از طریق استعمال مستقیم، انتشار تصادفی، رسوبات و خاک های آلوده و یا مواد اتمسفری به گیاهان رسیده و اثرات منفی معنی داری را بر روی گیاهان و زنجیره غذایی اعمال می کنند (۲۸ و ۲۹) که محققان باید حذف آلودگی های زیست محیطی آن ها و یا جلوگیری از ورود آن ها به طبیعت را مدنظر داشته باشند و با تعیین استانداردی، حداکثر غلظت مجاز نانوذرات مختلف در طبیعت را تعیین کنند. در بررسی تاثیر نانودی اکسید تیتانیوم بر رشد و توسعه گیاهان، توسط محققان مختلف اثرات متفاوتی مشاهده شده است. استفاده از نانودی اکسید تیتانیوم افزایش جوانه زنی، رشد و توسعه بسیاری از گیاهان را به همراه دارد. به عنوان مثال حضور آن موجب تسریع تبدیل نیتروژن معدنی به نیتروژن آلی شده و وزن خشک و تر برنج را بالا می برد، یا حضور آن به صورت معمولی و نانو افزایش جوانه زنی در گیاهان مختلف را به دنبال دارد (۲۴). قرارگیری بذره های مریم گلی در معرض ۶۰ میلی گرم بر لیتر از نانودی اکسید تیتانیوم باعث افزایش شدت و سرعت جوانه زنی بذرها شده، درحالی که غلظت های بالاتر تاثیری بر سرعت جوانه زنی بذرها نداشته است (۴). افزایش درصد جوانه زنی تحت تاثیر نانوذرات در گونه های مورد بررسی (مخصوصا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) موید اثر مثبت این ماده تا غلظت های مشخصی است. برخی مطالعات صورت گرفته نشان دهنده کاهش رشد ریشه گیاهان می باشد (۱۹ و ۷) که در مطالعه حاضر نیز کاهش رشد ریشه چه (غلظت ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) احتمالا بدلیل انسداد سلول های ریشه با این نتایج همخوانی دارد. اثر سمی ایجاد شده توسط این نانوذره می تواند ناشی از انسداد سلول ها و

رسوب گذاری ذرات در محیط سلولی باشد (۱۴). از طرفی اثر سمی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می تواند ناشی از آزاد شدن یون های تیتانیوم در اثر انحلال و ورود آن ها به محیط باشد (۲۴ و ۱۴).

در مطالعات بسیاری بی تاثیر بودن نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر رشد و توسعه گیاهان مشاهده شده، به عنوان مثال، سیگر و همکاران^۱ (۲۰۰۹) بیان کردند، غلظت های (۰، ۱، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) نانوذرات دی اکسید تیتانیوم هیچگونه سمیتی برای درخت بید ایجاد نمی کند. برخی مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان دهنده کاهش رشد ساقه چه در مجاورت این نانوذره می باشند (۵ و ۱۳) که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر به دلیل تفاوت غلظت و گونه گیاهی تطابق ندارد. در هر حال با توجه به کاربرد فراوان و گسترده نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در صنایع مختلف، ورود این نانوذره به محیط اجتناب ناپذیر است از این رو تاثیر غلظت های متفاوت این نانوذره بر رشد گیاهان باید مورد مطالعه بیشتر قرار گیرد و تاثیر آن بر فرم های رویشی مختلف مطالعه گردد و بر اساس این مطالعات از نقش مثبت آن در بهبود جوانه زنی و رشد گیاه استفاده شود و از ورود غلظت های سمی آن برای گیاهان به طبیعت جلوگیری شود.

^۱. 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.