فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۶ شماره ۱، صفحه ۱۱-۱، (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): (10.22092/ijfpr.2018.116136)

پایداری اثرات منفی نانوذرات نقره بر جوانه‌زنی و رویش بذر کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) در خاک

ویلما بایرام‌زاده [۱*]، المیرا مرتضوی [۲]، محمدحسین داوودی [۳]، شقایق خیری [۴] و سیدخسرو حسین‌اشرفی [۵]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. پست الکترونیک: vbayramzadeh@gmail.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان پژوهش‌های، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استادیار، گروه مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر، ابهر، ایران
۵- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۲

چکیده

هدف از پژوهش پیش‌رو، ارزیابی پایداری اثرات منفی نانوذره نقره در خاک بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رویشی بذر کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) بود. برای رسیدن به این هدف، آزمایشی به صورت فاکتوریل با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره در خاک و بازه‌های زمانی مختلف کاشت بذرهای کاج جنگلی پس از آمیخته کردن خاک با نانوذرات نقره بودند. اثر نانوذره بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، زی‌توده خشک و طول گیاهچه در زمان‌های کاشت متفاوت بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات نقره، ویژگی‌های رویشی در همه بازه‌های زمانی کاهش معنی‌داری یافت. تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره دارای بیشترین کاهش در صفات مورد ارزیابی در همه بازه‌های زمانی مورد مطالعه بود. همچنین، آثار بازدارندگی نانوذره نقره از غلظت ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آغاز شد. این موضوع بیانگر حساس بودن کاج جنگلی به نانوذرات نقره است. هرچند بر اساس نتایج به‌دست آمده، با گذشت زمان حساسیت صفات مورد مطالعه به حضور نانوذرات در خاک کاهش می‌یافت، اما ازبین نمی‌رفت. بنابراین، به‌نظر می‌رسد نقره در خاک مورد مطالعه پویا بود، هرچند با گذشت زمان تحرک و پویایی آن کم شده بود. این موضوع از نظر محیط زیستی دارای اهمیت است و ضرورت مطالعه رفتار محیط زیستی این عنصر را در محیط‌های مختلف و در مورد گونه‌های چوبی مختلف ضروری می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، زی‌توده خشک، گونه‌های چوبی.

مقدمه

در دهه‌های اخیر پیشرفت گسترده نانوتکنولوژی منجر به ورود نانوذرات در زمینه‌های مختلف زندگی روزانه انسان‌ها شده است. نانوذرات اندازه‌ای بین یک تا ۱۰۰ نانومتر دارند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در محیط‌های مختلف به‌شدت متغیر است (Monica & Cremonini, 2009). در

این میان، نانوذرات نقره به‌دلیل استفاده گسترده در محصولات تجاری، نسبت به سایر نانوذرات‌ها بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Tolaymat *et al*., 2010). نانوذرات نقره به‌طور وسیعی در زمینه‌های گوناگون نظیر تجهیزات پزشکی، لوازم الکترونیکی، فیلترهای آبی و حتی ظروف غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Navarro *et al*., 2008). یکی از دلایل افزایش استفاده از نانوذرات، به‌رغم وجود اثرات منفی اثبات شده محیط زیستی، این است که برخی پژوهشگران بر این باور هستند که با گذشت زمان تحرک و پویایی نانوذرات نقره کاسته شده و درنتیجه، قابلیت دسترسی زیستی و اثرات منفی این نانوذرات بر موجودات زنده کاهش می‌یابد یا در اثر تثبیت در خاک از بین می‌رود (Maass, 2008; Esfahani Moghaddam *et al*., 2012). استفاده روزافزون از نانوذره نقره و رهاسازی آن درون پساب‌های صنعتی و سیستم‌های فاضلاب موجب آلودگی محیط زیست و خاک در بسیاری از مناطق شده است (Benn & Westerhoff, 2008) و نگرانی‌هایی را از نظر محیط زیستی و سلامت انسان‌ها ایجاد کرده است. تا کنون پژوهش‌های زیادی در ارتباط با تأثیر نانوذرات مختلف بر میکروارگانیسم‌ها، باکتری‌ها، پستانداران و گونه‌های آبزی انجام شده است که نتایج بیشتر آن‌ها حاکی از تأثیر منفی این نانوذرات بر ارگانیسم‌های مذکور است (Navarro *et al*., 2008; El-Temsah & Joner, 2010). مطالعه اثر نانوذره نقره موجود در خاک و آب بر گیاهان نیز نتایج مشابهی را نشان داده است، به‌طوری‌که، Garineh و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزایش غلظت نانوذرات نقره اثرات نامطلوبی بر درصد، سرعت و مدت جوانه‌زنی گیاه گندم داشت. تأثیر منفی نانوذرات نقره بر جوانه‌زنی بذر چمن و درصد رشد ریشه پیاز خوراکی نیز به اثبات رسیده است (Kumari *et al*., 2009).

در مورد اثر نانوذره نقره بر گونه‌های چوبی پژوهش‌های بسیار اندکی انجام شده است. یکی از این پژوهش‌ها که در مورد کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) در دو محیط آبی و خاکی انجام شد، نشان داد که نانوذرات نقره به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش صفات رویشی، سرعت و درصد جوانه‌زنی در محیط آبی و خاک‌های اسیدی شد (Gadiri *et al*., 2013). در اکثر مطالعات اشاره‌شده، تأثیر زمان بر تحرک و دسترسی زیستی نانوذره نقره توسط گیاه مورد توجه واقع نشده است، بنابراین با توجه به تأثیر عامل زمان در تحرک نانوذره نقره در محیط‌های مختلف (Esfahani Moghaddam *et al*., 2012)، ضرورت دارد علاوه بر بررسی اثرات مثبت و منفی نانوذرات بر موجودات زنده، ماندگاری این اثرات در محیط‌های مختلف یا به‌عبارت دیگر تأثیر زمان بر قابلیت دسترسی زیستی نانوذره نقره در محیط‌های مختلف مطالعه شود.

با توجه به افزایش کاربرد فلز سنگین نقره در زندگی بشر، کمبود اطلاعات در مورد تأثیر آن بر گونه‌های چوبی و همچنین لزوم بررسی رفتار نانوذره نقره در خاک، هدف پژوهش پیش‌رو ارزیابی پایداری اثرات منفی نانوذره نقره در خاک بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رویشی بذر کاج جنگلی با گذشت زمان بود. برای دستیابی سریع‌تر به این هدف، گونه‌ای از گیاهان چوبی باید انتخاب می‌شد که آثار بازدارنگی نانوذرات نقره بر آن اثبات شده بود، بنابراین با توجه به اندک بودن این قبیل مطالعات در مورد گونه‌های چوبی و با توجه به نتایج پژوهش Gadiri و همکاران (۲۰۱۳)، کاج جنگلی به‌عنوان گونه مورد مطالعه انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام شد. به‌منظور بررسی ماندگاری نانوذرات نقره در محیط خاکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای این آزمایش شامل نانوذرات نقره در پنج سطح (صفر، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و زمان‌های کشت مختلف در سه سطح (۱۵ روز، ۳۰ روز و ۳ ماه پس از آمیخته کردن نانوذرات نقره با خاک) بودند. برای آماده‌سازی

و طی زمان لازم برای سرمادهی، بذرهای کاج جنگلی به مدت سه هفته در یخچال نگهداری و پس از گذشت دوره سرمادهی، سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. ضدعفونی کردن بذرها با استفاده از ویتاواکس با غلظت یک در هزار و به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد (Asareh & Shariat, 2009). نانوذرات نقره با استفاده از روش بور هیدراتو با اندازه‌ای در حدود ۱۰۰ نانومتر در مؤسسه تحقیقات آب و خاک ساخته شدند (Oughton *et al*., 2008).

از آنجا که رشد بهینه کاج جنگلی در خاک‌هایی با اسیدیته ۴ تا ۷ مشاهده می‌شود (Marinich & Powell, 2017)، خاک مورد استفاده در این پژوهش از جنگل‌های لاهیجان تهیه شد. پیش از کاشت، با نمونه‌برداری از خاک ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	رس (درصد)	لای (درصد)	ماسه (درصد)	بافت
۰/۵۰۲	۵/۱۶	۳/۶	۲۸	۳۰	۴۲	لوم رسی

بذرهای کاج جنگلی از مرکز بذر جنگلی خزر با قوه نامیه ۸۷ درصد و خلوص ۱۰۰ درصد تهیه شد. برای کشت، ۵۰ بذر که همگی از نظر شکل و اندازه یکسان بودند، انتخاب شده و در ظروف معین حاوی ۵۰ گرم خاک کاشته شده و به مدت ۱۵ روز در اتاقک جوانه‌زنی با شرایط کنترل شده قرار داده شدند (دما ۲۲ درجه سانتیگراد، ۱۶ ساعت روشنایی، ۸ ساعت تاریکی). لازم به‌ذکر است که برای ارزیابی ماندگاری و پایداری نانوذرات نقره در خاک، ابتدا نانوذرات ساخته شده به خاک اضافه شد. تعدادی از بذرها پس از اینکه ۱۵ روز از آمیخته کردن خاک با نانوذرات نقره گذشت، در پتری‌دیش کشت شدند و مابقی پس از اینکه ۳۰ روز و سه ماه از آمیخته کردن خاک با نانوذرات نقره گذشت، کشت شدند. درنهایت، صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، زی‌توده خشک گیاهچه و طول گیاهچه به‌شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

درصد جوانه‌زنی: نسبت فراوانی بذرهای جوانه‌زده به تعداد کل بذرها در انتهای دوره رشد.

سرعت جوانه‌زنی: با میانگین مدت جوانه‌زنی رابطه معکوس داشته و مطابق با رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Ellis & Roberts, 1980):

رابطه (۱) میانگین مدت جوانه‌زنی (روز بر تعداد بذر جوانه‌زده)
$$D = \frac{\sum Dn}{\sum n}$$

رابطه (۲) میانگین سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر جوانه‌زده بر روز)
$$\overline{R} = [\frac{1}{D}]$$

که در آن‌ها: D تعداد روزها پس از شروع آزمون جوانه‌زنی و n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز D است.

زی‌توده خشک گیاهچه: گیاهچه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شده و سپس با استفاده از ترازو (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شدند.

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- سمیرنوف، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار Statgraphics plus professional 16.0.3 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شد.

نتایج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل دو عامل زمان کاشت پس از آغشته شدن خاک به نانوذرات نقره و غلظت نانوذره نقره در خاک و همچنین اثر ساده هریک از عامل‌های اصلی بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیرزمان و غلظت نانوذره نقره بر صفات جوانه‌زنی و رویشی بذرهای کاج جنگلی

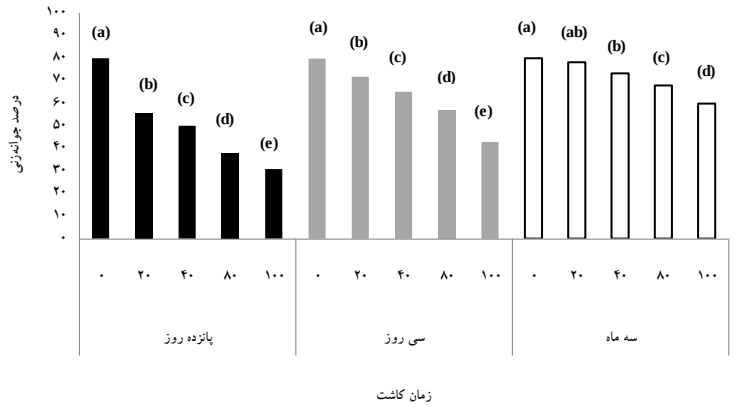
طول گیاهچه				
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت	۳۱/۱۲	۴	۷/۷۸	۲۷/۲۹ **
زمان	۱۲/۶۰	۲	۶/۳۰	۲۲/۱۰ **
زمان × غلظت	۵/۴۸	۸	۰/۶۸	۲/۴۰ *
خطا	۸/۵۵	۳۰	۰/۲۸	
سرعت جوانه‌زنی				
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت	۱۱۲/۴۱۱	۴	۲۸/۱۰	۳۷/۴۷ **
زمان	۴۹/۰۳۳	۲	۲۴/۵۱	۳۲/۶۹ **
زمان × غلظت	۱۶/۸۵	۸	۲/۱۰	۲/۸۱ *
خطا	۲۲/۵	۳۰	۰/۷۵	
زی‌توده خشک				
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت	۰/۰۴۰۸	۴	۰/۰۱۰	۱۰۲/۱۸ **
زمان	۰/۰۱۲۶	۲	۰/۰۰۶	۶۳/۴۴ **
زمان × غلظت	۰/۰۰۶	۸	۰/۰۰۰	۷/۷۷ **
خطا	۰/۰۰۳	۳۰	۰/۰۰۰	
درصد جوانه‌زنی				
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت	۶۶۰۶/۳۱	۴	۱۶۵۱/۵۸	۳۸۷/۰۶ **
زمان	۳۱۲۶/۰۴	۲	۱۵۶۳/۰۲	۳۶۶/۳۳ **
زمان × غلظت	۹۷۱/۲۶	۸	۱۲۱/۴۱۱	۲۸/۴۶ **
خطا	۱۲۸	۳۰	۴/۲۶	

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

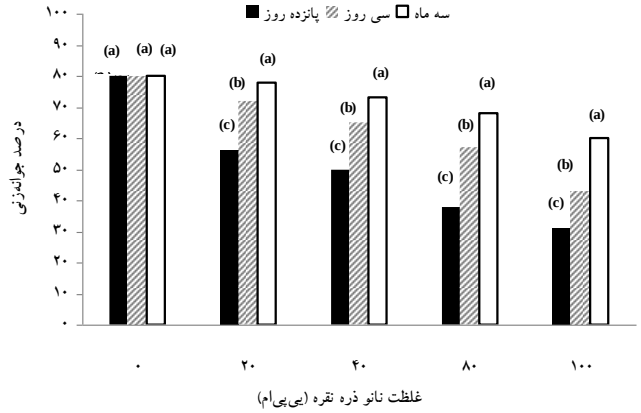
درصد جوانه‌زنی

بر اساس نتایج، با افزایش غلظت نانوذره نقره، درصد جوانه‌زنی بذر کاج جنگلی به‌صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۱). این روند کاهشی با افزایش غلظت نانوذره نقره، در تمامی زمان‌های مورد مطالعه مشاهده شد. کاهش درصد جوانه‌زنی از غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام

نانوذرات نقره در تیمارهای کاشت ۱۵ روز، ۳۰ روز و ۳ ماه آغاز شد (شکل ۱). افت درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار کنترل در بذرهایی که ۱۵ روز پس از آغشته کردن نانوذرات به خاک کاشته شده بودند، شدیدتر بود (شکل ۲). تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره دارای بیشترین کاهش در همه بازه‌های زمانی مورد مطالعه بود (شکل ۲). کمترین مقدار درصد جوانه‌زنی در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره که ۱۵ روز پس از آغشته کردن نانوذرات به خاک کاشته شده بودند، مشاهده شد (جدول ۳).



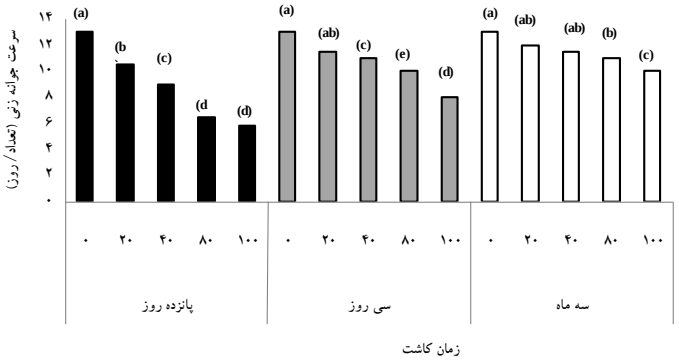
شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره بر درصد جوانه‌زنی بذر کاج جنگلی



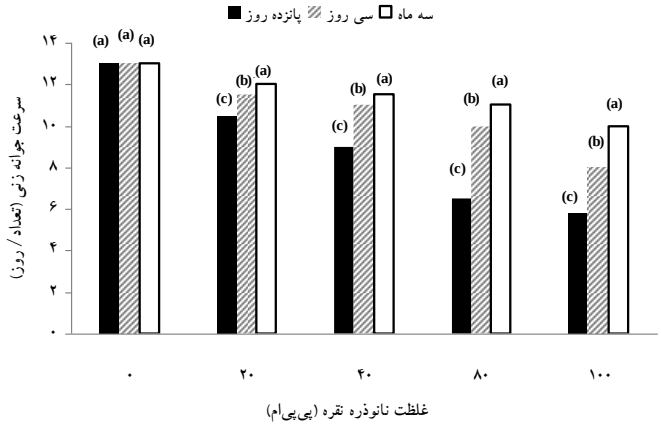
شکل ۲- مقایسه درصد جوانه‌زنی بذر کاج جنگلی در زمان‌های مختلف کشت پس از آمیختگی خاک با نانوذره نقره

سرعت جوانه‌زنی

در تمام فواصل زمانی کاشت، با افزایش غلظت نانوذرات نقره در خاک، سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت که این کاهش در تیمار ۱۵ روز چشمگیرتر بود (شکل ۳). کاهش سرعت جوانه‌زنی در تیمار کاشت ۱۵ روز، از غلظت ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره آغاز شد، در حالی‌که کاهش آماری معنی‌دار در این صفت، در تیمارهای کاشت ۳۰ روز و ۳ ماه به‌ترتیب از غلظت‌های ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانو ذرات نقره آغاز شد (شکل ۳). سرعت جوانه‌زنی بذرها در همه غلظت‌ها (به‌جز شاهد)، در تیمار کاشت ۳ ماه بیشترین مقدار و در تیمار کاشت ۱۵ روز کمترین مقدار را داشت (شکل ۴). کمترین سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب در تیمارهای کاشت بذرهای ۱۵ روز، ۳۰ روز و ۳ ماه پس از آمیخته کردن خاک با نانوذرات نقره در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم نانونقره در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳).



شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره بر سرعت جوانه‌زنی بذر کاج جنگلی



شکل ۴- مقایسه سرعت جوانه‌زنی بذر کاج جنگلی در زمان‌های مختلف کشت پس از آمیختگی خاک با نانوذره نقره

زی‌توده خشک گیاهچه

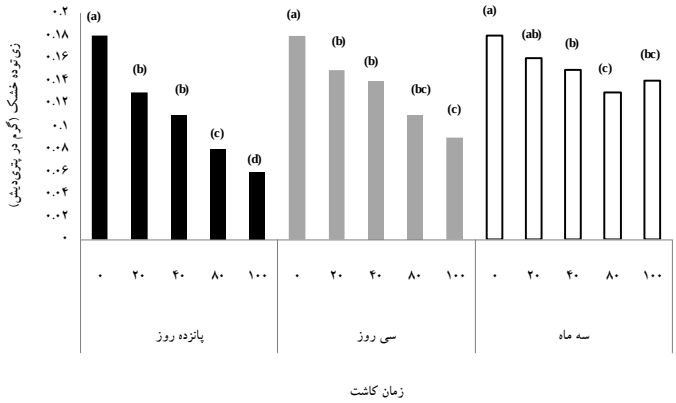
اثر متقابل دو عامل یعنی زمان کاشت پس از آغشته شدن خاک به نانوذرات نقره و غلظت نانوذره نقره درخاک و همچنین اثر ساده هریک از عامل‌ها بر زی‌توده خشک گیاهچه معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش غلظت نانوذرات نقره در خاک، زی‌توده خشک گیاهچه در تمام بازه‌های زمانی کاشت در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۵). کاهش وزن خشک گیاهچه در تیمارهای مربوط به بازه زمانی ۱۵ و ۳۰ روز از غلظت ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره و در تیمارهای مربوط به بازه زمانی ۳ ماه از غلظت ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره آغاز شد (شکل ۵). کمترین زی‌توده خشک گیاهچه در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره در همه بازه‌های زمانی مورد مطالعه مشاهده شد (شکل ۵).

با توجه شکل ۶ مشاهده می‌شود که در تمام غلظت‌های مورد مطالعه، زی‌توده خشک گیاهچه در تیمار کاشت ۳ ماه بیشترین و در تیمار کاشت ۱۵ روز کمترین مقدار را داشت. کمترین مقدار زی‌توده خشک در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره که ۱۵ روز پس از آغشته کردن نانوذرات به خاک کاشته شده بودند، مشاهده شد (جدول ۳).

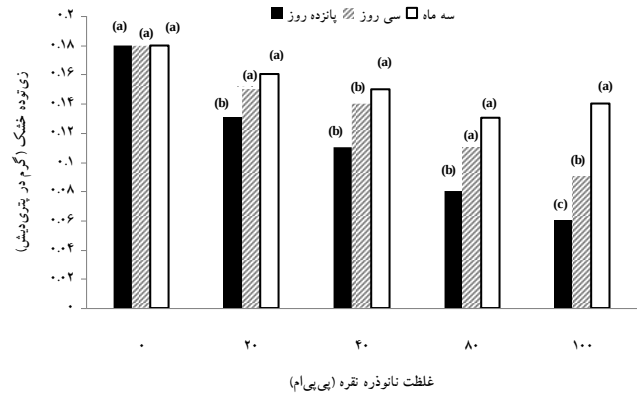
طول گیاهچه

شکل ۷ طول گیاهچه بذرهای کاج جنگلی را ۱۵ روز، ۳۰ روز و ۳ ماه پس از آمیخته کردن خاک با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام بازه‌های زمانی کاشت، با افزایش غلظت نانوذرات نقره در خاک، طول گیاهچه در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یافت. کمترین طول

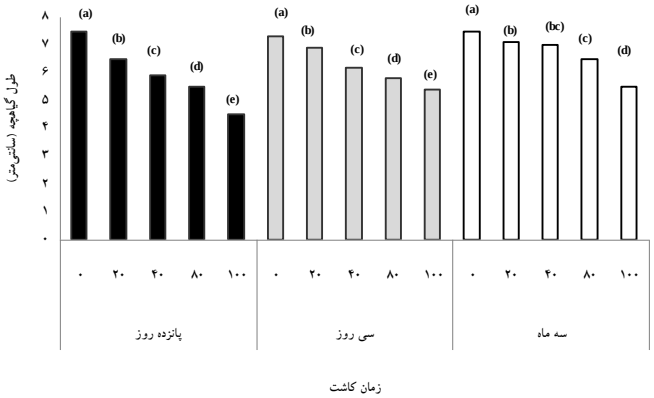
گیاهچه به‌ترتیب در تیمارهای کاشت بذرهای ۱۵ روز، ۳۰ روز و ۳ ماه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم نانونقره در کیلوگرم خاک به‌دست آمد. کاهش طول گیاهچه در تمام تیمارهای زمانی مورد مطالعه، از غلظت ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره آغاز شد. طول گیاهچه در همه غلظت‌ها (به‌جز شاهد) در تیمار کاشت ۳ ماه بیشترین و در تیمار کاشت ۱۵ روز کمترین مقدار را دارا بود (شکل ۸).



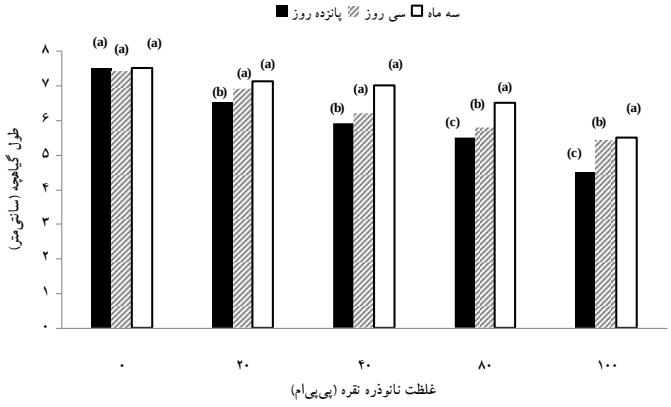
شکل ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره بر زی‌توده خشک گیاهچه کاج جنگلی



شکل ۶- مقایسه زی‌توده خشک گیاهچه کاج جنگلی در زمان‌های مختلف کشت پس از آمیختگی خاک با نانوذره نقره



شکل ۷- تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره بر طول گیاهچه کاج جنگلی



شکل ۸- مقایسه طول گیاهچه کاج جنگلی در زمان‌های مختلف کشت پس از آمیختگی خاک با نانوذره نقره

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و غلظت نانوذره نقره در خاک بر صفات جوانه‌زنی و رویشی بذرهای کاج جنگلی در ۱۵ تیمار مختلف

زمان	غلظت نانوذره نقره در خاک (پی‌پی‌ام)	جوانه‌زنی (درصد)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	زی‌توده خشک (گرم)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز)
۱۵ روز	۰	۸۰ a	۷/۵ a	۰/۱۸ a	۱۳ a
	۲۰	۵۶ g	۶/۵ d	۰/۱۳ c	۱۰/۵ cd
	۴۰	۵۰ h	۵/۹ f	۰/۱۱ (d	۹ e
	۸۰	۳۸ j	۵/۵ g	۰/۰۸ f	۶/۵ g
	۱۰۰	۳۱ k	۴/۵ i	۰/۰۶ g	۵/۸ h
۳۰ روز	۰	۸۱ a	۷/۴ a	۰/۱۸ a	۱۳ a
	۲۰	۷۲ c	۶/۹ c	۰/۱۵ b	۱۱/۵ bc
	۴۰	۶۵ e	۶/۲ e	۰/۱۴ bc	۱۱ c
	۸۰	۵۷٪ g	۵/۸ f	۰/۱۱ d	۱۰ d
	۱۰۰	۴۳ i	۵/۴ h	۰/۰۹ e	۸ f
۳ ماه	۰	۸۰ a	۷/۵ a	۰/۱۸ a	۱۳ a
	۲۰	۷۵٪ b	۷/۱ b	۰/۱۶ ab	۱۲ b
	۴۰	۷۳ c	۷ bc	۰/۱۵ b	۱۱/۵ bc
	۸۰	۶۸ d	۶/۵ d	۰/۱۳ c	۱۱ c
	۱۰۰	۶۰ f	۵/۵ g	۰/۱۴ bc	۱۰ d

حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد است.

بحث

جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در چرخه رشدی گیاهان به‌حساب می‌آید. آزمون‌های جوانه‌زنی به‌دلیل آسانی، حساسیت و کم‌هزینه بودن، یکی از سریع‌ترین و پرکاربردترین آزمون‌ها در بررسی تأثیر تنش‌های محیطی و آلاینده‌ها بر گیاهان به‌شمار می‌روند (Wang *et al*., 2001). بنابراین، در پژوهش پیش‌رو، بازدارندگی نانوذرات نقره و ماندگاری این اثرات بر صفات جوانه‌زنی و صفات اولیه

رویشی کاج جنگلی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش، نانوذرات نقره منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر کاج جنگلی شد، به‌طوری‌که با افزایش غلظت نانوذره نقره در خاک مورد مطالعه، ویژگی‌های جوانه‌زنی کاهش یافت و کمترین مقدار این ویژگی‌ها در بیشترین مقدار استفاده شده از نانوذره نقره در خاک بود. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با یافته‌های بعضی پژوهشگران (Yin *et al.*, 2011; Saber *et al.*, 2012; Gadiri *et al.*, 2013) هم‌سو است. در پژوهشی در خصوص بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر جوانه‌زنی بذر گل کلم مشخص شد که در غلظت ۱۵ پی‌پی‌ام نانوذره نقره، جوانه‌زنی به‌طور کامل متوقف شد (Saber *et al.*, 2012). در پژوهشی دیگر در مورد بذر نوعی چمن مشاهده شد که آثار منفی نانوذرات نقره بر جوانه‌زنی از غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام آغاز شد (Yin *et al.*, 2011). همچنین، Gadiri و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی در مورد تأثیر نانوذرات نقره بر جوانه‌زنی و رشد کاج جنگلی در محیط‌های خاکی با بافت‌های مختلف (رسی و شنی)، کمترین درصد جوانه‌زنی بذر این گونه را در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم ذرات نانونقره گزارش کردند.

در خصوص مکانیسم اثر نانوذرات نقره مشخص شده که یون‌های نقره اثرات بازدارنده‌ای در برابر آنزیم‌های مختلف دارند. در این مکانیسم که به آن اثر یونی گفته می‌شود، نانوذرات نقره به‌مرور زمان یون‌های Ag^+ را از خود ساطع می‌کنند که احتمال می‌رود این ماده با اثر بر روی کارکرد آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی بذر باعث بروز اثرات به‌نسبت نامطلوب بر بذر گیاهان شده و مؤلفه‌های جوانه‌زنی را کاهش دهد (Gadiri *et al.*, 2013). نتایج به‌دست آمده از تأثیر نانوذرات نقره بر صفات رویشی اولیه کاج جنگلی در این پژوهش با نتایج مربوط به ویژگی‌های جوانه‌زنی مشابه بود. با توجه به نتایج، آستانه سمیت نانوذرات نقره در اکثر صفات رویشی مورد ارزیابی غلظت ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نانوذرات نقره بود که این مطلب نشان‌دهنده حساسیت بذر کاج جنگلی به کاربرد نانوذرات نقره در خاک است. گزارش‌های زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد رشد و توسعه گیاه در حضور نانوذرات و به‌ویژه نانوذرات نقره کاهش می‌یابد (Xing & Lin, 2007; Kumari *et al.*, 2009; Mazumdar & Ahmed, 2011). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در راستای نتایج پژوهش Gadiri و همکاران (۲۰۱۳) است که کاهش زی‌توده تر و خشک گیاهچه‌های کاج جنگلی را در اثر کاربرد نانوذرات نقره گزارش کردند.

در رابطه با هدف اصلی این پژوهش، نتایج نشان داد که اثرات بازدارندگی نانوذرات نانو نقره بر صفات رویشی و جوانه‌زنی کاج جنگلی با گذشت زمان کاهش یافت، اما با گذشت سه ماه به صفر نرسید که این نشان از تأثیر منفی زمان بر قابلیت تحرک و دسترسی زیستی نانوذرات نقره در خاک مورد مطالعه داشت. به‌نظر می‌رسد که گذشت زمان باعث کاهش نسبی نقره در بخش تبادلی و افزایش آن در جزء آلی می‌شود (Esfahani Moghaddam *et al.*, 2012). گرچه بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، با گذشت سه ماه اثرات بازدارندگی نانوذرات نانو نقره بر صفات رویشی و جوانه‌زنی کاج جنگلی کاهش یافت، اما تیماری که در معرض ۱۰۰ پی‌پی‌ام نانودره نقره قرار گرفته بود، دارای کاهش معنی‌داری در ویژگی‌های جوانه‌زنی و رویشی مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد بود. بنابراین، به‌نظر می‌رسد نقره در خاک مورد مطالعه پویا بوده، هرچند با گذشت زمان تحرک و پویایی آن کم شده بود. این موضوع از جنبه محیط زیستی دارای اهمیت است و ضرورت مطالعه رفتار محیط زیستی این عنصر را در محیط‌های مختلف و در مورد گونه‌های چوبی مختلف ضروری می‌سازد.

References

- Asareh, M.H. and Shariat, A., 2009. Salinity resistance in germination stage and growth stage in some Eucalyptus species. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(6): 145-157 (In Persian).
- Benn, T.M. and Westerhoff, P., 2008. Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics. Environmental Science and Technology, 42(11): 4133-4139.

- Navarro, E., Piccapietra, F., Wagner, B., Marconi, F., Kaegi, R., Odzak, N., Sigg, L. and Behra, R., 2008. Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii.* Environmental Science and Technology, 42(23): 8959-8964.
- Oughton, D.H., Hertel-Aas, T., Pellicer, E., Mondoza, E. and Joner, E.J., 2008. Neutron activation of engineered nano-particles as a tool for tracing their environmental fate and uptake in organisms. Environmental Taxicology amd Chemistry, 27(9): 1883-1887.
- Monica, R.F. and Cremonini, R., 2009. Nano-particles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.
- Saber, S., GhasimiHagh, Z., Mostafavi, Sh., Bodaghi, H. and Alilo, A., 2012. Effects of nano materials on the germination and seedling growth of brassica seeds. Abstracts of the First National Conference on Application of Nanotechnology in Agriculture and Natural Resources. Tehran, 1-3 Feb. 2012: 215-220 (In Persian).
- Tolaymat, T.M., El-Badawy, A.M., Genaidy, A., Scheckel, K.G., Luxton, T.P. and Suidan, M., 2010. An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: A systematic review and 16 critical appraisals of peer-reviewed scientific papers. Science of the Total Environment, 408(5): 999-1006.
- Xing, B. and Lin, D., 2007. Phytotoxicity of nano-particles: Inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollution, 150(2): 243-250.
- Wang, X., Sun, C., Gao, S., Wang, L. and Shoukui, H., 2001. Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus*. Chemosphere, 44(8): 1711-1721.
- Yin, L., Cheng, Y., Espinasse, B., Colman, B.P., Auffan, M., Wiesner, M., Rose, J., Liu, J. and Bernhardt, E.S. 2011. More than the lons: the effect of silver nano-particles on *Lolium multiflorum.* Environmental Science and Technology, 45(6): 2360-2367.
- Ellis, R.H. and Roberts, E.H., 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. In: Hebblethwaite, P.D. (Ed.). Seed Production. Butterworths, London.
- El-Temsah, Y.S. and Joner, E., 2010. Impact of Fe and Ag nanoparticles on seed germination and differences in bioavailability during exposure in aqueous suspension and soil. Environmental Toxicology, 27(1): 42-49.
- Esfahani Moghaddam, M., Fotovat, A. and Haghnia, G.H., 2012. Effects of sewage sludge and synthetic chelates on distribution of silver in calcareous and noncalcareoussoils. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 16(59): 117-126 (In Persian).
- Gadiri, M., Bayramzadeh, V. and Davoodi, M.H., 2013. The effect of argent nanoparticles on seed germination of *Pinus sylvestris* in soil and aqueous suspension. Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of natural Resources), 66(4): 367-375 (In Persian).
- Garineh, M.H., Gomri, M., Farbod, M., Bakhshandeh, A.M. and Rokni, N., 2011. Effects of silver nano particles seed coating on germination and early growth of wheat seedling (*Triticum aestivum* L.) Pajouhesh & Sazandegi, 92: 73-78 (In Persian).
- Maass, G.J., 2008. Silver Nanoparticles: No threat to the Environment. Colloidal Science Laboratories, Inc. New Jersey, United States, pp. 312-339.
- Kumari, M., Mukherjee, A. and Ghandrasekaran, N., 2009. Genotoxicity of silver nanopartical in *Allium cepa*. Science of the Total Environment, 407(19): 5243-5246.
- Mazumdar, H. and Ahmed, G.U., 2011. Synthesis of silver nanoparticles and its adverse effect on seed germinations in *Oryza Sativa*, *Vigna radiate* and *Brassica Campestris*. International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 2(4): 404-413.
- Marinich, A. and Powell, K., 2017. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.): Best Management Practices in Ontario. Ontario Invasive Plant Council, Canada, 37p.

The durability of negative effects of silver nanoparticles on seed germination and growth characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in soil

V. Bayramzadeh [1*], E. Mortazavi [2], M.H. Davoodi [3], Sh. Kheiri [4] and S.Kh. Hossein Ashrafi [5]

1*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Wood and Paper, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
E-mail: vbayramzadeh@gmail.com
2- M.Sc. Student, Department of Soil Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3- Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Assistant Prof., Department of Agricultural Management, Abhar Branch, Islamic Azad University, Abhar, Iran
5- Assistant Prof., Department of Wood Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: 02.02.2018 Accepted: 11.04.2018

Abstract

This study was conducted on the stability of the inhibitory effects of Ag nano-particles on seed germination and growth characteristic of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds planted in soil. The study was conducted as a factorial experiment in completely randomized design with 3 replications. Experimental factors were different concentrations of silver nano-particles and different planting dates after mixing Ag nano-particles with soil. The results showed significant differences of the evaluated traits amongst the experimental treatments. Moreover, increasing the concentration of silver nano-particles was shown to result in significant decrease in early growth characteristics compared to control in the all examined planting dates. The maximum reductions in the above mentioned traits were observed in 100 mg/kg silver nano-particles. The reduction for most of the studied traits started at 20 mg/kg silver nano-particles indicated the vulnerably of *P. sylvstris* to silver nano-particles. These findings showed that Ag nano-particles in the soil have inhibitory effects on seed germination and growth characteristics of *P. sylvestris* and the time progression decreased the inhibition and toxic effects of silver nanoparticles in soil. This reduction over time could be related to the decreasing silver mobility and bioavailability in the studied soil. Therefore, repeating the current experiment with different woody species and in different environments is recommended.

Keywords: Dry weight, seed germination percentage, seedling length, speed of seed germination, woody plants.