فصلنامه علمی زیست‌شناسی کاربردی دانشگاه الزهرا(س)
دوره ۳۴، شماره ۴، پیاپی ۷۰، زمستان ۱۴۰۰، ص ۱۷۹-۱۶۴
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

The Quarterly Scientific Journal of Applied Biology
Vol.34, No.4, Sering.70, winter 2021, p. 164-179
Article type: Research paper

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۰

وب سایت نشریه: https://jab.alzahra.ac.ir

22051/JAB.2021.34309.1398

اثر پیش تیمار بذر با نانولوله‌های کربنی بر عملکرد رشد دو گونه پسته وحشی

(*Pistacia atlantica* Desf & *P .khinjuk* Stocks)

فهیمه محمدپور[۱] فرهاد قاسمی آقباش[۲] مهرداد زرافشار*[۳] احسان قنبری[۴]

چکیده

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر نانولوله‌های کربنی با غلظت‌های مختلف بر صفات مورفولوژیکی، زی توده و غلظت عناصر غذایی در برگ دو گونه پسته وحشی و مقایسه آنها با تیمارهای سرمادهی و اسید سولفوریک ۶۵ درصد در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد نانولوله‌های کربنی با غلظت‌های ۲۵ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت معنی‌داری باعث بهبود خصوصیات موفولوژیکی و زی‌توده در دو گونه پسته وحشی شامل بنه و خینجوک در مقایسه با سایر تیمارها شده است. بیشترین افزایش در طول ریشه، ارتفاع ساقه و طول یقه در گونه بنه در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. در گونه خینجوک، بیشترین میزان طول ریشه و وزن خشک و تر ریشه در تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن ثبت شد. بالاترین غلظت منیزیم برگ در گونه بنه در تیمار ۱۰ و در گونه خینجوک در تیمار۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. غلظت فسفر در برگ دو گونه در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج این تحقیق اثرات مثبت نانولوله‌های کربنی در غلظت‌های پایین بر صفات مورفولوژیکی بنه و خینجوک را تایید کرد.

واژه‌های کلیدی: پسته وحشی، زی‌توده تر و خشک، سرما، عناصر غذایی، مورفولوژی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر
۲- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس شیراز * نویسنده مسئول: mehrdad.zarashar@areeo.ac.ir
۴- فارغ التحصیل دکتری جنگلداری، کارشناس جنگل و مرتع اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه

مقدمه

جنس *Pistacia* برگرفته از نام فارسی این گونه یعنی پسته است و به‌همین دلیل ایران به‌عنوان خاستگاه درخت پسته شناخته شده است. این جنس دارای ۱۵ گونه بوده که فقط سه گونه آن در ایران می‌روید که شامل گونه‌های *Pistacia atlantica* Desf، *P. vera* L. و *P. khinjuk* stock است (Bahrani *et al*., 2010). گونه بنه با نام علمی *P. atlantica* عمدتا در ایران و افغانستان متمرکز است. گونه خینجوک با نام علمی *P. khinjuk* بیشتر در ارتفاعات بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر و در مناطق کوهستانی ایران، ترکیه، سوریه، عراق و افغانستان پراکنش دارد (Behboodi, 2003). تکثیر گونه‌های پسته وحشی بیشتر به‌صورت دانه‌زاد انجام می‌گیرد. بذور این گونه‌ها دارای پوسته سختی بوده که باعث رکود فیزیولوژیکی آن و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (چراغی و همکاران، ۱۳۹۴).

فناوری مواد نانو و کاربرد آنها در جنبه‌های مختلف علوم گیاهی در حال افزایش است. نانوذرات در علوم گیاهی دارای کاربردهای متفاوت از جمله کنترل علف‌های هرز، کنترل آفات و حشرات، کاهش استفاده از کوددهی شیمیایی، افزایش قدرت جوانه‌زنی بذر، افزایش رشد و زی‌توده گیاهان هستند (Khot *et al*., 2012). علی‌رغم تولید و کاربرد روزافزون نانوذرات، همچنان اطلاعات دقیق و گسترده‌ای در ارتباط با اثرات این مواد بر زیست شناسی گیاه وجود ندراد. نانوذرات در تعریف به ذراتی اطلاق می‌شوند که اندازه آنها از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است (Khodakovskaya *et al*., 2012). محققین دریافته‌اند که تأثیرات مثبت و منفی نانو ذرات بر رشد و توسعه گیاه بستگی به ترکیب، غلظت، اندازه و خواص فیزیکی و شیمیایی نانو ذرات و همچنین نوع گونه گیاهی دارد و از یک گیاه به گیاه دیگر متفاوت است (Khodakovskaya *et al*., 2012). در توضیح اثر موادنانو بر صفات مورفولوژی و فیزیولوژی سیستم‌های گیاهی، اندازه و شکل این ذرات نقش اصلی را دارند (Gruyer *et al*., 2013). نانوذرات مختلفی تاکنون در زمینه علوم گیاهی استفاده شده است که مهم‌ترین آنها عبارتند از: سیلیکون (SiO_2)، دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، نانوذره نقره (SNP_S) و نانولوله‌های کربنی. نانوکربن‌ها دارای ساختمان گرافیتی هستند و براساس کاربرد به دو دسته تک جداره و چند جداره تقسیم می‌شوند. نانومواد کربنی تک جداره در ساختمان خود یک صفحه گرافین پیچیده و ناهمگن دارند که قطر آنها از یک تا چندین نانومتر و طول آنها تا چندین میکرومتر گزارش شده است. نانوکربن‌های چند جداره حاوی بیش از یک صفحه گرافین لوله شده هم‌مرکز هستند. گزارش شده است که فاصله بین لایه‌های گرافین در نانولوله‌های کربن چند جداره به‌علت نیروی دافعه اتمی موجود نمی‌تواند کمتر از ۰/۳۴ نانومتر باشد (Inagaki, 2000; Jackson *et al*., 2013).

نقش مثبت نانولوله‌های کربنی در افزایش رشد کیفی گیاهان تایید شده است (Lahiani *et al*., 2015). محققان گزارش کرده‌اند که نانولوله‌های کربنی ویژگی‌های فیزولوژیکی و مورفولوژیکی سلول‌های گیاهی را تحت تاثیر قرار می-دهند (Haghighi & da Silva, 2014). یکی از اثرات مهم نانولوله‌های کربنی بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان و تحریک ریشه‌زایی در مراحل اولیه رشد است (Srinivasan & Saraswathi, 2010). نانولوله‌های کربنی رشد اندام‌های ریشه و ساقه گیاه *Cicer arietinum* را در شرایط مختلف نور (تاریکی و روشنایی) را تحریک نمود (Tripathi *et al*., 2011). نتایج تحقیقات Jiang و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که نانولوله‌های کربنی در غلظت‌های پایین می‌توانند جوانه‌زنی و رشد ریشه برنج را افزایش دهند ولی در غلظت‌های بالا اثرات سمی دارند. همچنین نتایج آنها نشان داد که نانولوله‌های کربنی تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه در گیاه برنج اثر مثبت داشته ولی در غلظت‌های بالاتر اثرات منفی مشاهده شد. در پژوهش‌های دیگری نیز اثرات منفی غلظت‌های بالای نانولوله‌های کربنی بر پیاز و تربچه تایید شده است (Haghighi & da Silva, 2014). نانولوله‌های کربنی خصوصیات و اثرات متفاوتی بر بیولوژی گیاهان دارند. به‌عنوان مثال Tripathi & Sarkar (۲۰۱۵) نشان دادند که نانولوله‌های کربنی می‌توانند نرخ رشد را در همه بخش‌های گیاه *Cicer arietinum* از جمله ریشه و ساقه افزایش دهند. Cañas و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که نانولوله‌های کربنی تک جداره به‌طور قابل‌توجهی مانع رشد طولی ریشه گوجه‌فرنگی و کلم می‌شوند، اما طول ریشه را در پیاز و خیار افزایش می‌دهند. اثرات نانولوله‌های کربنی بسته به گونه گیاهی متفاوت است (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۸). در تحقیق ریگی کارواندری و همکاران (۱۳۹۸) مشخص شد که نانولوله‌های کربنی چند جداره با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر وزن تر و خشک و طول ریشه گیاه به‌لیمو را نسبت به شاهد افزایش داده ولی غلظت‌های بالای آن (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث کاهش تعداد ریشه‌ها و کاهش حجم ریشه نسبت به نمونه شاهد شده‌اند.

با وجود کاربرد گسترده مواد نانو روی گونه‌های زراعی، تاثیر آن بر رشد و عملکرد گونه‌های جنگلی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین، با توجه به مطالب فوق و اثرات مثبت نانو مواد بر رشد و نمو گیاهان، کاربرد آنها روی بهبود عملکرد درختان نیز قابل انتظار است. از آنجا که جوانه‌زنی گونه‌های مختلف پسته وحشی به سختی صورت گرفته و رشد کندی دارند، ارزیابی اثرات نانومواد روی جوانه‌زنی و رشد آنها ضروری است. این تحقیق با هدف بررسی پیش تیمار بذر دو گونه بنه و خینجوک با نانولوله‌های کربنی و اثرات متعاقب آن بر صفات رویشی، زی‌توده و غلظت عناصر غذایی برگ و مقایسه آن با تیمارهای رایج انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر نانوپرایمینگ بذور بر صفات مورفولوژیکی، زی‌توده و عناصر غذایی برگ دو گونه بنه و خینجوک (*Pistacia atlantica Desf & P .khinjuk Stocks*)، از نانولوله‌های کربنی چند جداره استفاده شد (جدول ۱). برای تهیه محلول نانو کربن با غلظت‌های موردنظر، ابتدا نانوذرات کربن بر مبنای حجم محلول موردنظر توزین شده و سپس آب مقطر به آن اضافه شد تا به حجم موردنظر برسد و در ادامه محلول تهیه شده در داخل دستگاه اولتراسونیک قرار گرفت. سپس بذرها در داخل محلول مورد نظر غوطه‌ور و به‌مدت چهار ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شدند. غلظت‌های مورد استفاده در این تحقیق (۰، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و مدت زمان پرایمینگ چهار ساعت انتخاب شد. این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر با شرایط دمایی ۱۰ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۰ ± ۳۵ درصد انجام شد. بذور پرایم شده در ۱۰ تکرار برای هر تیمار درون گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۱۵×۲۵ سانتی‌متر حاوی خاک و ماسه به نسبت ۱ به ۱ کشت شد. خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ نشان داده شده است. بذرها در تیمار سرما به‌مدت ۳۰ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در داخل ماسه مرطوب قرار گرفت و بعد به گلدان منتقل شدند. در تیمار اسید، بذرها در داخل بشر ریخته شده و ۱۰۰ سی سی اسید سولفوریک ۶۵ درصد به آن اضافه شد و هر دو دقیقه یک بار با میله شیشه‌ای هم زده شدند. بذرها بعد از یک ساعت با آب جاری شسته شدند و در داخل گلدان قرار گرفتند. به‌صورت هم زمان با این دو تیمار، تیمار نانولوله‌های کربنی نیز به گلدان انتقال داده شده و آبیاری هر ۲۴ ساعت یک بار صورت گرفت. این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی با هشت تیمار و ۱۰ تکرار انجام شد.

جدول ۱: مشخصات نانولوله‌های چند جداره مورداستفاده در این تحقیق

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

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی خاک گلدان‌ها در تیمارهای مختلف

وزن مخصوص (g/cm^3)	pH	بافت خاک	هدایت الکتریکی (ms)
۰/۸	۸/۸	شنی	۱/۶۰۳

جهت بررسی اثرات نانوپرایمینگ بذرها بر صفات مورفولوژیک نونهال‌ها، بعد از گذشت چهار ماه از کاشت، برخی از پارامتر-های رشد (مورفولوژی) و همچنین زی‌توده در تعدادی از نونهال‌های (۱۰ تکرار از هر تیمار) مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری پارامترهای مورفولوژیک نونهال‌های رشد یافته از بذرهای نانوپرایم شده و شاهد در گلخانه مشخصات مورفولوژیک: شامل تعداد برگ، طول ساقه، طول ریشه و طول یقه با استفاده از خط‌کش برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. زی‌توده تر ریشه، ساقه و برگ بلافاصله پس از جدا نمودن اندام‌های گیاه از یکدیگر در سه تکرار برای هر تیمار اندازه‌گیری شد و زی‌توده خشک پس از قرار دادن آنها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم برگ دو گونه مورد بررسی با استفاده از عصاره برگ و با دستگاه فلیم فتومتر (۶۲۰ C) سنجش شد. کربن برگ با استفاده از روش احتراق خشک اندازه‌گیری شد که در آن ابتدا یک گرم از هر تیمار توزین و پس از قرارگیری و در داخل کوره مجددا مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. منیزیم برگ با دستگاه جذب اتمی (ContrAA 700)، فسفر با دستگاه اسپکتوفوتومتر و کلسیم برگ نیز به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند.

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگن بودن داده‌ها با آزمون لون بررسی شد. با رعایت نرمال و همگن بودن داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد.

نتایج

تاثیر تیمارهای نانولوله‌های و تیمارهای رایج بر صفات مورفولوژیک گونه خینجوک

براساس نتایج تحقیق، در هر یک از تیمارهای نانولوله‌های کربنی بیشترین مقادیر صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده شامل: تعداد برگ، طول ریشه، ارتفاع ساقه، طول یقه، زی‌توده تر و خشک برگ، زی‌توده تر و خشک ریشه، زی‌توده تر و خشک ساقه، در تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر و پس از آن تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی و سرمادهی مشاهده شد. کمترین مقادیر صفات مورد مطالعه در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی، شاهد و اسید ۶۵ درصد مشاهده شد. درخصوص صفات مورفولوژی گونه خینجوک نتایج نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع ساقه در تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و کمترین میزان ارتفاع ساقه در تیمار ۵۰ میلی‌گرم درلیتر نانوکربن مشاهده شد. سایر تیمارها نیز تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند. همچنین بیشترین میزان طول ریشه در تیمار ۷۵ میلی‌گرم درلیتر نانوکربن و تیمار سرمادهی و کمترین مقدار در تیمار۵۰ میلی‌گرم مشاهده شد. تیمار سرمادهی و تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر

نانوکربن بیشترین تعداد برگ را داشتند. سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند. بیشترین مقدار طول یقه در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و کمترین مقدار در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کربن مشاهده شد. براساس نتایج، میزان زی‌توده تر و خشک ریشه ساقه و برگ، بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه در تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن مشاهده شد. همچنین در خصوص میزان زی‌توده تر و خشک در ساقه گونه خینجوک، وزن تر و خشک ساقه در تیمار ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرمادهی بیشتر از سایر تیمارها و کمترین مقدار وزن تر و خشک ساقه در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن مشاهده شد. نتایج مربوط به میزان زی‌توده تر و خشک در برگ گونه خینجوک نیز نشان داد که وزن تر و خشک برگ در تیمار ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین و در تیمار شاهد کمترین مقدار است (جدول ۲).

جدول ۳: تاثیر تیمارهای نانولوله کربنی و تیمارهای رایج بر صفات مورفولوژیک و زی‌توده گونه خینجوک بعد از چهار ماه

صفات	تیمارها						
	غلظت‌های نانولوله‌های کربن (میلی‌گرم در لیتر)					تیمارهای رایج	
	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	اسید	تیمار سرما	شاهد
طول ساقه (سانتی‌متر	۴/۸۰±۰/۶^{bc}	۳/۹۶±۰/۴۴^{bc}	۲/۶۵±۰/۷^{c}	۸/۸۰±۰/۷^{a}	۵/۸۵±۰/۷^{b}	۴/۳۰±۱/۱^{bc}	۶/۱۵±۰/۸^{b}	۴/۸۴±۰/۶^{bc}
طول ریشه (سانتی‌متر	۱۶/۹±۱/۰^{cd}	۲۳/۰±۲/۷^{abc}	۱۳/۷±۲/۶^{d}	۲۹/۸±۲/۴^{a}	۱۵/۶±۱/۰^{cd}	۲۰/۱±۵/۸^{bcd}	۲۶/۹±۲/۸^{ab}	۱۷/۸±۱/۶^{cd}
طول یقه (سانتی‌متر)	۰/۷۶±۰/۱^{cd}	۱/۵۶±۰/۱۱^{a}	۰/۶۵±۰/۱۳^{d}	۱/۱۹±۰/۱۲^{abc}	۰/۸۶±۰/۱^{cd}	۱/۰۳±۰/۲^{bcd}	۱/۳۵±۰/۱۸^{ab}	۱/۲±۰/۱۱^{abc}
تعداد برگ	۵/۰±۰/۶۱^{abc}	۵/۴±۰/۷۶^{abc}	۳/۴±۰/۶۷^{cd}	۵/۷±۰/۴۵^{ab}	۴/۷۰±۰/۳^{bc}	۲/۲±۰/۷۷^{d}	۶/۸۰±۰/۹۱^{a}	۴/۹±۰/۴۵^{abc}
وزن تر ریشه (گرم)	۲/۲۲±۰/۰۶^{b}	۲/۱۵±۰/۰۵^{bc}	۰/۸۱±۰/۰۶^{c}	۳/۹۰±۰/۱۸^{a}	۱/۷۸±۰/۱۱^{bc}	۱/۹۶±۰/۰۹^{bc}	۲/۳۲±۰/۰۵^{b}	۱/۱۷±۰/۱۲^{c}
وزن خشک ریشه (گرم)	۱/۷۱±۰/۰۳^{b}	۱/۲۶±۰/۰۶^{bc}	۰/۵۲±۰/۰۲^{c}	۲/۳۸±۰/۰۲^{a}	۰/۹۷±۰/۰۲^{bc}	۱/۰۶±۰/۰۲^{bc}	۱/۸۱±۰/۰۹^{b}	۰/۹۶±۰/۰۰^{cd}
وزن تر ساقه (گرم)	۱/۷۳±۰/۱۹^{ab}	۱/۶۰±۰/۱۱^{bc}	۰/۶۴±۰/۰۹^{bcd}	۳/۱۳±۰/۰۴^{b}	۱/۴۸±۰/۱۱^{bcd}	۱/۴۷±۰/۰۵^{bcd}	۴/۰۹±۰/۳۲^{a}	۱/۱۳±۰/۰۷^{bcd}
وزن خشک ساقه (گرم)	۱/۲۲±۰/۱۸^{ab}	۰/۹۳±۰/۰۰^{b}	۰/۳۸±۰/۰۲^{b}	۱/۸۲±۰/۰۲^{a}	۰/۸۲±۰/۰۲^{b}	۰/۸۰±۰/۰۷^{b}	۱/۱۸±۰/۱۶^{ab}	۰/۵۶±۰/۰۲^{b}
وزن تر برگ (گرم)	۱/۶۷±۰/۰۴^{ab}	۱/۶۵±۰/۰۸^{ab}	۰/۶۹±۰/۰۸^{c}	۲/۴۴±۰/۰۷^{a}	۱/۱۹±۰/۱۲^{bc}	۰/۹۸±۰/۰۳^{bc}	۱/۶۷±۰/۳۲^{ab}	۰/۶۰±۰/۰۳^{c}
وزن خشک برگ (گر	۱/۰۳±۰/۰۳^{ab}	۰/۸۷±۰/۰۶^{abc}	۰/۳۴±۰/۰۲^{c}	۱/۲۸±۰/۰۲^{a}	۰/۸۱±۰/۰۲^{abc}	۰/۵۳±۰/۰۲^{bc}	۰/۸۵±۰/۰۹^{abc}	۰/۴۱±۰/۰۰^{c}

اعداد درون جدول به‌ترتیب نشان‌دهنده میانگین ± خطای استاندارد در ۱۰ تکرار هستند. حروف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

تاثیر تیمارهای نانولوله‌های و تیمارهای رایج بر صفات مورفولوژیک گونه بنه

براساس نتایج تحقیق مشخص شد که در هر یک از تیمارهای نانولوله‌های کربنی بیشترین مقادیر صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در گونه بنه شامل: تعداد برگ، طول ریشه، ارتفاع ساقه، طول یقه، زی‌توده تر و خشک برگ، زی‌توده تر و خشک ریشه، زی‌توده تر و خشک ساقه، در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی (به‌جز میانگین تعداد برگ و وزن مرطوب ساقه) مشاهده شد. کمترین مقادیر این صفات در تیمار شاهد و اسید ۶۵ درصد مشاهده شد. براساس نتایج، بیشترین میزان طول ریشه در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در تیمار اسید ۶۵

درصد مشاهده شد. در تیمارهای شاهد و سرمادهی نیز مقدار رشد ریشه کمتر از تیمارهای نانوکربن بود. بیشترین میزان ارتفاع ساقه در تیمار ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و کمترین مقدار آن در تیمار اسید سولفوریک مشاهده شد. تیمارهای ۱۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند. طول ساقه در تیمارهای شاهد و سرمادهی کمتر از تیمارهای نانولوله‌های کربنی بود. بیشترین میزان طول یقه در تیمارهای ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و کمترین مقدار طول یقه در تیمار اسید مشاهده شد. کمترین میانگین تعداد برگ در تیمار اسید و بیشترین مقدار در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و تیمار شاهد مشاهده شد تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کربن اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند. همچنین براساس نتایج صفات زی‌توده (وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ) درگونه‌ی بنه، بیشترین وزن تر و خشک ریشه در تیمارهای ۲۵ و ۷۵ و کمترین مقدار در تیمار اسید و شاهد مشاهده شد. یافته‌های تحقیق در خصوص بررسی صفات زی‌توده (وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ) در گونه بنه نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک ساقه در تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و کمترین مقدار در تیمار اسید ۶۵ درصد و شاهد مشاهده شده است. همچنین نتایج بررسی صفات زی‌توده (وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ) در گونه بنه نشان داد که بیشترین مقدار زی‌توده برگ در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان زی‌توده برگ در تیمار اسید ۶۵ درصد و شاهد مشاهده شده است (جدول ۳).

جدول ۴: تاثیر تیمارهای نانولوله کربنی و تیمارهای رایج بر صفات مورفولوژیک و زی‌توده گونه بنه بعد از چهار ماه

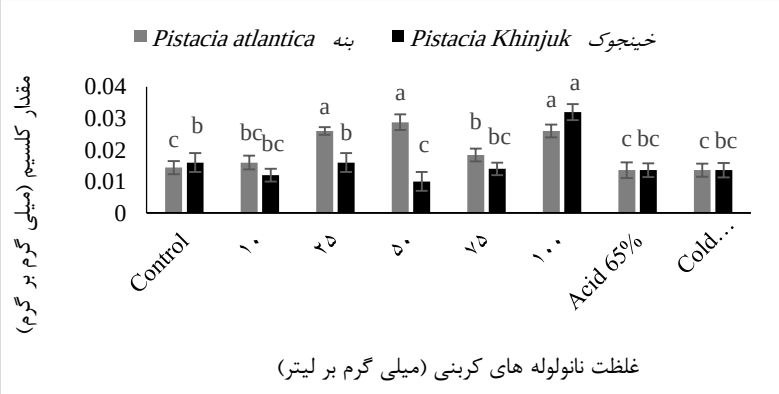
صفات	تیمارها							
	غلظت‌های نانولوله‌های کربن (میلی‌گرم در لیتر)					تیمارهای رایج		
	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	اسید	تیمار سرما	شاهد
طول ساقه (سانتی‌متر)	۶/۳۱±۰/۴^{abc}	۷/۳۵±۰/۴۲^{a}	۷/۱۰±۰/۴۵^{ab}	۵/۳۹±۰/۴۴^{c}	۵/۸۱±۰/۳۱^{bc}	۰/۹۵±۰/۵^{e}	۲/۸۵±۰/۶۹^{d}	۴/۸۴±۰/۶^{c}
طول ریشه (سانتی‌متر)	۳۱/۸±۳/۸^{b}	۴۴/۹±۶/۰^{a}	۳۲/۷±۵/۳^{b}	۲۵/۸±۳/۲^{bc}	۲۲/۷±۳/۹^{bc}	۴/۰±۲/۲^{d}	۱۵/۶±۳/۹^{c}	۱۷/۸±۱/۶^{c}
طول یقه (سانتی‌متر)	۱/۰۲±۰/۱۳^{abc}	۱/۳۸±۰/۱۳^{a}	۰/۶۹±۰/۰۹^{cd}	۰/۹۴±۰/۰۸^{bcd}	۱/۲۶±۰/۱^{ab}	۰/۲۴±۰/۱۲^{e}	۰/۶۱±۰/۱۲^{d}	۱/۲±۰/۱۱^{ab}
تعداد برگ	۴/۷±۰/۳۷^{a}	۵/۴±۰/۷۶^{ab}	۴/۳±۰/۴۷^{ab}	۳/۹±۰/۵۲^{ab}	۳/۳±۰/۶۶^{ab}	۰/۷±۰/۳۷^{c}	۲/۷±۰/۶۸^{b}	۴/۹±۰/۴۵^{a}
وزن تر ریشه (گرم)	۴/۹±۰/۰۲^{ab}	۵/۹۴±۰/۰۴^{a}	۴/۳۶±۰/۱۷^{bc}	۶/۳۵±۰/۰۴^{a}	۲/۹۶±۰/۰۴^{cd}	۱/۹۶±۰/۰۸^{d}	۲/۳۲±۰/۰۵^{d}	۱/۵۳±۰/۰۷^{d}
وزن خشک ریشه (گرم	۲/۹۶±۰/۰۷^{ab}	۳/۶۳±۰/۲۱^{a}	۲/۵۷±۰/۰۴^{bc}	۳/۸۱±۰/۱۷^{a}	۱/۱۷±۰/۰۲^{cd}	۱/۰۶±۰/۰۴^{d}	۱/۸۱±۰/۰۴^{cd}	۰/۹۱±۰/۰۵^{d}
وزن تر ساقه (گرم)	۲/۹۰±۰/۰۶^{abc}	۳/۰۳±۰/۲۱^{abc}	۲/۹۳±۰/۰۹^{abc}	۳/۲۱±۰/۲۱^{ab}	۱/۸۵±۰/۰۵^{bcd}	۱/۴۷±۰/۰۹^{cd}	۴/۰۹±۰/۳۱^{a}	۰/۹۵±۰/۰۷^{d}
وزن خشک ساقه (گرم)	۱/۷۶±۰/۰۶^{ab}	۱/۹۲±۰/۰۴^{ab}	۱/۷۷±۰/۰۸^{ab}	۲/۰۲±۰/۱۱^{a}	۱/۰۶±۰/۰۳^{cd}	۰/۸۰±۰/۰۸^{d}	۱/۱۸±۰/۱۶^{abc}	۰/۶۰±۰/۰۴^{d}
وزن تر برگ (گرم)	۲/۳۳±۰/۰۴^{ab}	۲/۹۵±۰/۰۵^{b}	۲/۲۸±۰/۱۳^{ab}	۲/۳۶±۰/۱۲^{ab}	۱/۵۳±۰/۰۵^{bc}	۰/۹۸±۰/۰۷^{c}	۱/۶۷±۰/۱۷^{bc}	۰/۹۰±۰/۰۷^{c}
وزن خشک برگ (گرم)	۱/۲۲±۰/۰۳^{ab}	۱/۵۸±۰/۰۱^{a}	۱/۱۲±۰/۰۴^{bc}	۱/۲۴±۰/۰۴^{ab}	۰/۷۱±۰/۰۲^{cd}	۰/۵۳±۰/۰۴^{d}	۰/۸۵±۰/۰۹^{bcd}	۰/۴۳±۰/۰۲^{d}

اعداد درون جدول به ترتیب نشان‌دهنده میانگین ± خطای استاندارد در ۱۰ تکرار هستند. حروف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است

تاثیر نانولوله‌های کربنی بر جذب عناصر غذایی برگ دو گونه بنه و خینجوک

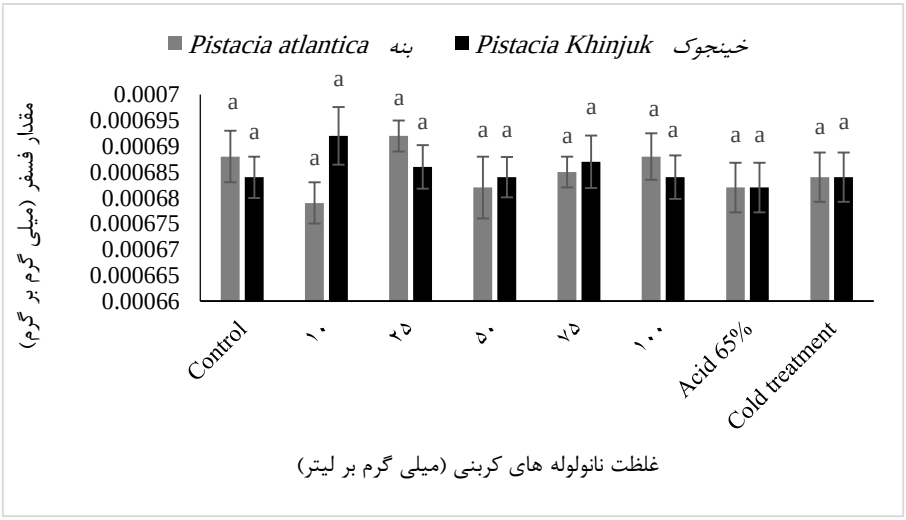
مطابق با نتایج تحقیق مشخص شد که در گونه بنه تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین مقادیر عنصر کلسیم و تیمارهای شاهد، اسید ۶۵ درصد و سرمادهی کمترین مقادیر بودند. در گونه خینجوک نیز تیمار

۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین میزان عنصر کلسیم و تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر دارای کمترین میزان کلسیم را داراست. (شکل ۱).



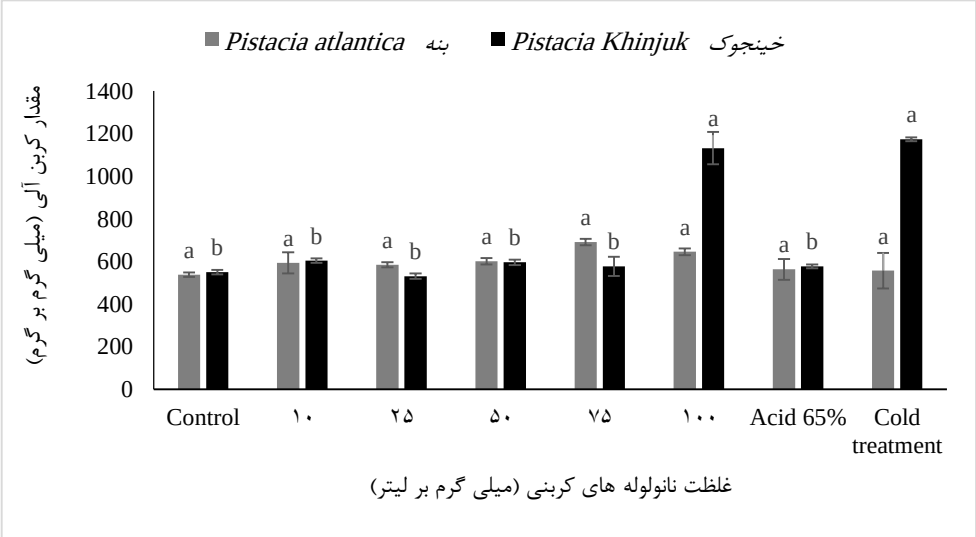
شکل ۱: تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت کلسیم برگ دو گونه بنه و خینجوک بعد از چهارماه در ۱۰ تکرار برای هر تیمار. اعداد نشان دهنده مقدار میانگین خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده میزان معنی‌داری در $\alpha=0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

براساس نتایج مشخص شد که میزان فسفر برگ در گونه بنه بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار آماری نداشته است. این وضعیت در گونه خینجوک نیز مشاهده شد (شکل ۲).



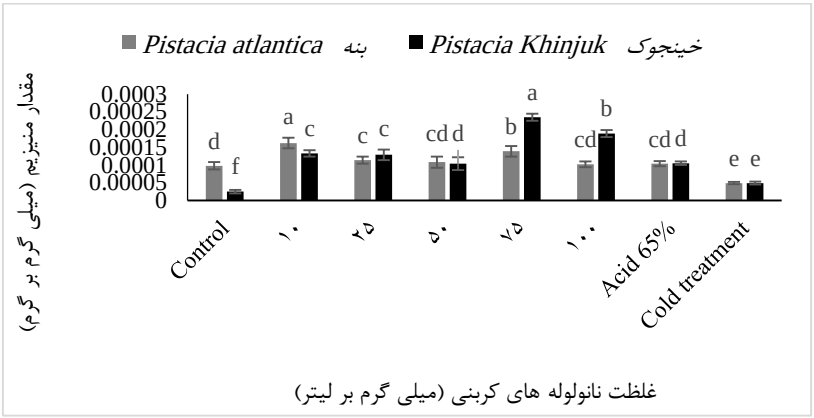
شکل ۲: تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت فسفر برگ دو گونه بنه و خینجوک بعد از چهارماه در ۱۰ تکرار برای هر تیمار. اعداد نشان دهنده مقدار میانگین خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده میزان معنی‌داری در $\alpha=0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

براساس نتایج مشخص شد که میزان کربن در برگ گونه بنه، بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار آماری نداشته است. در گونه خینجوک نیز تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربن و تیمار سرمادهی بیشترین میزان کربن را داشتند و سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند (شکل ۳).



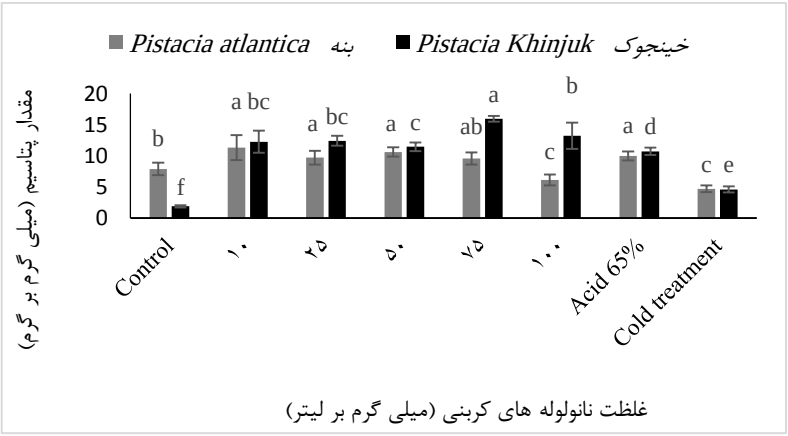
شکل ۳: تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت کربن آلی برگ دو گونه بنه و خینجوک بعد از چهارماه در ۱۰ تکرار برای هر تیمار. اعداد نشان دهنده مقدار میانگین خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده میزان معنی‌داری در $\alpha=0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

طبق نتایج، غلظت منیزیم برگ گونه بنه در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین میزان و در تیمار سرمادهی نیز کمترین مقدار را داشته است در سایر تیمارها نیز تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده نشد. در گونه خینجوک بیشترین میزان منیزیم در تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد و کمترین مقدار در تیمار شاهد و سرمادهی مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ۴: تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت منیزیم برگ دو گونه بنه و خینجوک بعد از چهارماه در ۱۰ تکرار برای هر تیمار. اعداد نشان دهنده مقدار میانگین خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده میزان معنی‌داری در $\alpha=0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

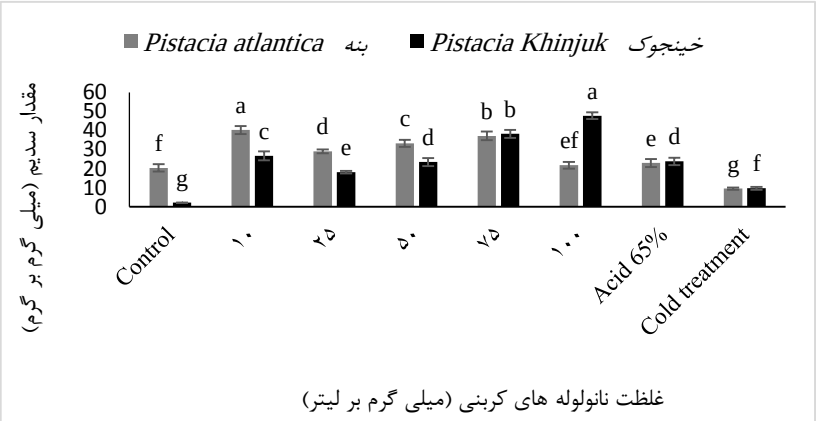
براساس نتایج تحقیق مشخص شد که مقدار پتاسیم برگ گونه بنه در تیمارهای ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر دارای بیشترین مقدار بوده ولی در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکربن و سرمادهی کمترین مقادیر را داشتند. در گونه خینجوک نیز تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین مقدار پتاسیم و تیمار شاهد نیز کمترین مقدار پتاسیم را داشته است (شکل ۵).



شکل ۵: تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت پتاسیم برگ دو گونه بنه و خینجوک بعد از چهارماه در ۱۰ تکرار برای هر تیمار . اعداد نشان دهنده مقدار میانگین خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده میزان معنی‌داری در $\alpha=0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

نتایج مربوط به بررسی تاثیر نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت سدیم نشان داد که در گونه بنه در تیمارهای ۱۰ میلی‌گرم نانولوله‌های کربنی بیشترین میزان مشاهده شد در مقابل در تیمار سرمادهی کمترین مقدار سدیم مشاهده شده

است. درخصوص گونه خینجوک نیز تیمارهای ۱۰۰ و شاهد به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶: تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی و تیمارهای رایج بر غلظت سدیم برگ دو گونه بنه و خینجوک بعد از چهارماه در ۱۰ تکرار برای هر تیمار. اعداد نشان دهنده مقدار میانگین خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده میزان معنی‌داری در α=0.05 با استفاده از آزمون دانکن است.

بحث

با توجه به نتایج پژوهش حاضر نانولوله‌های کربنی با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در گونه بنه و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر در گونه خینجوک طول ریشه، طول ساقه، وزن تر و خشک ریشه را افزایش دادند. بنابراین نانولوله‌های کربنی قادرند که ویژگی‌های رویشی ریشه و ساقه را تغییر بدهند که این یافته تحقیق با نتایج Khodakovskaya و همکاران (۲۰۰۹) و Lin & Xing (۲۰۰۷) مطابقت دارد. با این حال پاسخ گیاهان به نانولوله‌های کربنی متفاوت است. برای مثال Begum و همکاران (۲۰۱۴) اثر نانولوله‌های کربنی بر گیاهان اسفناج قرمز، کاهو، برنج، خیار، فلفل قرمز، بامیه و سویا را بررسی کردند و مشاهده کردند که در غلظت‌های بالا (۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) وزن تر ساقه، طول ریشه و ارتفاع ساقه نسبت به شاهد کاهش یافته است. در این تحقیق رشد ریشه تحت تاثیر نانولوله‌های کربنی قرار گرفته و به‌صورت معنی‌داری بیشتر از تیمارهای اسید و سرما و همچنین شاهد بود. افزایش طول ریشه‌ها در تیمارهای نانولوله‌های کربنی در دو گونه پسته وحشی می‌تواند به‌دلیل تلاش این گونه‌ها به‌منظور جذب بیشتر آب باشد. نانولوله‌های کربنی باعث ایجاد رخنه در دیواره سلولی شده و مسیر ورود مواد غذایی به سلول‌های ریشه را تسهیل کرده و باعث طویل‌تر شدن ریشه‌ها می‌شوند (Lin & Xing, 2007). نانوذرات باعث افزایش جذب عناصر غذایی، تشدید ساخت کلروفیل و تحریک سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش وزن خشک در گیاهان می‌شود (بهداد، ۱۳۸۹). این امر باعث افزایش وزن

خشک گیاه می‌شود که در تحقیق حاضر این مساله در تیمارهای نانولوله‌های کربنی با غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر در گونه خینجوک مشاهده شد.

با توجه به نتایج این پژوهش در گونه بنه نانولوله‌های کربنی با غلظت ۲۵ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر طول ریشه، طول ساقه، وزن تر و خشک ریشه را افزایش داد. این یافته‌ها با نتایج Khodakovskaya و همکاران (۲۰۰۹) و Lin & Xing (۲۰۰۷) همسو است. در گونه بنه غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربنی کمترین تاثیر را در بین تیمارهای نانوکربن بر صفات مورفولوژیک نونهال‌های بنه داشت این امر احتمالا به‌دلیل سمیت غلظت‌های بالای نانوکربن‌ها در سلول‌های ریشه باشد. Wang و همکاران (۲۰۱۲) اثر نانولوله‌های کربنی چند جداره ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میکروگرم در میلی‌لیتر را بر جوانه‌زنی و فیزیولوژی گیاه *Triticum aestivum* مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که پس از هفت روز از قرار گرفتن بذور در محیط کشت نانولوله، رشد ریشه سریع‌تر و زی‌توده افزایش یافته بود اما جوانه‌زنی و طول ساقه با بذور شاهد تفاوتی نداشته بود. در تیمار نانولوله‌های کربنی مورد استفاده در پژوهش حاضر رشد ریشه به‌طور معنی‌داری بیش از تیمارهای رایج اسید و سرما و شاهد بود. افزایش رشد در سایر صفات رویشی گیاهچه‌ها در دو گونه پسته وحشی مشاهده شد. نکته قابل توجه افزایش طول ریشه در مقایسه با طول ساقه در بذرهایی بود که با غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر در گونه خینجوک و ۷۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در گونه بنه پرایم شده بودند. مانند گونه خینجوک، در گونه بنه نیز افزایش طول ریشه‌ها تحت تاثیر تیمارهای نانولوله‌های کربنی مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد که نانولوله‌های کربنی سبب ارتقاء رشد ریشه شده و این امر می‌تواند به افزایش جذب رطوبت و دسترسی به منابع آب برای نهال‌ها منجر شود. (Lin & Xing, 2007). براساس نتایج تحقیق مشخص شد که تاثیر تیمار نانولوله‌های کربنی بر طول ساقه به اندازه طول ریشه قابل توجه نبود. همچنین مقایسه میزان رشد و زی‌توده گیاهچه‌ها نشان داد که همه تیمارهای نانولوله‌های کربنی موجب افزایش زی‌توده تر و خشک گیاهچه دو گونه بنه و خینجوک در مقایسه با تیمارهای اسید، سرما و شاهد شده بود. اما زی‌توده ریشه گیاهچه‌ها دارای تغییرات بیشتری نسبت به سایر تیمارها بود، به‌طوری که برخی تیمارها سبب افزایش تا چند برابری در زی‌توده ریشه در مقایسه با شاهد و اسید شده بود. به‌نظر می‌رسد یکی از اثرات تیمارهای نانولوله‌های کربنی افزایش طول ریشه به‌منظور جذب رطوبت بیشتر باشد. این موضوع در دو گونه پسته وحشی مورد بررسی مشاهده شد. پیش از این نیز اثرات نانولوله کربن بر جذب رطوبت بیشتر گزارش شده بود (Khodakovskaya *et al*., 2009; Ghodake *et al*., 2010). در گونه بنه تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی طول ساقه، طول ریشه و طول یقه را بیش از سایر تیمارها افزایش داده بود و در نتیجه وزن خشک ریشه و برگ نیز افزایش یافته بود که این مساله به‌دلیل تحریک فتوسنتز و افزایش ساخت کلروفیل (Thakkar *et al*., 2009) در این غلظت نانولوله‌های کربنی بود.

از اثرات مثبت نانوذرات بر گیاه می‌توان به تجمع عناصر غذایی بر سطح خود بیان کرد. نانوذراتی که سطح ویژه زیادی دارند پتانسیل زیادی برای نگهداری و حفظ عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (Mazahernia, 2009). تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی میزان غلظت عناصر غذایی پرمصرف (فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سدیم و کربن آلی) را به میزان قابل توجهی در دو گونه پسته وحشی در این تحقیق افزایش داده بودند.

نتیجه‌گیری

در نگاه کلی تمامی تیمارهای نانولوله‌های کربنی اعمال شده توانسته بودند زی‌توده گیاهچه‌ها را در مقایسه با شاهد افزایش بدهند که به‌عنوان یک اثر مثبت و قابل ملاحظه از این تیمارها بیان می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در رابطه با دو گونه پسته وحشی غلظت‌های (۱۰ و ۲۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) صفات جوانه‌زنی، رشد گیاهچه‌ها و زی‌توده تر و خشک و همچنین میزان جذب عناصر در برگ را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار داده‌اند بنابراین غلظت‌های بیشتر نانولوله‌های کربنی با توجه به نتایج این تحقیق و تحقیقات دیگر هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ اثرگذاری پیشنهاد نمی‌گردد.

منابع

بهداد، ا. (۱۳۸۹). بررسی تاثیر آللوپاتی درمنه خراسانی (*Artemisia khorassanica* Podl.) در مراحل مختلف رشد و نمو بر جوانه‌زنی، رشد و برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهچه برموس کپه داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چراغی، م.، عرفانی مقدم.، ج.، مهرابی، ع.ا. (۱۳۹۴). واکنش‌های حیاتی بذر بنه (*Pistacia atlantica*) به پیش تیمار بذر، خراش دهی و تیمارهای شیمیایی. بومشناسی جنگلهای ایران ۳(۶): ۳۶-۴۵.

ریگی کاروانداری، ذ.، سحرخیز، م. ج.، رئوف فرد، ف.، زرافشار، م. (۱۳۹۸). اثر نانولوله‌های کربنی چندجداره بر تحریک ریشه‌زایی قلمه‌های به‌لیمو (*Lippia citriodora* L.). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی ۱۴(۵۴): ۲۱-۳۱.

محمدپور، ف.، زرافشارف م.، قاسمی آقباش، ف. (۱۳۹۸). تأثیر تیمار نانولوله‌های کربنی بر جوانه‌زنی بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و خینجوک (*Pistacia khinjuk* Stocks) و مقایسه آن با تیمارهای رایج. نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۷(۴): ۴۶۴- ۴۷۴.

Bahrani, M., Yeganeh, M. and Heidari, B. (2010). Distribution of *Pistacia mutica* F & M as influenced by topographical factors and soil properties in mountian areas of western Iran, Journal of Ecology and Environmental Sciences, 36: 37-43.

Begum, P., Ikhtiari, R., & Fugetsu, B. (2014). Potential impact of multi-walled carbon nanotubes exposure to the seedling stage of selected plant species. Nanomaterials, 4(2), 203-221.

Behboodi, B. (2003). Ecological distribution study of wild pistachios for selection of rootstock. Options Mediterraneennes Series A, 63: 61-67.

Cañas, J.E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M. and Olszyk, D. (2008). Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(9): 1922-1931.

Ghodake, G., Seo, Y.D., Park, D. and Lee, D.S. (2010). Phytotoxicity of Carbon Nanotubes Assessed by *Brassica Juncea* and *Phaseolus Mungo*. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 5(2): 157-160.

Gruyer, N., Dorais, M., Bastien, C., Dassylva, N. and Triffault-Bouchet, G. (2013). Interaction between sliver nanoparticles and plant growth. In: International symposium on new technologies for environment control, energy-saving and crop production in greenhouse and plant factory-greensys, Jeju, Korea, 6-11.

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.

Inagaki, M. (2000). Old but new material: New carbons-control of structure and functions. Amsterdam, Elsevier: 1-29.

Jackson, P., Jacobsen, N.R., Baun, A., Birkedal, R., Kühnel, D., Jensen, K.A. and Wallin, H. (2013). Bioaccumulation and ecotoxicity of carbon nanotubes. Chemistry Central Journal, 7(1): 154.

Jiang, Y., Hua, Z., Zhao, Y., Liu, Q., Wang, F. and Zhang, Q. (2013). The effect of carbon nanotubes on rice seed germination and root growth. In Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology (ICAB), 250: 1207-1212.

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, 10: 3221-3227.

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: 2128-2135.

Khot, L.R., Sankaran, S., Mari Maja, J., Ehsani, R. and Schuster, E.W, (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review, Crop Protection, 35: 64-70.

Lahiani, M.H., Chen, J., Irin, F., Puretzky, A.A., Green, M.J. and Khodakovskaya, M.V. (2015). Interaction of carbon nanohorns with plants: Uptake and biological effects. Carbon, 81: 607-619.

Lin, D. and Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollution, 150(2): 243-250.

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. Masters thesis, Ferdowsi University of Mashhad, (in Farsi).

Srinivasan, C. and Saraswathi, R. (2010). Nano-agriculture-carbon nanotubes enhance tomato seed germination and plant growth. Current science, 99(3): 274-275.

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

Tripathi, S. and Sarkar, S. (2015). Influence of water soluble carbon dots on the growth of wheat plant, Applied Nanoscience, 5: 609-616.

Tripathi, S., Sonkar, S.K. and Sarkar, S., (2011). Growth stimulation of gram (*Cicer arietinum*) plant by water soluble carbon nanotubes. Nanoscale, 3: 1176-1181.

Wang, X., Han, H., Liu, X., Gu, X., Chen, K. and Lu, D. (2012). Multi-walled carbon nanotubes can enhance root elongation of wheat (*Triticum aestivum*) plants. Journal of Nanoparticle Research, 14(6): 1-10.

Effect of seed pretreatment with carbon nanotubes on growth performance of two wild pistachio species (*P.khinjuk Stocks & Pistacia atlantica Desf*)

F. Mohammadpour[1], F. Ghasemi Aghbash[2], M. Zarafshar[3], E. Ghanbary[4]

Received:2020.12.25

Accepted:2021.09.11

Abstract

The purpose of the current study was to investigate the effect of carbon nanotubes on morphological traits of two wild pistachio species and compare them with common treatments including cold and acid sulfuric 65% in a completely randomized design The results showed that application of carbon nanotubes with concentrations of 25 and 75 mg / L significantly improved the morphological and biomass traits of the two species of wild pistachio in comparison with the acid and cold treatments. The highest increase in root, stem height and collar diameter was observed in the 25 mg / L treatment. The highest root length and dry and fresh root biomass were observed in *Khinjuk* under 75 mg/L nano carbon treatment. The highest concentration of leaf magnesium was observed in *P. atlantica* after 10 and in P. *Khinjuk* after 100 mg/L treatments. The phosphorus content in leaves of the two wild pistachio species was stable under the all treatments. The leaf potassium in *P. atlantica* was the highest under 10, 25, and 50 mg/L treatment and it was the highest in leaves of P. *Khinjuk* under 75 mg/L treatment. This research proved the positive impacts of carbon nanotubes on the growth of the wild Pistachio species.

Keywords: Cold treatment, Fresh and dry biomass, Morphology, Nutrient elements, Wild Pistachio.

1. M.Sc. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Malayer, Malayer, Iran
2. Assistant Prof., Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran
3. Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran.
(*Corresponding author: mehrdad.zarashar@areeo.ac.ir)
4. Ph. D graduated, expert of forest and range, Department of Natural Resources and Watershed Management in Kermanshah, Iran