به زراعی کشاورزی
دوره ۱۷ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۴
صفحه‌های ۱۸۲-۱۶۹

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

محمودرضا تدین*[۱]، سعید نوروزی[۳]

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

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نانواکسید تیتانیوم، نانوروی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش، آزمایشی در یک مزرعهٔ تحقیقاتی واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۳۹۲ صورت گرفت. آزمایش به‌صورت 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 مرحلهٔ 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 نانواکسید 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 دانهٔ ماش داشت.

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

* نویسنده مسئول Email: Mrtadayon@yahoo.com

۱. مقدمه

ماش[1] گیاهی یکساله از خانوادهٔ حبوبات است [۲۸] که به‌دلیل داشتن پروتئین زیاد، یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی، در تغذیهٔ انسان محسوب می‌شود [۸]. امروزه استفادهٔ 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 نگرانی‌هایی را در خصوص انباشته شدن آنها در سطح کرهٔ زمین و تأثیر این ذرات بر محیط زیست، سلامت انسان و تأثیرات بیولوژیکی متضادی که ممکن است بر سلول‌های زنده داشته باشند، به‌وجود آورده است [۲۳]. از طرف دیگر، استفاده از فناوری نانو، امیدواری‌هایی را برای غلبه بر برخی مسائل در بخش کشاورزی به‌وجود آورده است. تا کنون، کاربرد این علم در کشاورزی اغلب در زمینهٔ تحقیق در مورد مشکلات علوم محض بوده است، اما امکان استفادهٔ کاربردی از آن، با ابداع روش‌های مناسب و استفاده از حسگرها در کشاورزی دقیق و امکان تشخیص زودرس عوامل بیماری‌زا و ردیابی و تعیین وجود آلاینده‌ها در محصولات غذایی در حال افزایش است و تأثیرات چشمگیری در تولید گیاهان زراعی و باغی داشته است [۲۱].

سازوکار اثر نانوذرات به‌خوبی شناخته‌شده نیست، اما شواهد نشان می‌دهد که این سازوکار از طریق آزادسازی مواد سمی و خطرناکی نظیر یون‌های فلزی و گونه‌های فعال اکسیژن[2] و یا تنش اکسیداتیو صورت می‌گیرد [۱۴،۲۴]. رادیکال‌های ایجادشده، به‌علت واکنش‌پذیری زیادی که دارند به ماکرومولکول‌هایی از قبیل نوکلئیک اسیدها، رنگیزه‌های کلروپلاست و در طولانی‌مدت به لیپیدها، حمله می‌کنند و سبب پراکسیداسیون لیپیدی می‌شوند [۱۲، ۲۷،۲۴]. این وضعیت موجب به‌هم خوردن تعادل آبی و تغذیه‌ای سلول می‌شود که یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن گیاه است [۹]. نانوذرات همچنین از طریق تنش یا تحریک ایجادشده توسط سطح، اندازه یا شکل اثرات تأثیرات خود را بر گیاهان مختلف می‌گذارند [۱۱].

تاکنون مطالعات محدودی دربارهٔ تأثیرات منفی و مثبت ذرات نانو در گیاهان عالی به‌ویژه حبوبات و ماش انجام گرفته است. نانوتیوب‌های کربنی می‌توانند رشد ریشهٔ پیاز و خیار را افزایش دهند [۲۹]. با این‌حال، اکثر گزارش‌های موجود، تأثیرات سمیت نانوذرات را بر گیاهان نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال، نانواکسید آلومینیوم[3] می‌تواند طویل شدن ریشهٔ ذرت، خیار، سویا، کلم و هویج را مهار کند [۲۹]. همچنین نانواکسید روی به‌عنوان یکی از نانوذرات سمی می‌تواند رشد ریشهٔ گیاهان تربچه، کلزا، چچم، کاهو، ذرت و خیار را متوقف کند [۱۹]. از طرف دیگر، نانوتیوب‌های کربنی، به‌عنوان دارو در تشخیص‌های پزشکی کاربرد دارند، اما مطالعه در مورد تأثیرات نانوذرات در علوم گیاهی، به‌تازگی متداول شده است [۲۲].

در آزمایشی، تأثیرات پنج نانوذره (نانوتیوب کربنی چندجداره، روی، اکسید روی، آلومینیوم و نانواکسید آلومینیوم) در غلظت‌های ۲۰، ۲۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر جوانه‌زنی و طول ریشهٔ شش گونه گیاه (تربچه، کلزا، چاودار، کاهو، ذرت و خیار) بررسی شد. جوانه‌زنی بذور چاودار و ذرت فقط در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرهٔ روی و اکسید روی (به‌ترتیب)، متوقف شد و در بقیهٔ غلظت‌های نانوذرهٔ روی و اکسید روی اثر معناداری مشاهده نشد و سوسپانسیون نانوتیوب کربنی نیز هیچ تفاوتی را با تیمار شاهد نشان نداد [۱۹].

به‌منظور بررسی تأثیرات متفاوت غلظت‌های مختلف

1. *Vinga radiata* L.
2: Radical Oxygen Species
3: Al2O3

نانواکسید روی و سولفات روی[1] بر جوانه‌زنی، بنیهٔ بذر، رشد بوته، رشد ریشه و برخی شاخص‌های مربوط به عملکرد بادام‌زمینی، آزمایشی صورت گرفت که در آن، اثر هر کدام جداگانه و در غلظت‌های مختلف بررسی شد. تیمار نانواکسید روی در غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اثر خود را در ارتقای جوانه‌زنی بذر و بنیهٔ 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 پی‌پی‌ام مشاهده شد [۲۶].

نانواکسید تیتانیوم، در غلظت‌های مناسب موجب تسریع جوانه‌زنی بذر اسفناج می‌شود [۳۱]. همچنین تیمارهای گوجه‌فرنگی که در معرض نانوتیوب‌های کربنی قرار گرفته بودند، ساقه‌های بلندتر و وزن بیشتری داشتند و از رشد بیشتری برخوردار بودند [۱۸]. نانواکسید تیتانیوم موجب افزایش وزن تر 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 [۳۰]. همچنین در تیمار نانواکسید تیتانیوم گیاه اسفناج، وزن‌های تر و خشک به‌ترتیب ۶۰/۳۶ و ۷۱/۱۵ درصد افزایش یافت [۱۶].

برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی باقلا از قبیل وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و شاخص‌های مربوط به جوانه‌زنی ماش، متأثر از نانوذرات نقره و نانوتیوب کربن چندجداره تحت غلظت‌های مختلف است، به‌طوری که فقط نانوتیوب کربن چندجداره تأثیر مثبتی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی باقلا داشت [۱].

تأثیرات نانواکسید تیتانیوم در غلظت‌های شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر گیاه کتان بررسی شد. همهٔ غلظت‌های نانواکسید تیتانیوم، بر شاخص‌های جوانه‌زنی ساقه‌چه و ریشه‌چهٔ گیاه کتان تأثیرات منفی داشت، به‌طوری که با افزایش غلظت نانواکسید تیتانیوم، مقادیر صفات مورد پژوهش، کاهش بیشتری یافت [۶].

در بررسی تأثیرات نانوذرات بر گیاهان مختلف، گیاه کدوتنبل[2] در یک محیط آبی حاوی نانوذره Fe_3O_4 رشد یافت و مشخص شد که این گیاه می‌تواند نانوذرات را جذب کند، انتقال دهد یا در بافت‌های گیاهی ذخیره کند، درحالی که گونه‌ای از گیاه لوبیا[3] قادر به جذب و انتقال نانوذرات اکسید آهن نبود. بنابراین، گیاهان مختلف واکنش‌های متفاوتی به نانوذرات یکسان بروز می‌دهند [۳۲].

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

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، و تیمارهای نانوتیوب کربن چندجداره، نانوروی و نانواکسید تیتانیوم در چهار غلظت از نانوذرات مورد مطالعه (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌صورت تلقیح با باکتری ریزوبیوم روی بذرهای محلی ماش در مزرعه‌ای تحقیقاتی واقع در شهرستان چرام (استان کهگیلویه و بویراحمد) با طول

1: ZnSO4

2 . Cucurbita maxima

3 . Phaseolus limensis

جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقهٔ شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقهٔ 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 ۴ × ۳ متر با حاشیهٔ ۰/۵ متر از هم آماده شد و بذور مورد استفاده پس از تلقیح با باکتری *Rizobium leguminosarum* (براساس توصیه‌های مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک، در سایه و با محلول آب–شکر ۱۰ درصد عمل تلقیح انجام گرفت)، به‌صورت ردیفی در فواصل ۵۰ × ۱۰ و در عمق ۵–۳ سانتی‌متری در تاریخ ۱۳۹۲/۳/۲۶ کشت شدند. آبیاری مزرعه پس از کاشت بذرها به‌صورت نشتی و براساس دور مرسوم آبیاری منطقه انجام گرفت. دلیل استفاده از نانوذرات نانوتیوب کربن چندجداره، نانواکسید تیتانیوم و نانوروی در این پژوهش این است که پژوهشگران مقالهٔ حاضر و دیگر پژوهشگران، نتایج متفاوتی از تیمار غلظت‌های مختلف از مواد نانوذرات یادشده و سایر مواد نانوذرات به‌دست آورده‌اند و در این پژوهش، نانوذرات مورد استفاده، طی سه مرحلهٔ رشدی گیاه ماش شامل دو تا چهاربرگی، شش تا هشت‌برگی و مرحلهٔ 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.

جدول ۱. آنالیز خاک نمونه‌برداری‌شده از مزرعه

پارامترهای تجزیهٔ ماکرو

بافت خاک	آهک (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	ازت (٪)	کربن (٪)	پتاس (ppm)	فسفر (ppm)	رطوبت (٪)	شوری (dS/m)	اسیدیته
لومی – رسی	۳۷	۳۰	۴۷	۲۳	۰/۱	۱/۰۳	۱۴۳	۲۳	۴۹	۰/۵۲	۷/۵

پارامترهای تجزیهٔ عناصر میکرو (mg/kg soil)

Fe	Zn	Ca	Mn
۱۲	۰/۷۲	۱/۶۲	۲/۴

توصیهٔ کودی خاک فوق (kg/h) برای ماش به‌شرح زیر است:

اوره	سولفات منگنز	سولفات پتاسیم	سولفات روی
۵۰	۲۵	۲۲۰	۳۵

در تحقیق حاضر، از توزین تصادفی صددانهٔ ماش در نمونه‌های به‌دست‌آمده از هر کرت آزمایشی (چهار نمونه)، وزن صددانه تعیین شد که پس از حذف اثر حاشیه، نمونه‌های برداشت‌شده در آون گذاشته شدند و وزن صددانه براساس ۱۲ درصد رطوبت دانه اندازه‌گیری شد.

برای تعیین عملکرد دانه نیز، اندازه‌گیری وزن دانه‌های به‌دست‌آمده در هر بوتهٔ ماش در مساحت ۰/۵ × ۰/۱ مترمربع کرت‌های زراعی پس از حذف اثر حاشیه محاسبه شد که نمونه‌ها پس از برداشت در آون گذاشته شدند و عملکرد دانه‌ها براساس ۱۲ درصد رطوبت دانه اندازه‌گیری شد.

از توزین کل اندام‌های هوایی گیاه ماش در مساحت ۰/۵ × ۰/۱ متر مربع کرت‌های زراعی پس از حذف اثر حاشیه و مشابه با وزن صددانه و عملکرد دانه محاسبه شد.

همچنین، شاخص برداشت که درصدی از عملکرد بیولوژیکی است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد از رابطهٔ زیر محاسبه شد (۵):

(۱)

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{عملکرد بیولوژیکی}} \times ۱۰۰$$

در سنجش پروتئین کل، پروتئین‌گیری بذر با استفاده از روش کجلدال، مدل Gerhardt با هشت لوله (هفت لولهٔ نمونه + یک نمونه تیمار شاهد) پخت انجام گرفت و مقدار ازت دانه به‌دست آمد [۳] که از حاصل‌ضرب مقدار ازت دانه × ۶/۲۵ مقدار پروتئین دانه محاسبه شد [۱۰].

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

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف

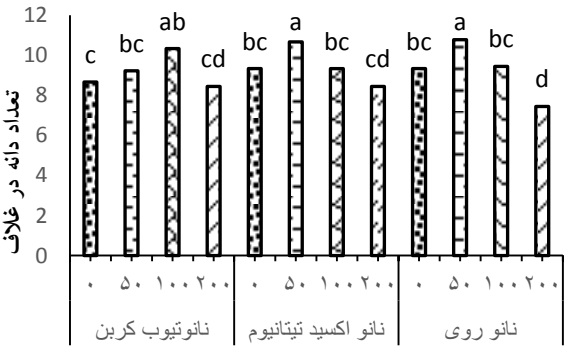
نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص‌های تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در جدول ۲ ارائه شده است. صفت تعداد غلاف در بوته تحت اثر تیمارهای نانوذرات نانوتیوب کربن چندجداره، نانوروی و نانو اکسید تیتانیوم، غلظت‌های متفاوت نانوذرات (تیمار شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و همچنین تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات قرار گرفت، به‌طوری که در صفت تعداد غلاف در بوته تحت همهٔ 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 × غلظت نانوذرات به‌ترتیب 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 × غلظت نانوذرات بر صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در هر غلاف را نشان می‌دهد، به‌طوری 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)، درصورتی که در صفت تعداد دانه در غلاف، تیمار نانوروی تحت غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از تیمار نانوروی، به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد دانه در هر غلاف ماش (به‌ترتیب ۱۰/۷۸ و ۷/۴۴ دانه در غلاف) را داشت (شکل ۲).

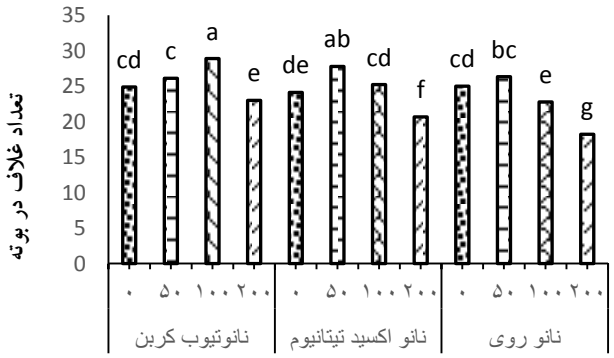
جدول ۲. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ماش

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

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



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



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

طبق نتایج به‌دست‌آمده، 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). ازاین‌رو در صفت تعداد دانه در غلاف، تیمار غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات روی و سپس تیمار نانواکسید تیتانیوم از نانوذرات استفاده‌شده در پژوهش حاضر، بیشترین تعداد دانه در غلاف را به‌ترتیب با ۱۰/۷۸ و ۱۰/۶۷ دانه در هر غلاف ماش داشتند که تأثیرات مثبتی را نسبت به دیگر غلظت‌ها و نانوذرات به‌وجود آوردند، ولی غلظت‌های زیاد نانوذرات اعمال‌شده در پژوهش حاضر، در مقایسه با تیمار شاهد اثر کاهشی داشتند. در زمینهٔ 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 نانواکسید تیتانیوم بر جو، تأثیر معناداری بر وزن دانه و تعداد سنبلک‌ها داشت [۲۰].

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 به‌کار گرفته‌شده 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 به‌کاررفته 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).

مقایسهٔ میانگین صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان می‌دهد که تحت تیمار نانوذرات نانواکسید تیتانیوم، نانوتیوب کربن چندجداره و نانوروی، تیمار نانوروی، بیشترین کاهش معنادار در عملکرد دانه را در مقایسه با تیمارهای نانواکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره داشت، به‌طوری که این کاهش در صفت عملکرد دانه به‌ترتیب ۴/۶۱ و ۴/۲۶، در عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۵/۰۴ و ۵/۴۶، و در صفت شاخص برداشت به‌ترتیب ۶/۳۸ و ۵/۷۳ درصد بود (جدول ۴).

جدول مقایسهٔ 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، به‌طوری که کاهش غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب ۸/۶۷، ۱۸/۷۸ و ۱۶/۶ درصد بود. مقایسهٔ میانگین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ماش نیز نشان داد که در بین تیمار غلظت نانوذرات اعمال‌شده تفاوت معناداری نشان داده شد، به‌طوری که غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین کاهش معنادار را نسبت تیمار غلظت‌های شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به داشته است، به‌طوری‌که این نسبت کاهش در صفت عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۴/۲۹، ۹/۳۹ و ۸/۳۴ درصد بوده است و در صفت شاخص برداشت نیز به‌ترتیب 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	درجهٔ 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 * : به‌ترتیب معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

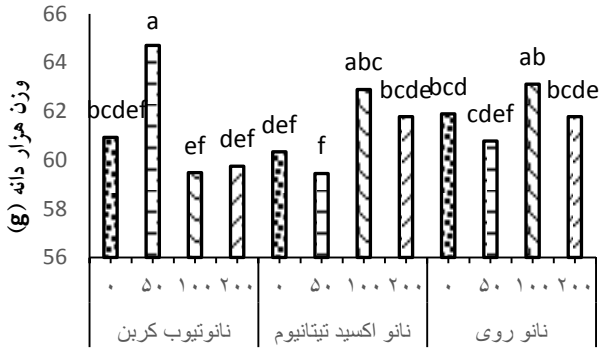
جدول ۴. مقایسهٔ میانگین تأثیرات تیمار نانوذرات و غلظت نانوذرات بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و پروتئین دانهٔ ماش

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

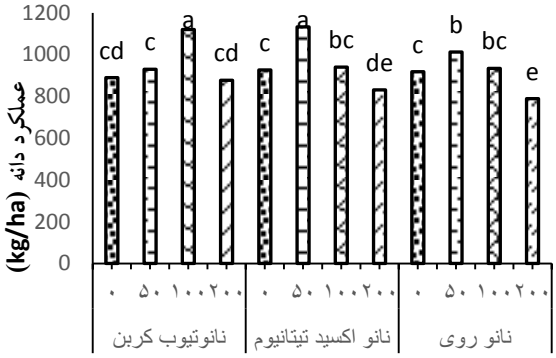
حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، عدم اختلاف معنادار بین تیمارها را نشان می‌دهد (LSD). مقادیر میانگینی از سه تکرارند.

تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه ماش (به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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، به‌ترتیب بیشترین (۱۱۳۲/۲۵ کیلوگرم) و کمترین (۷۸۸/۷۸ کیلوگرم) عملکرد دانه مشاهده شد (شکل ۴). دلیل احتمالی این افزایش و کاهش در عملکرد دانهٔ ماش در هکتار، به‌ترتیب افزایش و کاهش تعداد دانه در هر غلاف از گیاه ماش تحت تیمارهای ذکرشده 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). ازاین‌رو 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).

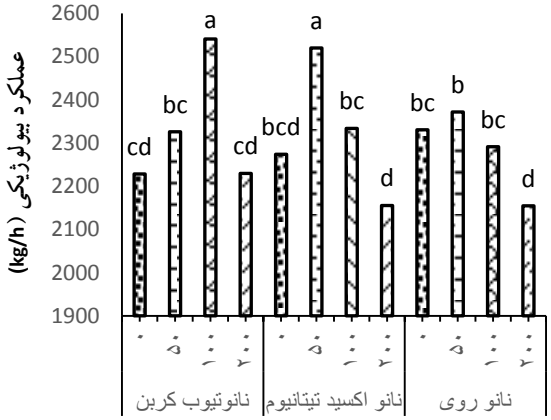


شکل ۳. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر وزن هزار دانه گیاه ماش

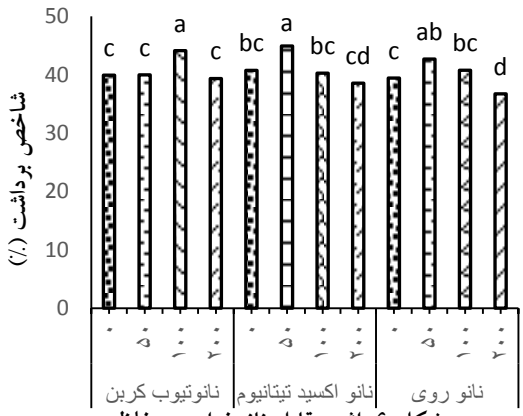


شکل ۴. اثر متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات بر عملکرد دانه گیاه ماش

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.

شاخص برداشت تحت تیمار تأثیرات متقابل نـانوذرات × غلظت نانوذرات قـرار گرفـت، بـه‌طـوری کـه بیشـترین شاخص برداشت مربوط به تیمار غلظت ۵۰ میلـی‌گـرم بـر لیتر نانوذرهٔ نانواکسید تیتانیوم (۴۴/۹ درصد) بود و کمترین شاخص برداشـت در تیمـار نـانوروی تحـت غلظـت ۲۰۰ میلی‌گرم (۳۶/۷ درصد) بر لیتر مشاهده شد (شکل ۶).

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، نانواکسید تیتانیوم، نانوتیوب کربنی چندجداره و به‌خصوص نانوروی، در غلظت‌های متفاوت، تأثیرات مثبت و منفی بر وزن صددانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک 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].

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

اثر محلول‌پاشی نانواکسید تیتانیوم در غلظت‌های صفر، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد بر برخی خصوصیات زراعی گندم تحت شرایط تنش بررسی شد. ذرات نانواکسید تیتانیوم در مراحل ساقه‌دهی و گلدهی (پس از تنش خشکی)، به حجم ۲۴۰ میلی‌لیتر در متر مربع بر روی اندام‌های هوایی گندم افشانده شد [۲]. محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی نانواکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد، ۲۳ درصد افزایش نسبت به عدم محلول‌پاشی 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 ازآنجا 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.

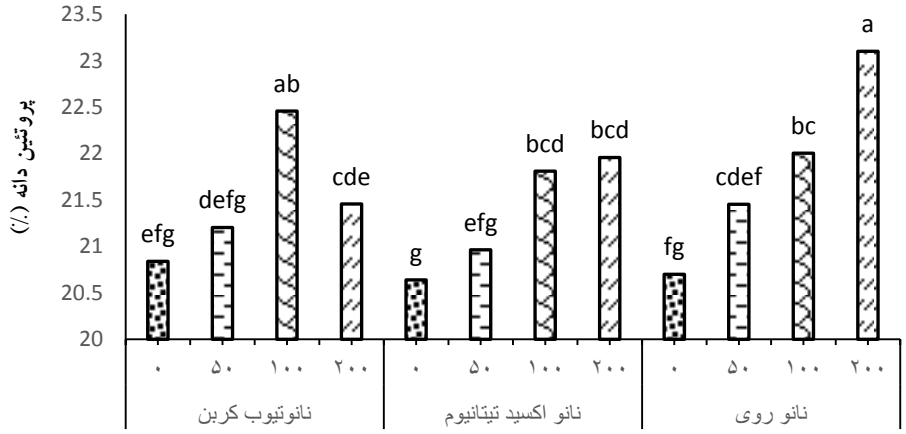
۳.۳. درصد پروتئین دانه

تیمارهای نانوذرات و تأثیرات متقابل نانوذرات × غلظت نانوذرات به‌کاررفته در پژوهش حاضر در سطح احتمال ۵ درصد و غلظت نانوذرات در سطح احتمال ۱ درصد اثر معناداری بر صفت درصد پروتئین دانه نشان دادند (جدول ۳).

مقایسهٔ میانگین درصد پروتئین دانه نشان داد که در بین نانوذرات به‌کاررفته، تیمار نانوروی بیشترین افزایش را در درصد پروتئین دانه داشت، به‌طوری که تیمار نانوروی در مقایسه با تیمارهای نانواکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره به‌ترتیب افزایش معنادار ۲/۲ و ۱/۴۹ درصد داشت (جدول ۴). کمترین مقدار پروتئین دانه تحت غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، در تیمار غلظت نانوذرات مشاهده شد، به‌طوری که غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب 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 میلی‌گرم بر لیتر با ۲۳/۱ درصد، بیشترین تأثیر و افزایش معنادار در مقدار پروتئین دانه را داشت.

تیمار نانوروی تحت غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند بیشترین تأثیر را بر مقدار پروتئین دانه داشته باشد که این افزایش ممکن است به‌علت افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ قندها یا به‌دلیل سنتز پروتئین‌ها و پلی‌پپتیدهای درگیر در سیستم دفاعی سلول در برابر یون [۱۳]، افزایش mRNA [۱۷] و به‌تبع آن افزایش مقدار کل پروتئین باشد (شکل ۶). این احتمال وجود دارد که غلظت‌های زیاد نانوذرهٔ نانوروی، سبب افزایش ترکیبات یادشده و به‌تبع آن افزایش پروتئین در دانهٔ 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 به‌دنبال دارد [۱۵].



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

در بررسی تأثیرات نانوذرات بر مقدار پروتئین گیاهی، پژوهشی دربارهٔ اسفناج تحت تیمار دی‌اکسید تیتانیوم انجام گرفت، به‌طوری که نانواکسید تیتانیوم سبب بهبود رشد و افزایش پروتئین و کلروفیل در اسفناج شد که ممکن است این افزایش در مقدار پروتئین، به‌دلیل بهبود فتوسنتز و همچنین افزایش متابولیسم نیتروژن باشد. این ترکیب فعالیت چند آنزیم نظیر نیترات ردوکتاز، گلوتامات دهیدروژناز و گلوتامین سنتاز را افزایش می‌دهد و موجب تسریع جذب نیترات و تسریع تبدیل نیتروژن معدنی به آلی می‌شود [۳۰].

۴. نتیجه‌گیری

نانوتیوب کربن چندجداره و نانوروی در حضور مقادیر مختلف تیمارهای نانواکسید تیتانیوم، تأثیرات مثبت و منفی بر صفات مورد مطالعه داشتند و عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تأثیر قرار گرفت، به‌طوری که تیمار نانوروی در مقایسه با تیمارهای نانواکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره، بیشترین کاهش معنادار را در عملکرد دانه به‌ترتیب ۴/۶۱ و ۴/۲۶، در عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۵/۰۴ و ۵/۴۶ و در شاخص برداشت، به‌ترتیب ۶/۳۸ و ۵/۷۳ درصد داشت. علت احتمالی این وضعیت تأثیراتی است که روی، بر سنتز و فعالیت برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله ایندول استیک اسید و برخی از آمینواسیدها از قبیل آمینواسید تریپتوفان دارد (جدول ۴). در تیمار غلظت‌های مورد استفاده، غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات به‌کاررفته 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 نانوذرهٔ روی، سبب افزایش درصد پروتئین دانهٔ ماش شد که نسبت به تیمارهای نانواکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره به‌ترتیب افزایش معناداری معادل ۲/۲ و ۱/۴۹ درصد داشت. در بین تیمار غلظت نانوذرات، بیشترین مقدار پروتئین دانه تحت تیمار غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد، به‌طوری که نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب افزایشی معادل ۴/۵۳، ۶/۹۵ و ۰/۳۵ درصد را در درصد پروتئین دانه داشت (جدول ۴).

تنش‌های غیرزنده نظیر فلزات سنگین و نانوذرات، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را القا می‌کنند که در غلظت‌های زیاد برای سلول زیان‌آورند و تولید ترکیباتی

نظیر سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل سبب پراکسیداسیون چربی‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، خسارت به اسیدهای نوکلئیک و تخریب غشاهای سلول می‌شود. ازاین‌رو در بررسی تأثیرات غلظت‌های زیاد نانوذرات استفاده‌شده 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 زیست‌توده می‌شود که متناسب با گونهٔ گیاهی متفاوت است) خاصیت سمی ایجاد می‌کند. این احتمال وجود دارد که همین فرایندها نیز برای غلظت‌های زیاد نانواکسید تیتانیوم و نانوتیوب کربن چندجداره وجود داشته باشد. برای تأیید نتایج این پژوهش، به پژوهش‌های بیشتر در غلظت‌های مختلف و بر گیاهان دیگر نیاز است [۲۵].

منابع

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

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

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

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 نانواکسید تیتانیوم بر برخی خصوصیات کتان (*Linum usitatissimum* L.). دوازدهمین کنگرهٔ علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

۷. نوروزی س (۱۳۹۱) اثر نانوذرات نقره، روی و نانوتیوب کربنی چندجداره بر گره‌بندی، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه باقلا (*Vicia faba* L.). دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ اگرواکولوژی.

8. 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.

9. Barcelo J and Poschenrieder C (1990) Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. Journal of Plant Nutrient. 13: 1-37.

10. 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.

11. 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.

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 $ZnCl_2$ 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 contyledons. 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, Sreeprasad 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.