

تأثیر نانولوله‌های کربنی بر رشد ارتفاعی، جذب عناصر غذایی برگ و خاک در نهال‌های بلوط ایرانی در محیط گلخانه

فرهاد قاسمی آقباش^{۱*}، ایمان پژوهان^۲ و زهرا رستمی^۳

- ۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (f.ghasemi@malayeru.ac.ir)
۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (imanpazhouhan@gmail.com)
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (zahrarostami1994@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۹

چکیده

با وجود به‌کارگیری وسیع و روبه رشد فناوری نانو به‌ویژه در علوم گیاهی هنوز بسیاری از اثرها و کارکردهای نانوذرات بر عملکردهای گیاهان ناشناخته است. این پژوهش حاضر برای بررسی اثر نانولوله‌های کربنی، کلرید کلسیم یک‌درصد و نیترات پتاسیم یک‌درصد بر عناصر غذایی برگ و رشد ارتفاعی نهال بلوط ایرانی انجام شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر انجام شد. به این منظور بذور در تیمار اول شامل پنج سطح غلظت نانولوله‌های کربنی (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به مدت شش ساعت، تیمار دوم کلرید کلسیم یک‌درصد به مدت ۴۸ ساعت و تیمار سوم نیترات پتاسیم به مدت ۲۴ ساعت و تیمار شاهد بدون استفاده از هیچ‌گونه موادی پرآیم شدند. در انتهای یک دوره شش ماهه مقدار رشد ارتفاعی و مقادیر عناصر غذایی سدیم، پتاسیم، فسفر و کربن برگ و خاک تحت نهال‌ها اندازه‌گیری شدند. براساس نتایج، بیشترین غلظت عناصر غذایی خاک در غلظت‌های پایین نانوذرات مشاهده شد. همچنین در مقایسه با دیگر تیمارها، نیترات پتاسیم یک درصد بیشترین اثر را در افزایش کربن خاک داشت. مقادیر عناصر غذایی برگ‌ها با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی روند کاهشی داشتند. همچنین، استفاده از نانولوله‌های کربنی با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر شرایط خوبی در افزایش غلظت عناصر غذایی برگ‌ها داشته است و به‌کارگیری غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی موجب افزایش رشد ارتفاعی نهال‌های بلوط شد.

واژه‌های کلیدی: رشد نهال، بلوط ایرانی، عناصر غذایی، نانوذرات، نیترات پتاسیم.

مقدمه

فیزیولوژیک و متابولیک گیاهان ناشناخته است. استفاده از فناوری نانو در دهه‌های اخیر توانسته است تحولات وسیعی در تمام زمینه‌های علوم ایجاد کند (Peyvandi et al., 2011). استفاده از نانوذرات و نانوکودها برای تغذیه گیاهان، به‌خاطر نفوذ سریع و راحت آن‌ها به درون غشای سلولی از کاربردهای نانو در زمینه‌های مختلف کشاورزی است. استفاده از نانوذرات موجب افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، کمینه کردن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد عنصر می‌شود (Peyvandi et al., 2011). به‌دلیل اثرهای مضر که کودهای شیمیایی مرسوم بر محیط‌زیست دارند، مدت‌هاست که استفاده از آن‌ها مسئله‌ساز بوده و با به‌کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای موجود، عناصر غذایی به‌صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌شوند (Naderi and Danesh Sharaki, 2012). داشتن ویژگی‌هایی مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل شدن، تأثیرگذاری بالا و ثبات و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه سبب افزایش کارایی کودهای نانو و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاهان شده است (Subramanian KS and Thirunavukkarasu, 2017). نانوذراتی که از سطح ویژه بالایی برخوردار هستند قابلیت و پتانسیل بالایی در نگهداری و حفظ عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (Navarro et al., 2008). همچنین مواد آلی در خاک یا آب موجود در خاک می‌توانند نانوذرات را جذب، پوشانده یا تثبیت کنند و بر تحرک قابلیت دسترسی گیاه به آن‌ها، سمیت و واکنش‌پذیری آن‌ها تأثیر بگذارند (Li et al., 2008). در بین نانوذرات موجود در علوم گیاهی، نانولوله‌های کربنی بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار دارند، زیرا دارای ویژگی‌های منحصر به‌فرد مانند ساختار شیمیایی، ابعاد ویژه و انعطاف‌پذیری بالا هستند (Tiwari et al.,

بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) که با اسامی بلوط غرب و بلوط زاگرس نیز شناخته می‌شود از جنس *Quercus* (خانواده Fagaceae) است که با داشتن ۳۵۰ تا ۵۰۰ گونه یکی از فراوان‌ترین و از نظر اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی یکی از مهم‌ترین جنس‌های گیاهی در نیمکره شمالی است (Mozaffarian, 2010). بلوط ایرانی درختی کوتاه با ارتفاع ۸ تا ۱۰ متر است که در جهت‌های مختلف جغرافیایی، عموماً خاک‌هایی با منشا آهکی و قلیایی فاقد آب‌شویی استقرار می‌یابد (Bazgir et al., 2014). گیاه دارویی بلوط با عمری طولانی و گستردگی زیاد از دیرباز به‌خاطر استفاده غذایی انسان و دام از اهمیت بالایی برخوردار است (Ghaderi Gahfarokhi., 2001). میوه بلوط حاوی مقدار زیاد سدیم و منیزیم بوده و در تنظیم فشار خون نقش مهمی دارد. علاوه بر این دارای انواع ویتامین‌ها و کربوهیدرات‌ها بوده و ارزش غذایی بسیار بالایی دارد (Rix and Kirkham, 2009). همچنین میوه بلوط به‌خاطر ترکیبات فنلی و تانن خاصیت مهار پراکسیداسیون چربی‌ها و خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد (Khenouf, 2010). از آنجا که گیاهان پایه و اساس تمام اکوسیستم‌های زمینی هستند، نقش اساسی در چرخه و انتقال نانوذرات در محیط را از طریق جذب و تجمع زیستی ایفا می‌کنند (Thakkar, 2009)، بررسی کاربرد و اثرهای نانوذرات بر آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر استفاده از نانوذرات و به‌کارگیری موآب آن در جنبه‌های مختلف علوم زیستی مورد توجه پژوهشگران بیشماری قرار گرفته است (Sayedena et al., 2019, Dehghan et al., 2016). فناوری نانو در علوم گیاهی یکی از موضوع‌های روز دنیاست که پژوهش‌ها در این زمینه در ابتدای راه بوده و هنوز بسیاری از اثرها و کارکردهای نانوذرات بر عملکردهای

کربنی بر رشد ارتفاعی نهال‌ها و جذب عناصر غذایی برگ نهال‌های بلوط ایرانی را مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با نتایج دیگر تیمارهای مورد استفاده مانند نیترات پتاسیم و کلرید کلسیم یک‌درصد مورد مقایسه قرار دهد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر نانولوله‌های کربنی و دیگر تیمارهای مدنظر بر مقدار رشد ارتفاعی نهال‌ها و جذب عناصر غذایی برگ گونه بلوط ایرانی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه ملایر در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. لازم به ذکر است بذور مربوطه از رویشگاه‌های طبیعی این گونه واقع در جنگل‌های استان ایلام، شهرستان دره‌شهر جمع‌آوری شد. تیمارهای آزمایش شامل سه تیمار پرایمینگ بذر با پنج غلظت نانولوله‌های کربنی (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به مدت شش ساعت، پرایم با تیمار کلرید کلسیم یک درصد به مدت ۴۸ ساعت، نیترات پتاسیم یک درصد به مدت ۲۴ ساعت و تیمار شاهد بدون افزودن هیچ‌گونه ماده‌ای انجام شد. نانولوله‌های کربنی ساخت کشور ایران بوده و از مهم‌ترین مشخصات آن‌ها می‌توان به میانگین ابعاد ۱۰-۲۰ نانومتر، درجه خلوص ۹۵ درصد و سطح ویژه ۲۰۰ مترمربع بر گرم و چگالی ۱/۲ گرم در مترمکعب اشاره کرد. برای تهیه غلظت‌های مورد نظر نانو کربن، ابتدا مقدار لازم از نانوذرات توزیع و در آب مقطر قرار داده و سپس به همراه بذرها به مدت شش ساعت روی دستگاه لرزاننده قرار داده شدند (Mohammadpour et al., 2020). سپس تعداد مورد نیازی از بذرها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در محلول نیترات پتاسیم در تاریکی قرار گرفتند. در ادامه بذرها حاوی کلرید کلسیم یک درصد به مدت ۲۴ ساعت در

اعتقاد بر این است که نانولوله‌های کربنی می‌توانند ویژگی‌های مورفولوژی و فیزیولوژی سلول‌های گیاهی را تغییر دهند (Lahiani et al., 2013) و در نهایت سبب تنظیم رشد گیاه و نهال (Haghighi and Da Silva, 2014) و همچنین موجب افزایش رشد محصول شوند (Nel et al., 2013). در حال حاضر نقش مثبت نانولوله‌های کربنی در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان مورد توجه قرار گرفته است (Lahiani et al., 2015; Pazhouhan et al., 2016). توانایی نفوذ نانولوله‌های کربنی تک‌جداره را به داخل دیواره سلولی و غشای سلولی، سلول‌های توتون و تنباکو گزارش کردند. برای اولین بار استفاده از نانولوله‌های کربنی در علوم گیاهی با پژوهش Khodakovskaya et al. (2009) شروع شد. آن‌ها گزارش کردند که نانولوله‌های کربنی چند جداره (MWCNT) با نفوذ در بذور گوجه فرنگی سبب افزایش ۹۰ درصدی سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد می‌رسد. (Lopez et al., 2010) با بررسی اثرات نانوذرات بر عملکرد سویا گزارش دادند که اگرچه نانوذرات بر جوانه‌زنی بذر سویا تأثیری نداشته ولی اثرهای متفاوتی بر رشد گیاهان و جذب عناصر غذایی داشتند.

در سال‌های اخیر نحوه تأثیر تغذیه عناصر مورد نیاز به شکل نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته است و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است. اما نکته مهم در کاربرد نانوذرات این است که چه غلظتی از آن‌ها می‌تواند بیشترین عملکرد را در گیاهان پدیدار سازد. بنابراین لازم است که این مسئله مورد بررسی قرار گیرد چه بسا که غلظت‌های بالا از نانوذرات نه تنها اثر مثبتی بر عملکرد گیاهان نداشته بلکه سبب سمیت آن‌ها نیز بشود. از این‌رو این پژوهش بر آن است که اثرهای غلظت‌های مختلف نانولوله‌های

کربن برگ‌ها و خاک تحت نهال‌های رشد یافته از بذر-های پرایم شده با استفاده از دستورالعمل‌های استاندارد انجام شد. ارتفاع نهال‌ها با استفاده از خط‌کش سانتی-متری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بدین منظور مقدار ارتفاع از محل یقه تا رأس آخرین برگ به‌عنوان ارتفاع منظور شد. سرانجام به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری با رعایت همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن داده‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه برای مقایسه‌های کلی و از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین گروه‌ها در نرم‌افزار آماری spss نسخه ۱۶ استفاده شد.

محلول قرار داده شدند. پس از اعمال تیمارها، بذرهای پرایم شده با تیمارهای مختلف به گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۵×۱۵ سانتی‌متر با گنجایش حدود دو کیلوگرم خاک پر شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. سپس در هر گلدان سه عدد بذر کشت و به‌طور مرتب آبیاری شدند. در ادامه بذرهای پرایم شده با تیمارهای مختلف به گلخانه تحقیقاتی با شرایط دمایی 10 ± 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 10 ± 35 درصد انتقال داده شدند. سرانجام پس از شش ماه از کاشت بذرها، اندازه‌گیری مقدار غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و

جدول ۱- خصوصیات خاک استفاده شده برای تیمارهای مختلف

Table 1. Soil characteristics used for different treatments

وزن مخصوص ظاهری	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی خاک	بافت خاک
Soil Bulk Density (g/cm ³)	Soil pH	Soil Ec (ms)	Soil texture
1.276	8.78	0.3	Sand

داد. با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی مورد استفاده تا غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر ارتفاع نهال‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در غلظت بالای نانولوله‌های کربنی (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نیز ارتفاع نهال‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت ولی نسبت به غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته بود (جدول ۳).

نتایج

رویش ارتفاعی

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر رشد ارتفاعی اختلاف معنی-داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت (جدول ۲). کاربرد غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی مورد استفاده بیشترین اثر را از این جهت نشان

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر رشد ارتفاعی گیاهچه

Table 2. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on seedling height growth

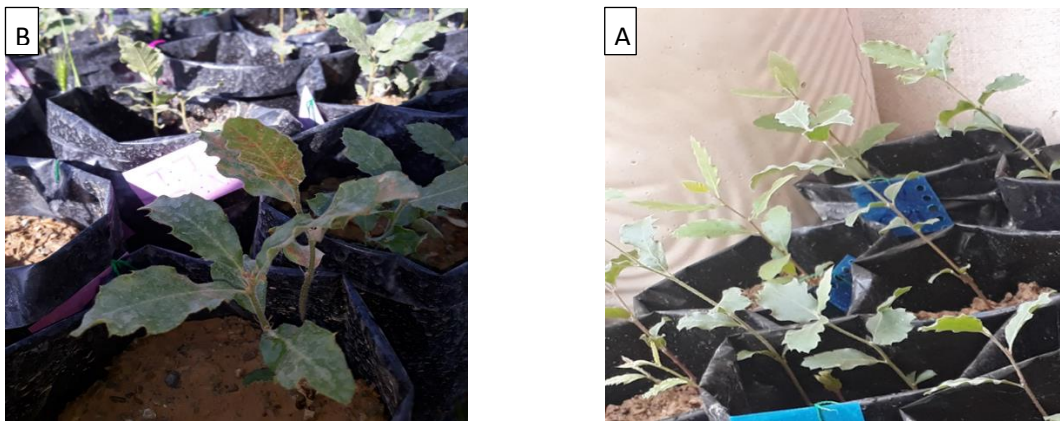
F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر	متغیر
	Mean of squares	Degrees of freedom	Source of variation	Variable
6.019*	44.826	7	تیمار	رشد ارتفاعی
	7.448	72	خطا	Height growth
			Error	

Table 3. Comparison of the mean effect of different treatments on seedling height growth

متغیر Variable	تیمارها Treatments					نیتрат پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%	کلرید کلسیم ۱ درصد Calcium chloride 1%	شاهد Control
	نانو لوله‌های کربنی Carbon nanitubes							
	10	25	50	75	100			
رشد ارتفاعی Height growth	7.901±1.059 ^{bcd}	9.481±0.509 ^{bc}	10.39±0.67 ^{ab}	12.42±0.673 ^a	8.7±0.99 ^{bc}	7.27±0.83 ^{cd}	7.2±1.08 ^{cd}	5.67±0.9 ^d

اعداد درون جدول به ترتیب نشان‌دهنده میانگین ± اشتباه معیار هستند. حروف مشابه در هر ردیف نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

The numbers in the table show the mean ± standard error, respectively. Similar letters in each row indicate no significant difference in 95% confidence level.



شکل ۱- تصاویر تهیه شده از وضعیت ارتفاعی نهال‌های تحت تیمار نانولوله‌های کربن ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (A) و تیمار

شاهد (B)

Figure 1. Images of the height status of seedlings under Carbon nanitubes 75 mg / l (A) and Control treatment (B)

عناصر غذایی برگ

نشان داد که با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار غلظت پتاسیم به‌طور قابل توجهی نسبت به غلظت ۱۰ میلی‌گرم کاهش پیدا کرد. کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش غلظت پتاسیم نسبت به تیمار شاهد و تمام غلظت‌ها شد. با این حال غلظت‌های بالای مورد استفاده موجب کاهش غلظت پتاسیم شد (شکل ۲ B). نتایج اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات و تیمارهای مختلف بر تغییرات فسفر نشان داد که کاربرد غلظت ۵۰

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد در ارتباط با غلظت تمامی عناصر بررسی شده برگ بین تیمارهای مختلف اثر معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد وجود دارد (جدول ۴). یافته‌های پژوهش نشان داد که غلظت سدیم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد نانولوله‌های کربنی قرار گرفت. به‌طوری که کمترین و بیشترین غلظت سدیم به ترتیب در تیمارهای نیترات پتاسیم یک‌درصد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی بود (شکل ۲ A). در خصوص پتاسیم نتایج این پژوهش

غلظت نانولوله‌های کربنی چند جداره تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت کربن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار کربن مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. در حالی‌که بین تیمارهای دیگر تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نشد (شکل ۲ E).

میلی‌گرم در لیتر نانو، غلظت فسفر را در مقایسه با دیگر تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲ C). طبق نتایج، بیشترین غلظت کلسیم برگ در غلظت ۵۰ میلی‌گرم ثبت شد و همچنین کمترین کلسیم برگ در تیمار شاهد و غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر غلظت نانو مشاهده شد (شکل ۲ D). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش

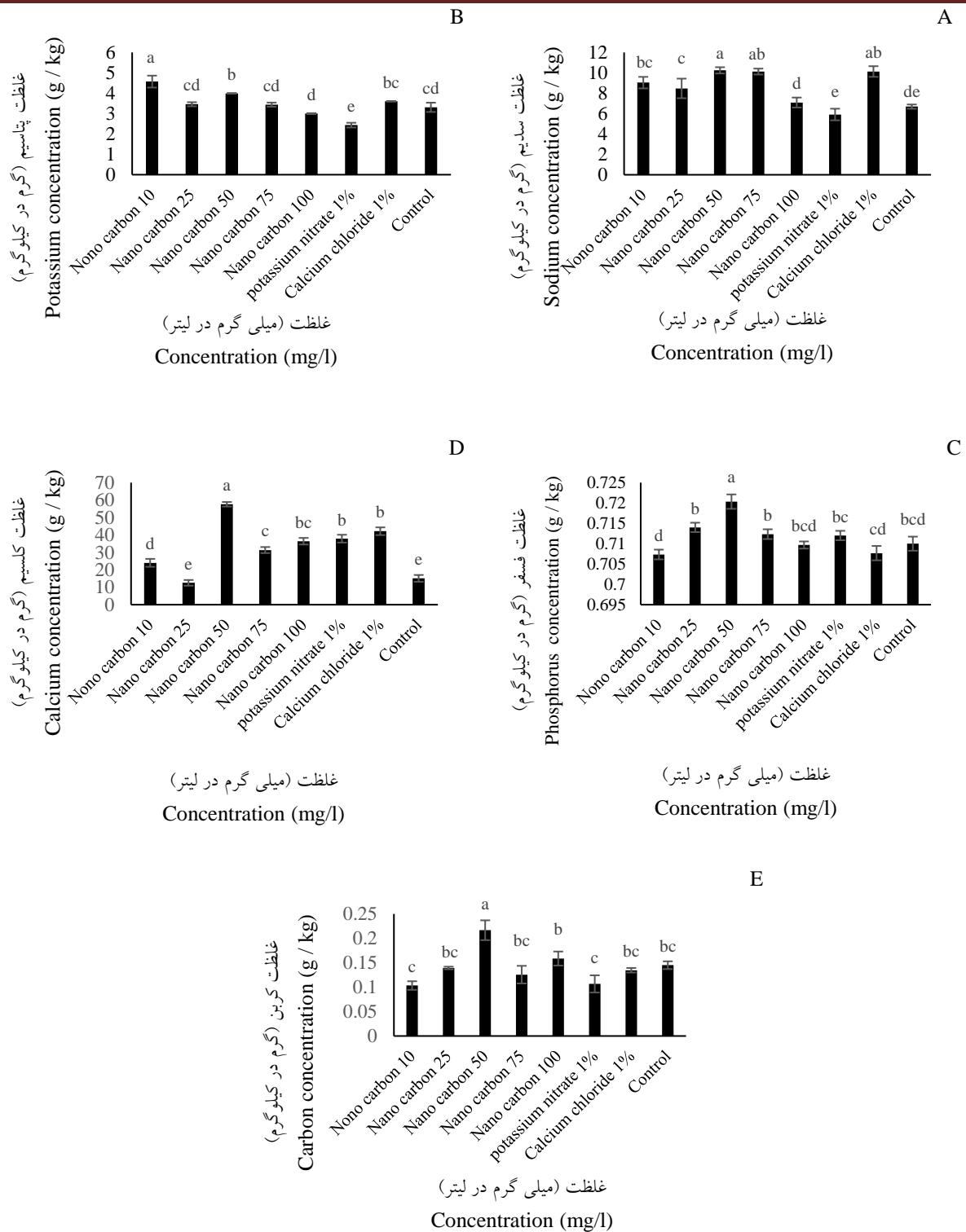
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی برگ

Table 4. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on nutrient uptake of leaves

F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییر Source of variation	متغیر Variable
24.260*	8.823	7	تیمار Treatment	سدیم sodium
	0.364	16	خطا Error	
19.884*	1.210	7	تیمار Treatment	پتاسیم Potassium
	0.061	16	خطا Error	
9.012*	0.002	7	تیمار Treatment	فسفر Phosphorus
	0.001	16	خطا Error	
7.170*	0.004	7	تیمار Treatment	کربن Carbon
	0.001	16	خطا Error	
58.929*	660.791	7	تیمار Treatment	کلسیم Calcium
	11.213	16	خطا Error	

*: معنی دار در سطح احتمال پنج درصد.

*: Significant at five percent probability levels.



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی، پتاسیم نترات یک درصد و کلرید کلسیم یک درصد بر غلظت سدیم، پتاسیم، فسفر، کلسیم و کربن برگ

Figure 2. Effect of different concentrations of carbon nanotubes, potassium nitrate 1% and calcium chloride 1% on the concentrations of sodium, potassium, phosphorus, calcium and carbon of leaves

عناصر غذایی خاک

غلظت فسفر خاک مشاهده شد که نانوذرات با غلظت- های ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر بیشترین اثر را در افزایش غلظت فسفر خاک داشتند (شکل ۳ C). همچنین نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت عنصر کلسیم خاک نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد وجود دارد به طوری که بیشترین غلظت کلسیم در تیمار ۱۰ و ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو ذرات کربن مشاهده شد (شکل ۳ D). نتایج مربوط به غلظت کربن خاک نیز نشان داد که تیمارهای مختلف اثرات معنی- داری در سطح ۵ درصد داشتند. به طوری که بیشترین غلظت کربن در تیمار نیترا پتاسیم یک درصد مشاهده شد (شکل ۳ E).

تجزیه واریانس عناصر غذایی خاک نشان داد اختلاف معنی داری در ارتباط با عناصر سدیم، کربن و کلسیم بین تیمارهای مختلف وجود دارد، در حالی که این تیمارها تأثیر معنی داری در غلظت عناصر فسفر و پتاسیم نداشت (جدول ۵). بیشترین مقدار غلظت سدیم خاک در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات ملاحظه شد. بین تیمار شاهد با تمامی تیمارهای به کاررفته اختلاف معنی داری وجود داشت (شکل ۳ A). براساس نتایج مشاهده شد که غلظت پتاسیم خاک در تمامی تیمارها یکسان بوده و هیچ اختلاف معنی داری باهم نداشتند (شکل ۳ B). درخصوص اثرهای تیمارهای مختلف بر

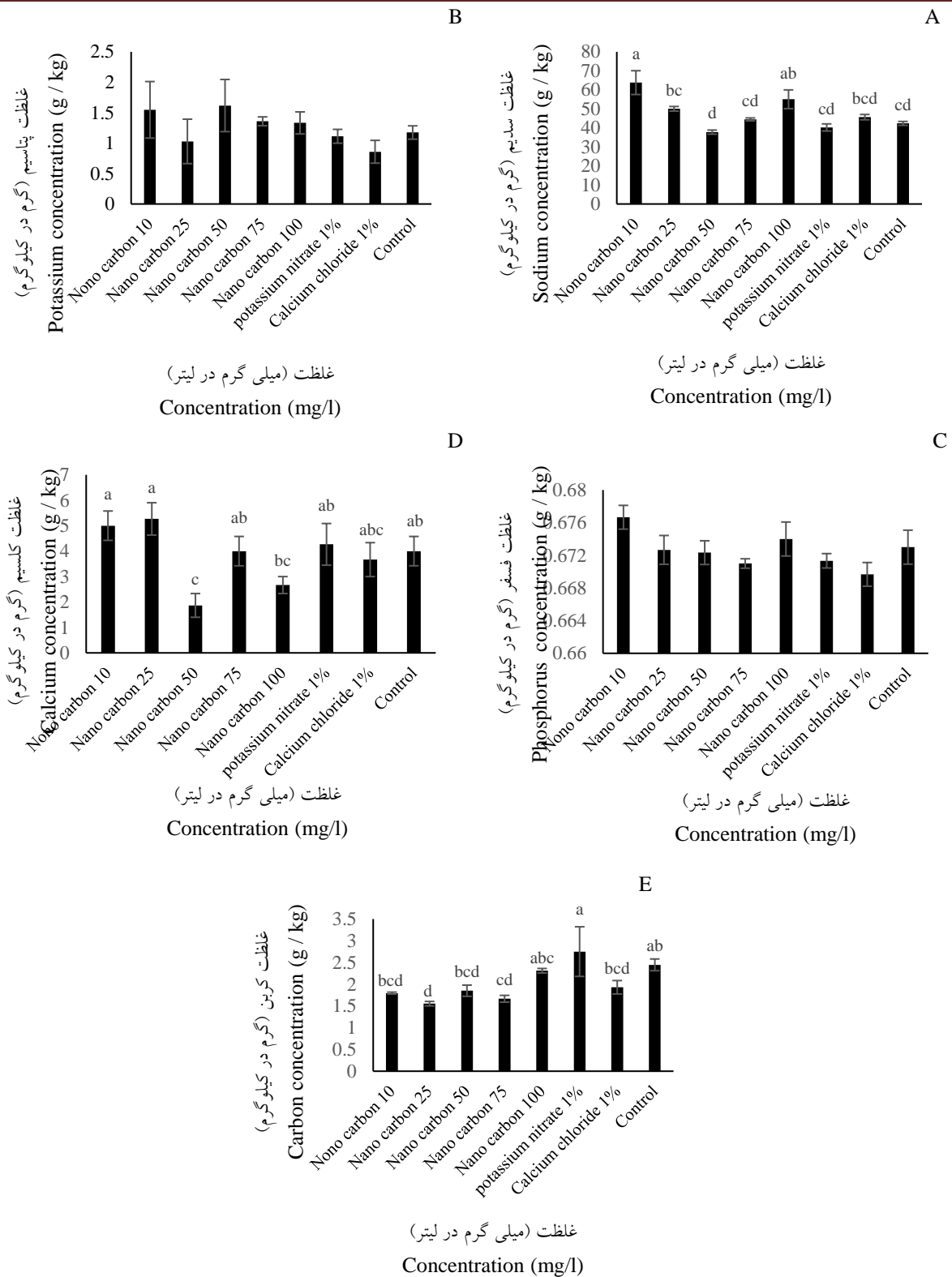
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی خاک

Table 5. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on nutrient uptake of soils

F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییر Source of variation	متغیر Variable
8.048*	220.969	7	تیمار Treatment	سدیم sodium
	27.458	16	خطا Error	
0.851 ^{ns}	0.201	7	تیمار Treatment	پتاسیم Potassium
	0.236	16	خطا Error	
1.873 ^{ns}	0.002	7	تیمار Treatment	فسفر Phosphorus
	0.001	16	خطا Error	
3.536*	0.526	7	تیمار Treatment	کربن Carbon
	0.149	16	خطا Error	
3.576*	3.821	7	تیمار Treatment	کلسیم Calcium
	1.068	16	خطا Error	

*: معنی دار در سطح احتمال پنج درصد؛ ns: غیر معنی دار.

*: Significant at 5% probability levels; ns: non significant.



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن، پتاسیم نیترات ۱ درصد و کلرید کلسیم ۱ درصد بر غلظت سدیم، پتاسیم، فسفر، کلسیم و کربن خاک

Figure 3. Effect of different concentrations of carbon nanotubes, potassium nitrate 1% and calcium chloride 1% on the concentrations of sodium, potassium, phosphorus, calcium and carbon of soil

بحث

پژوهش هم‌خوانی دارد. افزایش ارتفاع گیاه ذرت نیز در اثر کاربرد نانولوله‌های کربن توسط Taha et al. (2016) گزارش شد. همچنین پژوهش آن‌ها بیانگر این موضوع است که اگر غلظت مشخصی از نانولوله‌های کربنی در کنار سلول‌های برخی گونه‌های گیاهی قرار داده شود، رشد سلولی در آن‌ها افزایش می‌یابد. گزارشات Agrawal and Rathore (2014) بیانگر این مورد است که نانولوله‌های کربنی سبب افزایش رشد سلولی در برخی از گونه‌های گیاهی می‌شود و به‌نظر می‌رسد که نانولوله‌های کربنی چند جداره می‌توانند به‌عنوان کانال، مسیر عبور آب به درون سلول را فراهم کنند که این کار موجب رشد سریع‌تر و تقسیم سلول خواهد شد. بررسی مقدار عناصر غذایی برگ نیز حاکی از این بود که بین تیمارهای مورد استفاده تفاوت معنی‌داری وجود داشت. نتایج این بررسی به‌طور خاص نشان داد که استفاده از نانولوله‌های کربن با غلظت بیش از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش عناصر غذایی برگ شده بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر چه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد ویژگی‌ها و فعالیت‌های جدید و متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Sosa et al., 2003). در این پژوهش نانوذرات کربن در غلظت متوسط (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) موجب افزایش عناصر غذایی برگ نسبت به تیمار شاهد شد. یافته‌های پژوهشگران نیز از اثرهای مثبت و منفی نانوذرات بر رشد و توسعه گیاهان گزارش دادند. اثرهای نانوذرات مهندسی شده بر گیاهان به غلظت، اندازه، ترکیب، خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Ma et al., 2013). نتایج پژوهش Jiang et al. (2013) روی برنج نشان داد کاربرد نانولوله‌های کربن تا غلظت متوسط ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر سبب افزایش طول و وزن تر و خشک ریشه می‌شود و استفاده از غلظت‌های بیشتر از ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر اثر منفی بر ویژگی‌های رشدی ریشه داشته

پژوهشگران از نیترا تپتاسیم، جیبرلیک اسید، کلرید کلسیم به‌عنوان محرک‌های رشدی نام می‌برند که می‌توانند به دورن جنین نفوذ و تحریک فعالیت‌های متابولیکی را انجام دهند و در تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه مؤثر باشند (Hashemi Dezfoli, 1999). در این پژوهش نتایج نشان داد که استفاده از نانولوله‌های کربنی تأثیر محسوس و بیشتری نسبت به دیگر تیمارها بر رشد ارتفاعی نهال‌ها و عناصر غذایی برگ‌ها داشت. همچنین براساس نتایج پژوهش غلظت‌های پایین نانولوله‌های کربنی موجب افزایش غلظت عناصر غذایی خاک شده بود. از آنجا که اثر نانوذرات بستگی به غلظت ماده دریافتی داشته و از گیاهی به گیاهی دیگر متفاوت است، با این حال آن‌ها نقش قابل‌توجهی در رشد و توسعه گیاهان ایفا می‌کنند (Siddiqui et al., 2015). بررسی نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه تغییرات ارتفاعی نهال‌ها نشان داد که بین تیمارهای نانولوله‌های کربنی با غلظت‌های مختلف، نیترا تپتاسیم یک‌درصد و کلرید کلسیم یک درصد و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تمامی تیمارها وضعیت بهتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. وجود مواد مغذی در ترکیبات نانوذرات به‌علت داشتن سطح ویژه بالا ممکن است روی برخی از خواص محصولات گیاهی مؤثر واقع شوند، برای مثال می‌تواند با کنترل دریافت کود یا مواد شیمیایی در تنظیم رشد گیاه و دیگر ویژگی‌های مرتبط با رشد مؤثر باشند (Nair et al., 2010). نتایج بررسی Khodakovskaya et al. (2009) درخصوص اثر نانولوله‌های کربن بر درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده از نانوذرات سبب افزایش جوانه‌زنی و رشد و توسعه گیاه گوجه‌فرنگی شد که دلیل آن نفوذ نانوذرات در دیواره بذر و جذب بیشتر آب است که در نهایت موجب افزایش ارتفاع گیاه شد که با نتایج این

است. همچنین Zhang et al. (2005) در پژوهش خود اظهار داشتند که در غلظت ۲/۵ هزار نانو، سرعت فتوسنتز اسفناج ۳/۱۳ برابر افزایش می‌یابد در صورتی که با افزایش غلظت بیشتر نانو سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد. احتمالاً نانوذرات موجب افزایش جذب عناصر غذایی، ساخت کلروفیل و تحریک فتوسنتز و تجمع مواد آلی در گیاهان می‌شود (Behdad, 2010). بنابراین به نظر می‌رسد که تیمار نانولوله‌های کربنی با جذب آب و تقسیم سلولی و تحریک فتوسنتز موجب انتقال مواد و جذب عناصر غذایی شده و در نهایت موجب افزایش زی‌توده گیاهی می‌شود. این موضوع با یافته‌های Tiwari et al. (2014) که گزارش دادند نانولوله‌های کربنی موجب افزایش جذب آب و عناصر ضروری مانند کلسیم، آهن و ذی‌توده گیاهچه ذرت می‌شوند، هم‌خوانی دارد. نانولوله‌های کربنی با ایجاد منافذ جدید در دیواره سلولی و غشای پلاسمایی موجب افزایش جذب آب به درون سلول و توسعه و بهبود آن می‌شود (Liu et al., 2010). Ghodsi et al. (2012) با بررسی اثر نانو اکسید آهن بر مقدار جذب عناصر غذایی در آفتابگردان، به این نتیجه رسیدند که نانو اکسید آهن با افزایش محتوای کلروفیل برگ و تأثیر بر مسیرهای متابولیکی و هورمونی و در پی آن افزایش فتوسنتز و افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم و نیتروژن می‌شود. همچنین گزارش Tiwari et al. (2014) نشان داد که نانولوله‌های کربنی با ایجاد منافذ در ساختارهای غشایی و افزایش نفوذپذیری ریشه گیاهان به عناصر ضروری برای رشد گیاه مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، آهن و منگز می‌شود. داشتن ویژگی‌هایی مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل شدن، تأثیرگذاری بالا و ثبات و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه سبب افزایش کارایی کودهای نانو و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاهان شده است (Subramanian and Thirunavukkarasu, 2017).

بنابراین می‌توان گفت از اثرهای مثبت نانوذرات بر گیاهان، تجمع عناصر غذایی بر سطح خود است. نانوذراتی که سطح ویژه بالایی دارند. قابلیت و پتانسیل بالایی در حفظ و نگهداری عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (Mazahernia, 2009). پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که غلظت عناصر موجود در برگ گیاه و جذب آن‌ها توسط گیاهان ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار گیرد. اثر متقابل عناصر، نحوه جذب شدن هر عنصر در گیاه، تحرک و تجمع آن‌ها در بافت‌های مختلف می‌تواند بر غلظتشان در گیاه تأثیرگذار باشد. با استفاده از نتایج به دست آمده، سطح تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی برگ تأثیر قابل توجهی داشت. اگرچه نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارها بر تمام عناصر خاک معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که گاهی اوقات غلظت برخی عناصر خاک، با غلظت عناصر موجود در گیاه همبستگی ندارد و این موضوع به این دلیل است که علاوه بر غلظت عناصر موجود در خاک، سن گیاه و قابلیت دسترسی عناصر دیگر نیز بر غلظت عنصر در گیاه تأثیرگذار است. از آنجا که غلظت یک عنصر در گیاه زمانی افزایش می‌یابد که در خاک نیز افزایش یافته باشد، برخی پژوهشگران بر این باورند که برای بیشتر عناصر رابطه مثبت و معنی‌داری بین غلظت عناصر در بافت گیاهی و غلظت قابل استفاده آن‌ها در خاک وجود دارد (Karla, 1998). Pazhouhan et al. (2016) در پژوهش خود روی گونه درختی مورد به این نتیجه دست یافتند که تیمار نیترا پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد و زمان ۲۴ ساعت و همچنین تیمار نانولوله کربن با غلظت ۰/۱ گرم در لیتر، هم در ارتباط با شاخص‌های جوانه‌زنی شامل سرعت و درصد جوانه‌زنی و هم در ارتباط با شاخص‌های رشد گیاهچه مانند طول ریشه و ساقچه و همچنین وزن خشک گیاهچه عملکرد بهتری در سطح احتمال ۰/۰۵

خاک تحت نهال‌ها داشت. طبق نتایج، تیمار ۵۰ میلی-گرم در لیتر شرایط خوبی در افزایش غلظت عناصر غذایی برگ را داشته و غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نیز در رشد ارتفاعی نهال‌های بلوط نقش مؤثری داشت. بنابراین با توجه به این نتایج پیشنهاد می‌شود بررسی‌های بیشتری در ارتباط با کاربرد غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی، مقرون به-صرفه بودن آن از نظر اقتصادی و در نهایت بررسی امکان سمی بودن این ذرات انجام شده تا از این ذرات با احتیاط استفاده شود.

References

- Agrawal, S.; Rathore, P., Nanotechnology pros and cons to agriculture: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **2014**, 3 (3), 43-55.
- Bazgir, A.; Namiranian, M.; Avatefi Hemmat, M., Oak and its local uses in the Zagros forests, Second National Conference on Forest Science Students, Karaj, Student Scientific Association of Forestry, University of Tehran, 2014, pp, 1-8. (In Persian).
- Behdad, A.; Abrishamchi, P.; Jankgu, M., Alleopathic effect of *Artemisia khorassanica* podl. *Extraction on seed germination, growth and some biochemical characteristics of *Bromus kopetdaghensis drobov**. *Shahid Chamran University Journal of Science* **2010**, 25 (1), 78-92.
- Dehghan, S.; Tabari Kochak Saraei, M.; Jalali, Gh.; Effect of SiO₂ NPS nanoparticles on morphophysiological characteristics of *Pinus nigra* under drought stress, *Journal of Forest Research and Development* **2016**, 2 (3), 289-299. (In Persian).
- Ghaderi Gahfarokhi, M.; Sadeghi, A.; Alami, M., ghorbani N and azizi, MH Evaluation of the antioxidation activity, regenerative power produced and the antioxidant capacity of phenolic extracts of the oak. *J Food Tech* **2001**, 21 (1), 94-104.
- Ghodsi, A.; Astaraei, A.; Emami, H., Effects of nano iron oxide powder and urban solid waste compost coated sulfur on chemical properties of a saline-sodic soil. *Desert* **2015**, 20 (1), 39-46.
- Haghighi, M.; da Silva, J. A. T., The effect of carbon nanotubes on the seed germination

داشته‌اند. هرچند در بررسی ذکر شده تأکید بر آن بود که بررسی‌های تکمیلی خیلی بیشتری در رابطه با استفاده از نانوذرات نیاز است و پیشنهاد شد که برای تولید انبوه نهال‌های مورد از تیمارهای نیتراپتاسیم استفاده شود چرا که در مقایسه با نانوذرات مقرون به‌صرفه‌تر نیز است.

به‌طور کلی غلظت بالای نانولوله‌های کربنی در این آزمایش اثر منفی بر غلظت‌های عناصر غذایی برگ و

- and seedling growth of four vegetable species. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **2014**, 17 (4), 201-208.
- Hashemi Dezfoli, S.A. & M. Alikhani, 1999. Seed dormancy and germination, Shahid Chamran University Press. (In Persian)
- Jiang, Y.; Hua, Z.; Zhao, Y.; Liu, Q.; Wang, F.; Zhang, Q. In *The effect of carbon nanotubes on rice seed germination and root growth*, Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2012), Springer: 2014; pp 1207-1212.
- Karla, Y. P., *Hanbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Press: Washington D.C, USA, 1998. 320 p.
- Khenouf, S.; Amira, S.; Arrar, L.; Baghiani, A., Effect of some phenolic compounds and quercus tannins on lipid peroxidation. *World Applied Sciences Journal* **2010**, 8 (9), 1144-1149.
- Khodakovskaya, M.; Dervishi, E.; Mahmood, M.; Xu, Y.; Li, Z.; Watanabe, F.; Biris, A. S., Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS nano* **2009**, 3 (10), 3221-3227.
- Lahiani, M. H.; Chen, J.; Irin, F.; Puretzky, A. A.; Green, M. J.; Khodakovskaya, M. V., Interaction of carbon nanohorns with plants: uptake and biological effects. *Carbon* **2015**, 81, 607-619.
- Lahiani, M. H.; Dervishi, E.; Chen, J.; Nima, Z.; Gaume, A.; Biris, A. S.; Khodakovskaya, M. V., Impact of carbon nanotube exposure to seeds of valuable crops. *ACS applied materials & interfaces* **2013**, 5 (16), 7965-7973.

- Li, D.; Lyon, D. Y.; Li, Q.; Alvarez, P. J., Effect of soil sorption and aquatic natural organic matter on the antibacterial activity of a fullerene water suspension. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* **2008**, *27* (9), 1888-1894.
- Liu, Q.; Zhao, Y.; Wan, Y.; Zheng, J.; Zhang, X.; Wang, C.; Fang, X.; Lin, J., Study of the inhibitory effect of water-soluble fullerenes on plant growth at the cellular level. *ACS nano* **2010**, *4* (10), 5743-5748.
- López-Moreno, M. L.; de la Rosa, G.; Hernández-Viezas, J. Á.; Castillo-Michel, H.; Botez, C. E.; Peralta-Videa, J. R.; Gardea-Torresdey, J. L., Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO₂ nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. *Environmental science & technology* **2010**, *44* (19), 7315-7320.
- Ma, C.; Chhikara, S.; Xing, B.; Musante, C.; White, J. C.; Dhankher, O. P., Physiological and molecular response of *Arabidopsis thaliana* (L.) to nanoparticle cerium and indium oxide exposure. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* **2013**, *1* (7), 768-778.
- Mazahernia, S., 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, 2009. (In Persian).
- Mohammadpour, F.; Zarafshar, M.; Aghbash, F., The effect of carbon nanotube treatments on germination of *Pistacia atlantica* Desf. and *P. khinjuk* stocks and comparison with common treatments. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, *27* (4).
- Mozaffarian, V., *Trees and shrubs of Iran. Tehran Farhang-e Moaser*, third edition.; 2010; pp. 278-280. (In Persian).
- Naderi, M.; Danesh Shahraki, A., Application of nanotechnology in optimizing chemical fertilizer formulations, *Nanotechnology* **2012**, *4* (165), 20-22. (In Persian).
- Nair, R.; Varghese, S. H.; Nair, B. G.; Maekawa, T.; Yoshida, Y.; Kumar, D. S., Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant science* **2010**, *179* (3), 154-163.
- Navarro, E.; Baun, A.; Behra, R.; Hartmann, N. B.; Filser, J.; Miao, A.-J.; Quigg, A.; Santschi, P. H.; Sigg, L., Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology* **2008**, *17* (5), 372-386.
- Nel, A.; Xia, T.; Meng, H.; Wang, X.; Lin, S.; Ji, Z.; Zhang, H., Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening. *Accounts of chemical research* **2013**, *46* (3), 607-621.
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E., Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* **1996**, *5*, 961-1010.
- Pazhouhan, I.; Jalali, S.Gh.; Atabati, H.; Zarafshar, M.; Sattarian, A., Comparison of carbon nanotubes with chemical and physical treatments to break seed dormancy of *Myrtus communis* L. *Journal of Plant Researches* **2016**, *29* (2), 300-308 (In Persian).
- Peyvandi, M.; Mirza, M.; Kamali Jamakani, Z., The Effect of Nano Fe Chelate and Fe Chelate on the growth and activity of some Antioxidant. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal* **2011**, *2* (5), 25-32.
- Rix, M.; Kirkham, T., *Quercus castaneifolia*. Curtis's Botany. Mines Advisory Group. 2009; pp. 14-69.
- Sayedena, S.V.; Pilehvar, B.; Abrari-Vajari, K.; Zarafshar, M.; Eisvand, H. R.; Ali-Yari, F., Effects of NSiO₂ pre-treatments on seed germination and primary growth of *Sorbus luristanica* Bornm. as endemic species, *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (3), 435-448. (In Persian).
- Siddiqui, M. H.; Al-Whaibi, M. H.; Mohammad, F., Nanotechnology and plant sciences. *Springer International Publishing Switzerland. DOI* **2015**, *10*, 978-3.
- Sosa, I. O.; Noguez, C.; Barrera, R. G., Optical properties of metal nanoparticles with arbitrary shapes. *The Journal of Physical Chemistry B* **2003**, *107* (26), 6269-6275.
- Subramanian, K. S.; Thirunavukkarasu, M., Nano-fertilizers and nutrient transformations in soil. In *Nanoscience and Plant-Soil Systems*, Springer: 2017; pp 305-319.
- Taha, R. A.; Hassan, M. M.; Ibrahim, E. A.; Abou Baker, N. H.; Shaaban, E. A., Carbon nanotubes impact on date palm in vitro cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* **2016**, *127* (2), 525-534.
- Thakkar, K. N.; Mhatre, S. S.; Parikh, R. Y., Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine* **2010**, *6* (2), 257-262.
- Tiwari, D.; Dasgupta-Schubert, N.; Cendejas, L. V.; Villegas, J.; Montoya, L. C.; García, S.

B., Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture. *Applied Nanoscience* **2014**, 4 (5), 577-591.

Zheng, L.; Hong, F.; Lu, S.; Liu, C., Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biological trace element research* **2005**, 104 (1), 83-91.

The effect of carbon nanotubes on height growth, leaf and soil nutrient uptake in Iranian oak seedlings in greenhouse environment

F. Ghasemi Aghbash^{*1}, I. Pazhouhan² and Z. Rostami³

1- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (f.ghasemi@malayeru.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (imanpazhouhan@gmail.com)

3- MSc Student of Forestry, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (zahrarostami1994@yahoo.com)

Received: 24.08.2020 Accepted: 09.12.2020

Abstract

Despite the widespread and growing use of nanotechnology, especially in plant science, many of the effects and functions of nanoparticles on plant mechanisms are still unknown. The present study was conducted to investigate the effect of carbon nanotube treatments, calcium chloride 1% and potassium nitrate 1% on leaf nutrients and height growth of Iranian oak seedlings. This experiment was performed in a completely randomized with three replications in the research greenhouse of Malayer University. For this purpose, the seeds were primed in the first treatment included five levels of concentration of carbon nanotubes (10, 25, 50, 75, 100 mg/l) for six hours, the second treatment of calcium chloride 1% for 48 hours and the third treatment Potassium nitrate for 24 hours and control treatment (non-priming). At the end of a six-month period, the growth rate and nutrient levels of sodium, potassium, calcium and phosphorus, and carbon in the leaves and soil under the seedlings were measured. According to the results, the highest concentration of soil nutrients was observed in low concentrations of nanoparticles. Findings showed that in compared to the other treatments, the greatest effect of potassium nitrate 1% was in increasing soil carbon. Also, the Findings showed that the amount of nutrients in the leaves decreased with increasing concentration of carbon nanotubes. According to the results, the use of carbon nanotubes with a concentration of 50 mg/l has good conditions in increasing the concentration of nutrients in the leaves. Also, the use of concentrations of 50 and 75 mg/l of carbon nanotubes increases the height growth of oak seedlings.

Keywords: Nanoparticles, Nutrients, Persian Oak, Potassium Nitrate, Seedling growth.

* Corresponding author

Tel: +989122379717