نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۷ شماره ۴، صفحه ۴۷۴-۴۶۴، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2020.128824.1887
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0883.1398.27.452.78.4.1578.1580

تأثیر تیمار نانولوله‌های کربنی بر جوانه‌زنی بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و خینجوک (*Pistacia khinjuk* Stocks) و مقایسه آن با تیمارهای رایج

فهیمه محمدپور [۱]، مهرداد زرافشار [۲*] و فرهاد قاسمی آقباش [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، گرایش عمران و بهره‌برداری جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. پست الکترونیک: m.zarafshar@areeo.ac.ir

۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

چکیده

گونه‌های مختلف پسته وحشی رکود فیزیولوژیکی عمیقی دارند که درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. در این پژوهش، تأثیر پیش‌تیمار خیساندن بذر با نانولوله‌های کربنی و مقایسه آن با تیمارهای رایج بر صفات جوانه‌زنی دو گونه پسته وحشی شامل بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و خینجوک (*P. khinjuk* Stocks) بررسی شد. بذرهای هرگونه به‌صورت جداگانه به‌مدت چهار ساعت در محلول‌های با غلظت صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانولوله‌های کربنی خیسانده شدند. بخش دیگری از بذرها با تیمارهای رایج اسید (۶۵ درصد و به مدت‌های ۵ و ۱۰ دقیقه) و سرما (چهار درجه سانتیگراد به مدت یک ماه) تیمار شد و آزمایش‌های جوانه‌زنی درمورد آن‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که نانولوله‌های کربنی صفات جوانه‌زنی هر دو گونه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به‌طوری‌که خینجوک در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر و بنه در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین جوانه‌زنی را در مقایسه با سایر تیمارها داشتند. در بنه کمترین جوانه‌زنی در تیمارهای اسید (۵ درصد) و شاهد (۱۶/۶۷ درصد) مشاهده شد. در تیمار سرمادهی (۱۸/۳۳ درصد) جوانه‌زنی بیشتر از تیمارهای شاهد و اسید، اما کمتر از تیمارهای نانولوله کربنی بود. در خینجوک نیز کمترین جوانه‌زنی به تیمار اسید (۱۱/۶۷ درصد) تعلق داشت. سرعت و درصد جوانه‌زنی هر دو گونه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر از غلظت‌های ۱۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر بود، بنابراین با دیدگاه اقتصادی استفاده از غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر این نانو مواد توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید، خواب بذر، خیساندن بذر، سرما.

مقدمه

بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) از تیره Anacardiaceae بوده و از نظر بوم‌شناسی یک گونه خشکی‌پسند و دارای پراکنش وسیع است. خینجوک (*P. khinjuk* Stocks) نیز یک گونه خشکی‌پسند ناحیه ایرانی-تورانی است و اگرچه در مقایسه با بنه به‌ندرت به شکل غالب در مناطق رویشی ظاهر می‌شود، اما به‌عنوان یک‌گونه پیشرو در مناطق خشک پراکنش دارد (Negahdarsaber *et*

al., 2007). گونه‌های جنس بنه فقط با بذر تکثیر می‌شوند. بذرهای جنس بنه با یک آندوکارپ استخوانی فوق‌العاده سخت محصور شده‌اند. این آندوکارپ نسبت به آب‌وهوا به‌تقریب غیرقابل نفوذ و مانع سختی برای رشد جنین است که جوانه‌زنی را مشکل می‌کند.

در پژوهش‌های پیشین، روش‌های مختلفی برای شکستن رکود بذر پیشنهاد شده است. Heidari و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که خراش‌دهی مکانیکی یکی از راه‌کارهای بسیار مؤثر در جوانه‌زنی بذر گونه‌های پسته و آلو است. بررسی جوانه‌زنی گونه‌های *P. atlantica*، *P. lentistina* و *P. palaestina* در تیمارهای اسیدسولفوریک، سرمادهی و اسیدجیبرلیک نشان داد که بیشینه جوانه‌زنی بذرهای دو گونه *P. atlantica* و *P. palaestina* تحت تأثیر اثرات متقابل دو تیمار خراش‌دهی و سرمادهی به‌ترتیب ۶۰ درصد و در گونه *P. lentistina* بیشترین درصد جوانه‌زنی (۳۴ درصد) تحت اثر متقابل خراش‌دهی و اسیدجیبرلیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. بنه در اغلب موارد در مقایسه با پسته خوراکی (*P. vera*) به‌دلیل مقاومت به خشکی و شوری، نماتدها و شرایط نامساعد و عملکرد خوب ترجیح داده می‌شود، اما به‌دلیل جوانه‌زنی کم بذرهای آن، کمتر به‌عنوان پایه برای پسته استفاده می‌شود (Cheraghi *et al*., 2015). NegahdarSaber و همکاران (۲۰۰۷) برای شناسایی بهترین روش جوانه‌زنی بذرهای بنه و کلخونگ از تیمارهای سرما، اسید، اسید– سرما و شاهد استفاده کردند و گزارش کردند که بیشترین و کمترین (۷۶ و۲۰ درصد) جوانه‌زنی بذرهای بنه در شهرستان فیروزآباد با تیمار اسید– سرما و بیشترین و کمترین (۶۳/۵ و ۳۸/۵ درصد) جوانه‌زنی بنه در شهرستان نیریز با تیمارهای سرما و اسید بود. در پژوهش Noorian (۲۰۱۵)، از دو هورمون گیاهی اتیلن و اسیدجیبرلیک و همچنین تلفیق هورمون اسیدجیبرلیک همراه با سرمادهی با غلظت‌های مختلف برای شکستن خواب بذر بنه استفاده شد که بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار اسیدجیبرلیک ۲۵۰ppm همراه با سرمادهی و کمترین درصد جوانه‌زنی در تیمار جیبرلیک اسید ۵۰ppm مشاهد شد. Cheraghi و همکاران (۲۰۱۵) برای شکستن خواب بذر و افزایش درصد جوانه‌زنی از تیمارهای خراش‌دهی، سرمادهی، نیترات پتاسیم و اسیدجیبرلیک استفاده کردند. ارزیابی اولیه شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که اثر توأم تیمارهای خراش‌دهی با اسیدسولفوریک ۹۸ درصد، سرمادهی مرطوب و اسید جیبرلیک ۲۰۰ppm، بیشترین تأثیر را بر جوانه‌زنی بذرهای کلخونگ داشت و کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد بود. بذرهایی که تحت تأثیر توأم چند تیمار هستند، بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را داشتند. این موضوع نشان‌دهنده دو نوع خفتگی مکانیکی (ناشی از پوسته سخت بذر) و خفتگی عمیق فیزیولوژیکی (خفتگی رویان) در بسیاری از گونه‌های این جنس است.

استفاده از تیمارهای نانومواد برای شکستن رکود بذر رویکری نوین در علوم بذر است. یک نانومتر حدود صدهزار برابر کوچک‌تر از قطر هر تار موی انسان یا ضخامت هر ورقه کاغذ است. اندازه کوچک این مواد به آن‌ها ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ویژه‌ای می‌دهد تا در فرآیندها اثر متفاوتی نسبت به ذرات درشت‌دانه ایجاد کنند (Monica & Cremonini, 2009). نانوذرات، با داشتن قابلیت نفوذ سریع و راحت به درون بافت‌ها و اندام‌های مختلف گیاهان به‌عنوان القاکننده‌های فعالیت‌های فیزیولوژیک در گیاهان و حتی کود در خاک‌های کشاورزی استفاده می‌شوند (Husen & siddigi, 2014). اولین کاربرد فناوری نانو در کشاورزی توسط وزارت کشاورزی آمریکا در سال ۲۰۰۳ منتشر شد (Orman & Hongda, 2013). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که نانوذرات می‌توانند اثرات مثبت و منفی در گیاهان داشته باشند. پاسخ گیاهان به نانوذرات برحسب نوع گونه، مراحل رویشی و ماهیت آن‌ها متفاوت است (Nair *et al*., 2010). نانولوله‌های کربنی نیز یک گروه ناهمگن هستند (Jackson *et al*., 2013) که می‌توانند ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سلول‌های گیاهی را تغییر دهند (Lahiani *et al*., 2013) و درنهایت باعث تنظیم

رشد گیاه و نهال (Khodakovskaya *et al*., 2012; Haghighi & da Silva, 2014) و نیز افزایش رشد محصول شوند (Nel *et al*., 2013). یکی از مؤثرترین اثرات نانولوله‌های کربنی افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر است. استفاده از نانولوله‌های کربنی می‌تواند باعث ایجاد روزنه‌هایی در بذر شده و مسیری برای ورود آب و اکسیژن فراهم کند. نانولوله‌های کربنی قادرند

با توجه به ارزش‌های اکولوژیکی و اقتصادی گونه‌های پسته وحشی، انجام پژوهش‌هایی با هدف شکستن خواب بذر آن‌ها و افزایش جوانه‌زنی اهمیت بسیاری دارد. بنابراین، در پژوهش پیش‌رو برای اولین بار از تیمارهای نانولوله‌های کربنی به‌منظور شکستن رکود مکانیکی و فیزیولوژیکی و ارتقاء صفات جوانه‌زنی بذر دو گونه بنه و خینجوک استفاده شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای تولیدکنندگان نهال گونه‌های مذکور مفید باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش پیش‌رو در آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ملایر انجام شد. بذرهای مورد نیاز از رویشگاه طبیعی آن در ریجاب در حد فاصل سرپل‌ذهاب و دالاهو در استان کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی ´۳۰ °۳۴ تا ´۴۰ °۳۴ عرض شمالی و ´۲۵ °۴۵ تا ´۳۰ °۴۸ طول شرقی و در فصل آبان از پایه‌های مادری جمع‌آوری شدند. پس از انتقال بذرها به محیط آزمایشگاه، بذرهای با اندازه و وزن یکسان انتخاب شده و در آب ریخته شدند تا بذرهای پوک جدا شوند. بذرهای پر تا دو روز در داخل آب باقی ماندند تا پوسته چرب و سفت آن نرم شده و راحت‌تر جدا شوند.

در آزمایشگاه، برای تعیین رطوبت بذر، وزن هزاردانه هر دو گونه با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد و به مدت ۱۷ ساعت در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و سپس توزین شدند. درصد رطوبت بذر با روابط وزنی محاسبه شد (Negahdarsaber *et al*. 2007). برای ضدعفونی کردن بذرها، ابتدا آن‌ها را به مدت ۱۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم (یک درصد کلر فعال) قرار داده و سپس چند بار با آب مقطر شسته شدند. در ادامه، بذرها در محلول یک مولار از قارچ‌کش مانکوزب غوطه‌ور شده و به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر (دستگاه لرزاننده) قرار گرفتند. درنهایت، بذرها از محلول خارج و با آب مقطر شسته شدند (Baygi *et al*., 2015).

آزمایش در قالب یک طرح کامل تصادفی با شش تکرار ۱۰تایی شامل تیمارهای نانولوله‌های کربنی با غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همچنین تیمار سرمادهی و تیمار اسید انجام شد. بذرها در تیمار سرما به مدت ۳۰ روز در دمای چهار درجه سانتیگراد در ماسه مرطوب قرار گرفتند. در تیمار اسید بذرها در بشر ریخته شده و ۱۰۰ سی‌سی اسیدسولفوریک ۶۵ درصد (۱۰ دقیقه برای بنه به‌علت پوسته ضخیم‌تر آن و پنج دقیقه برای خینجوک که پوسته خارجی نازک‌تری دارد) به آن‌ها اضافه شد. هر دو دقیقه یک‌بار با میله شیشه‌ای هم زده شدند و پس از یک ساعت با آب جاری شسته شدند. برای تهیه محلول نانوکربن با غلظت‌های معین، ابتدا نانوذرات کربن خریداری شده (جدول ۱) برمبنای حجم محلول مورد نظر توزین شد و به آن آب مقطر اضافه شد تا به حجم مورد نظر رسید. سپس محلول تهیه‌شده در داخل دستگاه اولتراسونیک قرار گرفت. بذرها در محلول مورد نظر غوطه‌ور شده و به مدت چهار ساعت روی شیکر قرار گرفتند. در پایان، خشک کردن بذرهای خیسانده شده در دمای اتاق و با توزین روزانه آن‌ها تا رسیدن به مقدار رطوبت پیش از عمل پیش‌تیمار بذر (Priming) انجام شد. بذرهای خیسانده شده در ۱۰ تکرار برای هر تیمار در درون گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۵×۱۵ سانتی‌متر که با مخلوطی از خاک و ماسه به نسبت ۱ به ۱ پر شده بودند (جدول ۲)، کاشته شده و به گلخانه با شرایط دمایی ۱۰ ± ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۱۰ ± ۳۵ درصد انتقال داده شدند. آبیاری گلدان‌ها هر ۲۴ ساعت یک‌بار

انجام شد.

معیار شروع آزمایش جوانه‌زنی، ظهور ساقه‌چه به‌اندازه دو میلی‌متر است. پس از ظهور اولین ساقه‌چه، به‌مدت ۶۰ روز و هر ۲۴ ساعت یک‌بار بذرهای جوانه‌زده شمارش شده و اطلاعات آنها ثبت شد. در این مرحله پارامترهای درصد جوانه‌زنی، میانگین سرعت و زمان جوانه‌زنی به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳ محاسبه شدند (Ahmadlu *et al*., 2010).

رابطه (۱) $n/(N\times100)$

رابطه (۲) $\sum(n/t)$

رابطه (۳) $\sum(t.n)/\sum n$

که در آن‌ها: n تعداد جوانه‌زنی بذرها در طول دوره، N تعداد کل بذرهای کشت شده و t مدت‌زمان لازم برای جوانه‌زنی است.

جدول ۱- مشخصات نانولوله‌های چندجداره مورد استفاده

نانوساختار	قطر بیرونی (نانومتر)	طول (میکرومتر)	خلوص (٪)	خاکستر	SSA	چگالی (گرم در متر مکعب)
MWCNTs	۱۰-۲۰	~۳۰	>۹۵	<۱/۵	۲۰۰	۲/۱

جدول ۲- ویژگی‌های خاک استفاده‌شده برای تیمارهای مختلف

بافت (شنی)	هدایت الکتریکی (ms)	اسیدیته	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)
(٪ ۸۴/۵۵)	۰/۸	۸/۸	۱/۳۳۹۸

تجزیه و تحلیل آماری

پژوهش پیش‌رو در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده ابتدا در نرم‌افزار Excel سازمان‌دهی شده و نمودارها و شکل‌ها تهیه شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- سمیرنوف و همگن بودن داده‌ها با آزمون لون انجام شد. با رعایت نرمال و همگن بودن داده‌ها، از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن انجام شد.

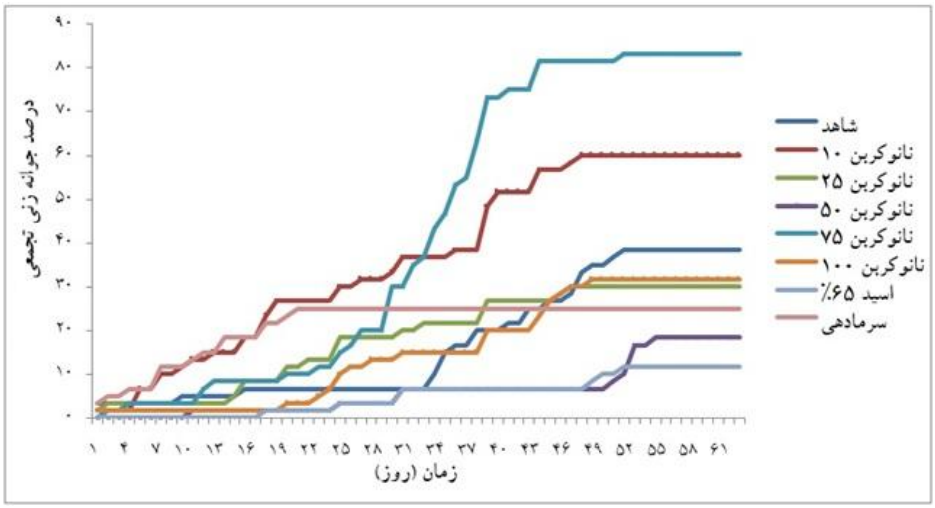
نتایج

براساس نتایج، وزن هزاردانه و درصد رطوبت بذر برای بنه و خینجوک به‌ترتیب ۲۹۹/۶ و ۱۰۷/۴۹ گرم و ۲۷/۵۱ و ۷/۵۳ درصد محاسبه شد.

تأثیر تیمارهای نانولوله کربنی و تیمارهای رایج بر صفات جوانه‌زنی خینجوک

بررسی تأثیر نانولوله‌های کربنی و تیمارهای اسید و سرما بر صفات جوانه‌زنی خینجوک در طول مدت ۴۳روزه جوانه‌زنی نشان داد که ضعیف‌ترین روند جوانه‌زنی تجمعی مربوط به بذرهای تیمارشده با اسید (۶۵ درصد و پنج دقیقه) بود (شکل ۱). درمقابل، بذرهای تیمارشده با غلظت‌های ۷۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین جوانه‌زنی را داشتند، به‌طوری‌که در طول مدت جوانه‌زنی، جوانه‌زنی تجمعی آن‌ها به ۸۳ و ۶۷ درصد رسید. اگرچه روند درصد جوانه‌زنی تجمعی در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر از تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار اسید و تیمار سرما بود، اما نسبت به بذرهای که تحت تأثیر غلظت‌های ۱۰ و ۷۵ میلی‌گرم در

لیتر قرار داشتند، جوانه‌زنی کمتری داشت.



شکل ۱- روند جوانه‌زنی تجمعی در گونه خینجوک تحت تیمارهای نانولوله‌های کربنی و مقایسه آن با تیمارهای سرما اسید و شاهد

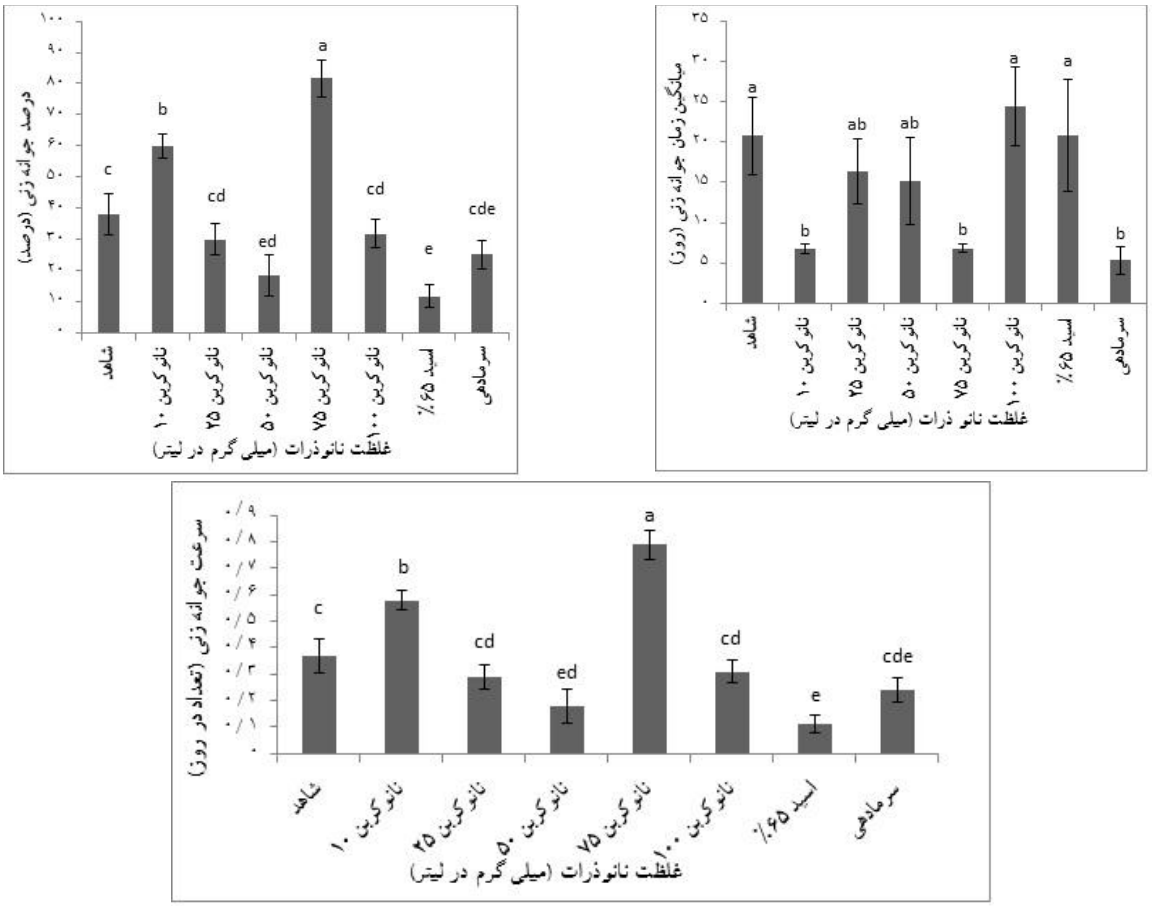
نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که اثر تیمارهای نانولوله کربن با غلظت‌های مختلف بر صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و نیز میانگین زمان جوانه‌زنی معنی‌دار است (جدول ۳). نتایج آزمون دانکن نشان داد که کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به بذرهای اسید (۶۵ درصد و ۵ دقیقه) و بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمارهای ۷۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. به‌طور کلی، تیمارهای نانولوله کربنی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شدند. در بین نانولوله‌های کربنی، تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (شکل ۲). از نظر میانگین زمان جوانه‌زنی، تیمارهای ۷۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار سرمادهی اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دیگر داشتند (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سرعت جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین مقدار برای این صفت متعلق به تیمار ۷۵ میلی‌گرم و کمترین آن مربوط به تیمار اسید (۶۵ درصد و پنج دقیقه) بود (شکل ۲).

جدول ۳- نتایج تجزیه‌واریانس یک‌طرفه صفات جوانه‌زنی خینجوک

صفت	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
درصد جوانه‌زنی	تیمار	۷	۵۳۳۹/۲۸۴	۱۹/۹۴۲*
	خطا	۷۲	۲۶۷/۷۴۵	
سرعت جوانه‌زنی	تیمار	۷	۰/۰۰۵	۱۹/۹۴۶*
	خطا	۷۲	۰/۰۰۰	
زمان جوانه‌زنی	تیمار	۷	۵۴۷/۲۳۳	۳/۰۳۴*
	خطا	۷۲	۱۸۰/۳۵۲	

*معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

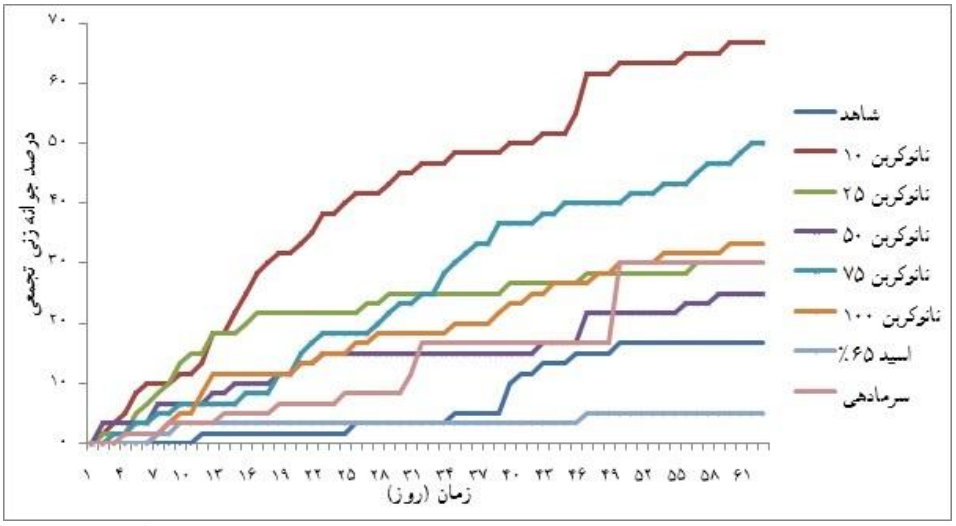
بین تیمارهای دیگر، تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر پس از تیمار ۷۵ میلی‌گرم بیشترین سرعت جوانه‌زنی را داشت. تیمار سرما و تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از نظر سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری نداشتند. در بین بذرهای تیمار شده با نانولوله کربنی، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، تیمار اسید و تیمار شاهد بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی را داشته و از این نظر تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر خیساندن بذر گونه خینجوک با غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی و مقایسه آن با تیمارهای رایج سرمادهی و اسید

تأثیر تیمارهای نانولوله کربن و تیمارهای رایج بر صفات جوانه‌زنی بنه

بررسی تأثیر نانولوله‌های کربنی بر صفات جوانه‌زنی بنه در طول مدت ۴۵روزه جوانه‌زنی نشان داد که ضعیف‌ترین روند جوانه‌زنی تجمعی مربوط به بذرهای تیمار شده با اسید (۶۵ درصد و ۱۰ دقیقه) بود (شکل ۴). درمقابل، بذرهای تیمار شده با غلظت‌های ۱۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر بیشترین جوانه‌زنی را داشتند، به‌طوری‌که در طول مدت جوانه‌زنی، جوانه‌زنی تجمعی آن‌ها به ۷۰ و ۵۰ درصد رسید. روند جوانه‌زنی تجمعی در تیمار نانوکربن با غلظت‌های ۱۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر بهتر از تیمارهای دیگر بود.



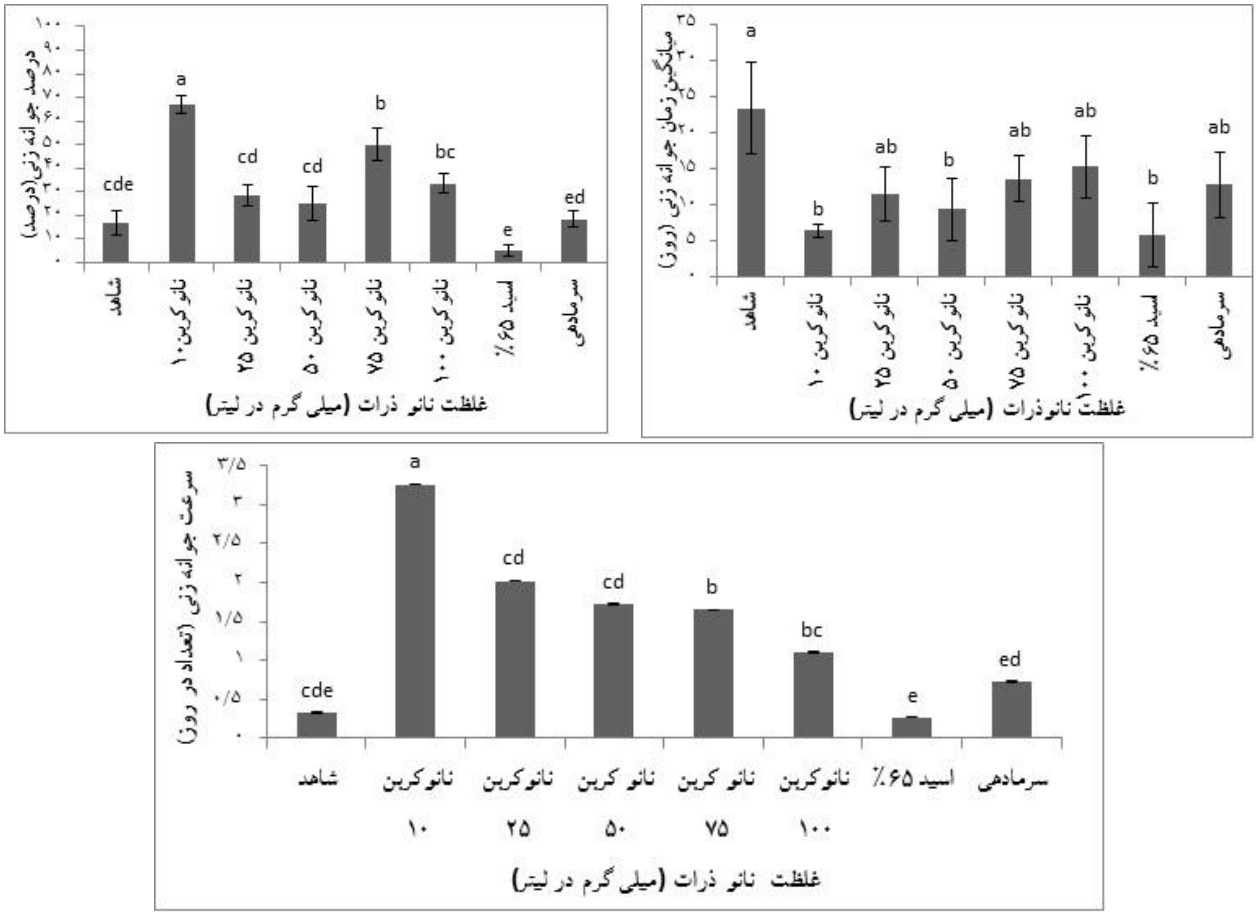
شکل ۴- روند جوانه‌زنی تجمعی در گونه بنه تحت تیمارهای نانولوله‌های کربنی و مقایسه آن با تیمارهای رایج

نانولوله‌های کربنی بر صفات جوانه‌زنی بنه تأثیرگذار بودند (جدول ۴)، به‌طوری‌که غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین جوانه‌زنی را داشت (شکل ۵). تیمار ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی نداشتند. کمترین جوانه‌زنی متعلق به تیمار اسید (۶۵ درصد و ۱۰ دقیقه) بود. سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به بیشترین مقدار رسید و از این نظر تفاوت معنی‌داری با تیمارهای دیگر داشت. تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از نظر سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند، اما از تیمارهای اسید، سرما و شاهد سرعت جوانه‌زنی بیشتری داشتند (شکل ۵). تیمار شاهد بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی را نشان داد و تیمارهای ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند، اما از تیمارهای دیگر بیشتر بودند. تأثیر نانولوله‌های کربنی بر صفات جوانه‌زنی سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود (شکل ۵).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه صفات جوانه‌زنی گونه بنه تحت تیمارهای مختلف

صفت	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
درصد جوانه‌زنی	تیمار	۷	۲۹۱۲/۶۹۸	۱۲/۰۲۲*
	خطا	۷۲	۲۴۲/۲۸۴	
سرعت جوانه‌زنی	تیمار	۷	۰/۰۰۳	۱۲/۰۴۶*
	خطا	۷۲	۰/۰۰۰	
زمان جوانه‌زنی	تیمار	۷	۳۱۰/۳۰۵	۱/۷۳۲*
	خطا	۷۲	۱۷۹/۱۳۰	

*معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۵- تأثیر خیساندن بذر گونه بنه با غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی و مقایسه آن با تیمارهای رایج سرمادهی و اسید

بحث

مرحله جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه‌چه از مراحل بحرانی رشد گیاهان است و نقش مهمی در استقرار گیاه دارد. بنابراین، بهبود صفات جوانه‌زنی گیاهان با استفاده از نانوذرات سودمند بسیار حائز اهیمت است. شکل استوانه‌ای نانولوله‌های کربنی جـذب آب و گاز را تسهیل کرده و موجب جوانه‌زنی و رشد راحت‌تر گیاهچه می‌شـود (Liu *et al.*, 2009). گزارش‌های متفاوتی از تأثیر نانوذرات مختلف براساس غلظت آن‌ها و نوع گونه بر گیاهان وجود دارد (Lombi *et al.*,2012). به‌عنوان نمونه، پس از اعمال تیمار نانوکربن لوله‌ای چندجداره بر بذر گوجه‌فرنگی، جذب آب بیشتر توسط بذرها و درنهایت افزایش قدرت و درصد جوانه‌زنی مشاهده شد (Khodakovskaya *et al.*,2012). از سویی، نانوکربن لوله‌ای تک‌جداره عامل‌دار نشده باعث کاهش رشد ریشه گوجه‌فرنگی شد (Khodakovskaya *et al.*, 2009; Haghighi *et al.*, 2014). در این پژوهش، تأثیر نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج اسید و سرما بر صفات جوانه‌زنی دو گونه پسته وحشی بررسی شد. بررسی روند جوانه‌زنی دو گونه نشان داد که بذرهای تیمارشده با نانولوله‌های کربنی سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بیشتری داشتند و برتری آن‌ها در مقایسه با تیمارهای رایج اسید و سرما که کمترین جوانه‌زنی را داشتند، مشهود بود. در گونه خینجوک، تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر بیشترین درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی را داشت. درمقابل، در گونه بنه تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر موفق‌تر بود. بنابراین، برای هر دو گونه تیمار نانوکربن مؤثر واقع شد. اثرات منفی نانولوله‌های کربن دور از انتظار نیست، اما در این پژوهش نه‌تنها اثر سوء بر

جوانه‌زنی گونه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد، بلکه بهبود صفات جوانه‌زنی مشهود بود. Jiang و همکاران (۲۰۱۴) اثر نانولوله‌های کربنی با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم در لیتر بر جوانه‌زنی و رشد ریشه گیاه برنج را بررسی کرده و نشان دادند که نانولوله‌های کربنی در غلظت‌های کم می‌تواند جوانه‌زنی و رشد ریشه برنج را افزایش دهد، اما در غلظت‌های زیاد اثرات سمی دارد. یافته‌های پژوهش پیش‌رو نیز اثر مثبت نانولوله‌های کربن با غلظت کم تا متوسط را تأیید کرد. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، اثرات مثبت نانولوله‌های کربنی در افزایش جوانه‌زنی برنج و جو نیز گزارش شده است (De La Torre-Roche *et al.*, 2013). همچنین، تیمار نانوکربن‌های چنددیواره باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و افزایش رشد در گونه‌های سویا، جو و ذرت نیز شدند (Lahiani *et al.*, 2013). در پژوهش Rahimi و همکاران (۲۰۱۷)، تأثیر تیمارهای نانولوله کربنی با سطوح صفر، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد توسکای ییلاقی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین وزن خشک و تر ریشه و ساقه در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن مشاهده شد که با نتایج پژوهش پیش‌رو همخوانی دارد. در پژوهش Aliyari و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیر نانولوله‌های کربنی بر صفات جوانه‌زنی سه گونه سوزنی‌برگ (سرو خمره‌ای، سرو نقره‌ای و کاج سیاه) بررسی شد. سرو نقره‌ای و سرو خمره‌ای در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کاج سیاه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بیشتر از تیمار شاهد جوانه‌زنی داشتند و در هیچ‌کدام از گونه‌ها افزایش غلظت تأثیری بر جوانه‌زنی نداشت و اثر سمیت بر جوانه‌زنی گزارش نشد. در پژوهش Sayedena و همکاران (۲۰۱۸) نیز تأثیر نانوپرایمینگ بذر با استفاده از نانولوله‌های کربنی چندجداره بر صفات جوانه‌زنی بذر بارانک لرستانی مطلوب و تیمارهای ۱۵۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان موفق‌ترین تیمارها ارزیابی شدند. پاسخ گونه‌های درختی به نانولوله‌های کربنی براساس نوع گونه و غلظت نانوکربن مورد استفاده متفاوت است. در سه گونه سوزنی‌برگ و گونه بارانک فوق‌الذکر، غلظت‌های بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر عمکرد بهتری در بهبود صفات جوانه‌زنی داشتند، در حالی‌که در پژوهش پیش‌رو غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن صفات جوانه‌زنی را بهبود بخشیدند. بنابراین، پژوهش پیش‌رو ضمن تأیید اثر مثبت نانولوله‌های کربنی بر ارتقاء جوانه‌زنی دو گونه پسته وحشی مورد مطالعه، غلظت‌های ۱۰ و ۷۵ میلی‌گرم را به‌عنوان موفق‌ترین تیمارها شناسایی کرد که باتوجه به مسائل اقتصادی می‌توان غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوکربن را برای استفاده در عملیات اجرایی توصیه شود.

منابع مورد استفاده

- Ahmadlu, F., Tabari, M., Rahmani, A. and Yousefzadeh, H., 2010. The effect of fertilizer and leaf soil treatments on the improvement and germination and survival of silver and cedar in nurseries. Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources), 4(36): 317-330 (In Persian).
- Aliyari, F., Soltani, A. and Zarafshar, M., 2016. Germination model for Arizona cypress (*Cupressus arizonica*) in response to temperature and drought stress. Iranian Journal of Seed Research, 2(2): 113- 121 (In Persian).
- Baygi, M.J., Alizadeh, M., Ghaderifar, F. and Sharifani, M., 2015. Dormancy removal in pistachio nut: Influences of Hydrogen Cyanamid (Dormex®) as compared to ordinary seed chemical pre-treatments. Advances in Horticultural Science, 29(4): 171-175.
- Cheraghi, M., Mehrabi, A.A. and Erfani, J., 2015. Improvement of seed germination and seedlings growth of *Pistacia khinjuk* using physical and chemical treatment. Iranian Journal of Forest, 8(1): 119-128 (In Persian).
- De La Torre-Roche, R., Hawthorne, J., Deng, Y., Xing, B., Cai, W., Newman, L.A. and White, J.C., 2013. Multi-walled carbon nanotubes and C60 fullerenes differentially impact the accumulation of weathered pesticides in four agricultural plants. Environmental Science and Technology, 47(21): 12539-12547.
- Haghighi, M. and Da Silva, J.A.T., 2014. The effect of carbon nanotubes on the seed germination and seedling growth of four vegetable species. Journal of Crop Science and Biotechnology, 17(4): 201-208.
- Heidari, M., Rahemi, M. and Daneshvar, M.H., 2008.

- Monica, R.C. and Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.
- Nair, R., Saino, H.V., Baiju, G.N., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi Kumar, D., 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science, 179(3): 154-163.
- NegahdarSaber, M.R., Fattahi, M. and Nasirzadeh, A.R., 2007. Physical characteristics and the best method of germination in *Pistacia atlantica*. Iranian Journal of Forest and Popular Research, 1: 11-18 (In Persian).
- Nel, A., Xia, T., Meng, H., Wang, X., Lin, S., Ji, Z. and Zhang, H., 2013. Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening. Accounts of Chemical Research, 46(3): 607-621.
- Noorian, A.M., 2015. Germination of *Pistacia atlantica* under the influence of Physical and Chemical treatment. IENC First International Conference on Environment and Natural Resources. Kharazmi Institute of Higher Science and Technology, Shiraz, Iran, 7 Sep. 2015: 3.
- Orman, S. and Hongda, C.H., 2013. Nanoscale science and engineering for agriculture and food- systems. Industrial Biotechnology, 9(1): 17-18
- Pazhouhan, I., Jalali, S.Gh.A., Atabati, H., Zarafshar, M. and Sattarian, A., 2014. Comparison of carbon nanotubes with chemical and physical treatments to break seed dormancy of *Myrtus communis* L. Journal of Plant Researches, 29(2): 300-308 (In Persian).
- Rahimi, D., Kartoolinejad, D., Nourmohammadi, K. and Naghdi, R., 2017. The Effect of Carbon Nanotubes on drought tolerance of Caucasion Alder (*Alnus Subcordata* C. A. Mey.) seeds in germination stage. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(2): 17-28 (In Persian).
- Sayedena, S.V., Pilehvar, B., Abrari-vajari, K., Zarafshar, M. and Eisvand, H.R., 2018. Effect of Seed Nano-priming with Multiwall Carbon Nanotubes (MWCNT) on seed germination and seedlings growth parameters of mountain ash (*Sorbus luristanica* Bornm.). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 26(2): 202-214 (In Persian).
Effects of mechanical, chemical scarification and strafication on seed germination of *Prunus scoparia* (spach.) and *Prunus webbii* (spach) vierh. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science, 3: 114-117.
- Husen, A. and Siddiqi, K.S., 2014. Carbon and fullerene nanomaterials in plant system. Nanobiotechnology, 12(16): 1-10
- Jackson, P., Jacobsen, N. R., Baun, A., Birkedal, R., Kühnel, D., Jensen, K. A., Vogel, U., Wallin, R., Kühnel, D., Jensen, K. A., Vogel, U. and Wallin, H., 2013. Walled carbon nanotubes exhibit dual phase regulation to exposed *Arabidopsis mesophyll* cells. Nanoscale Research Letters, 6(1): 44.
- Jiang, Y., Hua, Z., Zhao, Y., Liu, Q., Wang, F. and Zhang, Q., 2014. The effect of carbon nanotubes on rice seed germination and root growth. In Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2012) (pp. 1207-1212). Springer Berlin Heidelberg.
- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F. and 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): 3221-3222.
- Khodakovskaya, M.V., De Silva, K., Biris, A.S., Dervishi, E. and Villagarcia, H., 2012. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. ACS Nano, 6(3): 2128-2135.
- Lahiani, M.H., Dervishi, E., Chen, J., Nima, Z., Gaume, A., Biris, A.S. and Khodakovskaya, M.V., 2013. Impact of carbon nanotube exposure to seeds of valuable crops. American Chemical Society, Applied Materials and Interfaces, 5(16): 7965-7973.
- Liu, Q., Chen, B., Wang, Q., Shi, X., Xiao, Z., Lin, J. and Fang, X., 2009. Carbon nanotubes as molecular transporters for walled plant cells. Nano Letters, 9(3): 1007-1010.
- Lombi, E., Nowack, B., Baun, A. and McGrath, S.P., 2012. Evidence for effects of manufactured nanomaterials on crops is inconclusive. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(49): E3336

The effect of carbon nanotube treatments on germination of *Pistacia atlantica* Desf. and *P. khinjuk* Stocks and comparison with common treatments

F. Mohammadpour [1], M. Zarafshar [2*] and F. Ghasemiaghbash [3]

1- M.Sc. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Malayer, Malayer, Iran
2*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran. E-mail: m.zarafshar@areeo.ac.ir
3- Assistant Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

Received: 19.12.2019 Accepted: 19.02.2020

Abstract

Wild pistachio seeds have a hard coat and deep physiological dormancy, which declines their germination success. In this study, the effect of seed priming with carbon nanotubes was studied on two species of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf. and *P. Khinjuk* Stocks) and was then compared with common treatments. For this purpose, seeds of each species were primed for four hours in solutions containing 0, 10, 25, 50, 75 and 100 mg / L of carbon nanotubes. In addition, some of the seeds were also treated by the common acid concentrations (65%, 5 and 10 min) and cold treatments (4 °C for one month), followed by an analysis of their germination characteristics. According to the results, carbon nanotubes affected the germination characteristics of the both species. The highest germination rate of *P. khinjuk* occurred under 75 mg/l and for *P. atlantica* at 10 mg / l. for *P. atlantica*, whereas the lowest germination was observed in acid (5%) and control treatments. Although cold treatment showed higher germination (18.33%) compared to control and acid-treated seeds, it was less than carbon nanotube treatments. For *P. khinjuk*, the lowest germination was also observed for acid treatment (11.67%). The seed germination rate and percentage of both species at concentrations of 100 mg/L were lower than those at concentrations of 10 and 75 mg/l, thus the use of lower concentrations of the nanomaterial economically is recommended.

Keywords: Acid, cold, seed dormancy, seed priming.