نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 31، شماره 4، زمستان 1396، ص. 627-617

Journal of Plant Protection
Vol. 31, No. 4, Winter 2018, P. 617-627

بررسی واکنش جوانه‌زنی گندم (*Triticum aestivum* L.) و یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* Durieu.) به سطوح مختلف نانو ذرات روی

احسان اله زیدعلی[1]- روح اله مرادی[2*]- فرشته دارابی[3]- زینب رستمی[4]

تاریخ دریافت: 1395/09/29
تاریخ پذیرش: 1396/06/08

چکیده

جوانه‌زنی گیاهان واکنش متفاوتی به نانو ذرات نشان می‌دهد. کاربرد نانو ذره‌ای که تأثیر مثبت بر جوانه‌زنی و رشد گیاه زراعی و تأثیر منفی بر علف هرز داشته باشد، می‌تواند در کنترل علف‌هرز مفید باشد. جهت بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی بر خصوصیات جوانه‌زنی یولاف وحشی و دو ژنوتیپ گندم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال 1395 انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ژنوتیپ گیاهی در سه سطح (ارقام بهرنگ و سیوند گندم و یولاف وحشی) و نانو اکسید روی در چهار سطح (صفر (شاهد)، 10، 100 و 500 پی‌پی‌ام) بود. نتایج نشان داد که نانو ذرات اکسید روی و ژنوتیپ و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری ($P\leq0/01$) بر تمامی صفات مورد بررسی داشتند. طول ساقه‌چه هر دو رقم گندم تا سطح 100 پی‌پی‌ام نانو ذره افزایش و پس از آن کاهش یافت. درحالی‌که افزایش هر کدام از سطوح نانو ذره باعث کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه یولاف وحشی شد. افزایش سطوح نانو ذره تا سطح 10 پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه یولاف وحشی و رقم سیوند گندم شد و از این غلظت به بعد این صفت کاهش یافت. طول ریشه چه رقم بهرنگ گندم با افزایش غلظت نانو ذره حدود 71 درصد کاهش نشان داد. غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک رقم سیوند گندم نشان نداد ولی باعث کاهش این صفت در رقم بهرنگ و افزایش در یولاف وحشی شد. تأثیر غلظت نانو ذره بر وزن خشک ساقه یولاف و رقم بهرنگ منفی و بر رقم سیوند مثبت بود. سرعت و درصد جوانه‌زنی ارقام گندم تحت تأثیر نانو ذره قرار نگرفت ولی غلظت 500 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی باعث افزایش حدود 63 درصدی این صفات در یولاف وحشی شد. بطور کلی، نتایج نشان داد که استفاده از نانو ذرات اکسید روی در زراعت گندم می‌تواند منجر به جوانه‌زنی و رشد بیشتر علف هرز یولاف وحشی نسبت به گندم و درنتیجه نیاز به هزینه و تلاش بیشتر جهت کنترل علف‌هرز گردد و توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: ریشه‌چه، ژنوتیپ، ساقه‌چه، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی

مقدمه

جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده و مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال شدن جنین است. این مرحله از مهم‌ترین مراحل رشد گیاه می‌باشد و دوام، استقرار و عملکرد نهایی گیاه را تعیین می‌کند (12). با پیشرفت روز افزون فناوری نانو، افزایش نانو ذرات در محیط انکارناپذیر است و تأثیر زیادی بر صنعت، جامعه و محیط دارد. پراکندگی این مواد در محیط و مزارع کشاورزی بدون شک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان تأثیرگذار خواهد بود. از طرفی، نتایج تحقیقات مختلف حاکی از اثرات متفاوت نانو ذرات بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهان مختلف می‌باشد (14، 18، 19، 20 و 22). امکان استفاده از شیوه‌های جدید مانند فناوری نانو به عنوان رویکردی جدید در تمام رشته‌ها از جمله کنترل علف‌های هرز می‌تواند مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان می‌باشد که حدود 60 تا 70 درصد انرژی غذایی انسان‌ها را تأمین می‌کند. این محصول با تأمین بیش از 40 درصد کالری و 50 درصد پروتئین مورد نیاز در جیره غذائی جامعه ایرانی، از اهمیت بسزائی برخوردار است (17).

امروزه در تحقیقات علف‌هرز، به جای حذف کامل علف‌های هرز از مزرعه، اقدام به شناخت و ارزیابی کمی رفتار و اثرات علف‌های هرز در اکوسیستم‌های زراعی می‌شود. این امر نیازمند شناخت ویژگی‌های علف‌هرز و گیاه زراعی و پویایی جوامع علف‌های هرز می‌باشد. درک

1، 3 و 4- به ترتیب استادیار و دانشجویان کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
2- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: (Email: r.moradi@uk.ac.ir
DOI: 10.22067/jpp.v31i4.60735

اثر محیط و انعطاف‌پذیری علف‌های هرز از نظر طول دوره زندگی، رشد و رقابت با گیاه زراعی لازمه مدیریت موفق علف‌های هرز می باشد (21). در این میان یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* Durieu.) یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز یکساله زمستانه و به عنوان یکی از با اهمیت‌ترین علف‌های هرز گندم شناخته شده است (1). علاوه بر این، در بین علف‌های هرز باریک برگ، یولاف وحشی به عنوان یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز کشت‌زارهای کشور به خصوص گندم و دیگر محصولات پاییزه مطرح است (2).

به طور معمول روی بعد از آهن، دومین فلز فراوان در موجودات و تنها فلز مشاهده شده در تمام شش گروه آنزیمی (اکسیدو ریداکتازها، ترانسفرازها، هیدرولازها، لیازها، ایزومرازها و لیگازها) می‌باشد (3). علاوه بر این روی برای تولید کلروفیل، عملکرد دانه گرده، لقاح و جوانه‌زنی مورد نیاز است (7، 16 و 27). اخیراً مطالعات زیادی در رابطه با اثرات منفی و مثبت نانو ذرات عناصر مختلف در گیاهان گزارش شده است (23). از اثرات مثبت می‌توان به اثر دی اکسید تیتانیوم بر رشد گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) نام برد (14). در رابطه با تأثیر منفی این مواد، گزارش شده است که نانو اکسید آلومینیوم می‌تواند رشد ریشه گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، خیار (*Cucumis sativus* L.)، سویا (*Glycine max* L.)، کلم (*Brassica oleracea* L.) و هویج (*Daucus carota* L.) را مهار کند (30). در حضور نانو ذرات روی، بیومس چاودار (*SecaIe cereaIe* L.) به طور معنی‌داری کاهش یافت، نوک ریشه چروکیده شد و اپیدرم و سلول‌های بیرونی ریشه به مقدار بسیار زیادی حفره‌دار شدند یا از بین رفتند (20). تأثیر نانو ذرات اکسید روی کمتر از نانو ذرات یون روی بود. نانو ذرات روی، درصد جوانه‌زنی چچم (*Lolium perenne* L.) چندساله و ذرت را کاهش داد. همچنین رشد ریشه را در گیاهان تربچه (*Raphanus sativus* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، چچم، کاهو (*Lactuca sativa* L.)، ذرت و خیار متوقف کرد. نانو ذرات آلومینیوم تأثیری بر درصد جوانه‌زنی این گیاهان نداشت (19). همچنین، مطالعاتی با هدف دستیابی به اثرات سمیت گیاهی نانو ذرات آلومینیوم، روی و اکسید روی بر جوانه‌زنی و رشد ریشه شش گیاه (تربچه، کلزا، چاودار، کاهو، کدو (*Cucurbita moschata*) و ذرت) توسط میچا (22) انجام شد که نتایج آن بررسی نشان داد که نانو ذرات روی و اکسید روی مانع جوانه‌زنی و رشد ریشه و از بین رفتن میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود. درحالی که نانو ذرات آلومینیوم و اکسید آلومینیوم هیچ تأثیری بر رشد کدو نداشتند ولی رشد تربچه و کلزا را افزایش و طویل شدگی ریشه چاودار و کاهو را به طور معنی‌داری کاهش داد. همچنین طی تحقیقی روی جوانه‌زنی و رشد آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) گزارش شد که رشد گیاهچه نسبت به جوانه‌زنی، به فلزاتی چون جیوه، سرب، روی و مس حساسیت بیشتری داشت. سمیت فلزات سنگین در مراحل مختلف فیزیولوژیکی بذر، متفاوت خواهد بود (18).

استفاده از نانو ذرات و نانوتکنولوژی در جهان به سرعت در سال‌های اخیر در حال پیشرفت است و پتانسیل بالایی برای ایجاد مواد و محصولات جدید دارد. افزایش استفاده از این مواد، منجر به آزادسازی آنها به محیط و در نتیجه آسیب به موجودات زنده می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف نانو ذرات اکسید روی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر یولاف وحشی و ژنوتیپ‌های بهرنگ و سیوند گندم در شرایط آزمایشگاهی بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال 1395، در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ماده گیاهی (ارقام بهرنگ و سیوند گندم و یولاف وحشی) و نانو اکسید روی در چهار غلظت (صفر (شاهد)10، 100 و 500 پی‌پی‌ام) بود. غلظت های مذکور بر اساس توصیه بونیانیتیپونگ و همکاران (5) اعمال گردید. حضور و خسارت گیاه یولاف وحشی در مزارع گندم و تشابه فیزیولوژیکی، فلسفه انتخاب این گیاه به همراه ژنوتیپ‌های گندم در قالب یک فاکتور آزمایشی بود. غلظت‌های مورد استفاده در این آزمایش با تهیهٔ سوسپانسیون به دست آمد. برای تهیهٔ یک محیط کشت که در آن سوسپانسیون و غلظت نانو ذرات کاملاً یکنواخت باقی بماند، از آگار استفاده شد. بدین منظور 14 گرم آگار در یک لیتر آب مقطر حل شد و پس از اتوکلاو شدن، 50 سی‌سی از آن به سوسپانسیون تهیه شده اضافه شد. در نهایت غلظت سوسپانسیون همراه با آگار، همان غلظت مورد نظر بود (5). هر کدام از سوسپانسیون تهیه شده در 4 پتری‌دیش 9 سانتی‌متری که اتوکلاو شده بود، تقسیم شد. بذرها با وایتکس 2 درصد (هیپوکلریت سدیم) به مدت 2 دقیقه، ضدعفونی شدند. سپس سه بار با آب مقطر شستشو داده شد. بذرها در پتری‌دیش‌های 9 سانتی‌متری حاوی محیط آگار همراه با تیمارها، کشت شدند. تعداد بذر داخل هر پتری‌دیش، 30 عدد بود. پتری‌ها در انکوباتور با دمای 25 درجهٔ سانتی‌گراد و وضعیت تاریکی، قرار داده شدند.

شمارش روزانه بذور جوانه زده در ساعت معین و به مدت هفت روز صورت گرفت. ملاک جوانه‌زنی، خروج 2-1 میلی‌متر ریشه‌چه بود. بذرها به صورت روزانه بررسی شده و تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز شمارش می‌شد و در آخرین روز جوانه‌زنی (بعد از 7 روز)، از هر پتری‌دیش 10 گیاهچه به طور تصادفی انتخاب شدند و طول ریشه چه، ساقه‌چه و وزن تر و خشک آنها با استفاده از خط‌کش و ترازوی با دقت 0/0001 اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌چه و ساقه‌چه‌ها در پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و به مدت 48 ساعت

در آون 70 درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند. به منظور محاسبه سرعت، درصد و شاخص جوانه‌زنی از معادلات 1 تا 3 استفاده شد.

به منظور محاسبه سرعت جوانه‌زنی (معادله 1)، با شروع جوانه‌زنی بذرها همه روزه جوانه‌های تولید شده شمارش می‌شوند و تا زمانی ادامه می‌یابد که بذرها توانایی تولید گیاهچه را داشته باشند. این دوره زمانی برای گونه‌های مختلف متفاوت است (26).

$$GR = \Sigma Ni/Ti \quad \text{(معادله 1)}$$

در این فرمول GR: سرعت جوانه‌زنی (بر حسب تعداد بذر جوانه زده در روز) و Ni: تعداد بذور جوانه زده در روز i ام و Ti: تعداد روز تا شمارش i ام می‌باشد.

به منظور تعیین درصد جوانه‌زنی نیز از معادله 2 استفاده شد.

$$GP = (Ni/S) \times 100 \quad \text{(معادله 2)}$$

در این فرمولGP: درصد جوانه‌زنی و Ni: تعداد بذور جوانه زده در روز i ام و S: تعداد کل بذور کشت شده می‌باشد (4).

جهت تعیین شاخص جوانه‌زنی از معادله 3 استفاده شد.

$$\Sigma G.I = Ni/Ti \quad \text{(معادله 3)}$$

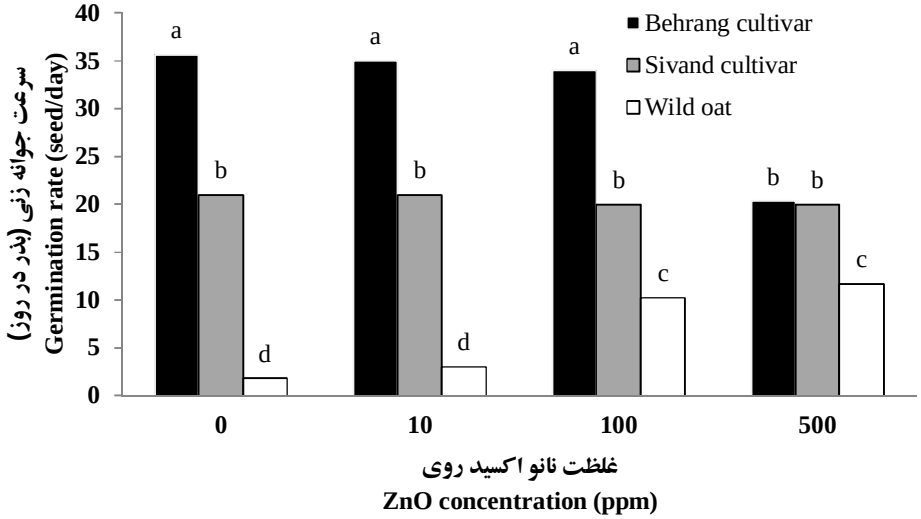
شاخص جوانه‌زنی بذر از مجموع نسبت تعداد کل بذرهای جوانه زده به تعداد روزهای پس از کاشت به دست آمد که در آن Ni برابر است با تعداد کل بذرهای جوانه زده تا روزN ام و Ti شماره روز می‌باشد (8 و 29).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه 9/2 انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد مقایسه شدند. شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

سرعت جوانه‌زنی: از آنجا که جوانه‌زنی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاهان بوده و بهبود این فرآیند در زنده‌مانی و استقرا گیاهچه‌ها اهمیت بسزایی دارد، لذا بررسی عوامل مؤثر در افرایش سرعت و درصد جوانه‌زنی و سایر شاخص‌های مربوط به این فرآیند ضروری به نظر می‌رسد. سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر متقابل غلظت نانو اکسید روی xرقم در سطح احتمال 1 درصد قرار گرفت (جدول 1). همانگونه که نمودار برهمکنش غلظت نانو اکسید روی x رقم (شکل 1) نشان می‌دهد در رقم بهرنگ گندم با افزایش غلظت نانو اکسید روی میزان سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت، اما در یولاف وحشی با افزایش غلظت نانو اکسید روی سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. این در حالی است که غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی گندم رقم سیوند نداشتند. بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی با میانگین 35/66 بذر در روز در تیمار شاهد و رقم بهرنگ و کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد و یولاف وحشی با میانگین 1/82 بذر در روز حاصل شد. میانگین درصد تغییرات درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد نسبت به تیمار 500 ،100 و 10 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی به ترتیب در رقم بهرنگ 42/98 ، 4/65 و 4/65 درصد و در یولاف وحشی این تغییرات نسبت به شاهد به ترتیب84/41 ، 82/24 و 39/73 درصد بدست آمد (شکل 1). عدم تأثیرپذیری سرعت جوانه‌زنی رقم سیوند گندم ممکن است به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی این رقم و نوع نانو ذره استفاده شده باشد. دلیل کاهش زیاد سرعت جوانه‌زنی در غلظت 500 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی در رقم بهرنگ ممکن است به سبب سمیت این تیمار باشد. مشاهده شده است که با افزایش غلظت فلزات سنگین در وضعیت رشد گیاهان، در بذر گیاهان مقدار آبسیزیک‌اسید افزایش یافت و این می‌تواند دلیلی برای کاهش جوانه‌زنی در حضور فلزات باشد (25). مطالعات زیادی نشان می‌دهد که روی (Zn^{2+}) جوانه‌زنی را در انواع دانه‌های گیاهی کاهش می‌دهد و همچنین بازدارنده رشد ریشه، ساقه و برگ‌ها می‌باشد (10 و 24). در بررسی اثرات نانو اکسید تیتانیوم در غلظت‌های 0/25 تا 4 درصد بر جوانه‌زنی و رشد بذور اسفناج مشاهده شد که در غلظت 0/25 درصد نانو اکسید تیتانیوم در طی مراحل مختلف رشد، وزن خشک گیاه، سنتز کلروفیل، فعالیت روبیسکو، نرخ فتوسنتزی و متابولیسم نیتروژن افزایش می‌یابد (31).

درصد جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت درصد جوانه‌زنی نشان داد که این صفت در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر متقابل غلظت نانو اکسید روی x رقم قرار گرفت (جدول 1). عکس‌العمل دو رقم گندم در سطوح مختلف نانو اکسید روی نشان داد که در رقم بهرنگ با افزایش غلطت نانو اکسید روی درصد جوانه‌زنی کاهش یافت، اما در رقم سیوند غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نداشت (شکل 2). در یولاف وحشی افزایش غلظت نانو اکسید روی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد و این افزایش در غلظت 100 پی‌پی‌ام بیشتر از سایر سطوح نانو اکسید روی بود. رقم سیوند نسبت به رقم بهرنگ و یولاف وحشی در همه سطوح مختلف نانو اکسید روی از درصد جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بود. بطوری‌که، بیشترین درصد جوانه‌زنی در رقم سیوند مشاهده شد. کمترین درصد در تیمار شاهد و یولاف وحشی با 5 درصد جوانه‌زنی حاصل گردید (شکل 2). نتایج تأیید نمود که تأثیر ذرات نانو بر جوانه‌زنی یولاف وحشی بیشتر از ارقام گندم بود. میانگین درصد تغییرات درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد نسبت به تیمار 500 ،100 و 10 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی به ترتیب در رقم بهرنگ ۱۰،۵ و 5 درصد و در یولاف وحشی این تغییرات نسبت به شاهد به ترتیب 62/49، 72/72 و 39/97 درصد بدست آمد (شکل 2).



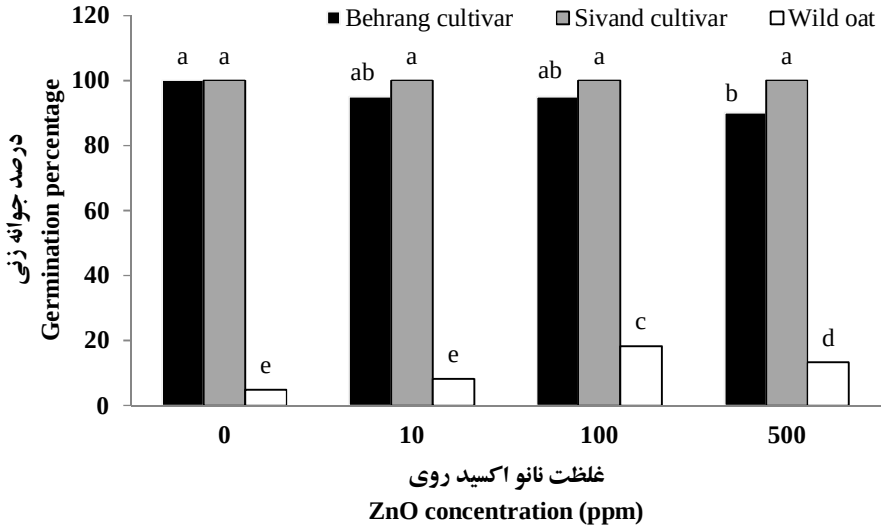
شکل 1- مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ بر سرعت جوانه‌زنی یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 1- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on germination rate of wild oat and wheat genotypes
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)

عدم تأثیرپذیری درصد و سرعت جوانه‌زنی رقم سیوند ممکن است به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی این رقم و نوع نانو ذره استفاده شده باشد، همچنان که محققان گزارشات متفاوتی در رابطه با تأثیرپذیری جوانه‌زنی بذور گیاهان تحت تأثیر نانو ذرات ارائه کرده‌اند. مراقبی و همکاران (23) طی آزمایشی که بر روی دو رقم گندم هگزاپلوئید و تتراپلوئید در غلظت‌های مختلف از محلول نانو نقره انجام دادند، بیان نمودند که نانو نقره بر روی جوانه‌زنی تأثیری ندارد، ولی باعث تغییر در طول ریشه‌چه و حجم آن می‌شود و بهترین غلظت نانو نقره را درغلظت 80 میلی‌گرم در لیتر اعلام نمودند، که باعث افزایش حجم و طول ریشه‌چه می‌شود. طی مطالعه‌ای درخصوص تاثیر نانو ذرات TiO_2 بر خصوصیات جوانه‌زنی گزارش شد که بذرهای مسن اسفناج در تیمار با نانو ذرات TiO_2 دارای سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه بالاتری از بذرهای شاهد بودند که در این حالت ممکن است نانو ذرات TiO2 یون‌های اکسیژن فعال نظیر سوپراکسید و هیدروکسید را تحریک نموده و در نهایت قدرت نفوذپذیری بذر را افزایش و سهولت ورود آب و اکسیژن را به داخل سلول باعث شده و متابولیسم و جوانه‌زنی بذر را تشدید نماید (31).

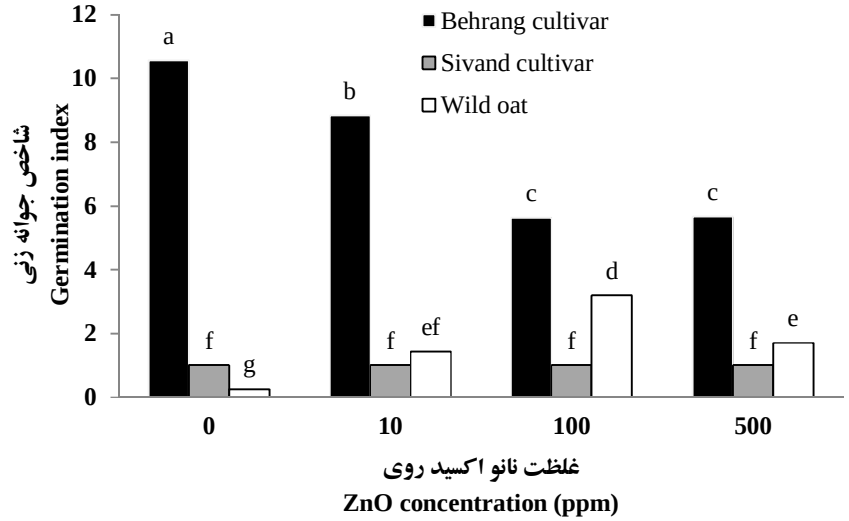
شاخص جوانه‌زنی: اثر متقابل غلظت نانو اکسید روی × رقم از نظر شاخص جوانه‌زنی در سطح احتمال 1 درصد از نظر آماری معنی‌دار گردید (جدول 1). عکس‌العمل دو رقم گندم در سطوح مختلف نانو اکسید روی نشان داد که با افزایش غلظت نانو اکسید روی در رقم بهرنگ شاخص جوانه‌زنی کاهش یافت و در این رقم در غلظت 500 و 100 پی‌پی‌ام تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. در حالی‌که در رقم سیوند همانند درصد و سرعت جوانه‌زنی در شاخص جوانه‌زنی نیز تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. در یولاف وحشی کاربرد نانو ذره روی باعث افزایش شاخص جوانه‌زنی نسبت به شاهد گردید و این افزایش در غلظت میانی نانو ذره روی بیشتر بود (شکل 3). میزان افزایش شاخص جوانه‌زنی در همه سطوح مختلف نانو به ترتیب در رقم بهرنگ، یولاف وحشی و سیوند حاصل گردید (شکل 3). به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص جوانه‌زنی در تیمار شاهد و رقم بهرنگ با میانگین 10/56 و تیمار شاهد و یولاف وحشی با میانگین 0/26 حاصل گردید (شکل 3). میانگین درصد تغییرات درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد نسبت به تیمار۱۰۰،۵۰۰ و 10 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی به ترتیب در رقم بهرنگ 46/4، 46/78 و 16/38 درصد و در یولاف وحشی این تغییرات نسبت به شاهد به ترتیب 84/7، 91/87 و81/94 درصد بدست آمد (شکل 3). تأثیرپذیری متفاوت ارقام تحت تیمارهای اعمال شده در این تحقیق دقیقا مشخص نیست، هرچند ممکن است به دلیل ساختار پوسته بذر و یا ویژگی‌های فیزیولوژیکی این ارقام در جذب یا ذخیره فلزات باشد. پوستهٔ بذر نقش مهمی در حفاظت از بذر در وضعیت تنش دارد. در مطالعه لی و همکاران (18) بذرهای دارای پوسته در غلظت‌های زیادی از فلز روی توانستند جوانه‌زنی داشته باشند، اما جنین‌های بدون پوسته، در غلظت‌های خیلی کم نیز از بین رفتند و جوانه نزدند. همچنین ثابت شده است

گیاهان ساز وکارهای سلولی پیچیده‌ای دارند که ممکن است در سمیت‌زدایی فلزات و در نتیجه ایجاد مقاومت به فلزات در گیاهان دخیل باشند (13). این سازوکارها شامل کاهش جذب فلزات توسط گیاه، ایجاد ترکیبات غیرفعال با فلزات به وسیلهٔ پپتیدهای گیاهی برای اصلاح پروتئین‌های خسارت دیده از تنش یا دسته‌بندی فلزات درون واکوئل‌ها است.



شکل 2- مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ بر درصد جوانه‌زنی یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 2- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on germination percentage of wild oat and wheat genotypes
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)



شکل 3- مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ بر شاخص جوانه‌زنی یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 3- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on germination index of wild oat and wheat genotypes
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)

جدول 1- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر یولاف وحشی و ژنوتیپ‌های گندم

Table 1- Analysis of variance (Mean Square) of effect of ZnO on germination characteristics of wild oat and wheat genotypes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه Plumule dry weight	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص جوانه‌زنی Germination index	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
ژنوتیپ (A) Genotype	2	49.54**	13.50**	0.00391**	0.001337**	1821.91**	162.39**	30784.03**
غلظت نانو اکسیدروی Zno (B)	3	254.13**	1.18**	0.00013**	0.000019**	29.59**	3.78**	52.77**
A×B	6	40.02**	2.28**	0.00009**	0.000234**	103.43**	9.27**	31.25**
خطای آزمایشی Error	36	1.11	0.13	0.000004	0.000003	2.73	0.09	5.61
ضریب تغییرات (%) C.V	-	9.79	9.11	6.8	9.81	8.55	8.64	3.39

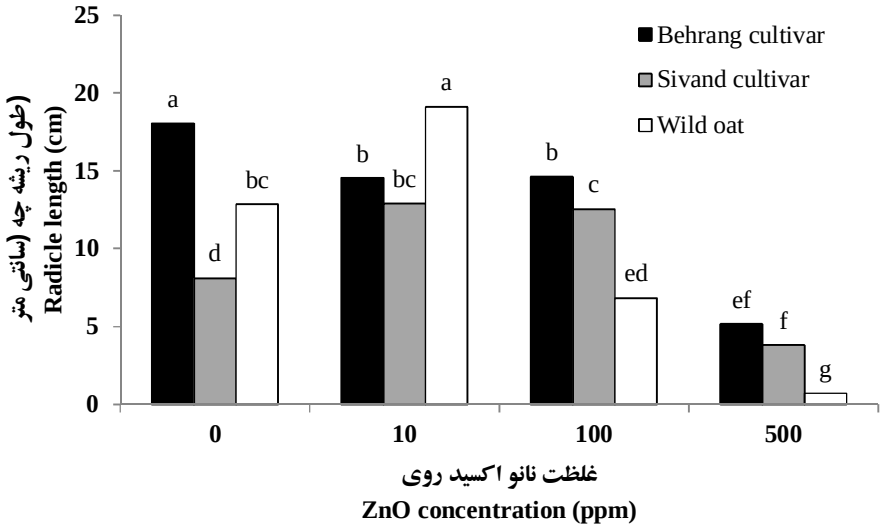
* and **: Significant at 5 and 1% probability levels

* و **: به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

برخی گیاهان مقاوم می‌توانند فلزات را در دیوارهٔ سلول‌های اپیدرمی، باتشکیل باندهای پروتئینی و سیلیکاتی ذخیره کنند (6). با این حال گزارش شده است که روی، سرب، مس، جیوه، کبالت وکادمیوم، جیوه در بین فلزات بیشترین اثر بازدارندگی را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان گندم و خیار داشت (24).

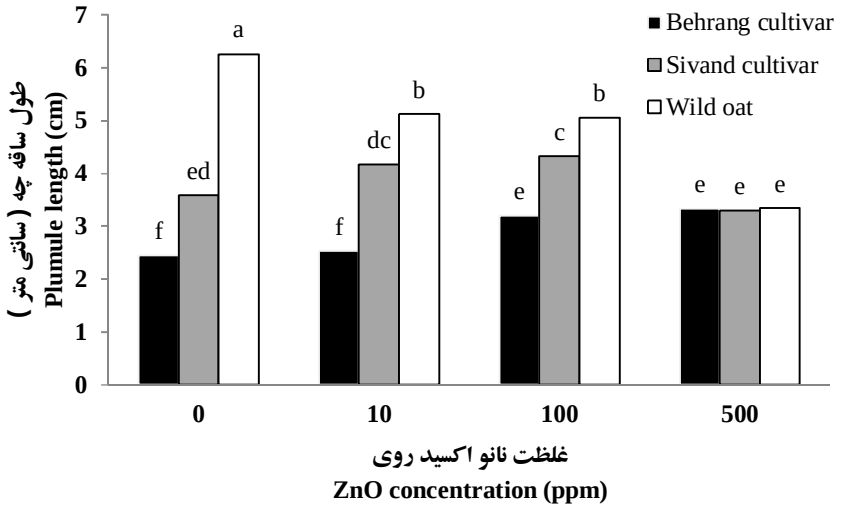
طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشانگر این است که اثر متقابل غلظت نانو اکسید روی x ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین طول ریشه‌چه با میانگین 19 سانتی متر در تیمار 10 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی و یولاف وحشی و کمترین میزان با میانگین ارتفاع 0/73 سانتی‌متری در500 پی‌پی‌ام و یولاف وحشی حاصل گردید (شکل 4). میانگین درصد تغییرات طول ریشه‌چه در تیمار شاهد نسبت به تیمار 500 ،100 و 10 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی به ترتیب در رقم بهرنگ 71/42، 19/04 و 71/42 و در رقم سیوند 53/14، 35/4 و 37/13 درصد و در یولاف وحشی این تغییرات نسبت به شاهد به ترتیب 94/29، 46/8 و 32/8 درصد بدست آمد (شکل 4). در رقم بهرنگ با افزایش غلظت نانو اکسید روی طول ریشه‌چه کاهش یافت اما در رقم سیوند با افزایش غلظت نانو اکسید روی تا 100 پی‌پی‌ام طول ریشه‌چه افزایش یافته اما در غلظت بیشتر از 100 پی‌پی‌ام طول ریشه‌چه از شاهد هم کمتر شد. در یولاف وحشی نیز با افزایش غلطت نانو ذره روی طول ریشه کاهش یافته اما در 10 پی‌پی‌ام طول ریشه‌چه افزایش داشته است (شکل 4). در همه غلظت‌های نانو ذره روی طول ریشه‌چه رقم بهرنگ بیشتر از رقم سیوند بود. پاسخ طول ساقه‌چه دو رقم گندم به سطوح مختلف نانو ذره روی نشان داد که در رقم بهرنگ با افزایش غلظت نانو ذره روی تا 100 و 500 پی‌پی‌ام طول ساقه‌چه افزایش یافته و در این دو غلظت تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد اما در رقم سیوند نانو ذره روی نسبت به شاهد باعث افزایش طول ریشه‌چه شد و این افزایش در غلظت میانی نانو ذره روی بیشتر بود. در یولاف وحشی با افزایش غلظت نانو ذره روی طول ریشه‌چه کاهش یافت. در غلظت 500 پی‌پی‌ام در هر دو رقم گندم و یولاف وحشی طول ساقه‌چه یکسان و تفاوت معنی‌داری ایجاد نگردید. بطوری‌که میانگین درصد تغییرات طول ساقه‌چه در تیمار شاهد نسبت به تیمار 500 ،100 و 10 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی به ترتیب در رقم بهرنگ 26/42، 23/43 و 3/16 درصد و در رقم سیوند 8/07 ، 17/09 و 13/9 درصد در یولاف وحشی این تغییرات نسبت به شاهد به ترتیب 46/48، 19/16 و 18/05 درصد بدست آمد (شکل 5). تغییرات شاخص‌های طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر غلظت نانو ذرات توسط محققان مختلفی گزارش شده است. گزارش شده است که تاثیرسوسپانسیون نانوذرات در غلظت 2000 میلی‌گرم بر لیتر بر رشد ریشه به نوع نانو ذرات و گونه‌های گیاهی بستگی دارد

(19). رمضانی و همکاران (28) طی تحقیقی بر روی تأثیر نـانوذرات نقره، نیکل، روی و روی- مس بر جوانه‌زنی بذر گیاه یونجه گـزارش کردند که روند کاهشی طول ریشه‌چه با افـزایش غلظـت در تمـامی نانوذرات افزایش یافت، به طوری‌کـه نـانوذرهٔ روی- مـس بیشـترین کاهش و نانو ذرهٔ نقره کمترین کاهش در طول ریشه‌چه را نشان داد. همچنین در تحقیقی روی بذرهای در حال جوانه‌زنی برنج نیز مشاهده شد که نانوذرهٔ روی آثار نامطلوبی بر رشد ریشه‌چه داشتند (5).



شکل 4- برهمکنش غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ گیاهی بر طول ریشه‌چه یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 4- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on radicle length of wild oat and wheat
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)



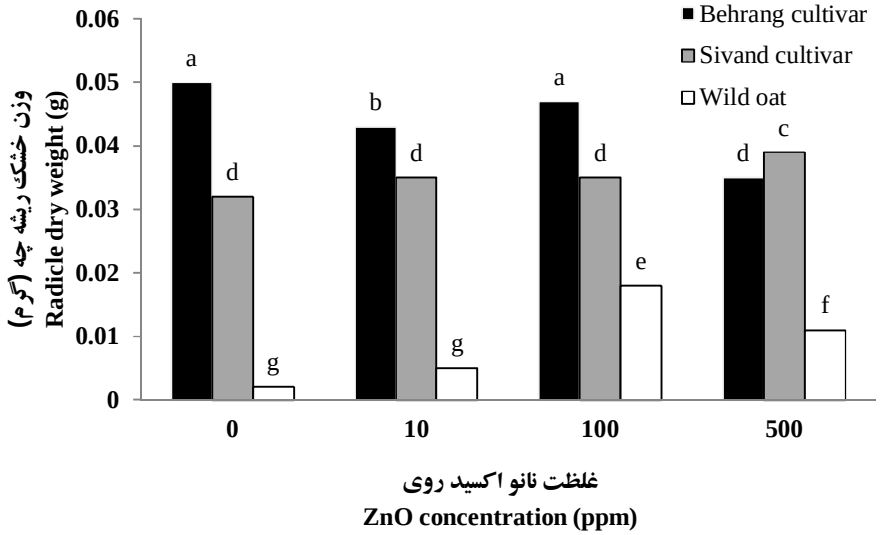
شکل 5- مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ بر طول ساقه‌چه یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 5- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on plumule length of wild oat and wheat
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)

با توجه به بهبود طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر برخی سطوح نانو ذرات روی در این تحقیق، علی رغم گزارشات دیگر محققان مبنی بر تأثیر منفی نانوذرات بر این صفات، این افزایش ممکن است متأثر از نوع گونه باشد. همچنان‌که این نتایج با یافته‌های اختیاری و مراقبی (9) مبنی بر تأثیر تیمارهای نانوذرات نقره در مقایسه با تیمار شاهد در افزایش طول ساقه‌چه گیاه زیره مطابقت دارد.

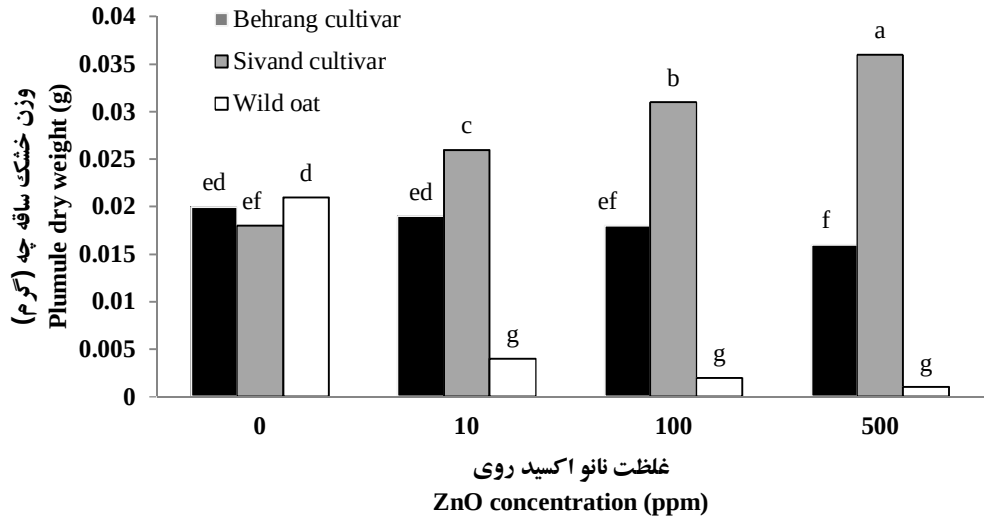
وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که وزن خشک ریشه‌چه تحت تأثیر اثر متقابل غلظت نانو و رقم در سطح احتمال 1 درصد قرارگرفت (جدول 1). عکس‌العمل دو رقم گندم نسبت به کاربرد نانو اکسید روی بر وزن خشک ریشه‌چه متفاوت بود. استفاده از نانو ذره روی در رقم بهرنگ، باعث کاهش و در رقم سیوند باعث افزایش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد گردید (شکل 6). در یولاف وحشی استفاده از نانو ذره روی باعث افزایش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد شد و این افزایش در غلظت میانی نانو ذره روی (100پی‌پی‌ام) بیشتر بود. بطور کلی، بیشترین وزن خشک ریشه‌چه در تیمار شاهد و رقم بهرنگ و کمترین میزان این صفت در تیمار شاهد و یولاف وحشی حاصل گردید (شکل 6). از نتایج چنین نتیجه‌گیری می‌شود که کاربرد نانو ذره روی بر وزن خشک ریشه یولاف تأثیر مثبت و بر گندم بخصوص رقم بهرنگ تأثیر منفی دارد. بنابراین، کاربرد این نانو ذره در مزرعه گندم می‌تواند منجر به تحریک و توسعه ریشه یولاف وحشی شود و در رقابت با گندم این علف هرز موفق‌تر باشد. از آنجایی‌که فرضیه این تحقیق بر این مبنا بوده است که با گسترش تکنولوژی و آلودگی‌ها، نانو ذرات بطور طبیعی در طبیعت و مزارع گسترش خواهند یافت، بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که اثرات مثبت نانو ذرات روی برای علف‌هرز یولاف وحشی بیشتر از گندم خواهد بود و بعبارتی در صورت گسترش نانوذرات شیوع این علف‌هرز در مزارع گندم مشکل آفرین‌تر خواهد شد.

وزن خشک ساقه‌چه نیز تحت تأثیر اثر متقابل غلظت نانوذرات روی و رقم در سطح احتمال 1 درصد قرار گرفت (جدول 1). روند تغییرات وزن خشک ساقه‌چه از ترتیب خاصی پیروی نمی‌کند که این ممکن است به نوع ژنوتیپ‌ها در میزان تأثیرپذیری آنها از نانو ذره روی مربوط باشد (شکل 7). پاسخ دو رقم گندم به استفاده از غلظت‌های مختلف نانو ذره روی بر وزن خشک ساقه‌چه کاملا متفاوت بود. بطوری‌که، افزایش غلظت نانو ذره روی در رقم بهرنگ باعث کاهش و در ژنوتیپ سیوند باعث افزایش وزن خشک ساقه نسبت به شاهد گردید (شکل 7).



شکل 6- اثرات متقابل غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ بر وزن تر ساقه‌چه یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 6- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on radical dry weight of wild oat and wheat genotypes
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)



شکل 7- مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت نانو ذرات روی و ژنوتیپ بر وزن خشک ساقه‌چه یولاف وحشی و ارقام گندم
ستون‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری بر آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند

Figure 7- Interaction effects of ZnO nano-particles and plant genotype on plumule dry weight of wild oat and wheat genotypes
Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p < 0.05$)

در یولاف نیز افزایش غلظت نانو اکسید باعث کاهش وزن خشک ساقه‌چه نسبت به شاهد گردید. بیشترین و کمترین وزن خشک ساقه به ترتیب در تیمار 500 پی‌پی‌ام نانو اکسید روی و ژنوتیپ سیوند و 500 پی‌پی‌ام و یولاف وحشی حاصل گردید که این کاهش در غلظت اولیه نانو (10 ppm) بسیار شدید بود. گزارش شده است که تیمار بذرهای اسفناج با نانو اکسید تیتانیوم (5 نانومتر) با غلظت 0/03 درصد، وزن تر و خشک این گیاه را به ترتیب 60 و 70 درصد افزایش داد (11). با این حال تأثیر نانو ذرات مختلف در تغییرات وزن خشک گیاهچه متفاوت و گاها متناقض گزارش شده است. در مطالعه‌ای تأثیر نانو ذرهٔ روی (Zn) بر زیست توده چاودار بررسی شد که نتایج حاکی از آثار منفی این نانو ذره بر زیست توده گیاه بود (20).

روند متفاوت تغییرات وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بخصوص در رابطه با یولاف وحشی خود قابل توجه می‌باشد. همانطور که در شکل‌های 6 و 7 قابل مشاهده می‌باشد و پیش تر نیز اشاره شد، افزایش غلظت نانو ذره روی باعث افزایش وزن ریشه‌چه و کاهش وزن ساقه‌چه یولاف شد. با این وجود، بنظر می‌رسد وجود نانو ذره اکسید روی بعنوان یک عامل تنش‌زا مانند تنش خشکی برای گیاهچه یولاف وحشی عمل کرده است. چراکه گیاه در هنگام مواجهه با تنش‌هایی مانند تنش خشکی نسبت وزن ریشه‌چه خود را نسبت به ساقه‌چه افزایش می‌دهد (15).

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی تأثیر غلظت نانو ذرات بر خصوصیات جوانه‌زنی بذور گیاهان قابل انکار نیست. اگرچه تأثیر این نانو ذرات به نوع نانو ذره استفاده شده، غلظت آن، مراحل فیزیولوژیکی بذور و ارقام بستگی دارد. لیکن بیشتر گزارش‌ها حاکی از بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی تحت تأثیر این نانو ذرات می‌باشد. همانطور که در این تحقیق مشاهده در بین ژنوتیپ‌های یک رقم گیاه نیز تأثیرپذیری متفاوت و روند متناقضی مشاهده می‌شود که دلیل این موضوع ممکن است به خصوصیات ژنتیکی گیاهان مربوط باشد. بطوری‌که در رقم بهرنگ گندم استفاده از نانو اکسید روی در بسیاری از خصوصیات جوانه‌زنی تأثیر منفی حاصل شد و در رقم سیوند غلظت‌های مختلف نانو ذره روی تأثیر معنی‌داری بر درصد، سرعت و شاخص جوانه‌زنی نداشت اما تأثیر مثبتی بر برخی دیگر از خصوصیات جوانه‌زنی داشت. علاوه بر این، نتایج نشان داد که بیشترخصوصیات جوانه‌زنی گیاه هرز یولاف وحشی تحت تأثیر غلظت نانو ذرات روی بهبود یافت. دلیل تفاوت پاسخ یولاف وحشی به تیمارهای آزمایشی در این آزمایش با توجه به هرز بودن این گیاه در مزارع گندم و همچنین با توجه به عدم از دست دادن برخی صفات مقابله با شرایط سخت محیطی جهت دستیابی به عملکرد بیشتر مانند آنچه که در طول تکامل گیاهان زراعی رخ داده است، ممکن است توجیح‌پذیر باشد. بنابراین، با توجه به روند رو به رشد استفاده از فناوری نانو و وجود طبیعی این مواد در مزارع، بنظر

می‌رسد استفاده از نانو اکسید روی در زراعت گندم کارایی مناسبی نداشته باشد چرا که نقش مثبت آن بر جوانه‌زنی و رشد علف‌هرز مهم یولاف وحشی بیشتر از گندم می‌باشد.

منابع

1- Ahmadvand G., Koocheki A., and Nassiri Mahallati M. 2002. Competitive response of winter wheat (*Triticumm aestivum*) to various plant densities of wild oat (*Avena ludoviciana*) and nitrogen fertilizer. Journal of Agricultural Science and Technology, 1: 113-124.

2- Attarian A.M., and Rashed Mohasel M.H. 2002. Competitive effects of wild oat (*Avena ludoviciana*) on yield and yield components of three winter wheat varieties. Journal of Agricultural Science and Technology, 2: 25-32.

3- Auld D. S. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. Biometals, 14: 271–313.

4- Bajji M., Kinet J. M., and Lutts S. 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). Canadian Journal of Botany, 80: 297-304.

5- Boonyanitipong P., Kositsup B., Kumar P., Baruah S., and Dutta J. 2011. Toxicity of ZnO and TiO2 Nanoparticles on Germinating Rice Seed. Int. J. Bioscie. Biochem. Bioinformatics, 1: 282-285.

6- Bringezu K., Lichtenberger O., Leopold I., and Neumann D. 1999. Heavy metal tolerance of *Silene Vulgaris*. J. Plant Physiology 154: 536-547.

7- Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. Plant and Soil, 302: 1-17.

8- Draper S.R. 1985. Seed science and technology. International seed testing association (ISTA).

9- Ekhteyari R., and Moraghebi F. 2011. Effects of Silver Nanoparticles on salinity tolerance of cumin (*Cuminum cyminum* L). Journal of Plant and Ecology, 25: 99-107. (In Persian with English abstract).

10- El-Ghamery A.A., El-Kholy M.A., and Abou El-Yousser M.A. 2003. Evaluation of cytological effects of $Zn2^{+}$ in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *Triticum aestivum* L. Mutation Research, 537: 29-41.

11- Gao F., Hong F., Liu C., Zheng L., Su M., Wu X., Yang F., Wu C., and Yang P. 2008. Mechanism of nano-anatase TiO2 on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. Biological Trace Element Research, 111: 239-253.

12- Ghorbani M.H., Soltani A., and Amiri S. 2007. The effect of salinity and seed size on response of wheat germination and seedling growth. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(6): 44-52. (In Persian with English abstract).

13- Hall J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany, 53: 1-11.

14- 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.

15- Huang B., Duncan R.R., and Carrow R.N. 1997. Drought resistance mechanisms of seven warm season turfgrasses under surface soil drying, shoot response. Crop Science, 37:1858-1863.

16- Kaya C., and Higgs D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Horticultural Science, 93: 53-64.

17- Kazmi H. 1999. Cereals. Universities Publication Center, Tehran, Iran.

18- Li W., Khan M.A., Yamaguchi S., and Kamiya Y. 2007. Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. Plant Growth Regulation, 46: 45-50.

19- Lin D., and Xing B. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollution, 150: 243-250.

20- Lin D., and Xing B. 2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. Environmental Science & Technology, 42: 5580-5585.

21- Makarian H., Banayan M., Rahimian H., and Izadi-Darbandi E. 2003. Planting date and population density influence on competitiveness of corn (*Zea mays* L.) with red root pig weed (*Amaranthus retroflexus* L.). Iranian Journal of Crop Researches, 2: 271-279. (In Persian with English abstract).

22- Michae B. 2007. Nano particles could have negative effect on plant growth. Nano work LLC.

23- Moraghebi F., Mohebbi H., and Sahebi A. 2008. The effect of silver nanoparticles on the establishment and germination of wheat in the laboratory and greenhouse. Journal of Plant and Ecology, 15: 112-121. (In Persian with English abstract).

24- Munzuroglu O., and Geckil H. 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 43: 203-213.

25- Munzuroglu O., Zengin F. K., and Yahyagil Z. 2008. The abscisic acid levels of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Cakmak 79). Gazi University Journal of Science, 21: 1-7.

26- Pagter M., Bragato C., and Brix H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water

deficit. Aquatic Botany, 81(4): 285–299.
27- Pandey N., Pathak G.C., and Sharma C.P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 20: 89-96.
28- Ramazani F., Shayanfar A., Tavakol Afshari R., and Rezaei K. 2015. Effects of silver, nickel, zinc and zinc – copper nanoparticles on germination, seedling establishment and enzyme activity of alfalfa (*Medicago sativa*) seed. Iranian Journal of Field Crop Scienc,. 45: 107-118. (In Persian with English abstract).
29- Tekrony D.M., and Egli D.B. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. Crop science, 31: 816-822.
30- Yang L., and Watts D.J. 2005. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. Toxicology Letters, 158: 122-132.
31- 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.