DOI: 10.22059/IJSWR.2019.282270.668218 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱۰، اسفند ۱۳۹۸ (ص ۲۴۲۳-۲۴۱۳)

Effect of Mycorrhizal Fungi and Phosphate Solubilizing Bacteria on Corn Growth and Cadmium Uptake in Cadmium Spiked Soils

FATEMEH ROSTAMI[1], AHMAD GOLCHIN[2], MOSLEM HEYDARI[1*]

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
(Received: May. 27, 2019- Revised: July. 5, 2019- Accepted: July. 15, 2019)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of bio-fertilizers on contamination rate of plants to heavy metals, a factorial experiment based on completly randomized design with three replications was carried out in greenhouse of soil science department at agriculture faculty of Zanjan University in 2015. The proposed treatments were: contamination levels of soil to cadmium (0, 10, 25, 50 and 100 mg of cadmium per Kg of soil) and inoculation with bio-fertilizers including; phosphate solubilizing bacteria *Pseudomonas putida*, mycorhiza fungi *Funneliformis mosseae* and *Rhizophagus intraradices*. The measured factors were leaf chlorophyll index, plant height, shoot and root fresh and dry weight, phosphorus and potassium of shoot and root and cadmium concentration in plant. The results indicated that the use of bio-fertilizers increased the leaf chlorophyll index, plant height, shoot and root fresh and dry weight, phosphorus and potassium of shoot and root significantly as compare to the control. The treatment of *Funneliformis mosseae* and *Pseudomonas putida* (M+P) could improve leaf chlorophyll index and plant height by 11.93 and 21.89 % in comparing whit control respectively. The chlorophyll index was significantly decreased by increasing cadmium levels in the soil. Simultaneous application of *Funneliformis mosseae* and *Pseudomonas putida* (M+P) and cadmium increased the shoot and root dry weight by 6 and 7 % as compared to treatment of 100 mg cadmium per Kg of soil. Totally, the results indicated that the inoculation of soil whit bio-fertilizers could reduce the harmful effects of cadmium on plants growth and yield.

Keywords: mycorhiza fungi, phosphate solubilizing bacteria, cadmium, contaminated soil

* Corresponding Author's Email: m_heydari4066@yahoo.com

تاثیر قارچ‌های میکوریزی و باکتری حل‌کننده فسفات بر رشد ذرت و جذب کادمیوم در خاک‌های آلوده شده

فاطمه رستمی[۱]، احمد گلچین[۲]، مسلم حیدری[*۱]

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۶- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۱۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۲۴)

چکیده

به منظور بررسی تاثیرکودهای زیستی بر میزان آلودگی گیاهان به فلزات سنگین، آزمایشی در گلخانه گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۴ در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از فاکتور اول: سطوح آلودگی خاک به کادمیوم (۰، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و فاکتور دوم: تلقیح با قارچ‌های میکوریز و باکتری حل‌کننده فسفات شامل: باکتری حل‌کننده‌ی فسفات *Pseudomonas putida*، قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* و قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* بود. فاکتورهای مورد اندازه‌گیری شامل: شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی و غلظت کادمیوم در گیاه بود. نتایج حاکی از آن بود که کاربرد کودهای زیستی شاخص‌های کلروفیل برگ، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی ذرت را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. تیمار قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری حل‌کننده فسفات (M+P) توانست میزان کلروفیل برگ و ارتفاع گیاه را به ترتیب ۱۱/۹۳ و ۲۱/۸۹ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) بهبود دهد. با افزایش سطوح آلودگی خاک به کادمیوم، شاخص کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اعمال توام تیمار قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری حل‌کننده فسفر (M+P) و کادمیوم به گلدان‌های حاوی ذرت توانست وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه را به ترتیب ۶ و ۷ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیوم افزایش دهد. به طور کلی نتایج حاکی از آن بود که تلقیح خاک با کودهای زیستی می‌تواند اثرات سوء و مضر کادمیوم بر رشد و عملکرد گیاه را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: قارچ‌های میکوریزی، باکتری‌های حل کننده فسفات، کادمیوم، خاک‌های آلوده

مقدمه

آلودگی خاک، به افزایش غلظت مواد شیمیایی طبیعی و مصنوعی در پروفیل خاک اشاره می‌کند (Cooper *et al*., 1999). فلزات سنگین سمی‌ترین آلاینده‌های معدنی هستند که در خاک بصورت طبیعی حضور داشته و یا در نتیجه فعالیت‌های بشری وارد آن می‌شوند (Rajaee and Karimian, 2006; Mc Gerad *et al*., 2001). فلزات سنگین در خاک غیر قابل تجزیه بوده و می‌توانند از طریق جذب توسط گیاهان، وارد زنجیره غذایی انسان شوند (Salt *et al*.,1998) و با عناصر مورد نیاز انسان از قبیل اکسیژن، گوگرد و نیتروژن که به صورت گروه‌های S-S، SH، OH و COOH در ساختار ترکیبات ضروری بدن از جمله آنزیم‌ها و پروتئین‌ها وجود دارند، پیوند برقرار نمایند و موجب اختلال در فعالیت آنزیم-ها و سنتز ترکیبات ضروری بدن شوند (Rokni *et al*., 1999). در میان فلزات سنگین کادمیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا به راحتی از طریق ریشه جذب می‌شود و اثرات ناشی از سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (Rajaee and Karimian, 2006; Mc Gerad *et al*., 2001). به دلیل اثرات سمی و سرطان‌زایی کادمیم، توجه به پاک‌سازی زیست محیطی این عنصر رو به گسترش است. روش‌های مختلفی جهت اصلاح خاک-های آلوده به عناصر سنگین وجود دارند که می‌توانند از آثار منفی این فلزات بر سلامتی انسان جلوگیری کنند (Brooks *et al*., 1997). امروزه بکارگیری کودهای آلی و زیستی راه‌کار قابل قبولی برای افزایش حاصلخیزی خاک و حفظ منابع طبیعی و محیط زیست است (Permakhsar and RajaSheri, 2009). بنابراین برای دست‌یابی به کشاورزی پایدار بکارگیری کودهای زیستی از جمله باکتری‌های محرک رشد و میکروارگانیسم‌های مفید امری غیرقابل‌انکار است (Bashang and Houling, 1997). مهمترین باکتری‌های حل کننده فسفات از جنس‌های سودوموناس و

* نویسنده مسئول: m_heydari4066@yahoo.com

باسیلوس هستند. سودوموناس‌ها از مهم‌ترین باکتری‌های افزاینده رشد گیاه هستند (zahir *et al*., 2004). در حدود ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک را میسیلیوم این قارچ‌های میکوریز تشکیل می‌دهد. از مهم‌ترین فواید قارچ‌های میکوریز می‌توان به افزایش جذب آب، کمک به کاهش تنش‌های محیطی مثل شوری و غلظت زیاد فلزات سنگین اشاره نمود (Azcon and El-Atrash, 1997) واکنش‌های بین گیاهان و ریز جانداران مفید ریزوسفر می‌تواند تولید زیست توده و تحمل گیاه به فلزات سنگین را افزایش دهند (Glick, 2010). فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها در خاک و تغییر شرایط و ویژگی‌های ریزوسفر و در نتیجه زیست فراهمی فلزات، بر جذب فلزات توسط ریشه و اندام‌های هوایی گیاهان تاثیرگذار است (Joner and Leyval, 2001). مطالعاتی که در ارتباط با کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل کننده فسفات انجام شده است نشان داده‌اند که این باکتری‌ها سبب کاهش اثرات سوء کودهای شیمیایی و حفظ محیط زیست می‌گردند (Khan *et al*., 2007). بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر قارچ‌های میکوریزی و یک باکتری حل کننده فسفات بر رشد ذرت و جذب کادمیم در یک خاک آلوده شده به کادمیم است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر قارچ‌های میکوریزی و یک باکتری حل‌کننده فسفات بر رشد و نمو گیاه ذرت تحت تنش سطوح مختلف کادمیم، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از سطوح آلودگی خاک به کادمیوم (۰، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و تلقیح با قارچ‌های میکوریزی و یک باکتری حل‌کننده فسفات، شامل بدون تلقیح(C)، تلقیح با باکتری حل‌کننده‌ی فسفات(P)، تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* (M)، تلقیح با باکتری حل‌کننده‌ی فسفات + تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* (M+P)، تلقیح با قارچ *Rhizophagus intraradices* (I)، تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات(I+P) بود. باکتری مورد استفاده، یک باکتری هتروتروف آزادزی از گونه *Pseudomonas putida* است که به شکل مایع با جمعیت ۵×۱۰۸ تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب، مورد مصرف قرار گرفت. قارچ میکوریز به کار رفته در تحقیق حاوی دو گونه: *Funneliformis mosseae* و *hizophagus intraradices* تهیه شده از کلکسیون میکروبی موسسه تحقیقات خاک و آب، باجمعیتی برابر و معادل ۱۱۵ اندام فعال قارچ به ازای هر گرم است. خاک مورد نظر از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه زنجان تهیه و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، میزان pH با دستگاه pH متر مدل Metrohm 691 (نلسون، ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج مدل WTW Series inolab (Rhoades,1982)، درصد کربن آلی به روش والکلی ـ بلک (Nelson and Sommers, 1986) و همچنین کادمیوم به روش عصاره‌گیری با DTPA و به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Varian- Spectr Spectr AA 20 اندازه‌گیری شد (Walingh *et al*., 1998). در عصاره‌های حاصل از هضم گیاهان، غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات ـ وانادات) (Hanson, 1950; Kitson and Mellon, 1944) و با دستگاه اسپکتروفوتومتر S2000 UV/Vis، غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شدند. به منظور آلوده‌سازی نمونه‌های خاک به کادمیوم، مقادیر مناسب از نمک سولفات کادمیوم در آب مقطر حل شدند و به نمونه‌های خاک اسپری گردید. نمونه خاک‌های آلوده شده در مقادیر چهار کیلوگرمی به داخل گلدان‌های پلاستیکی انتقال و چرخه‌های تر و خشک شدن (رسیدن رطوبت ظرفیت مزرعه به هوا خشک) بر آن‌ها اعمال شدند. پس از گذشت یک ماه دو نوع میکروارگانیسم (قارچ و باکتری) به خاک‌های آلوده و غیرآلوده افزوده شدند. محیط حاوی قارچ‌ها، جامد بود بنابراین پس از افزودن این محیط به تیمارها، به همان مقدار نیز در اتوکلاو مرطوب دو بار استریل به تیمار دارای باکتری اضافه شد. مقدار مصرف محیط جامد حاوی قارچ ۵۰ گرم برای هر گلدان بود. مقدار مصرف باکتری به ازای هر بوته دو سی‌سی بود (مقدار میکروب در هر سی سی ۵×۱۰۸ عدد بود). پس از اعمال تیمارها، تعداد ۴ عدد بذر گیاه ذرت (Zea mays) رقم ماکسیما در هر گلدان کاشته شد. پس از ظهور گیاهچه‌ها و اطمینان از استقرار آن‌ها، تعداد بوته در هر گلدان با عملیات تنک، به سه عدد کاهش یافت. گیاهان به مدت ۷۵ روز (اتمام رشد رویشی و قبل از وارد شدن به رشد زایشی) در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتی‌گراد و تحت دامنه رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. فاکتورهای مورد بررسی شامل: وزن تر ریشه (fwr)، وزن خشک ریشه (dwr)، وزن خشک اندام هوایی (dws)، وزن تر اندام هوایی (fws)، ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل برگ (Chl)، فسفر ریشه و اندام هوایی و میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی و غلظت کادمیوم گیاه می‌باشد.

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مورد آزمایش

باقت خاک	کربنات کلسیم	کربن آلی(٪)	pH	EC(dS/m)	کادمیوم قابل جذب(mg/kg)
لوم رسی	۱۴/۷	۱/۱	۷/۷۴	۰/۲۵	۰/۱۱

نتایج و بحث

وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی تیمارهای قارچ و باکتری و سطوح مختلف آلودگی خاک به کادمیوم بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه و همچنین کاربرد توام کود زیستی و سطوح کادمیوم بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گیاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). طبق گزارشات، تلقیح بذور سویا با باکتری *سودوموناس* باعث افزایش تجمع ماده خشک در اندام هوایی این گیاه گردید (Zayedi, 2003) بنابراین بیشترین میزان وزن تر و خشک بخش هوایی از تیمار کود زیستی تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (I+P) و کمترین میزان آن‌ها در تیمار بدون تلقیح یا شاهد (C) مشاهده شد (جدول ۲). تلقیح با کود زیستی وزن تر و خشک بخش هوایی را به‌ترتیب ۲۷/۶۶ و ۴۶/۱۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. همچنین بیشترین وزن تر و خشک ریشه از کاربرد کود زیستی تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (I+P) وهمچنین قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل کننده‌ی فسفات (M+P) و کمترین مقدار آن‌ها از تیمار بدون تلقیح به‌دست آمد (جدول ۲). افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی توسط قارچ میکوریز آربوسکولار در موسیر چینی (Pierner *et al.*, 2011) و فلفل (Sensoy *et al.*, 2007) نیز گزارش شده است. Liu *et al.* (2005) گزارش کردند که استفاده از باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه لوبیا می‌شود. تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* و باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (I+P) همچنین تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* و باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (M+P) میزان وزن خشک ریشه را به‌ترتیب ۵۱/۷۸ و ۴۶/۴۲ درصد و میزان وزن تر ریشه را به‌ترتیب به میزان ۲۹/۴۶ و ۲۴/۶۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. Gamaler *et al.* (2004) افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی در اثر تلقیح با قارچ میکوریز آربوسکولار را گزارش کرده‌اند. در بررسی تاثیر باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات بر رشد و عملکرد گیاه دارویی زوفا مشاهده شد که این باکتری‌ها باعث افزایش وزن خشک بخش‌های هوایی و زمینی گیاه شدند (Kochaki *et al.*, 2008). با افزایش سطوح کادمیوم وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) کاهش یافت (جدول ۱). بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی از تیمار شاهد و کمترین میزان آن از تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۲). تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه ذرت را به میزان ۷۶/۷۹ و ۷۵/۹۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). همچنین این تیمار وزن خشک ریشه را به میزان ۵۱/۷ درصد و وزن تر ریشه را به میزان ۷۱/۱۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). کاهش رشد ناشی از سمیت کادمیوم به دلیل کاهش فتوسنتز، تنفس و متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ایجاد کلروز است که منجر به کاهش رشد و به دنبال آن وزن توده زنده گیاه می‌شود (Gouia *et al.*, 2001). بدلیل آنکه کادمیوم از تقسیم سلول‌های مریستمی و رشد آن‌ها جلوگیری می‌کند (Das *et al.*, 1997). در حضور یون کادمیوم رشد گیاه بسیار کاهش می‌یابد و به دنبال آن وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی کاهش می‌یابد. با افزایش سطوح کادمیوم وزن خشک شاخساره برنج کاهش یافت زیرا افزایش در غلظت کادمیوم باعث کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی گردید (Shirazi *et al.*, 2013). اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کود زیستی بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر این اساس بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی از تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات و سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کمترین میزان وزن خشک بخش هوایی در تیمار بدون تلقیح و سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک مشاهده گردید. با توجه به نتایج، غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم عملاً عملکرد طبیعی و شرایط نرمال گیاه را مختل می‌کند و با توجه به آنکه غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام کادمیوم برای گیاهان غلظت بحرانی لحاظ می‌شود، این نتایج دور از انتظار نبود (جدول ۳). اعمال توام تیمار قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری حل‌کننده فسفر (M+P) و کادمیوم به گلدان‌های حاوی ذرت توانست وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه را به ترتیب ۶ و ۷ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیوم افزایش دهد. این نتایج می‌تواند نقش کودهای زیستی در خنثی‌سازی اثرات سوء و مضر فلزات سنگین بر گیاهان زراعی را تصدیق کند.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی روی وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع، فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت

		میانگین مربعات										
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل	ارتفاع گیاه	فسفر ریشه	فسفر هوایی	پتاسیم ریشه	پتاسیم هوایی	کادمیوم هوایی	کادمیوم ریشه
Cd	۴	۸۵۰/۱۹**	۳۸/۸۳**	۲۸/۳۲**	۰/۷۰**	۱۳/۵۴**	۷۹۵/۴۸**	۰/۰۵**	۰/۰۳**	۱/۳۰**	۳/۱۶**	۴۹۷۷۸۰/۸**	۴۹۷۷۸۰/۸**
B	۵	۱۰/۹۸**	۵/۴۷**	۱/۱۰**	۰/۱۸**	۱/۷۳**	۱۰۹/۹۹**	۰/۰۳**	۰/۰۲**	۰/۲۰**	۱/۹۴**	۲۲۱۸۴/۱۸**	۲۲۱۸۴/۱۸**
B*Cd	۲۰	۵/۸۴ns	۰/۵۱ns	۰/۴**	۰/۰۳**	۰/۳۰ns	۹/۰۳*	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۳**	۰/۱۱**	۰/۴۲**	۳۱۹۹/۷۳**	۳۱۹۹/۷۳**
E	۶۰	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۳۸	۴/۵۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳	۱۳۲/۷۶	۱۳۲/۷۶
CV		۸/۰۲	۱۲/۴۱	۱۳/۷۱	۱۷/۶۴	۷/۹۴	۵/۳۲	۶/۷۴	۷/۹۶	۱۲/۸۰	۷/۲۹	۵/۹۱	۵/۹۱

**** و * به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.**

(Cd= کادمیوم، B= کودهای زیستی، E= خطا و CV= ضریب تغییرات)

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات نوع کود زیستی و سطوح کادمیوم بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل برگ

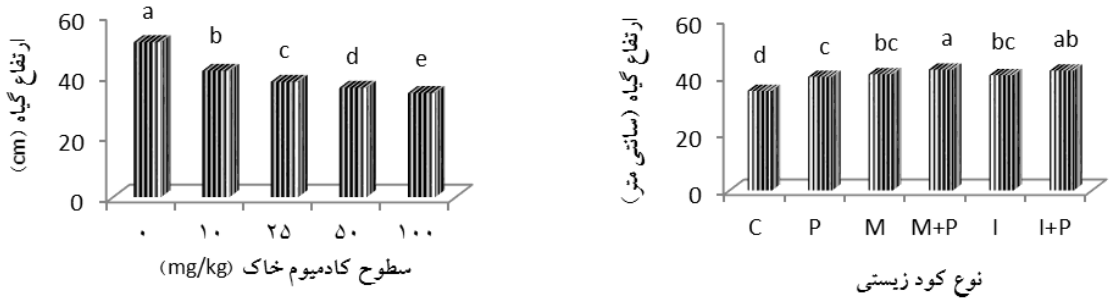
	وزن تر هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل	ارتفاع گیاه (cm)	فسفر ریشه	فسفر هوایی	پتاسیم ریشه	پتاسیم هوایی	کادمیوم هوایی (ppm)	کادمیوم ریشه(ppm)
	گرم در گلدان						درصد					
نوع کود زیستی												
C	۸/۵۳c	۵/۶۰d	۱/۷۱d	۰/۵۶c	۷/۲۹c	۳۴/۸۹d	۰/۱۶f	۰/۱۱e	۰/۷۹b	۱/۹۰d	۶۸/۹۰a	۱۳۳/۳۶e
P	۹/۳۴b	۶/۰۵dc	۱/۹۰cd	۰/۶۲bc	۸/۰۶ab	۳۹/۹۰c	۰/۲۵b	۰/۱۷c	۱/۱۰a	۲/۷۳a	۵۵/۵۶b	۱۸۱/۱۴d
M	۹/۵۶b	۶/۳۲c	۱/۹۴c	۰/۶۹b	۷/۶۰bc	۴۰/۸۰bc	۰/۲۳c	۰/۱۳d	۱/۰۳a	۲/۰۳d	۵۲/۲۳b	۱۸۸/۹۲cd
M+P	۱۰/۵۶a	۶/۹۹ab	۲/۱۸b	۰/۸۲a	۸/۱۶a	۴۲/۵۳a	۰/۲۹a	۰/۲۰a	۱/۰۸a	۲/۷۱ab	۴۰/۰۰c	۲۲۱/۱۵b
I	۹/۶۴b	۶/۴۳bc	۲/۰۹bc	۰/۶۹b	۷/۷۵ac	۴۰/۴۶bc	۰/۱۸e	۰/۱۲de	۱/۰۹a	۲/۵۶c	۴۳/۳۴c	۱۹۷/۸۱c
I+P	۱۰/۸۹a	۷/۲۵a	۲/۵۰a	۰/۸۵a	۸/۰۹ab	۴۲/۰۶ab	۰/۲۰d	۰/۱۸b	۱/۰۰a	۲/۵۹bc	۳۸/۸۹c	۲۴۶/۷۱a
سطوح کادمیوم(mg/kg)												
۰	۲۱/۷۲a	۸/۳۷a	۴/۲۸a	۱/۰۰a	۹/۰۳a	۵۰/۹۷a	۰/۳۰a	۰/۲۲a	۱/۳۹a	۳/۰۶a	۰/۰۱e	۰/۰۲e
۱۰	۹/۲۱b	۷/۴۵b	۱/۷۵b	۰/۷۸b	۸/۰۸b	۴۱/۵۵b	۰/۲۴b	۰/۱۷b	۱/۱۷b	۲/۵۵b	۲۵/۰۰d	۱۰۹/۲۸d
۲۵	۷/۰۸c	۶/۲۶c	۱/۴۹c	۰/۶۸c	۷/۸۸bc	۳۷/۹۱c	۰/۲۲c	۰/۱۳c	۰/۹۶c	۲/۲۷c	۴۴/۴۵c	۱۴۹/۱۰c
۵۰	۵/۷۴d	۵/۲۳d	۱/۳۲de	۰/۵۸d	۷/۴۹c	۳۵/۹۴d	۰/۱۸d	۰/۱۳c	۰/۸۳d	۲/۳۲c	۷۴/۰۸b	۲۸۷/۰۹b
۱۰۰	۵/۰۴e	۴/۸۹d	۱/۰۳e	۰/۴۹e	۶/۶۵d	۳۴/۲۳e	۰/۱۵e	۰/۱۱d	۰/۷۲e	۱/۹۲e	۱۰۵/۵۷a	۴۲۸/۷۸a

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک باهم دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند. (بدون تلقیح (C)، تلقیح با باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (P)، تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* (M)، تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل کننده‌ی فسفات (M+P)، تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* (I)، تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل کننده‌ی فسفات (I+P).

ارتفاع گیاه

ارتفاع بوته ذرت تحت تاثیر تلقیح با قارچ‌های میکوریز و باکتری به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) افزایش یافت (جدول ۱). افزایش ارتفاع ذرت در تیمار تلقیح شده با کودهای زیستی می‌تواند به دلیل تولید جیبرلین توسط باکتری‌ها و به دنبال آن افزایش رشد طولی سلول‌ها و تقسیمات سلولی باشد (Hamidi, 2002). از اینرو تلقیح توام قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (M+P) سبب شد بیشترین میزان ارتفاع گیاه و از طرفی کمترین میزان آن از تیمار شاهد مترتب گردد، بطوری‌که این تیمار ارتفاع گیاه را ۲۱/۸۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۱). با توجه به این که جیبرلین سبب افزایش تقسیمات سلولی و رشد طولی سلول‌ها به ویژه افزایش طول میانگره‌های ساقه می‌شود و از طرف دیگر این احتمال وجود دارد که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش تولید اتیلن در گیاه شده باشد (Hal *et al*., 1996; Gelic, 2003; Zhuang *et al*., 2007) افزایش ارتفاع گیاه قابل انتظار می‌باشد. نتایج نشان داد که تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات موجب افزایش ارتفاع گل یاس رازقی شد (Raj *et al., 2003*). گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز از نظر ارتفاع نسبت به گیاهان تلقیح نشده به‌طور معنی‌داری برتری داشتند (Yousefirad and Esmaeil, 2010). با افزایش میزان کادمیوم خاک ارتفاع بوته ذرت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان ارتفاع بوته ذرت از تیمار شاهد و کمترین میزان آن از تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۱). تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به میزان ۴۸ درصد ارتفاع گیاه را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. بر طبق

گزارشات ارتفاع گیاه در اثر افزایش غلظت کادمیوم در گیاه جو کاهش یافت (Wu *et al.*, 2009). نتایج حاصل از پژوهش‌های مشابه نشان داد که اثر سطوح کادمیوم خاک بر صفات مورفولوژیک گیاه معنی‌دار بود و بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود (Yaghobzadeh *et al.*, 2011). اثرات متقابل نوع کود زیستی و سطوح مختلف کادمیوم خاک بر ارتفاع گیاه ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان ارتفاع گیاه ذرت از تلقیح با قارچ میکوریز گلوموس موسهآ + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات و سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کمترین میزان آن از تیمار بدون تلقیح و سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳). هرچند کودهای زیستی نتوانستند نقش شایان، قابل توجه و مثبتی را در غلظت بحرانی کادمیوم (۱۰۰mg/kg) بر ارتفاع ذرت ایفا کنند، اما توانستند ارتقاع گیاه را حدود ۵ درصد در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به تیمار کادمیوم افزایش دهند (جدول ۳). نتایج تحقیقات گذشته حاکی از آن است که در غلظت بحرانی عناصر سنگین، کودهای زیستی عملکرد مناسبی از خود نشان نمی‌دهند (Wu *et al.*, 2009; Yaghoub Zadeh *et al.*, 2011) که این نتایج با توجه به اثر خطرناک و بسیار مضر عناصر سنگین (کادمیوم) قابل پیش‌بینی می‌باشد اما در غلظت‌های پایین‌تر این عنصر سنگین (۵۰ میلی-گرم کادمیوم بر کیلوگرم)، کودهای زیستی ارتفاع گیاه ذرت را تحت تاثیر قرار دادند.



شکل ۱. اثرات قارچ‌های میکوریز و باکتری (راست) و کادمیوم (چپ) بر ارتفاع گیاه ذرت

کلروفیل

حداکثر میزان کلروفیل برگ در تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (M+P) حاصل شد و حداقل میزان آن از تیمار بدون تلقیح بدست آمد (جدول ۳). افزایش شاخص کلروفیل می‌تواند بدلیل افزایش محتوای قند و سطح هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین و جیبرلین در گیاهان توسط قارچ‌های میکوریزی باشد (Demir, 2004) که افزایش سطح این هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین می-تواند با انتقال یون‌های موثر در تنظیم و افزایش سطح کلروفیل برگ موثر واقع شود. از طرف دیگر افزایش میزان کلروفیل برگ در اثر تلقیح با قارچ میکوریز می‌تواند ناشی از جذب فسفر خاک توسط گیاه باشد (Smith and Rid, 2008). قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (M+P) میزان شاخص کلروفیل برگ را ۱۱/۹۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۳). نتایج مشابهی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ مایکوریز و باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات هدایت روزنه‌ای و میزان کلروفیل برگ گیاه را افزایش دادند (Viewas *et al.*, 2003). Silvara (1990) با مطالعه روی کهور (*Prosopis Julifora*) اثرات مفید قارچ‌های میکوریز را در بهبود وضعیت کلروفیل برگ نهال مشاهده کرد. افزایش میزان کلروفیل برگ در گیاهان عالی در اثر تلقیح با قارچ‌های میکوریزی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Sing & Mir, 1998). با توجه به نتایج تجزیه واریانس، کاهش معنی‌داری ($p\leq0/01$) در شاخص کلروفیل مقارن با افزایش غلظت کادمیوم صورت پذیرفت (جدول ۲). با افزایش پلکانی غلظت کادمیوم در خاک، شاخص کلروفیل بصورت خطی و با شیب منفی کاهش یافت، بطوریکه کمترین مقدار کلروفیل در غلظت ۱۰۰ (mg/kg) عنصر کادمیوم و بیشترین مقدار آن در تیمار کنترل بدست آمد (جدول ۳). کاهش شاخص کلروفیل برگ احتمالاً بدلیل مهار بیوسنتز کلروفیل برگ به‌وسیله مهار سنتز دلتا آمینولوولینیک اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیل ریدوکتاز باشد (Prasad and Strazalka, 1999)، به عبارت دیگر با افزایش غلظت کادمیوم در گیاه از بیوسنتز آنزیم پروتوکلروفیل ریدوکتاز جلوگیری می‌شود که این آنزیم در مسیر ساخت کلروفیل یک آنزیم کلیدی بشمار می‌رود که نتیجتاً منتج به کاهش در بیوسنتز کلروفیل برگ می‌شود. فلز کادمیوم اثر مستقیم و منفی بر شاخص کلروفیل برگ دارد به نحوی که در

غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم این فلز در خاک میزان کلروفیل برگ ۳۵/۷ درصد نسبت به تیمار کنترل کاهش یافت (جدول ۳). این میزان کاهش در شاخص کلروفیل برگ با اعمال کادمیوم به خاک تا ۵۰ درصد نیز در گزارشات سایر محققین اعلام شده است (Haghiri, 1973) که خود مهر تاییدی بر نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌باشد.

فسفر ریشه و اندام هوایی

بیشترین میزان فسفر بخش هوایی و ریشه از تیمار تلقیح با قارچ میکوریزی *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (M+P) به‌دست آمد (جدول ۳). این کود زیستی میزان فسفر بخش هوایی و ریشه را به‌ترتیب به میزان ۸۱/۸۱ و ۸۱/۲۵ درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح (C) افزایش داد. تحریک رشد ریشه هنگام کمبود فسفر در تعدادی گونه‌های گیاهی از جمله شبدر (Nadin *et al*., 1996) و سویا (Nurlaeny *et al*., 1996) گزارش شده است. افزایش طول ریشه نوعی پاسخ سازشی به کمبود فسفر محسوب می‌شود (Hal *et al*., 1996; Marschner, 1995)، زیرا ناکافی بودن مقدار فسفر خاک باعث تشکیل منطقه تخلیه در اطراف ریشه می‌گردد، لذا اولین تاثیر مثبت گسترش ریشه ورود آن به منطقه‌ای با فسفر بیشتر است (Marschner, 1995). گیاهانی که با *ازتوباکتر* و قارچ‌های میکوریزی تلقیح شده بودند در مقایسه با تیمارهایی که با هر یک از این دو کود زیستی تلقیح شده بودند رشد بیشتر داشتند و از نظر ذخیره فسفر غنی‌تر بودند (Mohands, 1987). حضور قارچ‌های میکوریزی در محیط رشد گیاه ذرت موجب افزایش ۱۱۵ درصدی جذب فسفر شده است (Sharifi *et al*., 2007). محققان دلیل این امر را افزایش سطح جذب ریشه گیاه به دلیل توسعه میسیلیوم‌های خارجی قارچ میکوریز در خاک و هم‌چنین افزایش جذب فسفر به‌وسیله هیف‌های قارچ‌های میکوریزی بیان کردند. باکتری‌های سودوموناس از طریق سازوکاهایی از قبیل ترشح اسیدهای آلی همانند اسید اگزالیک و اسیدسیتریک سبب افزایش حلالیت فسفر نامحلول می‌شود. اسیدهای آلی تولید شده با کاهش اسیدیته ریزوسفر و کلاته کردن یون آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و یون کلسیم در خاک‌های آهکی سبب افزایش فسفر قابل دسترس می‌شوند (Henri *et al*.,2008). با افزایش سطوح کادمیوم خاک میزان فسفر بخش هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان فسفر بخش هوایی و ریشه از تیمار شاهد و کمترین میزان آن از سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک حاصل گردید (جدول ۳). تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک غلظت فسفر ریشه و اندام‌های هوایی را به میزان ۵۰٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. با افزایش سطوح کادمیوم خاک میزان فسفر گیاه کاهش پیدا می‌کند که احتمالا دلیل آن تشکیل ترکیبات نامحلولی نظیر فسفات کادمیوم می‌باشد (Beaker *et al*., 1994). این نتایج با یافته‌های سایر محققین (Clearomans, 2003; Crisi *et al*., 2004) مبنی بر اینکه با افزایش غلظت کادمیوم خاک، غلظت فسفر گیاه کاهش یافت، مطابقت دارد.

پتاسیم ریشه و اندام هوایی

افزایش سطوح کادمیوم میزان پتاسیم بخش هوایی و ریشه را در سطح احتمال یک درصد کاهش داد (جدول ۲). بیشترین میزان پتاسیم بخش هوایی از تیمار شاهد و کمترین میزان آن از سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. هم‌چنین در بخش ریشه نیز بیشترین میزان پتاسیم از تیمار شاهد و کمترین میزان آن در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳). تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، غلظت پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی را به ترتیب ٪۴۸ و ۳۷/۲ ٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۳). تلقیح با کودهای زیستی، غلظت پتاسیم بخش هوایی و ریشه را بطور معنی‌داری ($p\leq0/01$) افزایش داد (جدول ۲). بیشترین غلظت پتاسیم بخش هوایی از تیمار باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (P) به‌دست آمد. این کود زیستی غلظت پتاسیم بخش هوایی را به میزان ۴۳/۶۸ درصد نسبت به نمونه شاهد (بدون تلقیح) افزایش داد (جدول ۳). بیشترین میزان پتاسیم ریشه از تیمار کودهای زیستی قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* ، قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* و هم‌چنین باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (P) حاصل گردید (جدول ۳). باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات با تجزیه کانی‌های فسفر، آهن و پتاسیم‌دار باعث آزادسازی عناصری مثل پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌شوند. سطوح پتاسیم و کلسیم در برگ و ریشه نارنج سه برگ (*Poncirus trifoliate*) تلقیح شده با قارچ میکوریزی بیش‌تر از مقدار آن‌ها در ریشه و برگ و گیاهان بدون قارچ بود (Wu *et al*., 2007). نتایج مثبت تاثیر باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات بر جذب پتاسیم علل متفاوتی ممکن است داشته باشد، اولاً این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های گیاهی سبب توسعه سیستم ریشه و افزایش سطح جذب می‌شوند و ثانیاً با تولید پروتون و سایدروفورها باعث آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار می‌شوند، همچنین محیط خاک در اثر فعالیت قارچ‌های میکوریزی از حالت قلیایی به حالت اسیدی متمایل می‌شود(Henri *et al*.,2008) که این امر موجب حلالیت بیشتر عناصر کم‌محلول چون پتاسیم می‌شوند و

در نتیجه، غلظت این عنصر در محلول خاک افزایش می‌یابد (Goyanrajlo *et al*., 2005).

کادمیوم

کاربرد قارچ‌های میکوریز و باکتری، غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه ذرت را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد کاهش داد (جدول ۲). بالاترین غلظت کادمیوم بخش هوایی در تیمار بدون تلقیح یا شاهد و کمترین آن از تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (I+P) به‌دست آمد (جدول ۳). هم‌چنین کاربرد قارچ‌های میکوریز و باکتری غلظت کادمیوم ریشه را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد افزایش داد (جدول ۲). بیشترین غلظت کادمیوم ریشه از تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل کننده‌ی فسفات (I+P) و کمترین غلظت آن از تیمار شاهد به‌دست آمد. این تیمار میزان کادمیوم ریشه را به میزان ۸۴/۹۹ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) افزایش داد (جدول ۳). آدول و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثرات قارچ‌های میکوریزی بر توانایی گیاه‌پالایی در گیاهان مختلف در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم مشخص شد که میکوریز میزان جذب این عناصر را در ریشه افزایش می‌دهد (Adewole *et al*., 2010; Hego *et al*., 1990; Andrade *et al*., 2004). Radzieh *et al*. (2007) تاثیر تلقیح با قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات بر جذب عناصر سنگین توسط گیاه بامیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در گیاهان تلقیح شده با قارچ و باکتری، به‌طور مشخص جذب فلزات سنگینی مانند سرب و کادمیوم در ریشه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. تلقیح با قارچ‌های میکوریزی جذب عناصر سنگین را در گیاه سویا در خاک‌های آلوده به این عناصر افزایش داد و این عناصر کمتر به بخش هوایی منتقل شدند و بیشتر در ریشه تجمع پیدا کردند (Andrade *et al*., 2004)؛ بنابراین تجمع بیشتر کادمیوم در ریشه در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزی *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات باعث شد کادمیوم کمتری به بخش هوایی منتقل شود (جدول ۳). با افزایش سطوح فسفر در حضور کادمیوم، کادمیوم بخش هوایی کاهش یافت که احتمالا به‌علت تشکیل ترکیبات نامحلول این دو عنصر باشد(Oskuei *et al*., 2008). کاهش انتقال کادمیوم از ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند ناشی از غیر متحرک شدن این عنصر در دیواره سلولی یا اتصال کادمیوم به ترکیبات آلی موجود در ریشه باشد (Sanitadi-Toppi and Gabrielli, 1999). از طرف دیگر هیف‌های قارچی قادرند با نگه‌داری فلز در خود و عدم انتقال آن به داخل سیستم گیاه باعث کاهش سمیت فلز سنگین شوند (Horst, 2004). با افزایش سطوح آلودگی خاک به کادمیوم غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین غلظت کادمیوم بخش هوایی به میزان ۴۳۷/۱۲۷ پی‌پی‌ام و در ریشه به میزان ۱۰۵/۵۷ پی‌پی‌ام از تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کمترین غلظت کادمیوم در هر دو این بخش‌ها از سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم (شاهد بدون آلودگی) خاک بدست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج محققین، گیاهانی که به مدت ۲۴ ساعت تحت تاثیر کادمیوم قرار گرفتند، این عنصر به داخل سلول‌های گیاه نفوذ کرده و باعث خسارات فیزیولوژیکی و ژنتیکی گیاه گردید که منجر به کاهش رشد و کاهش وزن گیاه شد (Varvara *et al*., 2000). همچنین بیان کردند که کادمیوم در گیاه با کاهش راندمان آب مصرفی، کاهش میزان تعرق، کاهش غلظت عناصر غذایی در گیاه و کاهش مقاومت گیاه در مقابل بیماری‌ها و آفات، باعث کاهش وزن گیاه می‌شود (Vassilev *et al*., 2002). اثرات متقابل کود زیستی و سطوح مختلف کادمیوم خاک بر غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین غلظت کادمیوم بخش هوایی از تیمار بدون تلقیح و سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کمترین غلظت آن از کاربرد تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *Rhizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات و همچنین تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات و سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳). بیشترین غلظت کادمیوم ریشه از تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *hizophagus intraradices* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات و همچنین تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات و سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کمترین آن‌ها از تیمار شاهد (بدون تلقیح) و سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

غلظت‌های بالای عنصر سنگین (کادمیوم) استفاده شده در این مطالعه برای گیاه ذرت سمی بود و توانست اثرات سویی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده داشته باشد. نتایج نشان داد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم شاخص‌های اندازه‌گیری شده از قبیل: وزن تر اندام‌های هوایی (۷۶/۷۹ درصد)، وزن خشک اندام‌های هوایی(۷۵/۹۳ درصد) و وزن تر ریشه گیاه (۷۱/۱۱ درصد)، وزن خشک ریشه گیاه (۵۱/۷ درصد)، شاخص

کلروفیل برگ (۳۷/۵ درصد)، ارتفاع گیاه (۴۸ درصد)، فسفر ریشه و بخش هوایی (۵۰ درصد)، پتاسیم ریشه (۴۸ درصد) و پتاسیم بخش هوایی (۳۷/۲درصد) در مقایسه با تیمار شاهد (عدم استفاده از کادمیوم) کاهش پیدا کند.

تلقیح خاک با قارچ‌های میکوریزی و باکتری در شرایط عدم وجود عنصر کادمیوم سبب بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه گردید. بر این اساس تیمار تلقیح با قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* + باکتری حل‌کننده‌ی فسفات (I+P) توانست وزن تر اندام‌های هوایی (۲۷/۶۶ درصد)، وزن خشک اندام‌های هوایی (۴۶/۱۹ درصد)، شاخص کلروفیل برگ (۱۱/۹۳ درصد)، ارتفاع گیاه (۲۱/۸۹ درصد)، فسفر ریشه (۸۱/۲۵) و بخش هوایی (۸۱/۸۱ درصد) را نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) افزایش دهد. همچنین تیمار باکتری حل‌کننده فسفات توانست پتاسیم ریشه را ۴۳/۶۸ درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح (شاهد) افزایش دهد.

اعمال قارچ‌های میکوریز و باکتری به خاک‌های حاوی کادمیوم توانست اثرات مضر این عنصر را کاهش دهد. اعمال توام تیمار قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری حل‌کننده فسفر (M+P) و کادمیوم به گلدان‌های حاوی ذرت توانست میزان ارتفاع (۵ درصد)، وزن خشک ریشه (۶ درصد) و اندام هوایی (۷ درصد) را در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم افزایش دهد. نتایج این تحقیق به طور واضح نشان داد که کاربرد غلظت بحرانی عنصر کادمیوم به صورت مجزا، بشدت برای گیاهان خطرناک و مضر می‌باشد و در این شرایط اعمال کودهای زیستی توانایی خنثی‌سازی این خطرات را بطور کامل نخواهد داشت. با این حال در غلظت‌های کمتر از فلز سنگین کادمیوم، کودهای زیستی می‌توانند اثرات مضر و سوء این فلزات سنگین را در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه کاهش دهند.

REFERENCES

Adewole, M. B. Awotoye, O. O. Ohiembor, M. O. and Salami, A. O. 2010. Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediation potential and yield of sunflower in cd and Pb polluted soils. *Jornal Agricultural Science*. 55: 17-28.

Andrade, S. A. L. Abreu, C. A. De Abreu, M. F. and Silveira, A. P. D. 2004. Influence of lead additions on arbuscular mycorrhiza and Rhizobium symbioses under soybean plants. *Applied Soil Ecology*, 26(2), 123-131.

Azcon, R. and El-Atrash, F. 1997. Influence of Arbuscular mycorrhizae and phosphorus fertilization on growth , nodulation and fixation (N15) in Medicago sativa at four salinity levels. *Biology and Fertility of Soils*. 24: 81-86.

Bashan, Y. and Holguin, G. 1997. Azospirillum–plant relationships: environmental and physiological advances (1990–1996). *Canadian Journal of Microbiology*, 43(2), 103-121.

Brooks, R. R. Lee, J. Reeves, R. D. and Jaffre, T. 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration*. 7: 49-57.

Cooper, E. M. Sims, J. T. Cunningham, S. D. Huang, J. W. and Berti. W. R. 1999. Chelate-Assisted Phytoextraction of lead from contaminated soils. *Jornal of Environmental Quality*. 28: 1709-1719.

Das, P. Samantaray, S. and Rout, G. R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environ. Poll*. 98: 29-36.

Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, 28(2-4), 85-90.

Ehyaei, M., And A.S. Behbahani Zadeh,. 1993. Descriptions of Soil Chemical Analysis Methods, No. 893, *Soil and Water Research Institute*, Tehran.

Gamalero, E. Trotta, a. Massa, N. Copetta a, a. Martinotti, M. G. and Berta, G. 2004. Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fangus on tomato plant growth root architecture and P acquisition. Mycorrhiza 14:185-192.

Goyanrajlo. M. Cole, C. V. watanabe . F. S. and Dean, L. A. 2005. Effect of cadmium toxicity on nitrogen and phosphorus uptake and some vegetative characteristics of shoots of seven rice cultivars. *Science and technology of greenhouse cultivation*. 4 (8): 125-142.

Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis: Part 1— Physical and mineralogical methods, (methodsofsoilan1), 383-411.

Ghahramani, R. 2008. Investigation of the severity of pollutants in southern Tehran to cadmium and its absorption by spinach. Master thesis, Department of Soil Science, *Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Iran*.

Glick, B. R. Penrose, D. M., and Li, J. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of theoretical biology*, 190(1), 63-68.

Golchin, A. and shafiee, S. 2006. Study the effect of zanjan lead-zinc factor on the soil pollution up to 10 km from the factory. *Soil, environment and sustainable development congress*, Karaj, Iran. Pp: 452-454. (In Persian).

Golchin, A., Atashnama, K., and M., Takasi. 2006. Investigating the distribution of lead in various organs of sunflower and rapeseed as an oil producer. Pages 306-305. Proceedings of Soil Conference, Environment and Sustainable Development, Pardis Publishing House, *Tehran University of Agriculture and Natural Resources*, Karaj, Iran.

Gouia, H., Ghorbal M. H. and Meyer, C. 2001. Effect if cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimiltion pathway in bean. *Plant Physiology*, 38: 629-638.

Haghiri, F. 1973. Cadmium uptake by plants. Journal of Environmental Quality, 2(1), 93-95.

Hall, J. L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of experimental botany*, 53(366), 1-11.

Heggo, A. Angle, J. S. and Chaney, R. L. 1990. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans. *Soil Biology and Biochemistry*. 22: 865-869.

Horst, V. 2004. Further root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in already mycorrhizal plants in suppressed after a critical level of root colonization. Journal of Plant Physiology. 161:339 -341.

Jeffries, P. 2001. Achievements in the past and autlook for the future of AMF. Research School of Biosciences, University Of kent. Canterbury. Kent.

Jeffries, P. Gianinazzi, S. Perotto, S. Turnau, K. Barea, J. M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*. 37: 116.

Joner, E. and Leyval, C. (1997). Uptake of 109Cd by roots and hyphae of a Glomus mosseae/Trifolium subterraneum mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium. *New Phytologist*, 135:353-360.

Joner, E. and Leyval, C. 2001. Time-course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes. *Biology and Fertility of Soils*, 33(5), 351-357.

Karimian, N. 1998. Excessive consequences for the use of phosphate fertilizers. *Journal of Soil and Water Sciences*, Vol 12, pp. 1-14

Khan, A. G. 2006. Mycorrhizoremediation—an enhanced form of phytoremediation. *Journal of Zhejiang University Science B*, 7(7), 503-514.

Khan, N. Qasim, M. Ahmed, F. Khan, R. Khanzada, A. and Khan, B. 2002. Effects of sowing date on yield of maize under Agroclimatic condition of Kaghan Valley. *Asian Journal of plant Science*: 1(2): 140-147.

Kochaki, A.R., Tabrizi, L., and R., Ghorbani. 2008. Evaluation of the Effect of Biological Fertilizers on Growth, Function and Quality Characteristics of Hyssopus officinali. *Iranian Journal of Crop Research*, Vol. 6th, No. 1. Pages 137-127.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.

Liu, D. Zou, J. Meng, Q. Zou, J. Jiang, w. 2009.Uptake and accumulation and oxidative stress in garlic (Allium sativum L.) under lead phytotoxicity.*Ecotoxicology*.18:134-143.

Luo, C. Shen, Z. Lou, S. and Li, X. 2005. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. *Chemosphere*. 59:1–11.

McGrath, S. P. Zhao, F. J. and Lombi, E. 2001. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant and soil*, 232(1), 207-214.

Nelson, E. O. 1982. soil pH and lime requirment. Amercian society of Agronomy, Madison, 199-224.

Olsen, S. R. Cole, C. V. watanabe . F. S. and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department Of Agriculture; Washington.

Oskuei. P, Aliasgharzadeh. N, Shariatmadari, H and Baghban. Sh. 2008. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on reducing cadmium toxicity in tomato plants with different levels of phosphorus. *Journal of Soil Research*. 23 (3): 217-228.

Perner, H. Schwarz, D. Krumbein, A. and George, E. 2011. Influence of sulfur supply, ammonium nitrate ratio, and arbuscular mycorrhizal colonization on growth and composition of Chinese chive. Scientia horticulturae, 130(3), 485-490.

Prasad, M. N. V. and Strzałka, K. 1999. *Impact of heavy metals on photosynthesis. In Heavy Metal Stress in Plants* (pp. 117-138). Springer Berlin Heidelberg.

Premsekhar, M. and Rajashree, V. 2009. Influence of bio-fertilizers on the growth characters, yield attributes, yield and quality of tomato. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 3(1), 68-70.

Rajai, M., and N. Karimian. 2005. Added cadmium effect and time of bedding on chemical forms of cadmium, growth and chemical composition of spinach in two soil texture. *Proceedings of Soil Conference, Environment and Sustainable Development, Karaj, College of Agriculture and Natural Resources*, University of Tehran. Page 322-321.

Razileh, S. Rovera, M. Andres, J. and Correa, N. 2007. Effect of phosphorous solubilizing bacteria on the rhizobialegume symbiosis. Proceedings of the 15th International Meeting on Microbial phosphate Solubilization. Salamanca University, 16-19 July, Salamanca, Spain.

Rejali, F., Alizadeh, A., Melkotti, J. And N., Saleh Rastin. 2007. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Synergistic Interaction on Increase, Performance, and Absorption of Mineral Ingredients in Wheat Plants under Drought Stress. *Journal of Soil and Water Sciences*, Volume 21, 2.

Rokni, N., 1999. *Principles of Food Health*, Third Edition, Publications and Printing of Tehran University. Page 1-154.

Salt, D. E. Smith, R. D. and Raskin, I. 1998. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. 49: 643-668.

Sanitadi Toppi, L. and R. Gabrielli. 1999. Response to

cadmium in higher plants. Environmental and experimental botany, 41(2), 105-130.

Sensoy, S. Demir, S. Turkmen, O. Erdinc, C. and Savur, O. B. 2007. Responses of some different pepper (Capsicum annuum L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 92-95.

Shirazi, S.P., Ronaghi, A., Karimian, N., Yasrebi, J., and U., Imami. 2012. Effect of cadmium toxicity on nitrogen and phosphorus uptake and some vegetative characteristics of shoots of seven rice cultivars. *Science and technology of greenhouse cultivation*. 3 (9): 75-72.

Singh, H. P. and Singh, T. A. 1993. Effect of VA mycorrhizae in chickpea, Mycorrhizae. 3: 37-39.

Varvara, P. Grichko. Brendan, F. Bernard and Glick, R. 2000. Increased ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb, and Zn. *Jornal of Biotechnology*. 81: 45-53.

Vassilev, A. Vangronsveld, J. and Yordanov, I. 2002. Cadmium phytoextraction: Present state, biological backgrounds and research needs. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 28: 68–95.

Weller, D. Linda, M. and Thomashow, S. 2003. Use of rhizobacteria for biocontrol. *Current Opinion Biotechnology*. 4: 306-311.

Wu, Q. S. and Xia, R. X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of plant physiology*, 163(4), 417-425.

Wu, S. C. Cheung, K. C. Luo, Y. M. and Wong, M. H. 2006. Effects of inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria on metal uptake by Brassica juncea. *Journal of Environmental Pollution*, 140: 124-135.

Yaghubzade, F. Eradatmand, D. and Yusefirad, M. 2011. *Comparison of sunflower and maize plants in phytoremediation of cadmium in soils*. First National Congress on Science and Technology of Agriculture, University of Zanjan. Pp: 1-4. (In Persian).

Yusefirad, M. and Karbalaei Esmaeil, M. R. 2010. Effects of mycorrhizal fungi on uptake of macronutrients and some morphological traits in sunflower cultivars (*Heliantus annus* L.). Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development: *Opportunities and Challenges Facing.* Pp: 1-13. (In Persian).

Zhang, H. H. Tang, M. Chen, H. Zheng, C. L. and Niu, Z. C. 2010. Effect of inoculation with AM fungi on lead uptake, translocation and stress alleviation of Zea mays L. seedlings planting in soil with increasing lead concentrations. *European Journal of Soil Biology*, 46(5), 306-311.