تاثیر نانوذرات دی‌اکسید سیلسیم بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه مرتعی بروموس کوپه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov)

۱- ریحانه عظیمی، دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- غلامعلی حشمتی، استاد گروه مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- محمدکیا کیانیان، مربی گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان
mkia.kianian@gmail.com
۴- حسن فیضی، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه

دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۸
پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

بررسی تاثیر نانوذرات دی‌اکسید سیلسیم بر اندام‌های گیاه مرتعی بروموس کوپه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov)، طی آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۳ انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح روش مصرف (محلول‌پاشی و آغشته با بذر)، پنج غلظت ذرات نانو دی‌اکسید سیلسیم (۱، ۲، ۱۰، ۵۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) و تیمار شاهد (بدون هیچ نوع دی‌اکسید سیلسیم) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات، بر اندام‌های گیاه مرتعی بروموس از جمله ارتفاع و پارامترهای وزنی گیاه کاهش یافتند. در تیمار استفاده از نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب به میزان ۲۴، ۶۶ و ۳۴ درصد افزایش برای وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و ارتفاع نسبت به تیمار صفر (شاهد) نشان داد. در تیمار محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم نیز به ترتیب با ۲۷، ۶۸ و ۳۵ درصد افزایش برای وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و ارتفاع نسبت به تیمار شاهد را نشان داد. مقادیر زیاد نانوذرات اثرات منفی داشتند. با بررسی مشاهدات در عملکرد گیاه بروموس، استفاده از نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر با توجه به مصرف کمتر نانوذرات، سهولت کاربرد نانوذرات و اقتصادی بودن، برای جوانه‌زنی بذر این گونه پیشنهاد می‌شود. بعد از جوانه‌زنی بذر و استقرار نهال‌ها در گلخانه، می‌توان آن را با توجه به شرایط سازگاری در منطقه از نظر اقلیم و خاک و غیره، کشت داد و جهت احیای مراتع فقیر و تخریب‌یافته بکار برد.

واژگان کلیدی: بروموس کپه‌داغی؛ دی‌اکسید سیلسیم؛ نانوذرات.

مقدمه

گیاهان، یک جز پایه و اساسی تمام اکوسیستم‌ها هستند و نقش اساسی را در سرنوشت و انتقال نانو ذرات در محیط از طریق جذب و تجمع زیستی ایفا می‌کنند. نانوتکنولوژی، می‌تواند نقش مهمی را در بهبود روش‌های موجود مدیریت گیاهان ایفا نماید [۳۱]. نگاه به احیا و اصلاح مراتع و کشاورزی از دید پایداری به منظور حفظ محیط زیست و تامین نیازهای جامعه ضروری است. بنابراین تغییرات ایجاد شده در طبیعت در اثر دخالت‌های انسان در خاک، آب و جو به دلیل استفاده از مواد شیمیایی مختلف برای افزایش بهره‌وری گیاهان از یک طرف و مصرف بیش از ۱۰ برابر انرژی برای تولید یک واحد از محصول نسبت به قرن گذشته از طرف دیگر، منجر به کاوش روش‌های جدید در تولیدات گیاهان شده است [۱]. تلاش‌ها برای جستجوی فنآوری‌های تولید زیست‌سازگار بر پایه تیمارهای فیزیکی برای افزایش بنیه بذر، استقرار و عملکرد گیاه شروع شده است [۳۰]. نانومواد می‌توانند بر قسمت‌های مختلف گیاه اثرات متفاوتی داشته باشند. از اثرات مثبت این مواد می‌توان به تسریع جوانه‌زنی و رشد گیاه سویا در حضور مخلوط نانوسیلیس و نانوتیتانیوم در غلظت‌های کم اشاره کرد. این

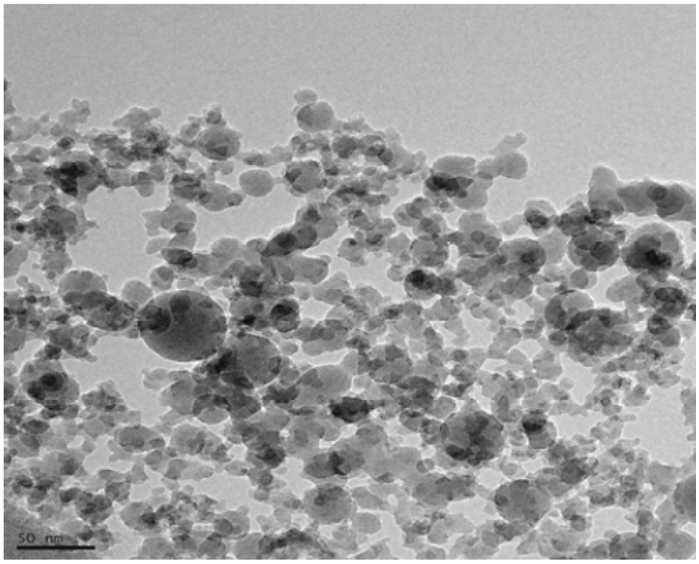
امر موجب افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز، افزایش توانایی جذب آب، کود و تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانت در گیاه می‌شود [۲۲]. سیلسیم دومین ترکیب عنصر معدنی در خاک پس از اکسیژن بوده و تقریباً ۳۱ درصد پوسته زمین را شامل می‌شود [۱۲]. اگرچه، سیلسیم به عنوان عنصر ضروری برای رشد بیشتر گیاهان معرفی نشده است، اما اثرهای سودمندی در رشد و نمو گیاهان دارد [۱۲]. از اثرهای مفید سیلسیم تعدیل اثر مضر آلومینیم و سمیت منگنز، بهبود کارایی مصرف آب [۱۷] و افزایش تحمل به شوری و خشکی است [۱۶]. مطالعات انجام شده بر روی ذرت نشان داد، که کاربرد سیلسیم موجب افزایش مولفه‌های فیزیولوژیکی شده، رشد گیاه را بهبود و مقدار تولید را افزایش می‌دهد [۱۹]. نانو سیلیس موجب افزایش خصوصیات جوانه‌زنی از جمله سرعت جوانه‌زنی، ارتفاع ریشه‌چه و وزن خشک گیاه می‌شود [۱۴]. سیلسیم باعث افزایش رشد رویشی و تولیدات ماده خشک، کاهش تعرق و افزایش تعداد برگ‌ها شده و از این طریق، موجب افزایش ماده خشک، تعداد پنجه و وزن هزاردانه می‌شود [۴]. همچنین، افزودن سیلسیم به خاک باعث افزایش میزان آب نسبی برگ‌های آفتاب‌گردان و بهبود جذب آهن، منگنز، پتاسیم، کلر، سدیم، مس و تیتانیم شده، درحالی‌که تاثیری در جذب نیکل، روی، برم و مولیبدن ندارد [۱۳]. گونه گیاهی مورد بررسی در این پژوهش بروموس کوپه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov) است. در تحقیقی تحت عنوان "اثر متقابل نانوذرات SiO_2 و پیش سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه *Agropyron elongatum* L. نشان داده شد که استفاده از این نانوذره سرعت جوانه زنی (تا ۸۶ درصد)، وزن خشک گیاهچه و ریشه را افزایش داده و خواب بذر را تا حد زیادی می‌شکند [۶]. در یک پژوهش دیگر، چهار نانوذره $Al2O_3$، SiO_2، Fe_3O_4 و ZnO با سه غلظت ۴۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی گیاه *Arabidopsis thaliana* بررسی شد. در بین نانو ذرات مورد مطالعه، ZnO سمیت بیشتری نسبت به بقیه داشت و بعد از آن Fe_3O_4، SiO_2 و Al_2O_3 غیرسمی قرار داشتند [۳۵]. در تحقیقی درصد جوانه‌زنی بذرهای گیاه *Arabidopsis thaliana* توسط SiO_2 تحت تاثیر قرار گرفت. تاثیر مثبت معنی‌دار بر طول ریشه‌چه توسط تمامی غلظت‌های نانو Al_2O_3 و غلظت ۴۰۰ نانو SiO_2 مشاهده شد. بقیه غلظت‌ها و نیز نانو Fe_3O_4 و ZnO اثر بازدارندگی بر طول ریشه‌چه نشان دادند [۲۱]. در تحقیقی نهال‌های یک ساله نوعی کاج (*Larix elgensis*) به مدت ۶ ساعت در غلظت‌های ۶۲، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر نانو اکسید سیلیسیم (SiO_2) قرار داده شد. تیمار نانو، رشد و کیفیت نهال‌ها را به شدت بهبود بخشید. تیمار با غلظت ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر بهترین نتیجه را داد، که در آن متوسط ارتفاع، ۵/۴۲ درصد، قطر ریشه، ۳۰/۷ درصد، طول ریشه اصلی، ۱۴ درصد و تعداد ریشه‌های جانبی نهال‌ها، ۳۱/۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافتند. همچنین تیمار ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر، بیشترین غلظت کلروفیل را نشان داد [۲۴].

در میان گونه‌های بروموس چندساله در خراسان، گونه بروموس کوپه‌داغی که از گیاهان باارزش مراتع خراسان است. این گونه تاکنون از ایران و ترکمنستان گزارش شده و بیشترین درصد پوشش را داراست. این گیاه در کوهستان‌های شمالی استان خراسان رضوی (هزار مسجد، بینالود، کپه‌داغ و آلاداغ) از ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۲۶۰۰ متر در جهت‌ها و در شیب‌های مختلف رویش دارد. این گیاه در مقابل چرای شدید دام مقاومت زیادی دارد. به دلیل تنوع رویشگاه و اهمیت آن در حفظ و احیای مرتع مورد توجه قرار دارد [۹]. تاکنون مطالعات اندکی بر روی چگونگی تاثیر نانو ذرات بر روی رشد گیاهان مرتعی انجام شده است [۲]. این تحقیق با هدف بررسی توانایی نانوذرات اکسید سیلیسیم (SiO_2) در محیط گلخانه و آزمایشگاهی و به عنوان یک پیش‌تیمار به منظور آمادگی کشت در طبیعت انجام گرفت، تا در صورت موفقیت، برای احیای مراتع بکار رود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر نانوذرات دی‌اکسید سیلسیم بر ارتفاع و متغیرهای وزنی گیاه بروموس کوپه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov)، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۳

اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح روش مصرف (محلول‌پاشی و آغشته با بذر)، پنج غلظت ذرات نانو دی‌اکسید سیلسیم (۱، ۲، ۱۰، ۵۰، و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) و تیمار شاهد (بدون هیچ نوع دی‌اکسید سیلسیم) بودند. این غلظت‌ها بر اساس نتایج آزمایشات قبلی از کمترین غلظت تا بیشترین غلظت انتخاب شده است [۶ و ۷]. نانوذرات سیلسیم از شرکت TECNAN اسپانیا تهیه شد. خصوصیات آن شامل خلوص ۹۹ درصد، میانگین اندازه ذرات ۱۵-۱۰ نانومتر و سطح ویژه آن ۶۰۰ مترمربع بر گرم بود. قبل از انجام آزمایش، اندازه نانو ذرات توسط دستگاه میکروسکوپ تونلی روبشی (STM) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد مشخص شد.



شکل ۱- تصویر اندازه نانوذرات سیلسیم (مقیاس ۵۰ نانومتر) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای تهیه غلظت‌های موردنظر، ابتدا میزان لازم از مواد نانو توزین و در آب مقطر قرار داده شد. به منظور تهیه سوسپانسیون یکنواخت، از دستگاه حمام اولتراسوند به مدت ۲۰ دقیقه استفاده شد. پس از تهیه پنج غلظت مختلف ذرات نانو دی‌اکسید سیلسیم (۱، ۲، ۱۰، ۵۰ و ۸۰ میلیگرم بر لیتر)، گلدان‌هایی به گنجایش ۵ کیلوگرم خاک استریل تهیه و با خاک جمع‌آوری شده از عرصه‌های طبیعی بهارکیش قوچان پر شد. برخی از مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است [۸]. سپس در هر گلدان ۵ عدد بذر کشت و آبیاری شد. سپس غلظت‌های مختلف نانوذرات به دو روش زیر به گلدان‌ها اضافه شد.

جدول ۱- برخی مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه

ازت (٪)	ماده آلی (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	کلسیم ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته خاک	بافت خاک
۰/۱۴	۱/۸۸	۲۵/۴۷	۳۰۶/۶۷	۲/۱	۰/۰۴	۷/۵۳	شنی لوم

۱) سه بار محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید سیلیسیم با غلظت‌های ۰، ۱،۲، ۱۰، ۵۰، و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر. اولین مرحله جهت اعمال تیمارهای محلول‌پاشی در مرحله ۲۰ روز پس از سبزشدن و دو مرحله بعد با فاصله هر ۲۰ روز با غلظت مورد نظر بر روی نهال‌ها پاشیده شد; و ۲) مصرف آغشته با بذر نانو دی‌اکسید سیلیسیم با غلظت‌های ۱، ۲، ۱۰، ۵۰، و ۸۰ میلی گرم بر لیتر به مدت ۲۴ ساعت.

برای اعمال تیمار آغشته با بذر نیز سوسپانسیون با غلظت‌های ۱، ۲، ۱۰، ۵۰، و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر از مواد نانو تهیه و بذرها به مدت ۲۴ ساعت آغشته و سپس کشت شد.

صفات مورد ارزیابی در طی فصل رشد شامل وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل، ارتفاع نهایی گیاه بروموس هستند. در مرحله قبل از بذردهی گیاه، بروموس‌ها در هر گلدان برداشت و پس از جدا نمودن اجزای عملکرد، وزن خشک گیاه و سایر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه در گلدان تعیین شدند. داده‌ها و اندازه‌گیری‌های روزانه آنها به نرم افزار صفحه گسترده Excel وارد و پس از پردازش، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار SPSS18 و Minitab16 انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید سیلیسیم و روش‌های مختلف مصرف نانوذرات (آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی) بر روی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه بروموس کوپه‌داغی *Bromus (kopetdaghensis)* تاثیرمعنی‌داری داشت. غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلسیم بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و ارتفاع کل گیاه بروموس کوپه‌داغی در سطح احتمال ۱ درصد ($p<0/01$) تاثیر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیکی گیاه بروموس کپه‌داغی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	وزن خشک کل (gr)	نسبت وزن ریشه به اندام هوایی	ارتفاع (cm)
روش مصرف	۱	۰/۲۶ **	۰/۳۹ns	۱/۲۸**	۸/۷**	۲/۶۱**
غلظت‌های نانوذرات	۵	۳/۰۳ **	۱۲/۴۶ **	۲۷/۴۲ **	۲۳۷/۹۷ **	۱۱۲/۸۵**
روش مصرف* غلظت‌های نانوذرات	۵	۱/۱۹**	۲/۴۴ **	۶/۹ **	۳۳/۷۶ **	۱۶/۰۱ **
خطا	۳۶	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۵	۳۹/۹۲	۰/۵۱

ns، * و * * به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است. به‌منظور کاهش حجم داده‌ها در جدول تجزیه واریانس تنها از میانگین مربعات داده‌ها استفاده شد.

مقایسه میانگین‌های صفات موردمطالعه با روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که با کاهش غلظت نانوذرات، ارتفاع و مولفه‌های وزنی گیاه بروموس افزایش یافت. همچنین، بیشتر صفات مورفولوژیکی گیاه بروموس با افزایش غلظت نانوذرات دی‌اکسید سیلسیم کاهش یافت، به طوری که در برخی موارد حتی از تیمار شاهد نیز کمتر بود. نتایج نشان داد که برخی غلظت‌های زیاد (۵۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر)، اثر منفی بر ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه بروموس کپه‌داغی دارد.

آغشته‌کردن بذر گیاه بروموس با نانوذرات قبل از کاشت در گلدان و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت، سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی این گیاه شد (جدول ۳). غلظت‌های کم نانوذرات اثر بیشتری بر وزن خشک گیاه بروموس داشت. کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ در هزار، بیشترین وزن خشک را تولید نمود. محلول‌پاشی نانوذرات سیلسیم با کمترین غلظت (۲ میلی‌گرم در لیتر) عملکرد وزن خشک اندام هوایی را از ۰/۶ به ۲/۲۵ گرم در گلدان افزایش داد. همچنین در غلظت‌های زیاد تیمار نانو اکسید سیلیسیم (SiO_2)، کاهش وزن خشک اندام‌هوایی نسبت به تیمار شاهد دیده شد. کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت سبب افزایش وزن خشک ریشه گیاه بروموس شد (جدول ۳). در این تحقیق مشاهده شد، که غلظت‌های کم نانوذرات تاثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک ریشه گیاه بروموس داشت. استفاده از نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با

غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین وزن خشک ریشه را تولید نمود. محلول‌پاشی نانوذرات سیلسیم با غلظت (۲ میلی‌گرم در لیتر)، عملکرد وزن خشک ریشه را از ۵/۴۸ به ۸/۰۵ گرم، و در بذرهای آغشته به نانو، وزن خشک ریشه را تا ۸/۳۳ افزایش داد.

جدول ۳- اثرات متقابل روش‌های مختلف مصرف و غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید سیلسیم بر برخی صفات مورفولوژیک گیاه بروموس کپه‌داغی

نوع ذره	روش مصرف	غلظت (mg/Li)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	وزن خشک کل (gr)	نسبت وزن ریشه به اندام هوایی	ارتفاع (cm)
نانو	بذری	۱	۱/۰۴ de	۶/۴۱ c	۷/۴۵ e	۶/۲۶ cd	۱۰/۲۳ c
		۲	۱/۵۴ c	۷/۴۹ b	۹/۰۳ c	۴/۸۹ de	۱۲/۷۵ b
		۱۰	۲/۵۱ a	۸/۳۳ a	۱۰/۸۴ a	۳/۳۲ ef	۱۵/۶۸ a
		۵۰	۰/۶۴ f	۵/۲۱ ef	۵/۸۴ g	۸/۲۳ b	۷/۶۵ d
		۸۰	۰/۵۱ fg	۴/۴۵ g	۴/۹۷ gi	۸/۸۱ b	۶/۱۵ ef
	برگی	۱	۱/۲ d	۶/۹۶ b	۸/۱۶ d	۵/۹۵ cd	۱۱/۷۵ b
		۲	۲/۲۵ b	۸/۰۵ a	۱۰/۳ b	۳/۶۱ ef	۱۵/۴۳ a
		۱۰	۰/۹۱ e	۵/۹۸ cd	۶/۸۹ f	۶/۶۲ c	۱۰/۱۳ c
		۵۰	۰/۵۹ fg	۵/۰۸ ef	۵/۶۷ gh	۸/۷ b	۶/۹۸ de
		۸۰	۰/۴۱ g	۴/۷۵ eg	۵/۱۶ gi	۱۱/۷۰ a	۵/۳۸ f
شاهد			۰/۶ fg	۵/۴۸ de	۶/۰۸ g	۹/۱۸ b	۵/۳۸ f

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت، باعث افزایش وزن خشک کل گیاه بروموس شد. در این تحقیق مشاهده شد، که غلظت‌های کم نانوذرات تاثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک ریشه گیاه بروموس داشت. کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین وزن خشک را تولید نمود. محلول‌پاشی نانوذرات سیلسیم با غلظت (۲ میلی‌گرم در لیتر)، عملکرد وزن خشک کل گیاه را از ۶/۰۸ به ۱۰/۳ گرم و در بذرهای آغشته به نانو، وزن خشک ریشه را تا ۱۰/۸۴ افزایش داد. در غلظت‌های زیاد نانوذرات، کاهش وزن خشک کل گیاه مشاهده شد، به طوری‌که، گیاهانی که با نانوذرات سلسیم با غلظت‌های زیاد تیمار شده بودند، وزن خشک کمتری نسبت به تیمار شاهد داشتند (جدول ۳).

در این آزمایش بین کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی بر ارتفاع گیاه بروموس تفاوت معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) وجود داشت (جدول ۲). کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر و محلول پاشی برگی آن بعد از کاشت باعث افزایش ارتفاع گیاه بروموس شد. (جدول ۳). بلندترین ارتفاع بروموس در استفاده از نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر بود. این محلول‌پاشی نانوذرات سیلسیم با غلظت (۲ میلی‌گرم در لیتر)، ارتفاع گیاه را از ۵/۳۸ به ۱۵/۴۳ گرم و در بذرهای آغشته به نانو وزن خشک ریشه را تا ۱۵/۶۸ افزایش داد. از مقایسه نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گیاه بروموس در تیمارهای نانو اکسید سیلیسیم (SiO_2) نشان می‌دهد که بین کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی تفاوت معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) وجود دارد (جدول۲). نتایج بررسی غلظت‌های مختلف نانوذرات حاکی از آن بود، که غلظت‌های کم نانوذرات اثر بیشتری بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گیاه بروموس داشت و در غلظت‌های کم نانو اکسید سیلیسیم (SiO_2)، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی کمتر بود (جدول ۳).

بحث

در این پژوهش، دی‌اکسید سیلسیم نانو در غلظت‌های کم (به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر)، موجب افزایش متغیرهای ارتفاع و وزنی گیاه نسبت به

تیمار شاهد شد. احتمالاً نانوذرات موجب افزایش جذب عناصر غذایی، تشدید ساخت کلروفیل و تحریک سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش وزن خشک و تجمع مواد آلی در گیاه بروموس می‌شود [۱۰ و ۳۳].

نتایج تحقیقی با عنوان "اثر متقابل نانوذرات SiO_2 و پیش سرمادهی بذر بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه *Agropyron elongatum* L. نشان داد، که استفاده از این نانوذره سرعت جوانه‌زنی (تا ۸۶ درصد)، وزن خشک گیاهچه و ریشه را افزایش و خواب بذر را تا حد زیادی می‌شکند [۶]. نانوذرات سیلسیم احتمالاً به دلیل انتقال مواد فتوسنتزی و مواد غذایی به برگ‌های بروموس موجب افزایش ضخامت ریشه و وزن خشک ریشه بروموس می‌شوند [۲۳]. از اثرات مثبت نانو ذرات بر گیاه می‌توان تجمع عناصر غذایی بر سطح خود بیان کرد. نانوذراتی که سطح ویژه زیادی دارند، قابلیت و پتانسیل زیادی در نگهداری و حفظ عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند [۲۸]، این امر موجب افزایش وزن خشک کل گیاه بروموس شده است. افزایش وزن خشک کل گیاه احتمالاً در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی معدنی و فرآیند فتوسنتز تسریع‌شده توسط نانوذرات سیلسیم است. همچنین پس از تیمار آغشته با بذر، گلدان‌هایی که با نانوذرات غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند، بیشترین وزن خشک کل را دارا بودند. احتمالاً نانوذرات سیلسیم جذب و استفاده عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آب را تحریک می‌نمایند. این امر موجب افزایش وزن خشک کل گیاه می‌شود. دی‌اکسید سیلسیم نانو در غلظت‌های کم تاثیر بیشتری در بهبود عملکرد گیاه بروموس داشت. کاربرد نانوذرات سیلسیم به صورت آغشته با بذر و محلول‌پاشی برگی آن بعد از کاشت، ارتفاع گیاه بروموس را افزایش داد. احتمالاً این امر به دلیل توانایی نانولوله‌های کربنی در غلظت‌های کم برای نفوذ به پوسته بذر و تحریک جذب آب و مواد غذایی است [۲۰]. با افزایش سطح از ۲ تا ۸ گرم بر لیتر nSiO2، جوانه‌زنی تا یک حد خاصی افزایش می‌یابد. بعد از این با افزایش غلظت بیش از ۸ گرم بر لیتر، جوانه‌زنی کاهش یافته بود، که احتمالاً به دلیل افزایش غلظت کود کلات آهن، تجمع و گرفتگی منفذهای ریشه و در آخر مانع جذب آب توسط بذرها می‌شود [۱۳]. با توجه نتایج می‌توان بیان نمود، که اغلب نانوذرات در غلظت‌های نسبتاً زیاد در گیاهان ایجاد سمیت می‌کنند و آستانه سمیت وابسته به گونه گیاه متفاوت است. اندازه ذرات و سطح ویژه، شاخص‌های مناسب‌تری از غلظت‌های اسمی نانوذرات برای سمیت به شمار می‌روند. در تحقیقی مشاهده شد که نانوذرات نقره به اندازه ۲۰ نانومتر جذب شده توسط گیاه، اغلب در فضاهای بین سلولی می‌توانند از طریق پلاسمودسماتا به داخل سلول‌های گیاهی رفته و موجب سمیت در گیاه شوند (۲۵).

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین تاثیر نانوذرات بر اندام‌های گیاه بروموس به ترتیب بر ارتفاع، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی گیاه بروموس بود. نانوسیلسیم در غلظت‌های کم در روش استفاده به صورت آغشته با بذر با غلظت ۱۰ میلی-گرم در لیتر و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین وزن خشک ریشه را دارا بودند. این امر به دلیل ریشه‌های افشان گیاه بروموس است که نقش مهمی را در حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی ایفا می‌کند. همچنین در این غلظت‌های نانوذرات، وزن خشک اندام هوایی گیاه افزایش زیادی داشت، که این امر برای تولید علوفه اهمیت دارد.

References

[1]. Aladjadjiyan, A. (2007). The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. *Journal of Central European Agriculture*, 8, 369-380.

[2]. Alcaraz-Lopez, C., Botıa, M., Alcaraz, C.F., & Riquelme, F. (2004). Effects of calcium-containing foliar sprays combined with titanium and algae extract on plum fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 713–729.

[3]. Alcaraz-Lopez, C., Botıa, M., Alcaraz, C.F., & Riquelme, F. (2005). Induction of fruit calcium assimilation and its influence on the quality of table grapes. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3, 335-343.

[4]. Agarie, S., Hanaoka, N., Ueno, O., Miyazaki, A., Kubota, F., Agata, W. & Kaufman, P.B. (1998). Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Production Science*, 1, 96–103.

[5]. Avinash, C.P., Sanjay, S.S., & Yadav, R.S. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5(6), 488-497.

[6]. Azimi, R., Jankju, M., Feizi, H. & Azimi A. (2014). Interaction of SiO2 nanoparticles and seed prechilling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* L.). *Polish Journal of Chemical Technology*, 16 (3), 25-29.

[7]. Azimi, R., Feizi, H. & Khajeh Hosseini, M. (2013). Can bulk and nanosized titanium dioxide particles improve seed germination features of wheatgrass (*Agropyron desertorum*)? *Notulae Scientia Biologicae*, 5 (3), 1-7.

[8]. Azimi., R. (2013). Investigating effects of mycorrhiza inoculation on the establishment and growth characteristics *Bromus kopetdaghensis, Medicago sativa, Thymus vulgaris and Ziziphora clinopodioides* in rangeland of Bahar Kish Quchan. Msc Thesis, Ferdowsi Mashhad University, 167 p., (in Farsi).

[9]. Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sánchez, A. & Puntes, V. (2009). Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. *Chemosphere*, 75, 850–857.

[10]. Behdad, A. (2010). Effect Allelopathic of Artemisia (*Artemisia khorassanica* Podl) at different stages of development, the germination, growth and some physiological processes in plants *Bromus kopetdaghensis* Drobov. Msc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, (in Farsi).

[11]. Carvajal, M., & Alcaraz, C.F. (1998). Why titanium is a beneficial element for plants? *Journal of Plant Nutrition*, 21(4), 655-664.

[12]. Dietz, K.J., & Herth, S. (2011). Plant nanotoxicology. Trends in Plant Science, 16, 582-589.

Epstein, E. (1999). Silicon. *Annuals Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664.

[13]. Feizi, H., Kamali, M., Jafari, L., & Rezvani Moghaddam, P., 2013. Phytotoxicity and stimulatory impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on fennel (*Foeniculum vulgare* Mill), *Chemosphere*, 91, 506–511.

[14]. Gunes, A., Kadioglub, Y.K., Pilbeam, D.J., Inala, A., Cobana, S., & Aksu, A. (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive x-ray fluorescence. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis,* 39, 1904–1927.

[15]. Haghighi, M., Afifipour, Z., Mozafarian, M. (2012). The effect of N-Si on Tomato seed germination under salinity levels. *Journal Biology environment science*. 6(16), 87-90.

[16]. Janas, R., Szafirowska-Walędzik, A., & Kolosowski, S. (2002). Effect of titanium on eggplant yielding. *Vegtable Crops Research Bullten*, 57, 37–44.

[17]. Janislampi, K.W. (2012). Effect of Silicon on Plant Growth and Drought Stress Tolerance. All graduate theses and dissertations, 1360 p.

[18]. Jian, F., Yamaji, N., Tamai, K., & Mitani, N. (2007). Genotypic difference in silicon uptake and expression of silicon transporter genes in rice. *Plant Physiology,* 145, 919-924.

[19]. Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., & Biris, A.S. (2009). Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano*, 3(10), 3221–3227.

[20]. Kaya, C., Tuna, L., & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water – stress condition. *Journal Plant Nutrition*, 29, 1469- 1480.

[21]. Lee, W.M., An, Y.J., Yoon, H., & Kwbon, H.S. (2008). Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean *(Phaseolus radiatus)* and wheat *(Triticum aestrivum)*: plant agar test for water in soluble

nanoparticles. *Environ. Toxic. Chem*. 27, 1915–1921.

[22]. Lee, C.W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y.C., Braam, J. and Alvarez, P.J. (2010). Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to Arabidopsis thaliana. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(3), 669–675.

[23]. Liang, Y.C., Chen, Q.R., Liu, Q., Zhang, W.H. & Ding, R.X. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal Plant Physiology*, 160, 1157–1164.

[24]. Lin, B.S., Diao, S.Q., Li, C.H., Fang, L.J., Qiao, S.C., Yu, M., 2004. Effects of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai Larch seedlings. *Journal for Research CHN*, 15, 138–140.

[25]. Liu, X.M., Zhang, F.D., Zhang, S.Q., Hex, S., Fang, R., Feng, Z., & Wang, Y. (2005). Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutrition and Fertility Science*, 11, 14-18.

[26]. Lu, C.M., Zhang, C. Y., Wu, J.Q., & Tao, M. X. (2002). Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Science,* 21, 168-172.

[27]. Ma, X., Geisler-Lee, J., Deng, Y., & Kolmakov, A. (2010). Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of the Total Environment*, 408 (16), 3053–3061.

[28]. Mazahernia, S. (2009). Comparison of conventional iron oxide nanoparticles with municipal solid waste compost and granulated sulfur in iron and other nutrients in soil and wheat. Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad, (in Farsi).

[29]. Nair, R., Varghese, H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Sakthi Kumar, D. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants, *Plant Science*, 179, 154–163.

[30]. Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N.B., Filser, J., Miao, A., Quigg, A., Santschi, P.H., & Sigg, L. (2008). Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology*, 17, 372–386.

[31]. Owolade, O.F., Ogunleti, D.O., & Adenekan, M.O. (2008). Titanium dioxide affected diseases, development and yield of edible cowpea. *Electronic Journal of Environment Agriculture Food Chemistry*, 7(50), 2942–2947.

[32]. Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., TajbakhshShisvan, M., & SeyedSharifi, R. (2010). Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientiae Biologicae*, 2(2), 112-113.

[33]. Thakkar, K.N., Snehit, S., Mhatre, M.S., Rasesh, Y., & Parikh, M.S. (2009). Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology Biology and Medicine,* 6(2), 257-262.

[34]. Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167(2), 149-156.

[35]. Wilson M.R., Lightbody, J.H., Donaldson, K., Sales, J., Stone, V. (2002). Interactions between ultrafine particles and transition metals in vivo and in vitro. *Toxicol Appl Pharm*. 184, 172–179.

[36]. Zhu, H., Han, J., Xiao, J.Q., & Jin, Y. (2008). Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide NPs by pumpkin plants. *Journal Environmental Monitoring*, 10, 713–717.

Effects of SiO_2 Nanoparticles on *Bromus kopetdaghensis* Drobov Morphological Characteristics

1- R. Azimi, Ph.D. Student of Rangeland Sciences, Rangeland and Watershed Management Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- G.A. Heshmati, Professor of Rangeland Department, Rangeland and Watershed Management Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- M.K. Kianian, Instructor of Combat Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran
mkia.kianian@gmail.com
4- H. Feizi, Assistant Professor, Plant Production Department, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh

Received: 18 Nov 2016
Accepted: 12 Sep 2017

Abstract

Effect of SiO_2 nanoparticles on rangeland plant of *Bromus kopetdaghensis* Drobov organs is accomplished through factorial test in a completely randomized design with four replications at Ferdowsi University of Mashhad, in 2014. Treatments included two levels of application (spray and impregnated with seeds), 5 concentrations level of SiO_2 nanoparticles (1, 2, 10, 50, and 80 mg/l), and control (no SiO_2 nanoparticles). Results showed that increase in concentration of nanoparticles, the plant organs such as height and weight parameters were decreased. However, SiO2 nanoparticles at low concentrations at the application of SiO_2 nanoparticles method impregnated with the seed at a concentration of 10 mg/l and spraying nanoparticles at a concentration of 2 mg/l were increased plant height and weight, compared to treatment the control. Application of SiO2 nanoparticles are coated with seed treatments with a concentration of 10 mg/l was shown 24, 66 and 34 percent incensement, respectively for shoot dry weight, root dry weight and height compared to the control treatment. Application of spraying nanoparticles treated with 2 mg was shown 27, 68 and 35 percent incensement respectively for shoot dry weight, root dry weight and height compared to the control treatment. According to *Bromus kopetdaghensis* D. yield, it is suggested the method of SiO_2 nanoparticles application impregnated with seed at a concentration of 10 mg/l due to lower consumption of nanoparticles, ease of nanoparticles use and being economical at natural lands.

Keywords: *Bromus kopetdaghensis*; SiO2; Nanoparticles.