تأثیر اکسید روی (نانو و معمولی) و قارچ *Glomus intraradices* بر اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف در گیاه لوبیا سبز

زهرا پنام[1*]، علیرضا آستارایی[1] و امیر لکزیان[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۳)

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی اثر اکسید روی (نانو و معمولی) و قارچ *Glomus intraradices* بر اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف در گیاه لوبیا سبز، با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار، در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو سطح گلوموس اینترارادیسز (حضور و عدم حضور)، دو نوع اکسید روی (نانو و معمولی) و چهار سطح اکسید روی (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بودند. نتایج نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی با گلوموس اینترارادیسز تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکرد لوبیا سبز داشتند. غلظت روی، مس و آهن در گیاه، وزن خشک ریشه و ساقه در گلدان، طول ریشه و ساقه در گلدان و وزن ۱۰۰ دانه افزایش یافت. تیمارهای نانوذرات اکسید روی، همه پارامترهای اندازه‌گیری شده را نسبت به تیمارهای اکسید روی معمولی بهبود بخشیدند. همچنین، گلوموس اینترارادیسز تأثیر معنی‌دار مثبتی بر غلظت روی، مس و آهن در گیاه لوبیا سبز داشت.

واژه‌های کلیدی: فناوری نانو، نانوکودها، قارچ گلوموس اینترارادیسز، لوبیا سبز

مقدمه

با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط‌زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (۲۲). استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها، از جمله کشاورزی، در حال گسترش می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در جنبه‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان است (۲). ذرات کودی می‌توانند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند. پوشاندن و سیمانی کردن با ذرات نانو و کوچکتر از نانو، باعث ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی می‌شود (۱۵). فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (۲۱). عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانوذرات اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. نتایج مطالعات موجود بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان به مواد غذایی تهیه شده به شکل نانو می‌باشد (۴۲). برای مثال، در مطالعه ژو و همکاران (۴۲)، در حالی که گیاه *Cucurbita maxima* قادر به جذب، انتقال تجمع مواد نانو در بافت‌های خود بود، جذب و انتقال این مواد توسط گیاه *Phaseolus limensis* انجام نشد. گزارش‌های محدودی مبنی بر تأثیر مثبت مواد غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان، از جمله بادام زمینی (۲۸)، نخود (۲۵)،

۱. گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

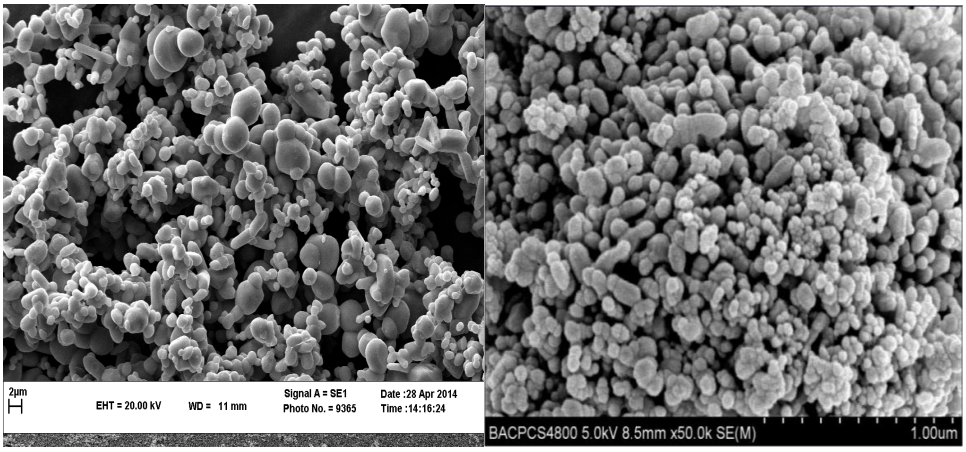
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zahra.panam91@gmail.com

اسفناج (۴۰) و ریحان (۲۶) وجود دارد. تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک و فعالیت‌های کاتالیزوری آنها را تغییر می‌دهد. علاوه بر انحلال‌پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی در این نانوذرات پدیدار می‌گردد (۱۹). از ویژگی‌های منحصر به فرد نانوذرات، نسبت سطح به حجم زیاد آنها است که باعث افزایش درصد اتم‌های موجود در سطح شده (۲۹) که هم می‌توانند به عنوان منبع غذایی مفید و هم به عنوان خطرات زیست‌محیطی مطرح شوند. بنابراین، درک کاملی از مسیرهای اصلی واکنش در تشکیل این مواد در خاک برای کاربرد نانوذرات پایدارتر و ایمن‌تر در کشاورزی حائز اهمیت است (۲۰). از سویی دیگر، عناصر کم‌مصرف برای گیاهان زراعی به عنوان عناصر غذایی ضروری بوده، به طوری که رشد و عملکرد گیاهان را در خاک‌هایی چون خاک‌های آهکی، که با کمبود این عناصر مواجه می‌باشند، کاهش می‌دهند. عنصر روی یکی از هفت عنصر کم‌مصرف ضروری برای رشد محصول بوده و نقش اساسی آن مشارکت در ساختمان ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتئین است و کمبود آن فعالیت چندین آنزیم مهم از جمله فسفاتاز، الکل دی هیدروژناز، دیمیدین کیناز، کربوکسی پپتیداز، DNA و RNA را کاهش می‌دهد (۲۷).

اکسید روی یکی از پنج ترکیب عنصر روی است که توسط سازمان غذا و داروی آمریکا به عنوان یک ترکیب ایمن شناخته شده است (۲۹). نانواکسید روی جزو نانوذرات مهندسی شده است. سرنوشت، انتقال و تحرک نانوذرات روی در خاک بستگی زیادی به شرایط محیطی داشته و شناخت کمی از اثرهای احتمالی نانوذرات در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک وجود دارد (۱۰). امروزه، بشر با دخالت‌های نامتعارف خود از قبیل کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی، سموم و ادوات کشاورزی موجب خسارت‌های جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست و نظام‌های کشاورزی شده است. یکی دیگر از راهکارهای مؤثر برای خروج از این معضل، حرکت به سوی کشاورزی پایدار می‌باشد (۶). در حال حاضر، مصرف کودهای زیستی، مانند قارچ میکوریز، موجب افزایش کیفیت و ثبات عملکرد، به ویژه در گیاهان زراعی، می‌شود. قارچ میکوریز در مقایسه با کودهای شیمیایی برتری‌های چشمگیری دارد. این قارچ‌ها با ایجاد ارتباط همزیستی با گیاهان، بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه میزبان تأثیر گذاشته و موجب بهبود رشد و نمو آن می‌شود (۷). قارچ‌های میکوریز آربسکولار در بین میکروارگانیسم‌هایی که محیط ریزوسفر را اشغال می‌کنند، منحصر به فرد هستند. این قارچ‌ها اجتماعات همزیستی را با ریشه اکثر گیاهان تشکیل می‌دهند و علاوه بر افزایش مواد غذایی معدنی در گیاه، می‌توانند با تحریک مواد تنظیم کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و شوری، موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی شوند (۳۰). رابطه همزیستی بین قارچ میکوریزا آربسکولار و ریشه‌های گیاه میزبان به میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصرغذایی گیاه را افزایش می‌دهد (۹). این واکنش‌های مثبت ایجاد شده توسط همزیستی میکوریز آربسکولار را به افزایش جذب یون‌های کم تحرک خاک از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز توسط قارچ میکوریز آربسکولار و انتقال آنها به گیاه میزبان نسبت می‌دهند (۱۵). به طور کلی، گیاهان میکوریزایی مقادیر بیشتری از عناصر کم‌مصرف را از خاک جذب می‌کنند که این عناصر نقش مهمی در بهبود فرایند تثبیت نیتروژن ایفا می‌کنند (۲۳). احتمالاً اکسید روی نانو و معمولی و قارچ میکوریز می‌توانند تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاه لوبیا سبز داشته باشند. در پژوهش حاضر، تأثیر نوع ذرات اکسید روی (نانو و معمولی) و قارچ گلوموس اینترارادیسز بر خصوصیات رشدی گیاه لوبیا سبز و همچنین عناصر کم‌مصرف گیاه، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر اکسید روی نانو و معمولی و قارچ میکوریز آربسکولار بر اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف



شکل ۱. میکروگراف الکترونی نگاره اکسید روی نانو (الف) و اکسید روی معمولی (ب)

در گیاه لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط گلخانه انجام شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی به صورت آزمایش فاکتوریل با ۱۶ تیمار شامل تیمار قارچ میکوریزی گلوموس اینترارادیسز در دو سطح (حضور و عدم حضور)، تیمارهای اکسید روی نانو و معمولی هر یک در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با شش تکرار (سه تکرار برای هر مطالعه اندام‌های هوایی و ریشه) انجام شد.

نانواکسید روی از شرکت پیشگامان نانو تهیه شد که خصوصیات آن شامل خلوص ۹۹٪، میانگین اندازه ذرات nm ۱۰-۳۰ و سطح ویژه $20-60 m^2/g$ بود. اکسید روی معمولی با خلوص ۹۹٪ از شرکت کیمیا نوین تهیه شد و میانگین اندازه ذرات آن حدود µm ۲ بود. جهت تهیه غلظت‌های مورد نظر، ابتدا میزان لازم از اکسید روی نانو و معمولی توزین و در آب دیونیزه قرار داده شد. به منظور تهیه سوسپانسیون یکنواخت از دستگاه اولتراسوند (مدل VCX۷۵۰ ساخت شرکت Sonics کشور آمریکا) با امواج ۳۰۰W و ۴۰kHz به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد (۱۱). قبل از انجام آزمایش، ابتدا اندازه ذرات اکسید روی نانو و معمولی توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) (مدل VP 1450 ساخت شرکت لئو آلمان) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد تعیین شد (شکل ۱).

آماده سازی بستر کشت

برای انجام آزمایش، حدود ۱۵۰ کیلوگرم نمونه خاک استریل شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر مزرعه دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، انتخاب شده و پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک بر اساس روش‌های استاندارد بین المللی اندازه‌گیری شد، که در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای اکسید روی نانو و معمولی بر اساس تیمارهای آزمایشی به طور جداگانه توزین شده و پس از مخلوط کردن هر یک با مقداری ماسه بادی با خاک مخلوط شد و سپس خاک تیمار شده به گلدان‌هایی به حجم چهار کیلوگرم منتقل گردید. انتخاب میکوریز، جنس گلوموس و گونه اینترارادیسز با توجه به چند نکته انجام گرفت:

- جنس گلوموس، بیشترین پراکندگی را در نظام‌های زراعی در مقایسه با سیستم‌های طبیعی دارا می‌باشد.
- تشکیل اندام قارچی به نام وزیکول که اهمیت غذایی برای گیاه میزبان دارد، در این جنس به اثبات رسیده است.
- گلوموس اینترارادیسز در بیشتر مناطق ایران وجود داشته و مراحل تهیه و تکثیر آن به خوبی شناخته و تشریح شده است (۱).
- گونه گلوموس اینترارادیسز به سطوح زیاد عناصر غذایی مقاوم است. لذا برای مطالعه حاضر مناسب است (۳۶ و ۳۹).
- گونه گلوموس اینترارادیسز تا به حال موضوع مطالعات بسیاری بوده است.

-

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش

بافت خاک	فسفر	پتاسیم	روی	آهن	مس	pH	EC	نیتروژن	کربن آلی
	(mg/kg)						(dS/m)		(٪)
شن لومی	۱۴/۹	۲۶۴	۰/۵	۶/۰۱	۱/۱	۷/۸	۱/۱	۰/۰۴۷	۸ ۰/۳۵۱

مایه تلقیح قارچ مورد نظر از شرکت زیست فناوران تـوران واقـع در نیشـابور تهیـه شـد. بـرای اعمـال تیمـار قـارچ‌هـای میکوریز، قبل از کاشت، خاک رویی گلدان را به اندازه سـه تـا چهار برابر عمق کاشت بذر کنـار زده و مقـدار ۲۰ گـرم قـارچ گلوموس اینترارادیسز به صورت یک لایه به خاک هـر گلـدان اضافه شد.

غلظت عناصر کم‌مصرف در گیاه

پـس از اسـتریل کـردن بـذرها، تعـداد ۸ بـذر لوبیـا سـبز بـا فاصله‌های یکسان و در عمق ۲ سانتی‌متری در هـر گلـدان در اول شهریور ماه ۱۳۹۲ کشت شده و سپس گلدان‌ها به مـدت سه ماه در شرایط ظرفیت زراعی در گلخانه نگهداری شـدند. آبیاری گلدان‌ها تا مرحله تشکیل غلاف و کامـل شـدن لوبیـا بـا آب شـهری انجـام گردیـد. سـه هفتـه پـس از کاشـت، گیاهچـه‌هـا در هـر گلـدان بـه ۳ عـدد تنـک شـدند. وجـین علف‌های هرز نیز در طول دوره رشد به صورت دستی انجـام شد. قبل از برداشت گیاه (۹۰ روز پـس از کشـت) برخـی از خصوصیات رشدی گیاه مثل طول ساقه در هر گلدان ثبـت و بعد از برداشت گیاهان، طـول ریشـه گیاهـان در هـر گلـدان تعیین شد. ابتدا، خاک گلدان‌های سه تکـرار را درون سـطل-هـای حـاوی آب قـرار داده و پـس از خـارج کـردن کامـل ریشه‌های هر گلدان، طول آنها اندازه گیری شد. سپس بـا آب معمولی و در نهایت با آب مقطر شستشو شـده و ریشـه‌هـا و اندام‌های هوایی به صورت مجزا در داخل پاکت‌های کاغـذی به آزمایشگاه منتقل و آنها را در آون با دمای $70^{\circ}C$ بـه مـدت ۴۸ سـاعت قـرار داده و پـس از خشـک شـدن کامـل، وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی گیاهـان در گلـدان و وزن ۱۰۰ دانه لوبیا تعیین شد. نمونه‌های خشک شده گیـاهی را پـس از خرد کردن، با آسیاب برقی آسیاب نمـوده و بـرای هضـم تـر نمونه‌ها و تجزیه شیمیایی نگهـداری شـدند. پـس از آسـیاب کردن نمونه‌های گیاهی، به روش هضـم تـر (هضـم بـا اسـید نیتریک و اسید پرکلریک) عصاره گیـری شـده (۳۱) و فسـفر نمونه‌هـای گیـاهی بـه روش مولیبـدات آمونیـوم بـا دسـتگاه اسـپکتروفتومتر (مـدل wpA s2000 spectrophotometer uv/vis) تعیـین گردیـد (۳۲). جهـت تعیـین مقـدار پتاسـیم نمونه‌های گیاهی، از دسـتگاه شـعله‌سـنج (مـدل JENWAY PFPv) اسـتفاده شـد (ریچـارد، ۱۹۵۴). بـرای انـدازه‌گیـری نیتروژن، پس از هضم گیاه در بالن‌های هضـم، بـا اسـتفاده از کاتالیزور مخلوط و اسید سـولفوریک غلـیظ توسـط دسـتگاه کجلـدال مقـدار آن تعیـین شـد (۲۴). جهـت تعیـین غلظـت عناصر آهن، روی و مس با استفاده از روش هضم تر گیاه بـا اسید نیتریک و پرکلریک عصاره‌گیری (۳۱) و غلظـت عناصـر کم‌مصرف آهن، روی و مس در عصـاره حاصـل بـا دسـتگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu, AA-۶۷۰) در طیف خـاص هـر عنصر اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری

نتایج به‌دست آمده با اسـتفاده از نـرم‌افـزار آمـاری Minitab ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتـه و مقایسـه میـانگین داده‌هـای آزمایشی با آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ و بـا اسـتفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۲، تأثیر قارچ گلوموس اینترارادیسـز بـر گیـاه لوبیا نشان داد که کاربرد این قارچ موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه (معادل ۳۴/۴ درصد)، وزن خشک اندام هـوایی در

جدول ۲. اثر قارچ گلوموس اینترارادیسز (حضور و عدم حضور) بر شاخص‌های رشد

قارچ	وزن خشک ریشه (g/pot)	وزن خشک اندام هوایی (g/pot)	طول ریشه در گلدان (cm)	طول ساقه در گلدان (cm)	وزن صد دانه (g/pot)
بدون حضور	۰/۲b	۱/۷b	۲۳/۷b	۱۲/۶b	۶/۴b
با حضور	۰/۳a	۲/۳a	۲۵/۴a	۱۴/۱a	۷/۶a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.

جدول ۳. اثر نوع اکسید روی(نانو و معمولی) بر شاخص‌های رشد

نوع اکسید روی	وزن خشک ریشه (g/pot)	وزن خشک اندام هوایی (g/pot)	طول ریشه در گلدان (cm)	طول ساقه در گلدان (cm)	وزن صد دانه (g/pot)
نانو	۰/۳a	۲a	۲۵a	۱۳/۴a	۷/۲a
معمولی	۰/۳b	۱/۹b	۲۴/۲b	۱۳/۴a	۶/۸b

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.

گلدان (معادل ۳۹/۴ درصد)، طول ریشه (معادل ۷/۲ درصد)، طول ساقه (معادل ۱۱/۶ درصد) و وزن ۱۰۰ دانه (معادل ۱۷/۹ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ (شاهد) ($P\leq$۰/۰۵) شد که این افزایش رشد گیاه احتمالاً به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک با کاربرد قارچ می‌باشد. تاسانگ و مایوم (۳۷) گزارش کردند که نوعی گیاه لوبیای وحشی تلقیح شده با گونه *G. mosseae* به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان غیر میکوریزیی داشت. قارچ میکوریز آربسکولار نیز به دلیل افزایش سطح ریشه‌ها از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک و در نتیجه دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی می‌شود (۳۵)، که این امر موجب فتوسنتز بیشتر، بهبود رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش زیست‌توده گیاه و عملکرد دانه گیاه می‌گردد. نتایج تحقیق مارولانـدا و همکاران (۱۸) روی گیاه اسطوخودوس میکوریزی شده، حاکی از آن بود که سویه‌های بومی مقاوم به خشکی *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*، رشد ریشه را به ترتیب به میزان ۳۵ و ۱۰۰ درصد افزایش دادند. ابوالنصر (۸) گزارش کرد که تلقیح کدو تخم پوست کاغذی (*Cucurbita Pepo* L.) با *Glomus intraradices*، سبب افزایش طول ریشه در مقایسه با گروه شاهد شد. علی‌آبادی فراهانی و همکاران (۳) گزارش کردند که کاربرد میکوریز (*Glomus hoi*) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و طول ریشه گشنیز (*Coriandrum Sativum* L.) شد.

تیمار اکسید روی نانو نیز سبب افزایش معنی‌دار خصوصیات رشدی گیاه لوبیا، از جمله وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و وزن ۱۰۰ دانه نسبت به تیمار اکسید روی معمولی شد ($p\leq$۰/۰۵) (جدول ۳)، به طوری که وزن خشک اندام هوایی معادل ۵/۲ درصد و وزن صد دانه معادل ۵/۸ درصد نسبت به تیمار اکسید روی معمولی افزایش معنی داری نشان دادند که احتمالاً به دلیل حلالیت بیشتر ذرات نانو و افزایش شانس برخورد ریشه به این ذرات بود. در مطالعه پیوندی و همکاران (۲۰۱۱) نانو کلات آهن در مقایسه با شکل معمول آن تأثیر بیشتری بر رشد گیاه ریحان نشان داد. همچنین پندی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که مصرف نانوذرات اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه نسبت به شکل معمول آن می‌شود. با توجه به قطر نانوذرات انتظار می‌رود سرعت جذب،

جدول ۴. اثر سطوح اکسید روی بر شاخص‌های رشد

سطح اکسید روی (mg/kg)	وزن خشک ریشه (g/pot)	وزن خشک اندام هوایی (g/pot)	طول ریشه در گلدان (cm)	طول ساقه در گلدان (cm)	وزن صد دانه (g/pot)
صفر	۰/۲۹c	۱/۶۴d	۲۳/۱۷c	۱۱/۵۳d	۷/۲۴b
۵۰	۰/۳۶b	۲/۱۲b	۲۴/۹۸b	۱۳/۶۲b	۷/۰۹b
۱۰۰	۰/۴۵a	۲/۵۶a	۲۷/۰۹a	۱۵/۷۰a	۸/۰۲a
۲۰۰	۰/۲۸c	۱/۸۲c	۲۳/۱۵c	۱۲/۸۷c	۵/۸۱c

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

جدول ۵. اثر قارچ گلوموس اینترارادیسز (با و بدون) بر غلظت روی، مس و آهن در گیاه لوبیا سبز

قارچ	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)
بدون حضور	۳۶/۵b	۵/۹b	۱۶/۶۸a
با حضور	۴۰/۷a	۶/۹a	۱۵/۸۳b

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. بیشتر بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثر گذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (مونیکا و کرمونینی، ۲۰۰۹).

با توجه به جدول ۴ اثر مقادیر اکسید روی بر وزن خشک ریشه در گلدان، وزن خشک اندام هوایی در گلدان، طول ریشه در گلدان، طول ساقه در گلدان و وزن صد دانه معنی‌دار شد ($p\leq$۰/۰۵). متناسب با افزایش مقادیر اکسید روی تا غلظت ۱۰۰ mg/kg، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه در گلدان، طول ساقه در گلدان و وزن صد دانه در ابتدا افزایش و سپس در غلظت ۲۰۰ mg/kg کاهش یافت. نتایج تحقیقات لی و همکاران (۲۰۰۸) و ون و همکاران (۱۹۸۸) نشان داد که روی در غلظت‌های زیاد می‌تواند سبب کاهش رشد ریشه، جذب مواد غذایی و کلروفیل در گیاه شود که به علت کاهش جذب مواد غذایی توسط ریشه‌ها و کاهش فتوسنتز گیاه، مقدار رشد گیاه کاهش یافته است. تحت شرایط ویژه رشد، گیاهان می‌توانند عناصر ضروری و غیر ضروری را بیشتر از نیازشان جذب کنند و در نتیجه سبب سمیت در گیاه شوند (کی و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج آزمایشات لوپز مورنو و همکاران (۲۰۱۰) و دیمیتریوس و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های زیاد سبب کاهش رشد، کوتاه، باریک و قهوه‌ای شدن ریشه‌ها می‌گردند. بنابراین وقتی رشد ریشه‌ها کاهش یابد جذب مواد غذایی و در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد و در مجموع این عوامل می‌تواند سبب کاهش عملکرد شود.

با توجه به جدول ۵ قارچ گلوموس اینترارادیسز باعث افزایش معنی‌دار میزان جذب روی و مس گیاه شد در حالی که مقدار آهن گیاه دچار کاهش شد ($P\leq$۰/۰۵) که احتمالاً به دلیل اثر رقابتی عنصر روی و آهن باشد.

نتایج نشان داد که کاربرد پودر اکسید روی نانو نسبت به اکسید روی معمولی افزایش معنی‌داری در غلظت روی گیاه داشت که احتمالاً به دلیل خاصیت نانوذرات و حلالیت و شانس برخورد بیشتر ریشه‌ها به ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید روی معمولی می‌باشد. همچنین، اثر نوع اکسید روی بر غلظت آهن و مس گیاه نیز معنی‌دار شد (جدول ۶). غلظت روی نسبت به دو عنصر مس، و به ویژه آهن، در گیاه با کاربرد اکسید روی نانو نسبت به اکسید روی معمولی بیشتر تحت تأثیر

جدول ۶. اثر نوع اکسید روی (نانو و معمولی) بر غلظت روی، مس و آهن (mg/kg) در گیاه لوبیا سبز.

نوع اکسید روی	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)
نانو (۳۰-۱۰ nm)	۳۹/۱a	۶/۶a	۱۶/۶۴a
معمولی(۱ µm)	۳۸/۱b	۶/۲b	۱۵/۹۱b

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

جدول ۷. اثر سطوح اکسید روی بر غلظت عناصر روی، مس و آهن گیاه لوبیا.

سطح اکسید روی (mg/kg)	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)
صفر	۲۹/۲۱d	۵c	۹/۳۱d
۵۰	۳۱c	۶/۱۱c	۱۶/۵۵b
۱۰۰	۳۹b	۶/۷۶b	۲۴/۸۳a
۲۰۰	۵۵/۳۴a	۷/۹۲a	۱۴/۴۲c

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

قرار گرفت. این امر احتمالاً به دلیل حلالیت بیشتر اکسید روی نانو نسبت به اکسید روی معمولی بوده که باعث ایجاد رقابت بین جذب عنصر روی و عناصر آهن و مس توسط گیاه شده است. تحقیقات فراوانی حاکی از افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی، از جمله گلرنگ، در اثر کاربرد کودهای حاوی عناصر کم‌مصرف گزارش شده است (۵، ۱۹، ۳۴ و ۴۱).

تأثیر سطوح اکسید روی بر غلظت عناصر روی، آهن و مس نشان داد (جدول ۷) که متناسب با افزایش سطوح اکسید روی، غلظت روی گیاه نیز افزایش معنی‌داری دارد ($P\leq$۰/۰۵). حداکثر افزایش غلظت روی گیاه در سطح mg/kg ۲۰۰ و حداقل آن در تیمار شاهد مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بود. افزایش غلظت روی گیاه با افزایش سطوح اکسید روی، احتمالاً به دلیل توانایی پودر اکسیدی در فراهمی روی قابل جذب گیاه در شرایط آزمایش و نیز تأثیر ریشه و مکانیسم‌های اتخاذی گیاه در جذب روی از پودر اکسیدی می‌باشد (۱۹). غلظت عنصر مس در گیاه با افزایش سطوح اکسید روی افزایش یافت. اما عنصر آهن در سطح mg/kg ۲۰۰ دچار کاهش شد، که ممکن است به دلیل اثر متقابل منفی با عنصر روی باشد. افزایش غلظت دو عنصر مس و روی در گیاه، با افزایش سطح اکسید روی، احتمالاً به دلیل حلالیت بیشتر نانواکسید روی و بنابراین افزایش جذب آن توسط گیاه از خاک می‌باشد (۱۹).

اثر متقابل نوع اکسید روی (نانو و معمولی) و مقادیر آن و قارچ گلوموس اینترارادیسز در جدول ۸ نشان داده شده است. بر این اساس، صفاتی نظیر وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه در گلدان، طول ساقه در گلدان و وزن ۱۰۰ دانه تحت تأثیر قرار گرفتند ($P\leq$۰/۰۵). بیشترین وزن خشک ریشه در گلدان در نانو mg/kg ۱۰۰ به همراه کاربرد قارچ مشاهده شد که این امر نشان می‌دهد این تیمار باعث تحریک رشد ریشه لوبیا شده است. کمترین مقدار آن در نانو mg/kg ۲۰۰ بدون کاربرد قارچ (شاهد) دیده شد و نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار بود. حداکثر وزن خشک اندام هوایی در غلظت mg/kg ۱۰۰ به همراه کاربرد قارچ و کمترین مقدار آن در تیمار اکسید روی نانو و معمولی شاهد بدون کاربرد قارچ حاصل شد که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. بیشترین مقدار طول ریشه در گلدان در اکسید روی نانو mg/kg ۱۰۰ به همراه کاربرد قارچ و کمترین مقدار طول ریشه در گلدان در نانو mg/kg ۲۰۰ بدون کاربرد قارچ مشاهده

جدول ۸. اثر متقابل اکسید روی (نانو و معمولی) و سطوح آن و قارچ گلوموس اینترارادیسز بر شاخص‌های رشد گیاه لوبیا

تیمارهای آزمایشی			وزن خشک ریشه (g/pot)	وزن خشک اندام هوایی (g/pot)	طول ریشه در گلدان (cm)	طول ساقه در گلدان (cm)	وزن ۱۰۰ دانه (g)
قارچ	نوع اکسید روی	سطح اکسید روی (mg/kg)					
با حضور	نانو	صفر	۰/۳۲defg	۱/۹۵e	۲۳/۷۴fgh	۱۱/۹۹h	۶/۵۱gh
		۵۰	۰/۴۴bc	۲/۸۰b	۲۵/۷۲bcd	۱۴/۵۵bc	۶/۹۸def
		۱۰۰	۰/۶۰a	۳/۰۳a	۳۱/۱۱a	۱۷/۰۰a	۹/۹۶a
		۲۰۰	۰/۳۰efghi	۲/۴۲c	۲۳/۸۳fgh	۱۲/۸۱efg	۶/۲۷hi
	معمولی	صفر	۰/۳۲efgh	۱/۹۰e	۲۳/۸۸fg	۱۲/۳۹gh	۷/۲۰de
		۵۰	۰/۳۷cde	۲/۲۰d	۲۵/۱۸cde	۱۳/۸۳d	۸/۹۳b
		۱۰۰	۰/۴۷b	۲/۸۳b	۲۶/۴۸b	۱۶/۷۰a	۷/۷۵c
		۲۰۰	۰/۳۳defg	۱/۸۴ef	۲۳/۷۲fgh	۱۴/۰۷cd	۵/۲۶j
بدون حضور	نانو	صفر	۰/۳۲h	۱/۳۶h	۲۲/۷۳hij	۱۱/۰۱i	۷/۸۱c
		۵۰	۰/۳۱j	۱/۷۵fg	۲۴/۷۵def	۱۳/۱۶e	۵/۹۲i
		۱۰۰	۰/۳۷f	۱/۹۵e	۲۶/۰۸bc	۱۴/۷۹b	۷/۴۳cd
		۲۰۰	۰/۲۶k	۱/۳۴h	۲۱/۹۱j	۱۲/۰۲h	۵/۱۲j
	معمولی	صفر	۰/۴۰d	۱/۳۷h	۲۲/۳۵ij	۱۰/۷۱i	۵/۳۵j
		۵۰	۰/۳۳g	۱/۷۳ifg	۲۴/۲۸ef	۱۲/۹۶ef	۶/۵۱gh
		۱۰۰	۰/۳۹d	۲/۴۲c	۲۴/۶۷def	۱۴/۳۱bcd	۶/۹۴efg
		۲۰۰	۰/۳۰f	۱/۶۷g	۲۳/۱۴ghi	۱۲/۵۷fg	۶/۶۰fgh

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

شد که تفاوت آن با سایر تیمارها معنی‌دار شد. حداکثر مقدار طول ساقه در گلدان در نانو ۱۰۰ mg/kg به همراه کاربرد قارچ بود و حداقل مقدار آنها در اکسید روی معمولی شاهد حاصل شد که نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشتند. حداکثر مقدار وزن ۱۰۰ دانه در نانو ۱۰۰ mg/kg به همراه قارچ به دست آمد و حداقل مقدار وزن ۱۰۰ دانه در نانو ۲۰۰ mg/kg بدون کاربرد قارچ تعیین شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد.

اثر متقابل قارچ گلوموس اینترارادیسز، نوع اکسید روی و مقادیر اکسید روی بر غلظت روی، آهن و مس در گیاه لوبیا سبز معنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۵$). غلظت روی گیاه در تیمار اکسید روی ۲۰۰ mg/kg با کاربرد قارچ گلوموس اینترارادیسز حداکثر بود که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۹). حداقل غلظت روی گیاه در تیمار اکسید روی نانو ۵۰ mg/kg و بدون قارچ مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بود (جدول ۹). با افزایش مقادیر اکسید روی در تیمارهای اکسید روی نانو ۲۰۰ mg/kg با قارچ گلوموس اینترارادیسز، غلظت مس نیز افزایش داشت. بیشترین مقدار آهن گیاه در مقدار ۱۰۰ mg/kg به همراه کاربرد قارچ به دست آمد. بر اساس نتایج، احتمالاً به دلیل کوچک بودن ذرات اکسید روی نانو، این ذرات کمپلکس‌های بیشتری نسبت به اکسید روی معمولی با قارچ گلوموس اینترارادیسز تشکیل داده و با

جدول ۹. اثر متقابل قارچ گلوموس اینترارادیسز و نوع و سطح اکسید روی بر غلظت عناصر روی، مس و آهن در گیاه لوبیا

تیمار قارچ	نوع اکسید روی	سطح اکسید روی (mg/kg)	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)
با حضور	نانو	صفر	۳۰/۶h	۵/۴hi	۹/۷g
		۵۰	۳۰/۹h	۷/۱cde	۲۲/۲cd
		۱۰۰	۴۳/۲d	۷/۶bcd	۲۸/۲a
		۲۰۰	۶۱/۴a	۸/۶a	۷/۷g
	معمولی	صفر	۳۰/۶h	۵/۴h	۹/۷g
		۵۰	۳۳/۸g	۶/۲fg	۱۳/۶f
		۱۰۰	۴۱/۳e	۷def	۲۵/۳b
		۲۰۰	۵۴/۱b	۷/۹abc	۱۰/۱g
بدون حضور	نانو	صفر	۲۸/۱i	۴/۶ij	۹/۴g
		۵۰	۲۸i	۵/۱hij	۱۶/۴e
		۱۰۰	۳۶/۸f	۶/۵efg	۲۴bcd
		۲۰۰	۵۳/۹b	۸/۱ab	۱۵/۱ef
	معمولی	صفر	۲۸/۱i	۴/۵j	۸/۳g
		۵۰	۳۱/۳h	۵/۷gh	۱۳/۸ef
		۱۰۰	۳۴/۸g	۵/۸gh	۲۱/۶d
		۲۰۰	۵۱/۷c	۷def	۲۴/۵bc

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند

این تفسیر، حلالیت روی بیشتر شده و جذب روی توسط گیاه راحت تر انجام گرفته است. همچنین، اثر متقابل قارچ گلوموس اینترارادیسز و دو نوع اکسید روی بر غلظت عنصر آهن، و به ویژه روی، در گیاه نشان می‌دهد که غلظت این دو عنصر در تیمار اکسید روی نانو با قارچ نسبت به اکسید روی معمولی با قارچ، به مراتب کمتر بوده که احتمالاً به دلیل حلالیت بیشتر روی در تیمار اکسید روی نانو و اشغال سایت‌های عمومی ریشه و رقابت آنها با روی برای جذب این عناصر می‌باشد. غلظت این عناصر در گیاه در هر دو نوع اکسید روی همراه با قارچ نسبت به تیمارهای اکسید روی بدون قارچ افزایش داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، کاربرد اکسید روی نانو نسبت به اکسید روی معمولی تأثیر بیشتری بر افزایش شاخص‌های رشد شامل وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گلدان، طول ریشه و ساقه در گلدان و وزن ۱۰۰ دانه در مقدار ۱۰۰ mg/kg داشته است که نشانگر نقش بارز اکسید روی نانو می‌باشد. این امر احتمالاً به دلیل خصوصیت این مواد از جمله سطح ویژه زیاد، حلالیت زیاد و سایر خصوصیات آنها بوده که لازم است بیشتر مورد بررسی قرار گیرند. استفاده از هر دو نوع اکسید روی منجر به افزایش غلظت روی، مس و آهن در گیاه شد که این افزایش در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار شد. همانطور که در

این تحقیق مشاهده شد، با کاربرد اکسید روی نانو در خاک، غلظت روی در گیاه نسبت به اکسید روی معمولی افزایش بیشتری داشت. کاربرد قارچ گلوموس اینترارادیسز سبب افزایش معنی‌دار غلظت روی، مس و آهن در گیاه شد که می‌توان علت آن را افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه دانست. اکسید روی نانو به همراه قارچ، اثر بهتری بر بیشتر صفات مورد مطالعه در گلدان، از جمله وزن خشک ریشه در گلدان، وزن خشک اندام هوایی در گلدان، طول ساقه در گلدان و وزن ۱۰۰ دانه نسبت به زمانی که با اکسید روی معمولی به‌کار برده شد، داشت. با توجه به این مطالعه، قارچ گلوموس اینترارادیسز به دلیل فواید آن و این که منبع ارزان‌تری برای فراهمی عناصر غذایی است، می‌تواند به عنوان جایگزین مناسبی در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی در خاک‌ها باشد. از طرفی، کاربرد نانو اکسید روی به دلیل سطح ویژهٔ خیلی زیاد و حلالیت زیاد می‌تواند نقش به‌سزایی در فراهمی عناصر کم‌مصرف برای گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه داشته باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئول گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد برای تمامی حمایت‌ها از این پژوهش قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

۱. رجالی، ف.، ع. علیزاده، م. ج. ملکوتی، ن. صالح راستین، ک. خاوازی و ا. اصغر زاده. ۱۳۸۵. تکثیر *Glomus intraradices* و تهیه مایه تلقیح آن قارچ به روش کشت درون شیشه‌ای. مجله علوم خاک و آب ۲۰(۲): ۲۷۳-۲۸۳.

۲. رضایی، ر.، س. م. حسینی، ح. شعبانعلی قمی و ل. صفا. ۱۳۸۸. شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه سیاست علم و فناوری ۲(۱): ۱۷-۲۶.

۳. علی آبادی فراهانی، ح.، م. ح. لباسچی، ا. ح. شیرانی راد، ع. ولد آبادی، آ. حمیدی، ج. دانشیان، ب. عباس زاده و ع. علیزاده سهزابی. ۱۳۸۶. تأثیر کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار (*Glomus hoi*)، سطوح مختلف فسفر و تنش خشکی بر تعدادی از صفات گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). خلاصه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، ۲۵ و ۲۶ مهرماه، گرگان ، ص۸۳.

۴. غلامی، ا. و ع. کوچکی. ۱۳۸۰. میکوریز در کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه شاهرود، ۲۱۲ صفحه.

۵. قدسی، ع.، ع. آستارایی ، ح. امامی و م. ه. میرزاپور. ۱۳۹۱. تأثیر نانو اکسید آهن و کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه آفتابگردان درخاک شور سدیمی. علوم محیطی ۹(۳): ۱۱۱-۱۱۸.

۶. مظاهری نیا، س.، ع. آستارایی ، ا. منشی و ا. فتوت. ۱۳۹۱. مقایسه اثر اکسیدهای آهن (نانو و معمولی) همراه با کمپوست زباله شهری بر تغذیه گیاه گندم. پژوهش و سازندگی (زراعت) ۲۵(۳): ۱۰۳-۱۱۰ .

۷. نادیان، ح. ۱۳۷۷. نقش میکوریز در کشاورزی پایدار. پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، صفحات ۳-۴.

8. Aboul-Nasr, A.1998. Effects of inoculation with *Glomus intraradices* on growth, nutrient uptake and metabolic activities of squash plants under drought stress conditions. Ann. Agric. Sci. Cairo 1: 119-133.

9. Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.

10. Ben-Moshe, T., S. Frenk, I. Dror, D. Minz and B. Berkowitz. 2013. Effects of metal oxide nanoparticles on soil properties. Chemosphere 90(2): 640-646.

11. Boonyanitipong P., B. Kositsup, P. Kumar, S. Baruah and J. Dutta. 2011. Toxicity of ZnO and TiO_2 nanoparticles

on germinating rice seed *Oryza sativa* L. Int. J. Biosci. Biochem. Bioinform. 1: 282-285.
12. Dimitrioss, T., S. Saionk and C.W. Jason. 2009. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. J. Environ. Sci. Technol. 43: 9473-9479.
13. Ke, W.S., Z.T. Xiong, S. Chen and J. Chen. 2007. Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicas* populations from a copper mine and an uncontaminated field site. J. Environ. Exp. Bot. 59: 59-67.
14. Lee, W.M., Y.J. An, H. Yoon and H.S. Kweon. 2008. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiates*) and wheat (*Triticum aestivum*): Plant agar test for water-insoluble nanoparticles. J. Environ. Toxicol. Chem. 27: 1915-1921.
15. Liu, A., C. Hamel, R.I. Hamilton, B.L. Ma and D.L. Smith. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhizae 9: 331-336.
16. Liu, W.T. 2006. Nanoparticles and their biological and environmental application. J. Biosci. Bioeng. 102: 1-7.
17. López-Moreno, M. L., G. De la Rosa, J.A. Hernandez-Viezcas, J.R. Peralta-Videa and J.L. Gardea-Torresdey. 2010. X-ray absorption spectroscopy (XAS) corroboration of the uptake and storage of CeO_2 nanoparticles and assessment of their differential toxicity in four edible plant species. J. Agric. Food Chemistry 58 (6): 3689-3693.
18. Marulanda, A., R. Porcel, J.M. Barea and R. Azcon. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive Glomus Species. Microb. Ecol. 54: 543-552.
19. Mazaherinia, S., A.R. Astaraei, A. Fotovat and A. Monshi. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl. Sci. J. 7(1): 36-40.
20. Milani, N.A.E. and M.J. McLaughlin. 2010. Fate of nanoparticulate zinc oxide fertilizers in soil: Solubility, diffusion and solid phase speciation. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.
21. Monica, R.C. and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryol. 62: 161-165.
22. Naderi, R. and A. Abedi. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. J. Nanotech. 11(1): 18-26. (In Persian with English Summary).
23. O`Hara, G.W., M.J. Dilworth, N. Boonkerd and P. Parkpian. 1988. Iron deficiency specifically limits nodule development in peanut inoculated with *Bradyrhizobium sp*. New Phytol. 108: 51-57.
24. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Kenny. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., ASA, SSSA, Madison, WI, USA.
25. Pandey, AC., S.S. Sanjay, and R.S. Yadav. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. J. Exp. Nanosci. 5: 488-497.
26. Peyvandi, M., H. Parande and M. Mirza. 2011. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. New Cell Mol. Biotech. 4: 89-99. (In Persian).
27. Prasad, A.S. 1984. Discovery and importance of zinc in human nutrition. Feed Process. 43: 2829-2834.
28. Prasad, T.N.V.K.V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreeprasad, P.R. Sajanlal and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. J. Plant Nutr. 35: 905-927.
29. Premanathan, M., K. Karthikeyan, K. Jeyasubramanian and G. Manivannan. 2011. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. Nanomed. Nanotech. 7: 184-192.
30. Rabie, G.H. and A.M. Almadani.2005. Role of bioinoculants in development of salt tolerance of *Vicia faba* plant under salinity stress. J. Afr. Biotech. 4(3): 210-222.
31. Rayan, J.R., G. Estefan and A. Rashid. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd ed., ICARDA, Syria.
32. Rengasamy, P., D. Chittleborough and K. Helyar. 2003. Root-zone constraints and, plant-based solutions for dryland salinity. Plant Soil 257(2): 249-260.
33. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA, Agriculture Handbook, No. 60, Washington, DC.
34. Sheykhbaglou, R., M. Sedghi, M. Tajbakhsh Shishevan and R.Seyed Sharifi. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Not. Sci. Biol. 2(2): 112-113.
35. Smith, S.E., F.A. Smith and I.Jacobsen. 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plant irrespective of growth responses. Plant Physiol. 133: 16-20.
36. Sylvia, D.M. and N.C. Schench. 1983. Application of superphosphate to mycorrhizal plants stimulates sporulation of phosphorus-tolerant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 95: 655-661.
37. Tasang, A. and M.A. Maum. 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastal foredunes. Plant Ecol. 144: 159-166.
38. Van Assche, F., C. Cardinaels and H. Clijsters. 1988. Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: Dose-response relations in *Phaseolus vulgaris* L. treated with zinc and cadmium. J. Environ. Pollut. 52: 103-115.

39. Walker, P.R., C. Smith, T. Youdale, J. Leblanc, J.E. Whitfield and M. Sikorska. 1990. Topoisomerase II-reactive chemotherapeutic drugs induce apoptosis in thymocytes. Cancer Res. 51: 1078-1085.
40. Yang, F., F.S. Hong, W.J. You, C. Liu, F.Q. Gao, C. Wu and P. Yang. 2006. Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biol. Trace Elem. Res. 110: 179-190.
41. Yari, L., S.M.A. Modares and A. Soroushzadeh. 2003. Effect of manganese and zinc spray on quality characteristics of five varieties of spring safflower. J. Soil Res. 18(2): 23-33.
42. Zhu, H., J. Han, J.Q. Xiao and Y. Jin. 2008. Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. J. Environ. Monitor. 10: 713-717.