اثرات نانوتیوب کربن چند جداره و نانو نقره بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیک گیاه باقلا (*Vicia faba* L.)

محمود رضا تدین*[۱]، سیف‌اله فلاح[۱]، علی‌اکبر فدایی تهرانی[۲] و سعید نوروزی[۳]

به ترتیب [۱]گروه زراعت، [۲]گروه گیاهپزشکی و [۳]گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۲/۰۴/۲۵).

چکیده:

به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف نانو نقره و نانوتیوب‌های کربنی چند جداره بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه باقلا، آزمایشی با سه تکرار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با غلظت‌های مختلف (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر) انجام شد. نتایج نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در تعداد بذور جوانه‌زده، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و مقاومت ریشه‌چه، بین تیمارهای نانو نقره و نانوتیوب کربنی در سطح احتمال ۱٪ بود و صفات ۵۰ درصد زمان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری را در تیمار نانوذرات اعمال شده نشان ندادند. اثرات غلظت نانوذرات بر صفات وزن تر و خشک ساقه‌چه، سرعت جوانه‌زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵٪ و در صفات طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، شاخص مقاومت ریشه‌چه و تعداد بذور جوانه‌زده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. طول ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه در تیمار غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها و غلظت‌ها را داشت و صفات مقاومت ریشه، وزن تر ریشه و طول ریشه، در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین کاهش معنی‌دار را داشتند. در بین اثر متقابل تیمارها، سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و دیگر صفات در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری نشان دادند. همچنین، در صفات وزن خشک ریشه، مقاومت ریشه و تعداد بذور جوانه‌زده، غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، در سرعت جوانه‌زنی، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و در ۵۰ درصد زمان جوانه‌زنی، تیمار شاهد بیشترین کاهش معنی‌دار را داشتند.

کلمات کلیدی: جوانه‌زنی، گیاه باقلا، نانوتیوب کربنی چند جداره، نانو نقره

مقدمه:

صنعت نانو فناری از اوایل قرن حاضر رشد و توسعه شتابانی گرفته است و امیدواری‌هایی را برای غلبه بر برخی مشکلات بخش کشاورزی در آینده به وجود آورده است (Moraru *et al*., 2003). نانوتکنولوژی می‌تواند سبب افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی، کاهش خسارت محصولات پس از برداشت، بهبود کیفیت محصول، بازارپسندی بیشتر محصولات به بازار و حتی کمک به تصفیه آب‌های زیر زمینی (Joseph and Morrison, 2006) شود. از طرفی، تولید و استفاده وسیع از ذرات نانو در تولید محصولات صنعتی و شیمیایی مختلف و انهدام، تخریب و تجزیه آنها منجر به آزادسازی این ذرات به آب، هوا و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mrtadayon@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

خاک می‌شود که این امر نگرانی‌هایی را در خصوص انباشته شدن آن‌ها در کره زمین و تأثیر این ذرات بر محیط زیست یا سلامت انسان و اثرات بیولوژیکی متضادی که ممکن است بر روی سلول‌های زنده داشته باشند، به‌وجود آورده است (Nel *et al*., 2006).

لگوم‌ها به دلیل نقشی که در چرخه کلی نیتروژن اتمسفری به فرم تثبیت شده (آمونیوم، نیترات و نیتروژن آلی) ایفا می‌کنند از لحاظ اکولوژیکی و کشاورزی اهمیت زیادی دارند (Thalji and Shalaldeh, 2006). باقلا با نام علمی *Vicia faba*، گیاهی یک‌ساله زمستانه، دولپه، پهن برگ با رشد درون‌خاکی است (Sattell *et al*., 1998) و منبع غذایی پروتئینی، مواد معدنی و ویتامین‌های زیادی می‌باشد (Senayit and Asrat, 1994) و به طور وسیعی در مناطق نیمه گرمسیری و معتدل و نیز در مناطق گرم با ارتفاع زیاد از سطح دریا کشت می‌شود (Hawtin and Hebblewate., 1983) و به دلیل هم‌زیستی با باکتری *Rhizobium leguminosarum* (Mc vicar *et al*., 2005)، نقش مهمی در حفظ حاصل‌خیزی خاک در سیستم‌های کشاورزی دارد (Graham and Vance, 2000). از آن‌جا که امروزه مواد نانو به صورت کود و یا سایر ترکیبات شیمیایی، وارد محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی می‌شوند، لذا می‌توانند بر فعالیت‌های همزیستی و رشد گیاهان به ویژه بقولات، مؤثر باشند.

مطالعه اثرات نانوذره آهن صفر ظرفیتی (nZVI) و سه نانوذره نقره بر جوانه‌زنی سه گونه گیاهی چاودار، جو و کتان نشان داده است که سوسپانسیون آهن با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و نانوذره نقره درغلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، اثر بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذرها دارند (El-Temsah and Joner, 2012).

در پژوهشی، اثرات ۵ نانوذره (نانوتیوب کربنی چند جداره، روی، اکسید روی، آلومینیوم و (Nano-Al_2O_3) در غلظت‌های ۲۰، ۲۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر جوانه‌زنی و طول ریشه ۶ گونه گیاه (تربچه، کلزا، چاودار، کاهو، ذرت و خیار) مورد بررسی قرار گرفت. در آن آزمایش، مشاهده گردید که جوانه‌زنی بذور چاودار و ذرت فقط در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذره روی و اکسید روی، متوقف شد و در بقیه غلظت‌های نانوذره روی و اکسید روی اثر معنی‌داری مشاهده نشد. در آن آزمایش، سوسپانسیون نانوتیوب کربنی هیچ تفاوتی را با شاهد نشان نداد (Lin and Xing, 2007).

پژوهشی دیگر نیز در رابطه با اثرات نانو نقره و نیترات نقره بر ریزش و عملکرد دانه گل‌گاوزبان در ۴ سطح از نانو نقره و نیترات نقره (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام) انجام گرفت. نتایج نشان داد افزایش نیترات نقره از ۱۰۰ به ۳۰۰ پی پی‌ام سبب کاهش عملکرد بذر شد (Seif sahandi, 2011).

علیرغم اینکه مطالعاتی در خصوص تأثیر برخی ذرات نانو بر گیاهان زراعی وجود دارد اما بررسی در مورد تأثیر این ذرات بر انواع گیاهان زراعی اندک می‌باشد و نیازمند پژوهش‌های علمی بیشتری است. به همین دلیل، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر ذرات نانو نقره و نانوتیوب کربنی چند جداره بر جوانه‌زنی و برخی از مراحل رشدی گیاه باقلا می‌باشد که تاکنون مطالعات اندکی بر روی آن انجام شده است.

مواد و روش‌ها:

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه انجام شد و اثرات نانوتیوب کربنی چند جداره و نانو نقره در غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت. مواد نانوی مورد استفاده در این آزمایش از شرکت بازرگانی ایران-روسیه تهران خریداری شد. جهت تهیه غلظت‌های مورد نظر، این مواد در آب مقطر به حالت سوسپانسیون در آمدند و جهت جلوگیری از ایجاد ترسیب مواد در آب و تشکیل محلولی یکنواخت و همگن با استفاده از دستگاه شیکر مغناطیسی و با ارتعاشات اولتراسونیک (۱۰۰ وات، ۴۰ هرتز) به مدت ۳۰ دقیقه در محلول پراکنده شدند. مواد نانوی مورد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

استفاده، پس از قرارگیری در شیکر به دلیل داشتن اندازه نانو، قابلیت جذب بالایی توسط شاخساره گیاهان را دارند و به راحتی جذب برگ و سایر اندام‌های هوایی می‌شوند.

بذور باقلا پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ و آب مقطر، در ظروف مخصوص حاوی کاغذ واتمن قرار داده شدند و ۱۰۰ میلی‌لیتر از هر یک از محلول‌های نانوی فوق به هر پتری دیش اضافه گردید و سپس ظروف حاوی بذر به اتاقک رشد تحت دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ روز منتقل شدند و پس از ۲۰ روز، تعداد بذور جوانه‌زده شمارش و ثبت شدند. پس از مدت فوق، جوانه‌زنی متوقف و صفات سرعت جوانه زنی، ۵۰ درصد زمان جوانه‌زنی و مقاومت ریشه با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به روش دستی و وزن‌تر ساقه و ریشه، با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت شدند. همچنین وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در دستگاه آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید.

سرعت جوانه‌زنی (Maguire, 1962):

رابطه [۱] $(S.G) = \sum(^{n}/_{t})$ سرعت جوانه زنی

n= تعداد بذرهای جوانه زده تا زمان t، t= تعداد روز تا شمارش مورد نظر.

۵۰ درصد زمان جوانه زنی (Epstein and Rains, 1987):

رابطه [۲] $T50 = [(t_2-t_1)* 50 + (p_2t_1 - p_1t_2)]/(p_2 - p_1)$

t_1: تعداد روزهایی که بذور به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نرسیده‌اند، t_2: تعداد روزهایی که بذور به ۵۰ درصد جوانه زنی رسیده‌اند، p_1: درصد احتمال بذور جوانه‌زده قبل از ۵۰ درصد جوانه‌زنی و p_2: درصد احتمال بذور جوانه‌زده بعد از ۵۰ درصد جوانه‌زنی.

رابطه [۳] مقاومت ریشه (Taylor and Foy, 1985):

$$\frac{\text{طول ریشه چه در تیمار}}{\text{طول ریشه‌چه در شاهد}} \times ۱۰۰ = \frac{\text{درصد شاخص}}{\text{مقاومت ریشه}}$$

آنالیز و تجزیه داده‌ها: داده‌های حاصل از پژوهش به وسیله نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌های صفات مورد بررسی با نرم‌افزار MSTAT-C مورد مقایسه قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین داده‌های صفات مورد آزمایش، از آزمون حداقل معنی‌داری (LSD) استفاده شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردیدند.

نتایج:

طول ساقه، طول ریشه و مقاومت ریشه: نتایج آنالیز واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهند که طول ریشه، طول ساقه، و همچنین مقاومت ریشه باقلا در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای نانوذرات، غلظت نانوذرات و همچنین اثرات متقابل تیمارها قرار گرفته است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که بین مقادیر طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و همچنین مقاومت ریشه‌چه، در بین تیمارهای نانوذرات اعمال شده، تفاوت معنی‌داری وجود داشت به طوری‌که نانوتیوب کربن چند جداره دارای بیشترین تفاوت معنی‌دار بوده و نسبت به طول ساقه‌چه افزایشی معادل ۳۵/۷۸، نسبت به طول ریشه‌چه، افزایشی معادل ۲۲/۱۸ و نسبت به شاخص مقاومت ریشه‌چه، افزایشی معادل ۲۱/۹۲ درصد مشاهده شد. نتایج نشان می دهد که طول ساقه‌چه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمارهای شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری داشت به نحوی که طول ساقه‌چه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب افزایشی معادل ۱۲/۳، ۱۲/۷۵ و ۱۷/۴۳ درصد نشان داد. در صفات طول ریشه‌چه و درصد مقاومت ریشه‌چه، غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین کاهش معنی‌دار را نشان داد که برای طول ریشه‌چه در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب کاهشی معادل ۲۴/۲۳، ۱۶/۳۱ و ۲۱/۳۹ درصد و برای درصد مقاومت ریشه‌چه به ترتیب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت تیمارهای آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	مقاومت ریشه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه
نانوذرات	۱	۳/۵۷**	۲/۵۱ **	۱۹۲۷/۵**	۰/۰۴ **	۲/۲۷ **	۰/۰۰۴ **	۰/۴ **
غلظت نانوذرات	۳	۰/۲۱**	۰/۸۹**	۷۰۴/۷۳**	۰/۰۰۳ **	۰/۱۹ *	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۳ *
اثرات متقابل تیمارها	۳	۰/۶۳**	۰/۶۲ **	۴۸۰/۴۶**	۰/۰۰۶ **	۰/۴ **	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۷ **
خطا	۱۶	۰/۰۳۴	۰/۰۷	۴۸/۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات		۷/۲۶	۷/۸۷	۷/۲۶	۴/۷۴	۱۲/۰۳	۴/۸۳	۱۱/۸۳

** و * به ترتیب معنی¬داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و ^{ns} عدم معنی¬داری

جدول ۲ -. جدول مقایسه اثرات تیمارهای نانوذرات و غلظت نانوذرات بر صفات طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و مقاومت ریشه‌چه باقلا

منابع تغییرات	طول ساقه‌چه (cm)	طول ریشه‌چه (cm)	مقاومت ریشه‌چه (درصد)
نوع نانوذرات			
نانوتیوب کربن	۲/۹۶ ^{a}	۳/۵۸ ^{a}	۹۹/۶۶ ^{a}
نانو نقره	۲/۱۸ ^{b}	۲/۹۳ ^{b}	۸۱/۷۴ ^{b}
LSD	۰/۱۶	۰/۲۲	۷/۸۵
غلظت نانوذرات ($mg.l^{-1}$)			
۰	۲/۵۲ ^{b}	۳/۵۹ ^{a}	۱۰۰/۰۰ ^{a}
۱۰۰	۲/۵۱ ^{b}	۳/۲۵ ^{b}	۹۰/۸۲ ^{a}
۲۰۰	۲/۸۳ ^{a}	۳/۴۶ ^{ab}	۹۶/۵ ^{a}
۳۰۰	۲/۴۱ ^{b}	۲/۷۲ ^{c}	۷۵/۴۶ ^{b}
LSD	۰/۲۳	۰/۱۶	۱۱/۱

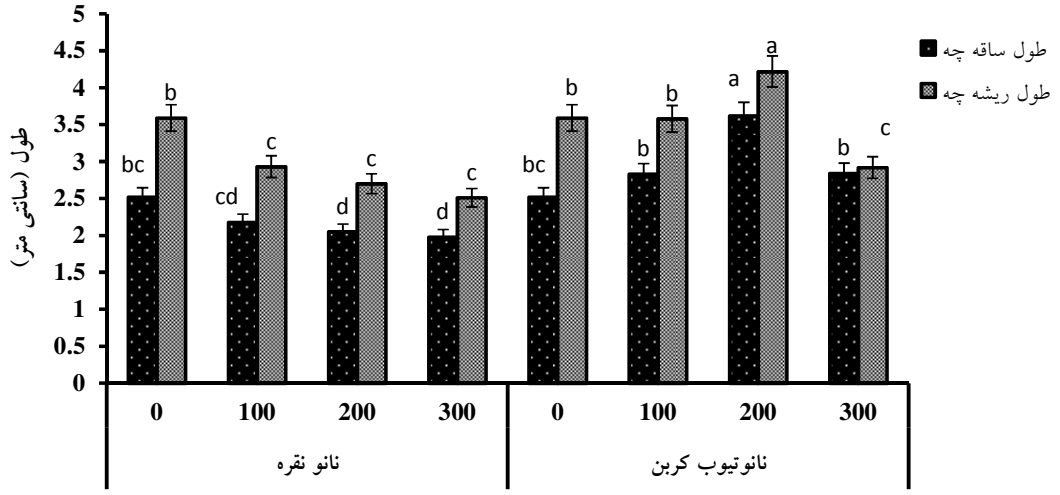
حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد. مقادیر میانگینی از سه تکرار هستند

کاهشی معادل ۲۴/۵۴، ۱۶/۹۱ و ۲۱/۸ در مقایسه با تیمار شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اتفاق افتاد. در شکل ۱ اثرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر طول ساقه و طول ریشه باقلا نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که در هر دو صفت طول ساقه و طول ریشه در تیمار نانوتیوب کربن چند جداره و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین تفاوت معنی‌داری را داشته است و صفت طول ساقه با کاربرد تیمار غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نسبت به تیمار غلظت‌های شاهد،۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر، به ترتیب افزایشی معادل ۱۲/۳، ۲۷/۴۶ و ۱۷/۴۳ درصد و در صفت طول ریشه، تیمار شاهد نسبت به غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب افزایشی معادل ۱۰/۴۶، ۳/۷۶ و ۱۷/۵۵ درصد نشان داد.

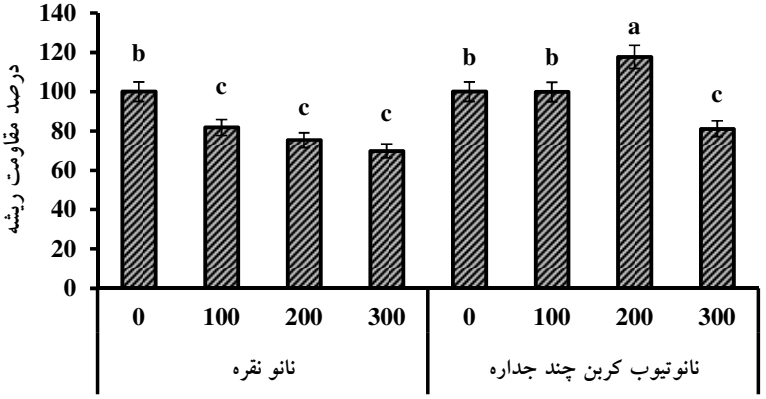
شکل ۲ نشان می‌دهد که مقاومت ریشه در تیمار غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیوب کربن چند جداره دارای تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها و غلظت‌ها دارد ب طوری‌که با کاربرد تیمار فوق، درصد مقاومت ریشه معادل ۱۷/۶۷ نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]



شکل ۱- اثرات متقابل تیمارهای نانوذرات نقره و نانوذرات کربن (mg/l) بر صفات طول ساقه چه و ریشه چه باقلا.



شکل ۲- اثرات متقابل تیمارهای نانوذرات نقره و نانوذرات کربن (mg/l) بر مقاومت ریشه باقلا.

وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه: آنالیز واریانس صفات وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن تر ریشه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نوع نانوذرات و همچنین اثر متقابل نوع و غلظت نانوذرات بر صفات فوق در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و غلظت نانوذرات بر صفات وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال ۵٪ و بر صفات وزن تر ریشه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌دار نشان داد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مقادیر وزن تر و خشک ساقه‌چه و همچنین وزن تر و خشک ریشه‌چه تحت تیمارهای نوع و غلظت نانوذرات، تفاوت‌های معنی‌داری داشت. جدول ۳ نشان می‌دهد که نانوتیوب‌کربن چند جداره نسبت به نانو نقره اثر معنی‌داری بر وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه داشت به طوری‌که در صفت وزن تر ساقه‌چه افزایشی معادل ۳۷/۸۹، در صفت وزن خشک ساقه‌چه ۳۸/۸۱، در صفت وزن تر ریشه‌چه ۳۰/۷۷ و در صفت وزن خشک ریشه‌چه، افزایشی معادل ۳۷/۵ درصد داشت. در تیمار مربوط به غلظت‌های به کار برده شده که میانگینی از غلظت‌های ۲ نانوذره نانوتیوب کربن چند جداره و نانونقره می‌باشند، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار وزن تر ساقه‌چه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

جدول ۳- جدول مقایسه اثرات تیمارهای نانوذرات و غلظت نانوذرات بر صفات وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

منابع تغییرات	وزن تر ساقه‌چه (گرم)	وزن خشک ساقه‌چه (گرم)	وزن تر ریشه‌چه (گرم)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم)
نانوذرات				
نانوتیوب‌کربن	۲/۲۲ a	۰/۹۳ a	۰/۳۴ a	۰/۱۱ a
نانو نقره	۱/۶۱ b	۰/۶۷ b	۰/۲۶ b	۰/۰۸ b
LSD	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶
غلظت نانوذرات ($mg.l^{-1}$)				
۰	۱/۸ b	۰/۷۵ ab	۰/۲۹ b	۰/۰۹۵ bc
۱۰۰	۱/۹۶ ab	۰/۸۲ ab	۰/۳ b	۰/۰۹۸ b
۲۰۰	۲/۱۴ a	۰/۹ a	۰/۳۳ a	۰/۱۱ a
۳۰۰	۱/۷۵ b	۰/۷۳ b	۰/۲۶ c	۰/۰۸۹ c
LSD	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۰۷۹

* **حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد. مقادیر میانگینی از سه تکرار هستند.**

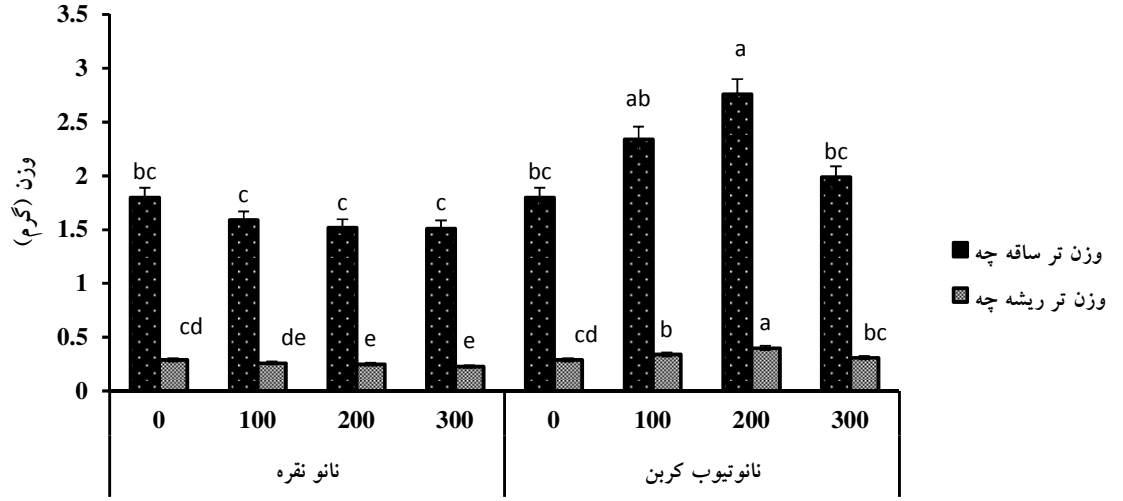
تیمارهای شاهد و غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری داشت ولی نسبت به تمامی تیمارهای شاهد، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب افزایشی معادل ۱۸/۸۹، ۹/۱۸ و ۲۲/۲۹ درصد مشاهده شد و وزن خشک ساقه‌چه در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین کاهش را نشان داده شد که به ترتیب کاهشی معادل ۲/۶۷، ۱۰/۹۸ و ۱۸/۸۹ درصد اتفاق افتاد. نتایج نیز نشان داد که وزن تر و خشک ریشه‌چه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمارهای شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر دارای تفاوت معنی‌دار بود که برای وزن تر ریشه، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب نسبت به تیمار شاهد، غلظت ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایشی معادل ۱۳/۷۹، ۱۰ و ۲۶/۹۲ و برای وزن خشک ریشه‌چه به ترتیب افزایشی معادل ۱۵/۷۹، ۱۲/۲۴ و ۲۳/۶ درصد اتفاق افتاد.

شکل ۳ مربوط به اثر متقابل نوع نانوذرات × غلظت نانوذرات بر وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه باقلا است. نتایج نشان می‌دهد که وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه مشابه سایر صفات مورد مطالعه، تحت تأثیر اثرات متقابل نانو ذرات × غلظت نانوذرات بوده و تیمار نانوتیوب‌کربن چند جداره در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه دارای حداکثر تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها ولی در وزن تر ساقه، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو تیوب کربن چند جداره، تفاوت معنی‌داری با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نداشته است.

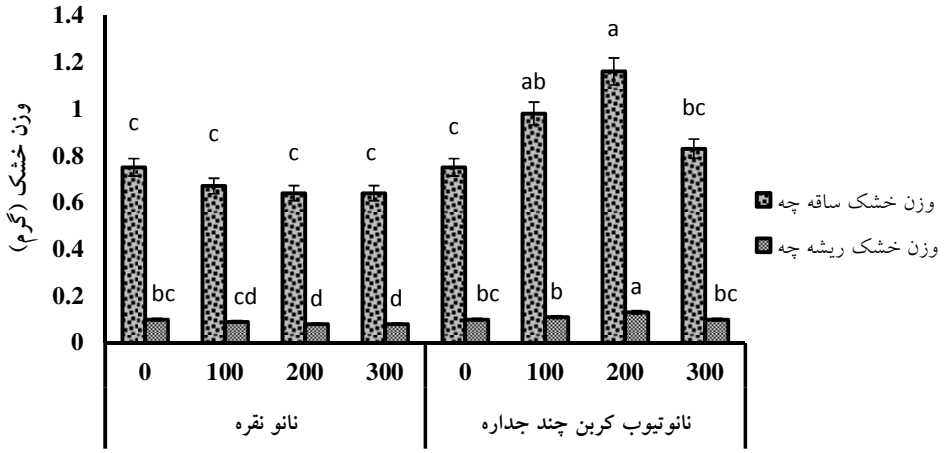
در شکل ۴ اثر متقابل نوع نانوذرات × غلظت نانوذرات بر وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که وزن خشک ساقه و ریشه تحت تأثیر اثرات متقابل نانوذرات و غلظت نانوذرات بوده و وزن خشک ساقه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیوب کربن چند جداره، تفاوت معنی‌داری با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نداشته اما با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. نتایج نیز نشان داد که وزن خشک ریشه در تیمار غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم از نانوتیوب کربن چند جداره تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]



شکل ۳- اثرات متقابل تیمارهای نانوذرات نقره و نانوذرات کربن (mg/l) بر صفات وزن تر ساقه چه و وزن تر ریشه چه باقلا.



شکل ۴- اثرات متقابل تیمارهای نانوذرات نقره و نانوذرات کربن (mg/l) بر وزن خشک ساقه چه و ریشه چه با قلا.

تعداد بذور جوانه‌زده، سرعت جوانه‌زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی: همانطور که در جدول آنالیز واریانس (جدول ۴) نشان داده شده است، تیمارهای نوع نانوذرات، غلظت نانوذرات و اثرات متقابل تیمارهای مورد آزمایش بر تعداد بذور جوانه‌زده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند اما تیمار نانوذرات بر صفات سرعت سبز شدن و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی معنی‌دار نبود.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تیمار نوع نانوذرات بر تعداد بذر جوانه‌زده تأثیر معنی‌داری داشته است به طوری که تیمار نانوتیوب کربن چند جداره نسبت به تیمار نانو نقره دارای تفاوت معنی‌دار بوده و افزایشی معادل ۱۵/۵۵ درصد نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که تعداد بذور جوانه‌زده در تیمار غلظت نانوذرات متفاوت بوده به طوری‌که تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر داشت و تعداد بذور جوانه‌زده به ترتیب نسبت به هر کدام از تیمارها افزایشی معادل ۳۴/۱، ۲۰ و ۴۱/۶ درصد نشان داد. شاخص‌های سرعت جوانه زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی، در تیمارهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

جدول ۴- آنالیز واریانس صفات تعداد بذور جوانه‌زده، سرعت جوانه‌زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد بذور جوانه‌زده	سرعت جوانه‌زنی	۵۰ درصد زمان جوانه زنی
نوع نانوذره	۱	۳۲/۶۷ **	۱/۳۴ ns	۱/۵۶ ns
غلظت نانوذرات	۳	۴۴/۹۴ **	۳/۲۲ *	۳/۹۲ *
اثرات متقابل تیمارها	۳	۲۴/۳۳ **	۴/۷۵ *	۸/۶۱ **
خطا	۱۶	۰/۳۸	۰/۹۲	۰/۷۸۴
ضریب تغییرات (CV)		۳/۵۵	۱۷/۰۰	۱۶/۲۲
درجه آزادی کل	۲۳			

ns عدم معنی‌داری، ** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۵- جدول مقایسه اثرات تیمارهای نانوذرات و غلظت نانوذرات بر صفات تعداد بذور جوانه‌زده، سرعت جوانه‌زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی

منابع تغییرات	بذور جوانه‌زده	سرعت جوانه‌زنی (درصد)	۵۰ درصد زمان جوانه زنی (درصد)
نانوذرات			
نانوتیوب کربن	۱۸/۴۲ a	۵/۸۹ a	۵/۷۲ a
نانونقره	۱۶/۰۸ b	۵/۴۲ a	۵/۲۱ a
LSD	۰/۷۳	۰/۹۲	۱/۰۶
غلظت نانوذرات ($mg.l^{-1}$)			
۰	۲۱/۰۰ a	۶/۳۵ a	۴/۲۵ b
۱۰۰	۱۵/۶۶ c	۴/۸۱ b	۵/۹۴ a
۲۰۰	۱۷/۵ b	۶/۱۸ a	۵/۸۳ a
۳۰۰	۱۴/۸۳ c	۵/۲۹ ab	۵/۸۲ a
LSD	۱/۰۳	۱/۱۸	۱/۴۹

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد. مقادیر میانگینی از سه تکرار هستند.

غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات و تیمار شاهد، کاهش معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند به طوری‌که سرعت جوانه‌زنی نسبت به غلظت‌های صفر، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب کاهشی معادل ۲۴/۲۵، ۲۲/۱۷ و ۹/۰۷ درصد و شاخص ۵۰ درصد زمان جوانه زنی، در تیمار شاهد نسبت به تیمار غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب کاهشی معادل ۲۸/۴۵، ۲۷/۱ و ۲۶/۹۸ درصد نشان داد.

نتایج به دست آمده از جدول ۶ نشان می‌دهد که تعداد بذور جوانه‌زده باقلا، بیشترین کاهش معنی‌دار را در تیمار غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره نقره داشته که فقط با تیمار غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره نقره تفاوت آن معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج جدول ۶ نیز نشان می‌دهند که سرعت جوانه‌زنی بسته به نوع ترکیب نانوذره و همچنین غلظت ماده مورد نظر تغییرات متفاوتی داشت و شاخص های سرعت جوانه‌زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی نیز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

جدول ۶- جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای نانوذرات × غلظت نانوذرات بر شاخص‌های تعداد بذور جوانه‌زده، سرعت جوانه‌زنی و ۵۰ درصد زمان جوانه زنی

منابع تغییرات		تعداد بذور جوانه‌زده	سرعت جوانه‌زنی (درصد)	۵۰ درصد زمان جوانه زنی (درصد)
نانوذرات	غلظت نانوذرات ($mg.l^{-1}$)			
نانوذره نقره	۰	۲۱/۰۰ a	۶/۳۵ ab	۴/۲۵ cd
	۱۰۰	۱۵/۶۷ b	۵/۰۵ bc	۵/۱۶ bcd
	۲۰۰	۱۳/۳۳ c	۴/۶۳ c	۷/۸۳ a
	۳۰۰	۱۴/۳۳ bc	۵/۶۵ bc	۵/۱۷ bcd
نانوتیوب کربن چند جداره	۰	۲۱/۰۰ a	۶/۳۵ ab	۴/۲۵ cd
	۱۰۰	۱۵/۶۷ b	۴/۵۶ c	۶/۲۸ abc
	۲۰۰	۲۱/۶۷ a	۷/۷۳ a	۳/۸۲ d
	۳۰۰	۱۵/۳۳ b	۴/۹۲ bc	۶/۴۷ ab

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد. مقادیر میانگینی از سه تکرار هستند

تحت تأثیر اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات قرار گرفته به طوری‌که به ترتیب، بیشترین تفاوت در غلظت‌های ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیوب کربن چند جداره و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره نقره مشاهده گردید.

بحث:

نتایج پژوهش حاضر نشان داد نانوتیوب‌های کربنی اثر مثبتی بر طول ساقه‌چه باقلا داشتند (شکل‌های ۱ و ۲). پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش کرده‌اند که نانوتیوب کربنی دارای اثر مثبت بر طول ساقه‌چه گوجه‌فرنگی است و ساقه‌چه گوجه‌فرنگی رشد یافته در حضور نانوتیوب کربنی، طویل‌تر از بوته‌های موجود در تیمار شاهد بوده است (Morla *et al.*, 2011). همچنین در بررسی تأثیر نانو ذرات بر طول ریشه‌چه باقلا نتایج نشان داد (شکل ۱ و ۲) که غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو نقره بیشترین کاهش را داشت (شکل‌های ۱ و ۲) در همین ارتباط Yang و Watts (۲۰۰۵) نشان دادند که غلظت‌های ۲-۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آلومینیوم بر جوانه‌زنی و طول ریشه ۴ گونه زراعی اثری نداشت اگرچه، در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، جوانه زنی و طول ریشه تمام گیاهان، کاهش یافت.

همچنین در بررسی شاخص مقاومت ریشه (شکل ۲ و ۳) مشخص شد که با افزایش غلظت نانوذره نقره، مقاومت ریشه باقلا کاهش یافت و چون ریشه اولین اندام گیاهی است که با فلزات سنگین تماس دارد، عقیده بر آن است که نشان‌گر قابل اعتمادی از تحمل به فلز در گیاهان می‌باشند (Xiong, 1998). در برخی پژوهش‌ها نیز شاخص مقاومت ریشه، مهم‌ترین شاخص برای نمایش ژنوتیپ‌ها و گونه‌ها، در تحمل به فلزات می‌باشد (Rout and Das, 2002). در این پژوهش مشخص شد که در شاخص مقاومت ریشه، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیوب کربن چند جداره و غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره نقره به ترتیب بیشترین (۱۱۷/۶۷٪) و کمترین (۶۹/۸۱ ٪) مقاومت را داشته‌اند.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، مشخص شد که نانو تیوب‌های کربنی چند جداره در غلظت۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر مثبتی بر طول، وزن‌تر و وزن خشک ساقه‌چه و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

ریشه‌چه باقلا داشته است. Khodakovskaya و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند گیاهان گوجه‌فرنگی که در معرض نانوتیوب‌های کربنی قرار گرفته بودند، ساقه‌های بلندتر و وزن بیشتری داشتند و از رشد بیشتری برخوردار بودند. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های Yang و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان داد که نانو اکسید تیتانیوم باعث افزایش وزن‌تر و خشک گیاهان اسفناج نسبت به تیمار شاهد می‌شود که این ممکن است به‌علت افزایش جذب مواد غذایی معدنی و افزایش متابولیسم اسفناج توسط این ترکیب نانویی باشد. نتایج آن پژوهش نشان داد که غلظت های کم نانو اکسید تیتانیوم، باعث افزایش وزن خشک ریشه در گیاهان سویا و وزن خشک اندام هوایی کاهو شد. Canas و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که تاثیر غلظت های مختلف نانوتیوب‌های کربنی تک‌جداره بر رشد ریشه ۶ گونه گیاهی وابسته به گونه و کاملاً اختصاصی بود به طوری‌که در برخی گونه‌ها مثل گوجه‌فرنگی طول ریشه کاهش یافت و در برخی دیگر از گیاهان مثل هویج و کلم پیچ تأثیر معنی‌داری نداشت. Gao و همکاران (۲۰۰۶) با انجام آزمایش‌هایی بر گیاه اسفناج نشان دادند که تحت تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم، وزن تر و خشک گیاه اسفناج به ترتیب ۶۰/۳۶ و ۷۱/۱۵ درصد افزایش یافت.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تعداد بذور جوانه‌زده باقلا، بسته به نوع و غلظت ترکیب نانو مواد به کار رفته متفاوت است. در این پژوهش، نانوتیوب کربنی چند جداره در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر مثبت و نانو نقره تحت غلظت‌های متفاوت، اثرات منفی بر جوانه‌زنی بذرهای باقلا داشتند که با نتایج El-Temsah و Joner (۲۰۱۰) که اثرات نانوذره آهن صفر ظرفیتی (nZVI) و سه نانوذره نقره را بر جوانه‌زنی سه گونه گیاهی چاودار، جو و کتان بررسی کرد، مطابقت دارد. در پژوهشی دیگر، اوحدی و همکاران (۱۳۸۷) اثر ۵ نانوذره نانوتیوب کربن چند جداره، آلومینیوم، اکسید آلومینیوم، روی و اکسید روی بر روی شش گیاه تربچه، کلزا، چچم چند ساله، کاهو، ذرت و خیار را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در بین این تیمارها فقط نانو روی و نانو اکسید روی در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب اثر بازدارندگی بر جوانه‌زنی و رشد ریشه گیاهان چچم چند ساله و ذرت داشتند و بقیه تیمارها اثر بازدارندگی از خود نشان ندادند. از آنجا که شاخص جوانه‌زنی بذر، ترکیبی از جوانه زنی و رشد ریشه است بنابراین، نسبت به شاخص مقاومت ریشه کامل‌تر بوده و میزان اثر سمیت مواد را بهتر منعکس می‌کند (Barna *et al.*, 2009). در پژوهشی، Barna و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که محلول‌های حاوی نانو ذرات آهن و نقره، باعث کاهش جوانه‌زنی بذر گیاه خیار می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی:

با توجه به پژوهش حاضر، نتیجه گرفته می‌شود که گیاه باقلا نسبت به نوع و غلظت‌های متفاوت نانوذرات، واکنش های متفاوتی نشان می‌دهد به طوری‌که نسبت به برخی غلظت‌های نانوتیوب کربن چند جداره (غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) واکنش مثبت و نسبت به تمامی غلظت‌های به کار برده شده نانوذره نقره، عکس‌العمل منفی نشان می‌دهد.

منابع:

اوحدی، س. بهشتیان مسگران، م. و کشتکار، ا. (۱۳۸۷). سمیت گیاهی نانوذرات بازدارندگی از جوانه‌زنی و رشد ریشه. ماهنامه فناوری نانو ۱۳۴: ۵۴۵-۵۴۸.

Barrena, R., Casals, E., Colon, J., Font, X., Sanchez, A. and Puntes, V. (2009) Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. Chemosphere Journal. 75:850-857.

Canas, J. E., Long, M. Q., Nations, S., Vadan, R., Dai, L. and Luo, M. X., (2008) Effects of functionalized and nonfunctionalized singlewalled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. Environmental Toxicology and Chemistry. 27: 1922–31.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

tions. Journal of Chemical Biological and Physics Science. 1: 328-334.

Nel, A., Xia, T., Madler, L. and Li, N. (2006) Toxic potential of materials at the nano level. Science Magazine 311: 622-627.

Rout, G. R. and Das, P. (2002) Rapid hydroponic screening for molybdenum tolerance in rice through morphological and biochemical analysis, Rostlinna. Plant Production 48: 505–512.

Sattell, R., Dick, R. and Mcgrath, D. (1998) Fava Bean (*Vicia faba* L.). Oregon State University Extension Service P. 2.

Seif Sahandi, M., Sorooshzadeh, A., Rezazadeh, H., and Naghdiabadi, H. A. (2011) Effect of nano silver and silver nitrate on seed yield of borage. Journal of Medicinal Plants Research 5: 171-175.

Senayit, Y. and Asrat, W. (1994) Utilization of cool-season food legumes in Ethiopia. In: Cool-season food legumes of ethiopia (eds. Asfaw, T., Geletu, B., Saxena, M.C. and M.B. Solh,) pp. 60-75. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Addis Ababa, Ethiopia.

Taylor, G. J. and Foy, C. D. (1985) Mechanisms of aluminum tolerance in *Triticum aestivum* L. Differential pH induced by winter cultivars in nutrient solution. American Journal of Botany 72:695-701.

Thalji, T. and Shalaldeh, G. (2006) Effect of planting data on faba bean (*Vicia faba*.L) nodulation and performance under semiarid condition. World Journal of Agriculture Sciences 2: 477-482.

Xiong, Z. T. (1998) Lead uptake and effects on seed germination land plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr, Bulletin Environmental Contamination and Toxicology 60: 285-291.

Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C. and Yang, P. (2006) Influence of nano-anatase TiO2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-190.

Yang, L. and Watts, D. J. (2005) Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. Toxicology Letters 158: 122-132.

El-Temsah, Y. S. and Joner, E. J. (2012) Impact of Fe and Ag nanoparticles on seed germination and differences in bioavailability during exposure in aqueous suspension and soil. Environmental Toxicology 27: 42–49.

Epstein, E. and Rains, D. W. (1987) Advances in salt tolerance. Plant and Soil 44:17-29.

Gao, F. Q., Hong, F. S., Liu, C., Zheng, L., Su, M. Y., Wu, X., Yang, F., Wu, C. and Yang, P. (2006) Mechanism of nanoanatase TiO2 on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: inducing complex of Rubisco–Rubisco activase. Biological Trace Element Research 11: 239–254.

Graham, P. H. and Vance, C. P. (2000). Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. Field Crops Research 5: 93-106.

Hawtin, G. C. and Hebblewate, P. D. (1983) Back ground and history of faba bean production. In: The faba bean (ed. Hebblewat, P.D.) pp. 1-22. (*Vicia faba).* Butter Worth's, Landon

Joseph, T. and Morrison, M. (2006) Nanotechnology in agriculture and food. European Nanotechnology Gateway: 1-14.

Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Yang, X., Zhongrui, L., Watanabe, F. and Biris, A. S. (2009) Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. American Chemical Society Nano 3: 3221–3227.

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

Maguire, J. D. (1962) Speed of Germination-Aid in Selection and Evaluation for Seedling Emergence and Vigor. Crop Science 2: 176-177.

Mc Vicar, R., Panchuk, K., Brenzil, C., Hartley, S. and Pearse, P. (2005) Faba bean in Sasktchewan. Saskatchewan Agriculture, Food and Rural Revitalization. A. Vandenberg. University of Saskatchewan, Canada.

Moraru, C. I., Panchapakesan, C. P., Qingrong, H., Takhistov, P., Sean, L. and Kokini, J. L. (2003) Nanotechnology: A new frontier in food Science. Food Technology 57: 24-29.

Morla, S., Rao, R. and Chakrapani, R. (2011) Factors affecting seed germination and seedling growth of tomato plants cultured *in vitro* condi-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]

Effects of multi wall carbon nanotube and nanosilver on some physiological and morphological traits of faba bean (*Vicia faba* L.)

Mahmoud Reza Tadayon*[1], Sayfollah Falah[1], Ali Akbar Fadaei Tehrani[2] and Saeid Norouzi[3]

[1]Department of Agronomy, [2] Department of Plant Diseases, [3] Department of Agroecology, Respectively Faculty of Agriculture, Shahrekord University

(Received: 3 March October 2013 ; Accepted: 16 July 2013)

Abstract:

Theaim of this study was to investigate the effects of nano silver and multi wall carbon nanotube levels on some morphological and physiological traits of faba bean. This factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications and two treatments with four dufferent concentrations (0,100,200 and 300 mgl-1). The results showed the total number of seeds germinated, shoot length, root length, shoot weight and dry weight, root weight and dry weight and root tolerance had significant differences at Ag and multi wall carbon nanotube treatments ($p<0.01$) whereas, T_{50} and germination rate traits showed no differences under nanoparticle treatments. Nanoparticles concentrations had significant effects on shoot fresh weight and shoot dry weight indices, germination rate and T_{50} ($p<0.05$) and shoot length, root length, root fresh and dry weight, root tolerance index and total number of germinated seeds indices ($p<0.01$). Shoot length and root dry weight under 200 mg/l concentrations, showed significant differences with other treatments and root tolerance, root fresh weight and root length, showed highest significant decrease under 300 mg/l concentration. The interaction effects of treatments, had significant effects on germination rate ($p<0.05$) and other indices ($p<0.01$). Root dry weight, root tolerance and number of germinated seeds under 300 mg/l, and germination rate indices under 100 mg/l and T_{50} index under control treatment, showed the highest significant decrease.

Key word: Ag nanoparticle, Faba bean, Germination, Multi wall carbon nanotube

* Corresponding Author: mrtadayon@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.5.2.4]