



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۴
صفحه‌های ۱۸۲-۱۶۹

تأثیر نانو اکسید تیتانیوم، نانوروی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)

محمودرضا تدین*^۱، سعید نوروزی^۲

۱. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهکرد، شهرکرد، ایران
۲. کارشناس ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۱۰

چکیده

به منظور بررسی اثر نانو اکسید تیتانیوم، نانوروی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش، آزمایشی در یک مزرعه تحقیقاتی واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۳۹۲ صورت گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش، چهار غلظت (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از نانوذرات یادشده در مراحل رشدی شامل مراحل دو تا چهاربرگی و شش تا هشت‌برگی و مرحله غلاف‌بندی روی برگ‌های گیاه ماش و براساس تیمارهای آزمایشی با اسپری محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد که تیمارهای نانوذرات تأثیر معناداری بر برخی اجزای عملکرد ماش، و نیز غلظت‌های نانوتیوب کربن چندجداره در مقادیر ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر معناداری بر تعداد غلاف در بوته، وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک داشت. همچنین نانو اکسید تیتانیوم در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه داشت و شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف و درصد پروتئین در مقادیر ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوروی بیشترین مقدار را دارا بود. به‌طور کلی، کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات یادشده، بیشترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ماش داشت.

کلیدواژه‌ها: درصد پروتئین، عملکرد دانه، ماش، نانوذرات.

۱. مقدمه

ماش^۱ گیاهی یکساله از خانواده حبوبات است [۲۸] که به دلیل داشتن پروتئین زیاد، یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی، در تغذیه انسان محسوب می شود [۸]. امروزه استفاده وسیع از ذرات نانو در تولید محصولات متعدد، ضمن تخریب یا فرسودگی وسایل و محصولات، سبب ورود این ذرات به آب، هوا و خاک شده است. این امر نگرانی هایی را در خصوص انباشته شدن آنها در سطح کره زمین و تأثیر این ذرات بر محیط زیست، سلامت انسان و تأثیرات بیولوژیکی متضادی که ممکن است بر سلول های زنده داشته باشند، به وجود آورده است [۲۳]. از طرف دیگر، استفاده از فناوری نانو، امیدواری هایی را برای غلبه بر برخی مسائل در بخش کشاورزی به وجود آورده است. تا کنون، کاربرد این علم در کشاورزی اغلب در زمینه تحقیق در مورد مشکلات علوم محض بوده است، اما امکان استفاده کاربردی از آن، با ابداع روش های مناسب و استفاده از حسگرها در کشاورزی دقیق و امکان تشخیص زودرس عوامل بیماری زا و ردیابی و تعیین وجود آلاینده ها در محصولات غذایی در حال افزایش است و تأثیرات چشمگیری در تولید گیاهان زراعی و باغی داشته است [۲۱].

سازوکار اثر نانوذرات به خوبی شناخته شده نیست، اما شواهد نشان می دهد که این سازوکار از طریق آزادسازی مواد سمی و خطرناکی نظیر یون های فلزی و گونه های فعال اکسیژن^۲ و یا تنش اکسیداتیو صورت می گیرد [۱۴، ۲۴]. رادیکال های ایجاد شده، به علت واکنش پذیری زیادی که دارند به ماکرومولکول هایی از قبیل نوکلئیک اسیدها، رنگیزه های کلروپلاست و در طولانی مدت به لیپیدها، حمله می کنند و سبب پراکسیداسیون لیپیدی

می شوند [۱۲، ۲۷، ۲۴]. این وضعیت موجب به هم خوردن تعادل آبی و تغذیه ای سلول می شود که یکی از مهم ترین دلایل کاهش وزن گیاه است [۹]. نانوذرات همچنین از طریق تنش یا تحریک ایجاد شده توسط سطح، اندازه یا شکل اثرات تأثیرات خود را بر گیاهان مختلف می گذارند [۱۱].

تاکنون مطالعات محدودی درباره تأثیرات منفی و مثبت ذرات نانو در گیاهان عالی به ویژه حبوبات و ماش انجام گرفته است. نانوتیوب های کربنی می تواند رشد ریشه پیاز و خیار را افزایش دهند [۲۹]. با این حال، اکثر گزارش های موجود، تأثیرات سمیت نانوذرات را بر گیاهان نشان می دهند. به عنوان مثال، نانو اکسید آلومینیوم^۳ می تواند طولی شدن ریشه ذرت، خیار، سویا، کلم و هویج را مهار کند [۲۹]. همچنین نانو اکسید روی به عنوان یکی از نانوذرات سمی می تواند رشد ریشه گیاهان تربچه، کلزا، چچم، کاهو، ذرت و خیار را متوقف کند [۱۹]. از طرف دیگر، نانوتیوب های کربنی، به عنوان دارو در تشخیص های پزشکی کاربرد دارند، اما مطالعه در مورد تأثیرات نانوذرات در علوم گیاهی، به تازگی متداول شده است [۲۲].

در آزمایشی، تأثیرات پنج نانوذره (نانوتیوب کربنی چندجداره، روی، اکسید روی، آلومینیوم و نانو اکسید آلومینیوم) در غلظت های ۲۰، ۲۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بر جوانه زنی و طول ریشه شش گونه گیاه (تربچه، کلزا، چاودار، کاهو، ذرت و خیار) بررسی شد. جوانه زنی بذور چاودار و ذرت فقط در غلظت ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر از نانوذره روی و اکسید روی (به ترتیب)، متوقف شد و در بقیه غلظت های نانوذره روی و اکسید روی اثر معناداری مشاهده نشد و سوسپانسیون نانوتیوب کربنی نیز هیچ تفاوتی را با تیمار شاهد نشان نداد [۱۹].

به منظور بررسی تأثیرات متفاوت غلظت های مختلف

1. *Vinga radiata* L.

2: Radical Oxygen Species

تأثیرات نانو اکسید تیتانیوم در غلظت های شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر بر گیاه کتان بررسی شد. همه غلظت های نانو اکسید تیتانیوم، بر شاخص های جوانه زنی ساقه چه و ریشه چه گیاه کتان تأثیرات منفی داشت، به طوری که با افزایش غلظت نانو اکسید تیتانیوم، مقادیر صفات مورد پژوهش، کاهش بیشتری یافت [۶].

در بررسی تأثیرات نانوذرات بر گیاهان مختلف، گیاه کدوتنبل^۲ در یک محیط آبی حاوی نانوذره Fe₃O₄ رشد یافت و مشخص شد که این گیاه می تواند نانوذرات را جذب کند، انتقال دهد یا در بافت های گیاهی ذخیره کند، در حالی که گونه ای از گیاه لوبیا^۳ قادر به جذب و انتقال نانوذرات اکسید آهن نبود. بنابراین، گیاهان مختلف واکنش های متفاوتی به نانوذرات یکسان بروز می دهند [۳۲].

با توجه به گزارش های متعدد مبنی بر احتمال تأثیرات مثبت و منفی نانوذرات بر رشد گیاهان زراعی، هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر غلظت های مختلف نانوتیوب کربنی چندجداره، نانوروی و نانو اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ماش است.

۲. مواد و روش ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار، و تیمار های نانوتیوب کربن چندجداره، نانوروی و نانو اکسید تیتانیوم در چهار غلظت از نانوذرات مورد مطالعه (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر) به صورت تلقیح با باکتری ریزوبیوم روی بذرهای محلی ماش در مزرعه ای تحقیقاتی واقع در شهرستان چرام (استان کهگیلویه و بویراحمد) با طول

نانو اکسید روی و سولفات روی^۱ بر جوانه زنی، بنیه بذر، رشد بوته، رشد ریشه و برخی شاخص های مربوط به عملکرد بادام زمینی، آزمایشی صورت گرفت که در آن، اثر هر کدام جداگانه و در غلظت های مختلف بررسی شد. تیمار نانو اکسید روی در غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام اثر خود را در ارتقای جوانه زنی بذر و بنیه گیاهچه و استقرار زودتر در خاک را با گلدهی زودتر و محتوای کلروفیل بیشتر برگ نشان داد. این ذرات نیز، در رشد بیشتر ساقه و ریشه مؤثر بودند و عملکرد تعداد غلاف در بوته در مقایسه با سولفات روی، ۳۴ درصد بیشتر بود و اثر بازدارندگی این ذرات در غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام مشاهده شد [۲۶].

نانو اکسید تیتانیوم، در غلظت های مناسب موجب تسریع جوانه زنی بذر اسفناج می شود [۳۱]. همچنین تیمارهای گوجه فرنگی که در معرض نانوتیوب های کربنی قرار گرفته بودند، ساقه های بلندتر و وزن بیشتری داشتند و از رشد بیشتری برخوردار بودند [۱۸]. نانو اکسید تیتانیوم موجب افزایش وزن تر و خشک گیاهان اسفناج نسبت به تیمار شاهد می شود که این ممکن است به علت افزایش جذب مواد غذایی معدنی و افزایش متابولیسم اسفناج توسط این ترکیب نانویی باشد [۳۰]. همچنین در تیمار نانو اکسید تیتانیوم گیاه اسفناج، وزن های تر و خشک به ترتیب ۶۰/۳۶ و ۷۱/۱۵ درصد افزایش یافت [۱۶].

برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی باقلا از قبیل وزن تر و خشک ساقه چه و ریشه چه و شاخص های مربوط به جوانه زنی ماش، متأثر از نانوذرات نقره و نانوتیوب کربن چندجداره تحت غلظت های مختلف است، به طوری که فقط نانوتیوب کربن چندجداره تأثیر مثبتی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی باقلا داشت [۱].

2. Cucurbita maxima
3. Phaseolus limensis

1: ZnSO₄

۱۳۹۲/۳/۲۶ کشت شدند. آبیاری مزرعه پس از کاشت بذرها به صورت نشتی و براساس دور مرسوم آبیاری منطقه انجام گرفت. دلیل استفاده از نانوذرات نانوتیوب کربن چندجلداره، نانو اکسید تیتانیوم و نانوروی در این پژوهش این است که پژوهشگران مقاله حاضر و دیگر پژوهشگران، نتایج متفاوتی از تیمار غلظت‌های مختلف از مواد نانوذرات یادشده و سایر مواد نانوذرات به دست آورده‌اند و در این پژوهش، نانوذرات مورد استفاده، طی سه مرحله رشدی گیاه ماش شامل دو تا چهاربرگی، شش تا هشت‌برگی و مرحله غلاف‌بندی روی برگ‌های ماش براساس تیمارهای آزمایشی با اسپری محلول‌پاشی شدند و صفات وزن صددانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و مقدار پروتئین دانه ارزیابی شد.

جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی، در سال زراعی ۱۳۹۲ انجام گرفت. پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه تهیه و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد و براساس نتایج آزمایش، عناصر غذایی لازم به خاک مزرعه اضافه شد (جدول ۱). پس از اجرای مراحل شخم، دیسک و لولر، کرت‌های آزمایشی در ابعاد ۳ × ۴ متر با حاشیه ۰/۵ متر از هم آماده شد و بذور مورد استفاده پس از تلقیح با باکتری *Rizobium leguminosarum* (براساس توصیه‌های مؤسسه تحقیقات آب و خاک، در سایه و با محلول آب-شکر ۱۰ درصد عمل تلقیح انجام گرفت)، به صورت ردیفی در فواصل ۱۰ × ۵۰ و در عمق ۳-۵ سانتی متری در تاریخ

جدول ۱. آنالیز خاک نمونه برداری شده از مزرعه

پارامترهای تجزیه ماکرو											
بافت خاک	آهک	رس	سیلت	شن	ازت	کربن	پتاس	فسفر	رطوبت	شوری	اسیدیته
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(%)	(dS/m)	ته
لومی - رسی	۳۷	۳۰	۴۷	۲۳	۰/۱	۱/۰۳	۱۴۳	۲۳	۴۹	۰/۵۲	۷/۵
پارامترهای تجزیه عناصر میکرو (mg/kg soil)											
	Fe	Zn	Ca	Mn							
	۱۲	۰/۷۲	۱/۶۲	۲/۴							
توصیه کودی خاک فوق (kg/h) برای ماش به شرح زیر است:											
اوره	سولفات منگنز	سولفات پتاسیم	سولفات روی								
۵۰	۲۵	۲۲۰	۳۵								

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در جدول ۲ ارائه شده است. صفت تعداد غلاف در بوته تحت اثر تیمارهای نانوذرات نانوتیوب کربن چندجداره، نانوروی و نانو اکسید تیتانیوم، غلظت‌های متفاوت نانوذرات (تیمار شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و همچنین تأثیرات متقابل نانوذرات \times غلظت نانوذرات قرار گرفت، به طوری که در صفت تعداد غلاف در بوته تحت همه تیمارهای مورد پژوهش، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. صفت تعداد دانه در غلاف تحت تیمار نانوذرات مورد استفاده، تفاوت معناداری نشان نداد، ولی تیمارهای غلظت نانوذرات و تأثیرات متقابل نانوذرات \times غلظت نانوذرات به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر صفت تعداد دانه در غلاف تأثیرگذار بودند و تفاوت معناداری نشان دادند (جدول ۲).

نتایج حاصل، تأثیرات متقابل نانوذرات \times غلظت نانوذرات بر صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در هر غلاف را نشان می‌دهد، به طوری که در صفت تعداد دانه در غلاف، تیمار نانوتیوب کربن چندجداره تحت غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین افزایش در تعداد غلاف در بوته (۲۸/۸۹ غلاف)، و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از تیمار نانوروی، بیشترین کاهش معنادار در تعداد غلاف (۱۸/۲۲ غلاف) را داشت (شکل ۱)، در صورتی که در صفت تعداد دانه در غلاف، تیمار نانوروی تحت غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از تیمار نانوروی، به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد دانه در هر غلاف ماش (به ترتیب ۱۰/۷۸ و ۷/۴۴ دانه در غلاف) را داشت (شکل ۲).

در تحقیق حاضر، از توزین تصادفی صد دانه ماش در نمونه‌های به دست آمده از هر کرت آزمایشی (چهار نمونه)، وزن صد دانه تعیین شد که پس از حذف اثر حاشیه، نمونه‌های برداشت شده در آن گذاشته شدند و وزن صد دانه بر اساس ۱۲ درصد رطوبت دانه اندازه‌گیری شد.

برای تعیین عملکرد دانه نیز، اندازه‌گیری وزن دانه‌های به دست آمده در هر بوته ماش در مساحت 0.5×0.1 مترمربع کرت‌های زراعی پس از حذف اثر حاشیه محاسبه شد که نمونه‌ها پس از برداشت در آن گذاشته شدند و عملکرد دانه‌ها بر اساس ۱۲ درصد رطوبت دانه اندازه‌گیری شد.

از توزین کل اندام‌های هوایی گیاه ماش در مساحت 0.5×0.1 مترمربع کرت‌های زراعی پس از حذف اثر حاشیه و مشابه با وزن صد دانه و عملکرد دانه محاسبه شد. همچنین، شاخص برداشت که درصدی از عملکرد بیولوژیکی است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد از رابطه زیر محاسبه شد (۵):

(۱)

$$\text{عملکرد اقتصادی} = \frac{\text{عملکرد بیولوژیکی}}{\text{شاخص برداشت}} \times 100$$

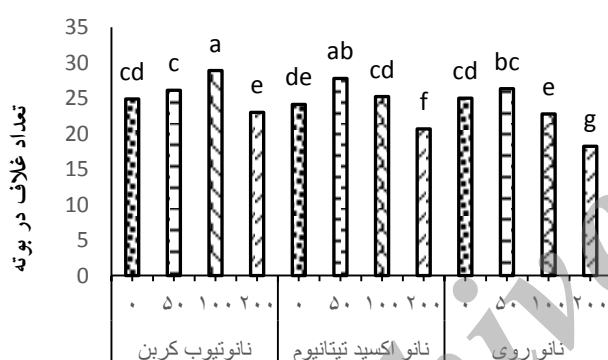
در سنجش پروتئین کل، پروتئین‌گیری بذر با استفاده از روش کج‌دال، مدل Gerhardt با هشت لوله (هفت لوله نمونه + یک نمونه تیمار شاهد) پخت انجام گرفت و مقدار ازت دانه به دست آمد [۳] که از حاصل ضرب مقدار ازت دانه $\times 6/25$ مقدار پروتئین دانه محاسبه شد [۱۰].

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد و اثر برهم‌کنش تیمارها بر صفات با نرم‌افزار آماری MSTAT-C مقایسه شد. برای مقایسه میانگین داده‌های صفات مورد آزمایش، از آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) استفاده شد.

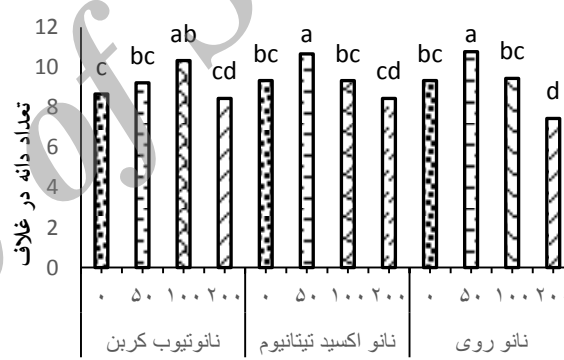
جدول ۲. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ماش

تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	درجه آزادی	تیمار
۰/۲۵ ^{NS}	۰/۳۴ ^{NS}	۲	تکرار
۰/۲۴ ^{NS}	۲۰/۹ ^{**}	۲	نانوذرات
۷/۳۹ ^{**}	۶۳/۸۶ ^{**}	۳	غلظت نانوذرات
۱/۴۵ [*]	۹/۲۶ ^{**}	۶	نانوذرات × غلظت
۰/۴۶	۰/۷۹		خطا
۷/۳۲	۳/۶۳		CV

NS: عدم معناداری؛ * و **: به ترتیب معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.



شکل ۱. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر تعداد غلاف در بوته گیاه ماش



شکل ۲. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر تعداد دانه در غلاف گیاه ماش

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنادر بین تیمارها را نشان می‌دهد (LSD). مقادیر میانگینی از سه تکرارند.

دانه در غلاف را به ترتیب با ۱۰/۶۷ و ۱۰/۷۸ دانه در هر غلاف ماش داشتند که تأثیرات مثبتی را نسبت به دیگر غلظت‌ها و نانوذرات به وجود آوردند، ولی غلظت‌های زیاد نانوذرات اعمال شده در پژوهش حاضر، در مقایسه با تیمار شاهد اثر کاهشی داشتند. در زمینه اثر تیمار نانوذرات بر تعداد گل، تعداد غلاف در بوته و همچنین تعداد دانه در غلاف می‌توان به نتایج دیگر تحقیقات اشاره کرد که طی آن پژوهش، کاربرد نانو اکسید تیتانیوم بر جو، تأثیر معناداری بر وزن دانه و تعداد سنبلک‌ها داشت [۲۰].

طبق نتایج به دست آمده، نانوذرات می‌توانند اثر متفاوتی بر تعداد غلاف در بوته و همچنین تعداد دانه در غلاف گیاه ماش داشته باشند. در صفت تعداد غلاف در بوته، تیمار غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از تیمار نانوتیوب کربن چندجداره و بیشترین تعداد غلاف در بوته را معادل ۲۸/۸۶ غلاف داشت (شکل‌های ۱ و ۲). از این رو در صفت تعداد دانه در غلاف، تیمار غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات روی و سپس تیمار نانو اکسید تیتانیوم از نانوذرات استفاده شده در پژوهش حاضر، بیشترین تعداد

۲.۳. وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

آنالیز واریانس صفات اجزای عملکرد و عملکرد گیاه ماش نشان می‌دهد که صفات وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت تأثیر تیمار نانوذرات قرار نگرفت؛ اما عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معناداری را تحت تیمار نانوذرات نشان داد (جدول ۳). در بین تیمار غلظت نانوذرات به کار گرفته شده در پژوهش حاضر، وزن هزاردانه نیز اختلاف معناداری نشان نداد؛ اما صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معناداری را تحت غلظت‌های به کار رفته نشان دادند. همچنین صفات وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت تیمار تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد داشتند و در صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری مشاهده شد (جدول ۳).

مقایسه میانگین صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان می‌دهد که تحت تیمار نانوذرات نانو اکسید تیتانیوم، نانوتیوب کربن چندجداره و نانوروی، تیمار نانوروی، بیشترین کاهش معنادار در

عملکرد دانه را در مقایسه با تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره داشت، به طوری که این کاهش در صفت عملکرد دانه به ترتیب ۴/۶۱ و ۴/۲۶، در عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۵/۰۴ و ۵/۴۶، و در صفت شاخص برداشت به ترتیب ۶/۳۸ و ۵/۷۳ درصد بود (جدول ۴).

جدول مقایسه میانگین اثر تیمار غلظت نانوذرات بر شاخص‌های عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ماش نشان می‌دهد (جدول ۴) که در صفت عملکرد دانه، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین کاهش معنادار را نسبت به غلظت‌های شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر داشته است، به طوری که کاهش غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۸/۶۷، ۱۸/۷۸ و ۱۶/۶ درصد بود. مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ماش نیز نشان داد که در بین تیمار غلظت نانوذرات اعمال شده تفاوت معناداری نشان داده شد، به طوری که غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین کاهش معنادار را نسبت تیمار غلظت‌های شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به داشته است، به طوری که این نسبت کاهش در صفت عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۴/۲۹، ۹/۳۹ و ۸/۳۴ درصد بوده است و در صفت شاخص برداشت نیز به ترتیب کاهش معناداری ۴/۵۵، ۱۰/۱۶ و ۸/۴۲ درصد مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۳. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ماش

تیمار	درجه آزادی	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	پروتئین دانه
تکرار	۲	۲/۲۷ ^{ns}	۴۷۹۴/۱۷ ^{ns}	۲۰۹۴۷/۶۳ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}
نانوذرات	۲	۲/۱۴ ^{ns}	۷۲۲۱/۶۹*	۶۳۴۹/۰۷ ^{ns}	۴/۹۴ ^{ns}	۰/۶۹*
غلظت نانوذرات	۳	۱/۳۶ ^{ns}	۶۸۸۲۸/۴۲**	۹۹۸۸۱/۷۵**	۳۳/۰۱**	۴/۴۲**
نانوذرات × غلظت نانوذرات	۶	۱۲/۸۹*	۲۱۴۹۱/۷۹**	۳۰۴۲۱/۳۳*	۱۱/۱۳*	۰/۶۷*
خطا		۱/۸۶	۲۱۵۴/۲۹	۶۲۹۷/۷۷	۲/۱۳	۰/۲
CV		۲/۲۲	۴/۹۳	۳/۴۳	۳/۶	۲/۰۷

ns: عدم معناداری؛ ** و *: به ترتیب معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین تأثیرات تیمار نانوذرات و غلظت نانوذرات بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و پروتئین دانه ماش

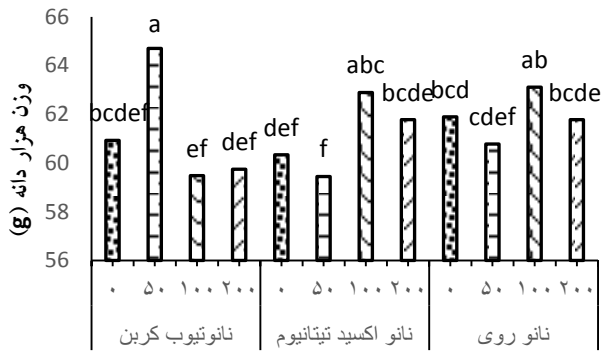
تیمار	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	شاخص برداشت (%)	پروتئین دانه (%)
نانوذرات				
نانواکسید تیتانیوم	۹۵۷/۲۱ ^a	۲۳۲۰/۴۶ ^a	۴۱/۱ ^a	۲۱/۳۴ ^b
نانوتیوب کربن چندجداره	۹۵۳/۷۵ ^a	۲۳۳۰/۸۹ ^a	۴۰/۸۲ ^a	۲۱/۴۹ ^{ab}
نانوروی	۹۱۳/۱ ^b	۲۲۰۳/۵۴ ^b	۳۸/۴۸ ^b	۲۱/۸۱ ^a
LSD	۳۹/۳	۵۹/۸	۱/۱۸	۰/۳۸
غلظت نانوذرات (mg/l)				
۰	۹۱۱/۱ ^b	۲۲۷۷/۳۸ ^b	۴۰/۰۱ ^b	۲۱/۲۱ ^b
۵۰	۱۰۲۴/۵۴ ^a	۲۴۰۵/۵۹ ^a	۴۲/۵۱ ^a	۲۰/۷۳ ^c
۱۰۰	۹۹۷/۶۷ ^a	۲۳۸۸/۳۴ ^a	۴۱/۷ ^a	۲۲/۰۹ ^a
۲۰۰	۸۳۲/۱ ^c	۲۱۷۹/۶۷ ^c	۳۸/۱۹ ^c	۲۲/۱۷ ^a
LSD	۴۵/۳۸	۷۷/۵۸	۱/۴۳	۰/۴۴

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنادار بین تیمارها را نشان می‌دهد (LSD). مقادیر میانگینی از سه تکرارند.

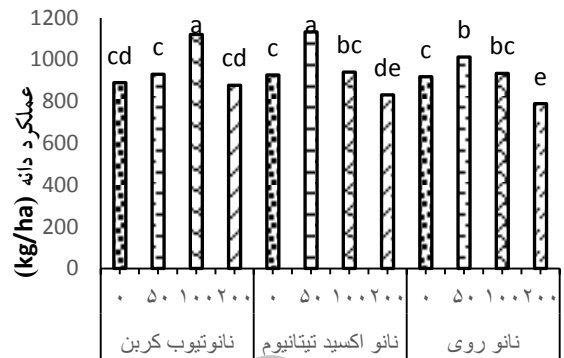
افزایش و کاهش تعداد دانه در هر غلاف از گیاه ماش تحت تیمارهای ذکر شده بوده است (شکل ۲).
تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات صفت عملکرد بیولوژیکی ماش نشان داد که بیشترین افزایش در تیمار نانوتیوب کربن چندجداره تحت غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با عملکرد ۲۵۴۰/۳۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۵). از این رو فقط با تیمار نانواکسید تیتانیوم تحت غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲۵۱۹/۵۸ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معناداری را نشان نداد و کمترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار نانوروی تحت غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با عملکرد ۲۱۵۴/۴۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۵).

تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه ماش (به ترتیب شکل‌های ۳ تا ۶) نشان می‌دهد که تحت تیمارهای غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوتیوب کربن چندجداره و غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانواکسید تیتانیوم به ترتیب بیشترین (۶۴/۷ گرم) و کمترین (۵۹/۴۴ گرم) وزن هزاردانه مشاهده شد (شکل ۳). در صفت عملکرد دانه مشاهده شد که تحت تیمارهای نانواکسید تیتانیوم × غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوروی، به ترتیب بیشترین (۱۱۳۲/۲۵ کیلوگرم) و کمترین (۷۸۸/۷۸ کیلوگرم) عملکرد دانه مشاهده شد (شکل ۴). دلیل احتمالی این افزایش و کاهش در عملکرد دانه ماش در هکتار، به ترتیب

تأثیر نانو اکسید تیتانیوم، نانوروی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata L.*)

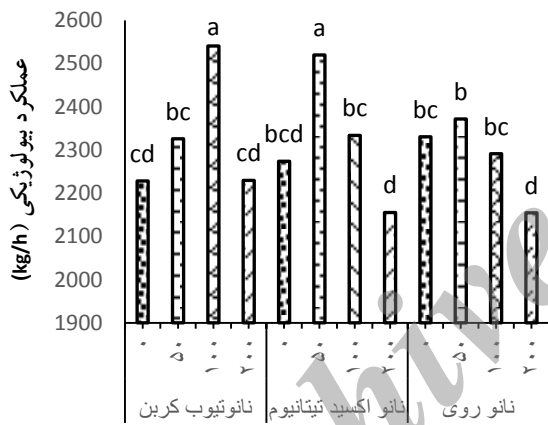


شکل ۳. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر وزن هزار دانه گیاه ماش

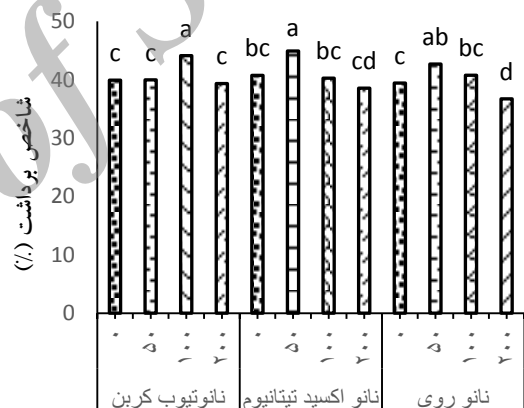


شکل ۴. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر عملکرد دانه گیاه ماش

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنادار بین تیمارها را نشان می‌دهد (LSD). مقادیر میانگینی از سه تکرارند.



شکل ۵. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر عملکرد بیولوژیکی گیاه ماش



شکل ۶. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر شاخص برداشت گیاه ماش

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنادار بین تیمارها را نشان می‌دهد (LSD). مقادیر میانگینی از سه تکرارند.

عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت ماش داشتند (شکل‌های ۳ تا ۶). برخی از این ذرات نانو، در غلظت‌های کم، تأثیرات مثبتی بر خصوصیات گیاهان زراعی دارند و اگر غلظت برخی از عناصر، بیشتر از حد نیاز گیاهان باشد، ممکن است تأثیرات منفی آن‌ها آشکار می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر غلظت عنصر روی از حد مشخصی فراتر رود، در گیاهان زراعی، مسمومیت ایجاد می‌کند و ممکن است بر عملکرد و تشکیل غلاف بوته‌ها تأثیر بگذارد [۱۹].

شاخص برداشت تحت تیمار تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات قرار گرفت، به‌طوری که بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرة نانو اکسید تیتانیوم (۴۴/۹ درصد) بود و کمترین شاخص برداشت در تیمار نانوروی تحت غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم (۳۶/۷ درصد) بر لیتر مشاهده شد (شکل ۶). با توجه به نتایج پژوهش حاضر، نانو اکسید تیتانیوم، نانوتیوب کربنی چندجداره و به‌خصوص نانوروی، در غلظت‌های متفاوت، تأثیرات مثبت و منفی بر وزن صدانه،

معناداری بر صفت درصد پروتئین دانه نشان دادند (جدول ۳). مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه نشان داد که در بین نانوذرات به کاررفته، تیمار نانوروی بیشترین افزایش را در درصد پروتئین دانه داشت، به طوری که تیمار نانوروی در مقایسه با تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره به ترتیب افزایش معنادار ۲/۲ و ۱/۴۹ درصد داشت (جدول ۴). کمترین مقدار پروتئین دانه تحت غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر، در تیمار غلظت نانوذرات مشاهده شد، به طوری که غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب کاهش معنادار ۲/۲۶، ۶/۱۶ و ۶/۵ درصد را در درصد پروتئین دانه نشان داد (جدول ۴).

تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر درصد پروتئین دانه نشان از آن دارد که تیمار نانوروی تحت غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر با ۲۳/۱ درصد، بیشترین تأثیر و افزایش معنادار در مقدار پروتئین دانه را داشت.

تیمار نانوروی تحت غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌تواند بیشترین تأثیر را بر مقدار پروتئین دانه داشته باشد که این افزایش ممکن است به علت افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر آنزیم‌های هیدرولیزکننده قندها یا به دلیل سنتز پروتئین‌ها و پلی‌پپتیدهای درگیر در سیستم دفاعی سلول در برابر یون [۱۳]، افزایش mRNA [۱۷] و به تبع آن افزایش مقدار کل پروتئین باشد (شکل ۶). این احتمال وجود دارد که غلظت‌های زیاد نانوذرة نانوروی، سبب افزایش ترکیبات یادشده و به تبع آن افزایش پروتئین در دانه ماش شده باشد (جدول ۸). همچنین بسیاری از آنزیم‌ها برای فعال‌سازی خود به روی نیاز دارند [۴]. از طرف دیگر، غلظت‌های زیاد برخی از فلزات سنگین سبب از دست رفتن ساختمان پروتئینی می‌شود و این امر کاهش مقدار پروتئین‌ها را به دنبال دارد [۱۵].

در مورد اثر نانوذرات و غلظت نانوذرات بر وزن صدانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌توان به پژوهشی بر روی بادام‌زمینی اشاره کرد که در آن، نانو اکسید روی سبب افزایش صفات یادشده شد، اما غلظت‌های بیشتر از ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو اکسید روی سبب کاهش آن صفات شد [۲۶].

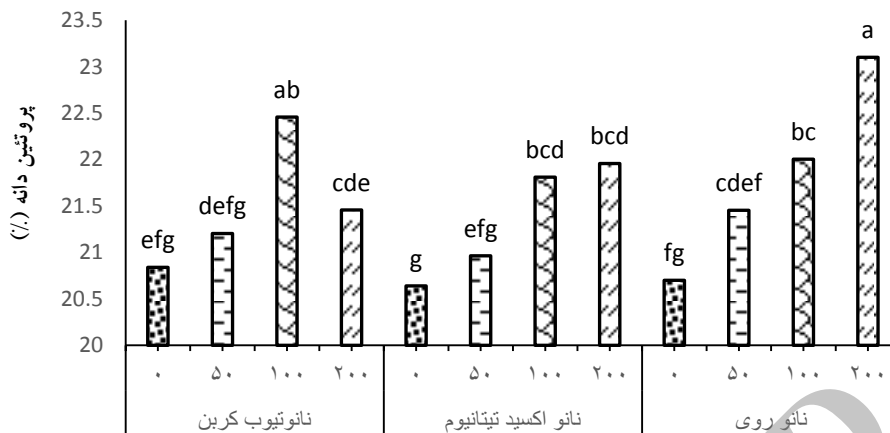
اثر محلول پاشی نانو اکسید تیتانیوم در غلظت‌های صفر، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد بر برخی خصوصیات زراعی گندم تحت شرایط تنش بررسی شد. ذرات نانو اکسید تیتانیوم در مراحل ساقه‌دهی و گلدهی (پس از تنش خشکی)، به حجم ۲۴۰ میلی لیتر در متر مربع بر روی اندام‌های هوایی گندم افشانه شد [۲]. محلول پاشی نانوذرات اکسید تیتانیوم، اختلاف معناداری در سطح ۱ درصد در ارتفاع، وزن سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط نرمال و تنش خشکی داشت [۲]. همچنین، عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی با محلول پاشی نانو اکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد، ۲۳ درصد افزایش نسبت به عدم محلول پاشی در شرایط تنش خشکی داشت [۲].

از طرف دیگر، غلظت‌های متفاوتی از نانوتیوب‌های کربن چندجداره سبب افزایش شاخص سطح برگ، نسبت سطح برگ و سرعت رشد محصول در باقلا شده است [۷] و از آنجا که افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان مختلف ممکن است سبب افزایش عملکرد شود، می‌توان افزایش عملکرد ماش تحت تیمار نانوذرات در پژوهش حاضر را به افزایش شاخص سطح برگ نسبت داد.

۳.۳. درصد پروتئین دانه

تیمارهای نانوذرات و تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات به کاررفته در پژوهش حاضر در سطح احتمال ۵ درصد و غلظت نانوذرات در سطح احتمال ۱ درصد اثر

تأثیر نانو اکسید تیتانیوم، نانوروی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vinga radiata L.*)



شکل ۷. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر میزان پروتئین دانه گیاه ماش

است که روی، بر سنتز و فعالیت برخی از تنظیم کننده های رشد گیاهی از جمله ایندول استیک اسید و برخی از آمینواسیدها از قبیل آمینو اسید تریپتوفان دارد (جدول ۴). در تیمار غلظت های مورد استفاده، غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر از نانوذرات به کار رفته نسبت به تیمار شاهد، بیشترین افزایش در صفات تعداد غلاف در بوته (۸/۳۹ درصد)، تعداد دانه در غلاف (۱۰/۹۸ درصد)، عملکرد دانه (۸/۶۷ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۴/۲۹ درصد) و شاخص برداشت (۴/۵۵ درصد) حاصل شد. همچنین تیمار نانوذره روی، سبب افزایش درصد پروتئین دانه ماش شد که نسبت به تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره به ترتیب افزایش معناداری معادل ۲/۲ و ۱/۴۹ درصد داشت. در بین تیمار غلظت نانوذرات، بیشترین مقدار پروتئین دانه تحت تیمار غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد، به طوری که نسبت به تیمار شاهد و غلظت های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب افزایشی معادل ۴/۵۳، ۶/۹۵ و ۰/۳۵ درصد را در درصد پروتئین دانه داشت (جدول ۴).

نش های غیرزنده نظیر فلزات سنگین و نانوذرات، تولید و تجمع گونه های فعال اکسیژن را القا می کنند که در غلظت های زیاد برای سلول زیان آورند و تولید ترکیباتی

در بررسی تأثیرات نانوذرات بر مقدار پروتئین گیاهی، پژوهشی درباره اسفناج تحت تیمار دی اکسید تیتانیوم انجام گرفت، به طوری که نانو اکسید تیتانیوم سبب بهبود رشد و افزایش پروتئین و کلروفیل در اسفناج شد که ممکن است این افزایش در مقدار پروتئین، به دلیل بهبود فتوسنتز و همچنین افزایش متابولیسم نیتروژن باشد. این ترکیب فعالیت چند آنزیم نظیر نیترات ردوکتاز، گلوتامات دهیدروژناز و گلوتامین سنتاز را افزایش می دهد و موجب تسریع جذب نیترات و تسریع تبدیل نیتروژن معدنی به آلی می شود [۳۰].

۴. نتیجه گیری

نانوتیوب کربن چندجداره و نانوروی در حضور مقادیر مختلف تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم، تأثیرات مثبت و منفی بر صفات مورد مطالعه داشتند و عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تأثیر قرار گرفت، به طوری که تیمار نانوروی در مقایسه با تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره، بیشترین کاهش معنادار را در عملکرد دانه به ترتیب ۴/۶۱ و ۴/۲۶، در عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۵/۰۴ و ۵/۴۶ و در شاخص برداشت، به ترتیب ۶/۳۸ و ۵/۷۳ درصد داشت. علت احتمالی این وضعیت تأثیراتی

۴. کافی م، زند ا، کامکار ب، عباسی ف، مهدوی دامغانی م و شریفی ح ر (۱۳۸۸) فیزیولوژی گیاهی. چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۵. کوچکی ع و سرمدنیا غ ح (۱۳۸۸) فیزیولوژی گیاهان زراعی. چاپ پانزدهم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۶. نوروزی س، تدین م ر و نوروزی م (۱۳۹۱) بررسی اثر نانو اکسید تیتانیوم بر برخی خصوصیات کتان (*Linum usitatissimum L.*). دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

۷. نوروزی س (۱۳۹۱) اثر نانوذرات نقره، روی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر گره بندی، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه باقلا (*Vicia faba L.*). دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آگرواکولوژی.

نظیر سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل سبب پراکسیداسیون چربی ها، غیرفعال شدن آنزیم ها، خسارت به اسیدهای نوکلئیک و تخریب غشاهای سلول می شود. از این رو در بررسی تأثیرات غلظت های زیاد نانوذرات استفاده شده در پژوهش حاضر و تأثیرات منفی آنها بر صفات مورد مطالعه، هرچند که روی، عنصری ضروری برای رشد گیاهان است، در مقادیر زیاد با غلظت مؤثر (غلظتی از روی که منجر به ۵۰ درصد کاهش زیست توده می شود که متناسب با گونه گیاهی متفاوت است) خاصیت سمی ایجاد می کند. این احتمال وجود دارد که همین فرایندها نیز برای غلظت های زیاد نانو اکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره وجود داشته باشد. برای تأیید نتایج این پژوهش، به پژوهش های بیشتر در غلظت های مختلف و بر گیاهان دیگر نیاز است [۲۵].

منابع

- Azari A and Khajepour MR (2003) Effect of planting pattern on growth, development, grain yield and yield components in sunflower cv. Kooseh Isfahan in spring planting. Journal of Science Technology Agriculture. Natural Resources. 7(1): 155-167.
- Barcelo J and Poschenrieder C (1990) Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. Journal of Plant Nutrient. 13: 1-37.
- Breebse Jones D (1931) Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins. United States Department of Agriculture Washington. P. 1-22.
- Brunner TI, Wick P, Manser P, Spohn P, Grass RN, Limbach LK, Bruinink A and Stark WJ (2006) *In vitro* cytotoxicity of oxide nanoparticles: comparison to asbestos, silica, and effect of particle solubility. Environmental Science and Technology. 40: 4374-4381.

۱. تدین م ر، فلاح س ا، فدایی تهرانی ع ا، و نوروزی س (۱۳۹۲) اثرات نانوتیوب کربن چندجداره و نانونقره بر برخی شاخص های فیزیولوژیکی و مورفولوژیک گیاه باقلا (*Vicia faba L.*). فرآیند و کارکرد گیاهی. ۲(۳): ۶۱-۷۲.

۲. جابرزاده ا، معاونی پ، توحیدی مقدم ح ر و مرادی ا (۱۳۸۹) بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر روی برخی خصوصیات زراعی گندم تحت شرایط تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۴: ۲۹۵-۳۰۱.

۳. دینی ترکمانی م ر و کاراپتیان ژ (۱۳۸۶) بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم دانه در ۱۰ رقم کنجد (*Sesamum indicum L.*). زیست شناسی ایران. ۲۰(۴): ۳۲۷-۳۳۳.

12. Drazkiewicz M, Skorzynska-Polit E and Krupa Z (2004) Copper induced oxidative stress and antioxidant defense in *Arabidopsis thaliana*. *Bio Metals*. 17: 379-387.
13. Fediuc E and Laszlo E (2002) Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in phragmites Australia and *Typha latifolia*. *Plant Physiology*. 5: 129-132.
14. Franklin N, Rogers N, Apte S, Batley G, Gadd G and Casey P (2007) Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and ZnCl₂ to a freshwater microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): the importance of particle solubility. *Environmental Science and Technology*. 41: 8484-8490.
15. Gallego SM, Bonavides MP and Tomaro ML (1999) Effect of cadmium ion antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Biologia Plantarum*. 42: 49-55.
16. Gao FQ, Hong FS, Liu C, Zheng L, Su MY, 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(1-3): 239-254.
17. Hirt H, Casari G and Barta A (1989) Cadmium enhanced gene expression in suspension culture cells of tobacco. *Planta*. 179(3): 414-426.
18. Khodakovskaya M, Dervishi E, Mahmood M, Yang X, Zhongrui L, Watanabe F and Biris AS (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.
19. Lin D and Xing B (2007) Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*. 150(2): 243-250.
20. Moaveni P, Talebi A, Farahani HA and Maroufi K (2011) Study of nano particles tio₂ spraying on some yield components in barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Conference on Environmental and Agriculture Engineering*. Pp. 115-119.
21. Moraru CI, Panchapakesan CP, Qingrong H, Takhistov P, Sean L and Kokini JL (2003) Nanotechnology: A new frontier in food Science. *Food Technology*. 57(12): 24-29.
22. Morla S, Rao R and Chakrapani R (2011) Factors Affecting Seed Germination and Seedling Growth of Tomato Plants cultured *in vitro* Conditions. *An International Peer Review E-3. Sciences, Chemical, Biological and Physical Sciences*. 1(2): 328-334.
23. Nel A, Xia T, Madler L and Li N (2006) Toxic potential of materials at the nano level. *Science*. 311: 622-627.
24. Oberdrster E (2004) Manufactured nanomaterials (fullerenes, C₆₀) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environmental Health Perspectives*. 112(10): 1058-1062.
25. Paschke MW, Perry LG and Redente EF (2006) Zinc toxicity thresholds for reclamation forb species. *Water Air Soil Pollution*. 170(1-4): 317-330.
26. Prasad T, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raja RK, Sreepasad TS, Sajanla PR and Pradeep T (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 35: 905-927.
27. Tewari RK, Kumar P, Sharma PN and Bisht SS (2002) Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt. *Plant Science*. 162: 381-388.
28. Vavilov NI (1926) Studies on the origin of

- cultivated plants. *Nyurobiological Botany*. 16: 139-248.
29. Yang L and Watts DJ (2005) Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. *Toxicology Letters*. 158(2): 122-132.
30. Yang K, Wang XL, Zhu LZ and Xing BS (2006) Competitive sorption of pyrene, phenanthrene, and naphthalene on multiwalled carbon nanotubes. *Environmental Science and Technology*. 40: 5804-5810.
31. Zheng L, Hong F, Lu S and Liu C (2005) Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biological Trace Element Research*. 104(1): 83-91.
32. Zhu H, Han J, Xiao JQ and Jin Y (2008) Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Environmental Monitoring*. 10(6): 713-717.

Archive of SID