# تأثیر دو گونه از قارچهای میکوریز آربوسکولار در کاهش سمیت کادمیوم در گیاه گوجه فرنگی با سطوح مختلف فسفر

پریسا علیزاده اسکویی،[۱*] ناصر علی اصغرزاد، حسین شریعتمداری، احمد اصغرزاده و شهرام باغبان سیروس

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند و عضو باشگاه پژوهشگران جوان؛ **Parisa.Alizadeh@yahoo.com**

دانشیار دانشگاه تبریز؛ **n_aliasghar@tabrizu.ac.ir**

دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان؛ **Shariat@cc.iut.ac.ir**

هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی خاک وآب تهران؛ **a_asgharzadeh_2000@yahoo.com**

هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند؛ **Baghban_550@yahoo.com**

## چکیده

**استفاده از آب فاضلابها ،برخی کودهای شیمیایی و حشره کشها در اراضی کشاورزی در سالیان اخیر سبب مشکلاتی مبنی بر تجمع فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی شده است. امروزه برای حل این معضل از روشهای بیولوژیک استفاده می شود.به همین دلیل در یک آزمایش گلخانه ای گیاه گوجه فرنگی رقم سلطان با سه عامل، سطوح فسفر شامل (۰، ۲۰، ۴۰ میلیگرم فسفر در لیتر)، سطوح کادمیوم شامل (۰، ۰/۰۲، ۱،۵ میلیگرم در لیتر) و تلقیح با قارچهای میکوریزی شامل (گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس ورسی فرم) و همچنین بدون تلقیح قارچهای میکوریز بعنوان گیاه شاهد داخل ماسه استریل و طرح آزمایشی در قالب فاکتوریل بر پایه بلوکهای کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. نتایج تجزیه آماری نشان داد که اثر اصلی فسفر به طور معنی دار سبب افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه به قارچهای میکوریز و سبب کاهش غلظت کادمیوم بخش ریشه، بخش هوایی و میوه گیاه شد. افزایش کادمیوم درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه به قارچهای میکوریز را به طور معنی دار کاهش داده و غلظت کادمیوم بخش میوه، ریشه و بخش هوایی گیاه را نیز در سطح احتمال یک درصد افزایش پیدا کرد. اثر اصلی قارچ نه تنها اثر معنی داری مثبت روی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه به قارچهای میکوریز و غلظت کادمیوم بخش ریشه داشته بلکه اثر معنی دار منفی نیز روی غلظت کادمیوم میوه و بخش هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد داشت. اثرات متقابل قارچ × کادمیوم بر روی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه به قارچهای میکوریز، غلظت کادمیوم بخش میوه و بخش هوایی گیاه معنی دار شد (P <۰/۰۱). اثرات متقابل قارچ × فسفر هم در سطح احتمال یک درصد بر روی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه به قارچهای میکوریز معنی دار به دست آمد. اثرات متقابل کادمیوم × فسفر هم در سطح احتمال یک درصد بر روی غلظت کادمیوم بخش میوه و غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه معنی دار شد. بررسی روابط همبستگی بین پارامترهای مورد اندازه گیری نشان داد که درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه به قارچهای میکوریز همبستگی منفی و معنی دار با غلظت کادمیوم بخش میوه و بخش هوایی گیاه داشت (P<۰/۰۵). همچنین همبستگی مثبت بین غلظت کادمیوم میوه با غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشهٔ گیاه در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. غلظت کادمیوم ریشه گیاه نیز همبستگی مثبت با غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه داشت (P<۰/۰۱). با توجه به نتایج حاصل می توان با تلقیح قارچهای میکوریز در مکانهای آلوده به عناصر سنگین سمیت این عناصر را در گیاهان کاهش داد. همچنین می توان سطح دوم فسفر را که ۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار کمتر از مقدار توصیه شده برای کشت گوجه فرنگی می باشد،بدون اختلال در کیفیت میوه و فعالیت قارچهای میکوریز در خاکهای زراعی بعد از آزمایش در مزرعه و گرفتن نتیجه مشابه توصیه نمود.**

**واژه های کلیدی:** کادمیوم، قارچهای میکوریز، فسفر، گوجه فرنگی

---

۱- نویسنده مسئول، آدرس: مرند میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند

* دریافت: ۸۵/۶/۱۱ و پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

**مقدمه**

استفاده از پسابهای صنعتی و خانگی در اراضی کشاورزی در سالیان اخیر موجب نگرانیهایی در زمینه تجمع فلزات در خاک ومحصولات کشاورزی شده است.Arnfalk و همکاران (۱۹۹۶) بیان نمودند که آلودگی خاکها و محیط های آبی با فلزات سنگین یک مشکل جدی و در حال گسترش است. و رود فلزات سمی از طریق فعالیتهای انسانی باعث آلودگی بسیاری از خاکها شده است، به طوری که شدت آلودگی در این خاکها یا بیش از حد مجاز است و یا به زودی به آن خواهد رسید. در سراسر جهان تحقیقات متعددی بر روی آلودگی خاکها و گیاهان به فلزات سنگین به ویژه از طریق آبیاری با فاضلابهای شهری و صنعتی و یا لجن های فاضلاب در مزارع انجام گرفته است.Flores و همکاران (۱۹۹۷) وMerrington and Alloway (۱۹۹۷) اظهاریه مشابهی اعلام می دارند که سیستم های زیست محیطی ظرفیت محدودی برای جذب آلاینده های ورودی دارند و اگر تجمع مداوم آلاینده ها صورت گیرد توانایی خاک به عنوان محیط پذیرنده کاهش یافته یا به طور کلی از بین می رود. Alloway و همکاران (۱۹۹۰) بیان نمودند که انتقال این عناصر از خاک به محصولات کشاورزی و دامی سبب ورود این عناصر به چرخه غذایی انسان و دام می گردد و مسمومیت ناشی از این فلزات سبب آسیب جدی به سیستم مغز، کلیه، تولید مثل و گردش خون می گردد. پیوست (۱۳۷۷) بیان کرد که گوجه فرنگی از محصولات بسیار مهمی است که به علت داشتن انواع ویتامینها، کاروتن، اسیدهای مفید، قند و املاح معدنی نقش مهمی را در سلامت انسان ایفا می کند. مبلی (۱۳۷۳) اظهار نمود که این گیاه تقریباً در همه خاکها رشد می کند. کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۳۸۰) گوجه فرنگی را یک گیاه نیمه حساس به آلودگی عناصر سنگین معرفی کرد. علی اصغر زاد (۱۳۷۶) بیان کرد که این گیاه توانایی برقراری رابطه همزیستی با قارچهای میکوریز را دارد. میکوریز عبارت از همزیستی بین ریشه گیاه و قارچ می باشد.رایج ترین نوع این همزیستی در گیاهان زراعی ،مرتعی و باغی میکوریز آربوسکولار Arbuscular Mycorrhizaeمی باشد. Siqueira و همکاران (۱۹۹۹) بیان نمودند که قارچهای میکوریزی جهت اصلاح بیولوژیک مکانهای آلوده به عناصر سنگین بسیار با اهمیت می باشند: همچنین اظهار نمودند که درصد کلنیزاسیون ریشه به قارچهای میکوریزی و رشد گیاه گوجه فرنگی در خاکهای آلوده به عنصر کادمیوم کاهش می یابد. تحقیقات انجام گرفته توسط Joner و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که کاهش جذب کادمیوم در گیاه شبدر به دلیل حضور همزیستی قارچهای میکوریزی با ریشه گیاه شبدر می باشد همچنین بیان کردند که گیاهان میکوریزی عنصر کادمیوم را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی از خاک جذب می کنند ولی داخل هیفهای خود درون ریشه گیاه میزبان رسوب داده و اجازهٔ انتقال کادمیوم را به اندامهای هوایی نمی دهند. Weissen horn و همکاران (۱۹۹۵) در بررسی تأثیر قارچهای میکوریزی بر گیاه ذرت در خاکهای آلوده به عنصر سنگین کادمیوم نشان دادند که تلقیح قارچهای میکوریزی جدا شده از زمینهای آلوده به این عنصر سنگین درصد کلنیزاسیون ریشه را به قارچ بیشتر از قارچهای میکوریزی که از زمینهای غیر آلوده جدا شده بودند افزایش می دهد همچنین نتیجه گرفتند که گیاهان میکوریزی بیوماس گیاه را افزایش داده و غلظت عناصر سنگین را در گیاهان پایین می آورند. همچنین قارچهای میکوریزی مقاومت گیاه را در مقابل عناصر سنگین افزایش می دهند.Bradly و همکاران (۱۹۹۸) و Chang و همکاران (۱۹۸۱) اظهار نمودند که میکوریزی انتقال سرب و کادمیوم را به ساقه گیاه کاهش می دهند. Becerril و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی اثر قارچهای میکوریزی بر روی گیاه لوبیا در خاکهای آلوده به عنصرکادمیوم نشان دادند که با افزایش کادمیوم به خاک ،بیوماس و رشد ریشه گیاه کاهش می یابد ولی در حضور قارچهای میکوریزی کادمیوم اثر منفی معنی دار بر بیوماس گیاه ندارد. قارچهای میکوریزی عملکرد گیاه لوبیا را در حضور کادمیوم نسبت به شاهد بدون قارچ افزایش دادند.در همین آزمایش عنصرکادمیوم فعالیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داد و این کاهش در گیاهان میکوریزی ۳۱-۱۵٪ و در گیاهان غیر میکوریزی ۷۶-۶۲٪ بود. همچنین در گیاهان میکوریزی غلظت فسفر تقریباً دو برابر آن در گیاهان غیر میکوریزی بود. غلظت کادمیوم ریشه گیاهان میکوریزی ۵۰-۲۰ برابر غلظت آن در ساقه بود. همچنین غلظت کادمیوم در دانه لوبیا در حضور قارچهای میکوریز نسبت به شاهد بدون قارچ به طور معنی دار کاهش یافت. Ricken and hofner (۱۹۹۲) نشان دادند که قارچهای میکوریز جذب عناصر سنگین را در گیاه جو کاهش می دهند. Cong و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که آلودگی خاک به عناصر سنگین (کادمیوم،سرب،روی ومس) ظرفیت نگهداری فسفر را در خاک افزایش می دهند به عبارت دیگر عناصر سنگین تثبیت فسفر را در خاک افزایش داده و قابلیت دسترسی آن را کاهش می دهند. امروزه برای حل معضل اثرات سمی عناصر سنگین در خاک از روشهای بیولوژیک مثل گیاه پالایی و همزیستی ریشه گیاهان با

میکروارگانیسم ها استفاده می کنند که در کشور ما در این زمینه تحقیقات ناچیزی صورت گرفته است.به همین دلیل اثر قارچهای میکوریز آربوسکولار در میزان جذب عنصر کادمیوم توسط گوجه فرنگی تحت تأثیر سطوح مختلف کادمیوم و فسفر هدف این تحقیق قرار گرفت.

## مواد و روشها

برای کشت گوجه فرنگی رقم سلطان (Soltan) و $F_1$ با بستر ماسه شسته شده انتخاب گردید. ماسه ها به مدت دو ساعت با بخار آب ۱۰۰ درجه سانتیگراد و فشار نیم اتمسفر پاستوریزه شدند.آزمایش در شرایط گلخانه بر اساس طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل با سه عامل (قارچ میکوریزی آربوسکولار، فسفر و کادمیوم) در چهار تکرار به اجرا در آمد.عامل قارچ در سه سطح (*گلوموس اتونیکاتوم، گلوموس ورسی فرم*[1] و شاهد بدون قارچ)، سطوح فسفر شامل (۴۰،۲۰،۰ میلیگرم فسفر در لیتر بفرم آمونیم دی هیدروژن فسفات) و سطوح کادمیوم شامل (۱،۰/۰۲و۵ میلیگرم در لیتر بفرم نیترات کادمیوم) به همراه محلول غذایی Johnson اعمال گردید. بنا به اظهارات Wang و همکاران این محلول غذایی برای تغذیه گیاه گوجه فرنگی مناسب می باشد. برای تهیه مایه تلقیح قارچهای میکوریزی آربوسکولار در شرایط بستر کشت پاستوریزه حاوی مخلوط خاک / ماسه به نسبت ۵/۱ و در حضور گیاه سورگوم در شرایط گلخانه به مدت چهار ماه تکثیر شدند. Goh و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که در مطالعات تغذیه ای بر روی قارچ های میکوریزی، بایستی اثر قارچهای بومی را حذف کرده تا فعالیت آنها را در رشد گیاه و جذب عناصر مشاهده نمایند که معمولاً از حرارت دادن برای این عمل استفاده نموده و با حرارت مرطوب (۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت دو ساعت) قارچهای میکوریزی را از بین می برند. پس از چهار ماه قسمت هوایی گیاه سورگوم از سطح خاک قطع شد و مخلوط داخل گلدان شامل هیفها، اسپورها و ریشه های میکوریزی همراه خاک به عنوان مایه تلقیح قارچی مورد استفاده قرار گرفت. بذور پس از ضدعفونی سطحی و شستشو با آب در خزانه ای با بستر ماسه پاستوریزه کشت شده و در شرایط کنترل شده گلخانه تا مرحله سه تا چهار برگی (نشاء) به همراه آبیاری، تغذیه نیز شدند. قبل از انتقال نشاءها به گلدانهای هشت کیلویی حاوی ماسه پاستوریزه شده، با توجه به تعداد اسپورها در مایه های تلقیح قارچی ۴۰۰ و ۶۰۰ عدد در ده گرم از مایه تلقیح به ترتیب از قارچ های *گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس ورسی فرم* جداگانه به گلدانهای با تیمار قارچی به میزان ۶۰ و ۴۰ گرم اضافه شدند. جهت انتقال نشاءها یک سا عت قبل، خزانه آبیاری شد و سپس نشاءهای تقریباً هم اندازه با تمام ریشه از خزانه بیرون آورده شدند و یک نشاء در هر گلدان کشت گردید. مدت زمان روشنایی آن با نور تکمیلی (لامپهای جیوه ای و سدیمی) به مدت ۱۱ ساعت بود. دمای روز / شب حدود۲+ ۱۵/۲۷ درجه سانتیگراد بود. کل طول دوره رشد گیاه پنج ماه به طول انجامید که در این مدت نیز گیاه با محلول غذایی Johnson به همراه سطوح مختلف فسفر و کادمیوم تغذیه شدند. با توجه به تیمارها ۹ نوع محلول غذایی (اعمال سطوح مختلف فاکتورها) قبل از آبیاری آماده می شدند و سپس مورد استفاده گیاه قرار می گرفتند. میزان آبیاری در حدی بود که۱/۴ محلول غذایی از زهکش خارج شود تا مواد غذایی و کادمیوم در خاک تجمع نیابد. گیاهان در اوایل دوره رشد سه روز در میان و در اواخر دوره رشد یک روز در میان آبیاری و تغذیه می شدند. پس از برداشت محصول درصد کلنیزاسیون ریشه به قارچهای میکوریزی، غلظت کادمیوم در بخش میوه، ریشه و بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی مورد اندازه گیری قرار گرفتند. بخش هوایی، میوه و سیستم ریشه ای آن پس از شستشو با آب مقطر در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد و به مدت ۷۲ ساعت خشک گردید. با توجه به اظهارات Cottenie (۱۹۸۰) جهت اندازه گیری فسفر و کادمیوم از هضم به روش سوزاندن خشک استفاده گردید. پس از تهیه عصاره گیاه کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی و فسفر به روش رنگ سنجی (وانادات–مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. بنابه اظهارات Dalpe (۱۹۹۳) برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه ها رنگ آمیزی شدند بدین صورت که ابتدا ریشه ها با آب معمولی شسته شده و با استفاده از تیغ به قطعات یک سانتیمتری تقسیم گردیدند. سپس قطعات ریشه را داخل KOH ده درصد به مدت یک ساعت و در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد که در این مرحله کاملا سفید می شوند و پس از شستشو با آب به مدت سه دقیقه در HCl یک درصد گذاشته شدند رنگ آمیزی ریشه ها بدون شستشوی آنها و به همان حالت اسیدی با محلول رنگی فوشین اسیدی صورت گرفت. برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه ها از روش تلاقی خطوط شبکه (Grid line intersect method) استفاده شد. محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس، مقایسه میانگین ها به روش دانکن و روابط همبستگی با استفاده از نرم افزار

---

۱- این دو گونه قارچ از آزمایشگاه بیولوژی خاک گروه خاکشناسی دانشگاه تبریز دریافت گردید.

MSTATC و رسم نمودار و جداول به وسیله نرم افزار Excel انجام گرفت.

## نتایج و بحث

همان طور که در جدول (۱) نشان داده شده است اثر عوامل فسفر، کادمیوم و قارچ بر روی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گوجه فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اثرات متقابل سطوح فسفر و سطوح کادمیوم با عامل قارچ بر روی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه نیز معنی دار شد (P< ۰/۰۱). ولی اثر متقابل سطوح فسفر باسطوح کادمیوم بر روی درصد کلنیزاسیون ریشه معنی دار نشد. مقایسه میانگین تیمارها نشان می دهد که با افزایش فسفر درصد کلنیزاسیون ریشه افزایش می یابد ولی اختلاف معنی داری بین سطح دوم و سوم فسفر مشاهده نگردید (شکل۱). به عبارت دیگر سطح دوم و سطح سوم فسفر [توصیه شده بر اساس جدول کودی خوگر و همکاران (۱۳۷۹)] به یک میزان درصد کلنیزاسیون ریشه را افزایش دادند گرچه از نظر عددی سطح سوم فسفر درصد کلنیزاسیون ریشه پایین تری داشت، که دلیل آن کمبود شدید میزان فسفر قابل جذب در بستر کشت (سطح صفر فسفر)جهت تحریک برای شروع فعالیت قارچ های میکوریزی می باشد و احتمالاً غلظت آستانه فسفر برای بازدارندگی فعالیت این قارچها بیش از سطح سوم فسفر بوده است. تحقیقی که توسط Rosewarne و همکاران (۱۹۹۷) در مورد اثر سطوح مختلف فسفر در مراحل مختلف رشد بر درصد کلنیزاسیون ریشه ای گوجه فرنگی با قارچ های میکوریزی وزیکولار آربوسکولار صورت گرفته نشان داد که درصد کلنیزاسیون ریشه در هر مرحله از رشد تحت تأثیر سطوح مختلف فسفر قرار دارد و اثر متقابل همزیستی میکوریزی و فسفر با گذشت زمان موجب افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه می گردد اما تشکیل هیفهای درونی، وزیکول و آربوسکول با رشد گیاه در خاکهایی که فسفر بالایی داشتند به طور معنی دار کاهش یافت. بررسی میانگین عامل کادمیوم نشان می دهد که با افزایش غلظت این عنصر درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش می یابد.به عبارت دیگر کادمیوم فعالیت قارچ های میکوریزی را کاهش می دهند اما اختلاف معنی داری بین سطح اول و دوم کادمیوم مشاهده نگردید (شکل۱). بررسی Hashem و همکاران (۱۹۹۰) نیز نشان داد که درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه جاروب با افزایش غلظت عناصر سنگین به خاک کاهش می یابد.

مقایسه میانگین عامل قارچ نشان می دهد که تلقیح قارچ های میکوریزی بر درصد کلنیزاسیون ریشه مؤثر بودند (شکل۱). ولی اختلاف معنی دار بین گونه های قارچی *گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس ورسی فرم* بدست نیامد. به عبارت دیگر دو گونه قارچی تلقیح شده، درصد کلنیزاسیون ریشه را به یک اندازه افزایش داده بودند. مقایسه میانگین اثرات متقابل عامل قارچ با عامل کادمیوم (شکل۲) نشان می دهد که با افزایش سطوح کادمیوم در حضور قارچ های میکوریزی درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش می یابد. به عبارت دیگر افزایش غلظت کادمیوم در خاک فعالیت قارچ های میکوریزی را کاهش می دهد. تحقیقات انجام گرفته توسط Andrade و همکاران (۲۰۰۴) بر روی گیاه سویا نیز نشان می دهد که افزایش عنصرکادمیوم سبب کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه و تعداد اسپور قارچ هم در مرحله گلدهی و هم در مرحله نهایی رشد سویا می شود.

میانگین اثرات متقابل عاملهای قارچ و فسفر(شکل ۳) نشان می دهد که با افزایش فسفر درصد آلودگی ریشه گیاه افزایش می یابد گرچه اختلاف معنی داری بین سطح دوم و سوم فسفرمشاهده نشد. در سطح دوم و سوم فسفر درصد آلودگی ریشه به یک اندازه در هر دو گونه قارچی افزایش می یابد یعنی سطح دوم فسفر برای فعالیت قارچ های میکوریزی مناسب می باشد که در این سطح ۲۰ کیلو گرم فسفر در هکتار کمتر از میزان مورد نیاز و توصیه شده گوجه فرنگی استفاده می شود یعنی می توانیم کود را ۲۰ کیلوگرم در هکتار در بستر ماسه و کشت گلخانه ای کاهش دهیم ولی اثر منفی در فعالیت قارچهای میکوریزی مشاهده ننماییم. تحقیقی را که علیزاده و همکاران (۱۳۸۰) انجام دادند همین نتیجه را در رقم کورا(Cora) گیاه گوجه فرنگی مشاهده نمودند.

با توجه به جدول (۱) مشاهده می شود که اثر بلوک، عاملهای فسفر، کادمیوم و قارچ بر روی غلظت کادمیوم در بخشهای مختلف گیاه (میوه، ساقه و ریشه) گیاه گوجه فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین اثرات متقابل عامل کادمیوم با عوامل فسفر و قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین اثر عامل فسفربر روی غلظت کادمیوم بخش میوهٔ گیاه گوجه فرنگی نشان داد که با افزایش فسفر جذب کادمیوم در بخش میوهٔ گیاه به طور معنی دار کاهش می یابد (شکل۴) که شاید به دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول کادمیوم با فسفر و یا اثر رقابت بین دو عنصر در جذب توسط ریشهٔ گیاه می باشد. بررسی میانگین اثر عامل کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم بخش میوهٔ گیاه گوجه فرنگی نشان می دهد که با افزایش کادمیوم غلظت آن در بخش میوهٔ گیاه به طور معنی دار افزایش یافت (شکل۴) و

این به دلیل رقابت عناصر می باشد که غلظت هر عنصری بیشتر باشد مانع از جذب سایر عناصر شده و آن عنصر بیشتر جذب می شود. تحقیقات Ozeres و همکاران (۱۹۹۷) نشان می دهد که گوجه فرنگی های کشت شده در خاکهایی که به آنها لجن فاضلاب حاوی عناصر سنگین اضافه شده بود، جذب کادمیوم در گیاه با افزودن مقدار لجن فاضلاب افزایش می یابد. Moral و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که گوجه فرنگی های کشت شده در حضور سطوح مختلف کادمیوم (۱۰۰،۳۰،۳،۰ mgCd/Kg ) با افزایش سطوح کادمیوم در خاک مقدار آن در میوهٔ گیاه افزایش می یابد. مقایسه میانگین اثر اصلی عامل قارچ بر روی غلظت کادمیوم در بخش میوهٔ گیاه نشان داد که تلقیح قارچ های میکوریزی غلظت کادمیوم در بخش میوهٔ گیاه را نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی دار کاهش می دهد، گرچه اختلاف معنی داری بین دو گونه قارچ تلقیح شده مشاهده نگردید (شکل۴). Janouskova و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تلقیح قارچهای میکوریز در خاکهای آلوده به عنصر کادمیوم، غلظت این عنصر را در ساقهٔ گیاه توتون کاهش می دهد.

بررسی میانگین اثر ترکیب تیماری فسفر × کادمیوم نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم در حضور فاکتور فسفر میزان کادمیوم در بخش میوهٔ گیاه به طور معنی دار کاهش می یابد (شکل۵).

مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل عامل کادمیوم و قارچ نشان داد که با افزایش کادمیوم در حضور قارچهای میکوریزی غلظت این عنصر در بخش میوهٔ گیاه نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی دار کاهش می یابد.البته اثر قارچ *گلوموس ورسی فرم* در سطوح بالای کادمیوم بیشتر از قارچ *گلوموس اتونیکاتوم* بود (شکل۶).

در جدول (۱) مشاهده گردید که اثر بلوک، فسفر، قارچ و کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثرات متقابل عامل کادمیوم با عوامل قارچی و فسفردر سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین اثر اصلی عامل فسفر بر روی غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه نشان داد که با افزایش فسفر، غلظت کادمیوم در بخش هوایی گیاه کاهش می یابد، گرچه بین سطح دوم و سوم فسفر اختلاف معنی دار مشاهده نشد (شکل۷). تحقیقات Brown و همکاران (۲۰۰۵) نشان می دهد که عنصر فسفر سبب کاهش سمیت عناصر سنگین می شود. مقایسه میانگین اثر اصلی عامل کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه نشان داد که با افزایش کادمیوم، غلظت آن در بخش هوایی گیاه افزایش می یابد (شکل۷).

تحقیقات انجام گرفته توسط Davis (۱۹۸۴) نشان می دهد که انباشت کادمیوم در بافت گیاهی، ارتباط مستقیم با غلظت این عنصر در خاک دارد که با افزایش غلظت آن در خاک غلظت کادمیوم نیز در بافتهای گیاهی افزایش می یابد. نتایج حاصل از تحقیقات Singh و همکاران (۱۹۸۴) بیانگر این است که با افزایش مقدار لجن مورد استفاده در یک آزمایش گلخانه ای، مقدار کل جذب عناصر کادمیوم، سرب، روی و نیکل توسط گیاه افزایش می یابد. مقایسه میانگین اثر اصلی فاکتور قارچ بر روی غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه نشان داد که تلقیح قارچ های میکوریزی غلظت این عنصر را در بخش هوایی گیاه نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی دار کاهش می دهد، گرچه اختلاف معنی داری بین دو گونه قارچ تلقیح شده مشاهده نگردید (شکل۷)

بررسی میانگین اثر ترکیب تیماری فسفر × کادمیوم نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم در حضور فاکتور فسفر میزان کادمیوم در بخش هوایی گیاه به طور معنی دار کاهش می یابد (شکل۸) که شاید به دلیل تشکیل ترکیبات نا محلول این دو عنصر باشد. Becerill و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه لوبیا در حضور قارچهای میکوریز افزایش یافته ولی غلظت کادمیوم در بذر لوبیا در حضور قارچهای میکوریز نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی دار کاهش می یابد. Andrade و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که که در خاکهای آلوده به عناصر سنگین، قارچهای میکوریزی جذب این عناصر را در گیاه سویا افزایش داده و این عناصر در ریشه ها تجمع یافته و کمتر به بخش هوایی یا بذرها انتقال می یابند.

مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل عامل کادمیوم با عامل قارچی نشان می دهد که با افزایش سطوح کادمیوم در حضورعامل قارچی غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه نسبت به شاهد بدون قارچ کاهش می یابد (شکل۹).

با توجه به جدول (۱) مشاهده می شود که اثر بلوک، عامل های فسفر، کادمیوم و قارچ بر روی غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین اثرات متقابل عامل کادمیوم با عامل قارچی نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین اثر اصلی عامل فسفر بر روی غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه نشان داد که با افزایش فسفر، غلظت کادمیوم در بخش ریشهٔ گیاه به طور معنی دار کاهش می یابد و اختلاف بین سطح اول و سوم فسفر معنی دار است (شکل۱۰). Brown و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که عنصر فسفر سبب کاهش سمیت عناصر سنگین می شود. مقایسه میانگین اثر

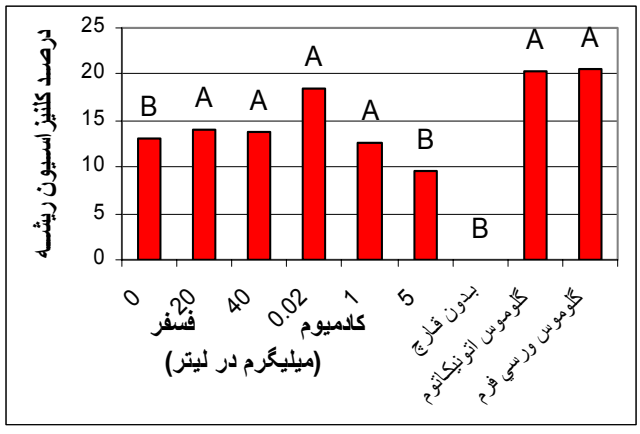
اصلی عامل کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم، غلظت آن در بخش ریشهٔ گیاه به طور معنی دار افزایش می یابد (شکل ۱۰).

مقایسه میانگین اثر اصلی فاکتور قارچ بر روی غلظت کادمیوم بخش ریشهٔ گیاه نشان داد که تلقیح قارچ های میکوریزی غلظت این عنصر را در بخش ریشهٔ گیاه نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی دار کاهش می دهد، گرچه اختلاف معنی داری بین دوگونه قارچ تلقیح شده مشاهده نگردید (شکل ۱۰). قارچ های میکوریزی با افزایش سطح جذب کننده توسط هیفها، جذب عناصر غذایی را افزایش می دهند که احتمالاً جذب کادمیوم را نیز در این گیاه افزایش داده اند. Norris و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که با کشت گیاه شاهدانه در خاکهای آلوده به عناصر سنگین، میزان عناصر سنگین در ریشه، برگ و ساقهٔ گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود. Blaylock and Huang (۱۹۹۹) بیان کردند که خیلی از گیاهان سرب را پس از جذب از خاک در ریشه های خود جمع کرده و آنرا به اندامهای هوایی کمتر انتقال می دهند. مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل عامل کادمیوم با عامل قارچی نشان می دهد که با افزایش سطوح کادمیوم در حضور عامل قارچی غلظت کادمیوم بخش ریشهٔ گیاه نسبت به شاهد بدون قارچ افزایش می یابد (شکل ۱۱).

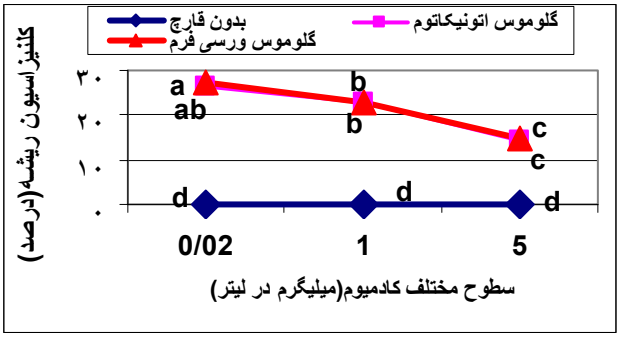
اثرات متقابل سه گانه (جدول۱) نشان داد که اثر معنی دار بین عاملهای قارچ، فسفر و کادمیوم وجود ندارد.

ضرایب همبستگی (جدول۲) نشان می دهد که غلظت کادمیوم میوه گیاه همبستگی مثبت و معنی دار با غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه گیاه و همبستگی منفی و معنی دار با درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد دارد. غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه همبستگی منفی و معنی دار ($P < ۰/۰۵$) با درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه و همبستگی مثبت و معنی دار ($P < ۰/۰۱$) با غلظت کادمیوم ریشه گیاه داشت. همبستگی بین غلظت کادمیوم ریشه گیاه و درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه معنی دار نشد.

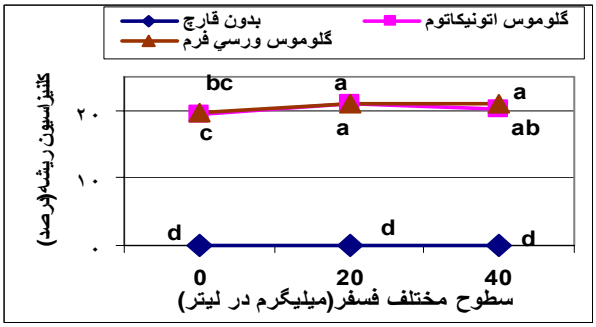
در یک سیستم کشاورزی پایدارفقط توجه به حداکثر عملکرد بدون توجه به سایر پارامترها از قبیل فعالیت و نقش میکروارگانیسم ها جایگاهی ندارد. بایستی با تلقیح قارچهای میکوریزی به ریشه گیاهان از سمیت عنصر کادمیوم به گیاه کاسته و با کاهش مصرف کودهای فسفری تا حدی که به گیاه تنش کمبود وارد نشود، فرصت دهیم که همزیستی های میکوریزی به حداکثر بهره دهی برسند.



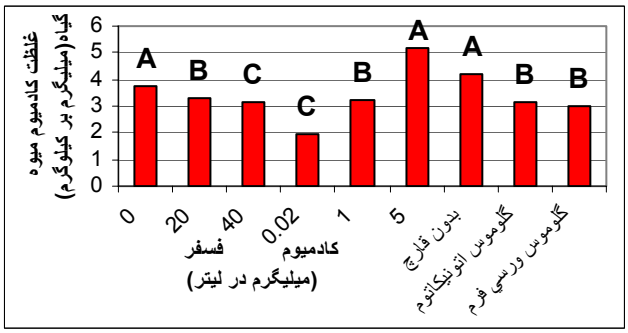

**شکل ۱ - مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ بر درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گوجه فرنگی**



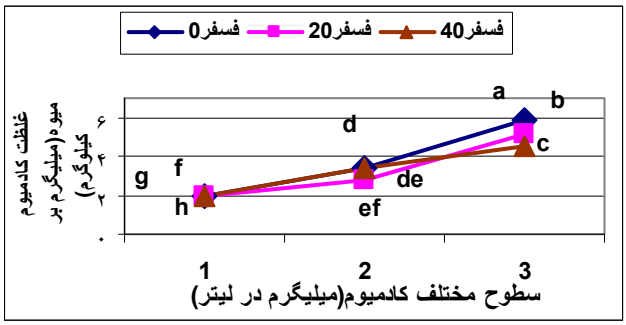

**شکل ۲ - مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و سطوح کادمیوم بر روی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گوجه فرنگی**



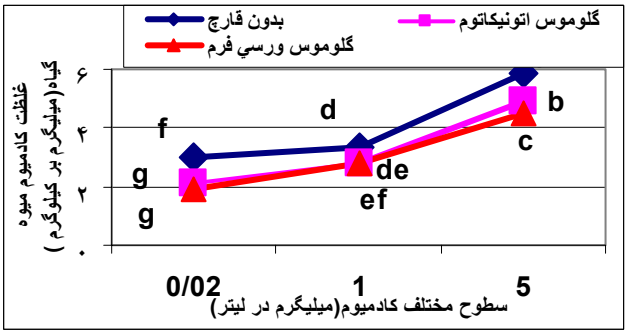

**شکل ۳ - مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و سطوح فسفر بر روی درصد آلودگی ریشه گیاه گوجه فرنگی**



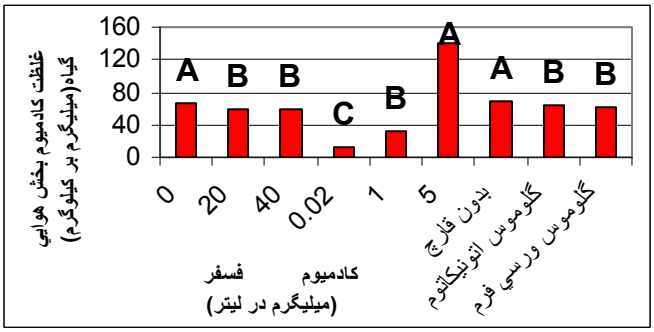

**شکل ۴ - مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف فسفر کادمیوم و قارچ بر غلظت کادمیوم میوهٔ گیاه گوجه فرنگی**



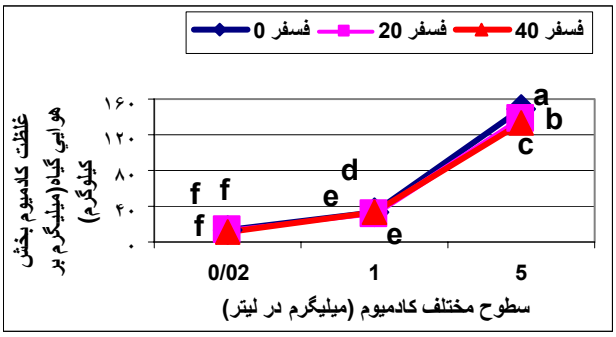

شکل ۵ – مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و سطوح فسفر بر غلظت کادمیوم میوهٔ گیاه گوجه فرنگی



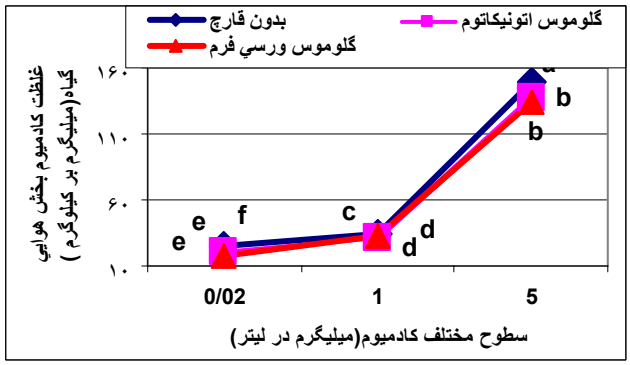

شکل ۶ – مقایسه میانگین اثر متقابل عاملهای قارچی و سطوح کادمیوم بر غلظت کادمیوم میوه گیاه گوجه فرنگی



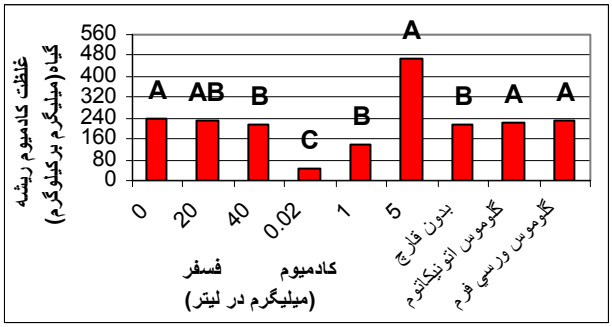

شکل ۷ – مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ بر غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی



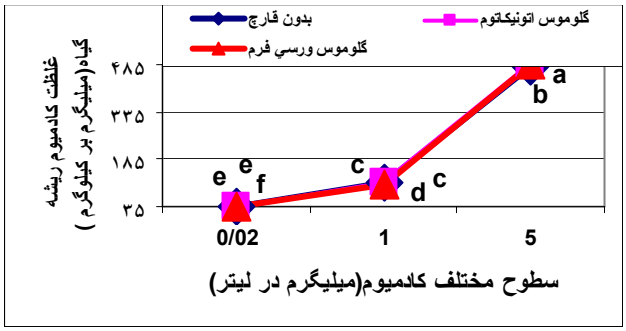

**شکل ۸ – مقایسه میانگین اثر متقابل عاملهای کادمیوم و سطوح فسفر بر غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی**




**شکل ۹ – مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و قارچ بر غلظت کادمیوم در بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی**




**شکل ۱۰ – مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ بر غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه گوجه فرنگی**




**شکل ۱۱ – مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و قارچ بر غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه گوجه فرنگی**

**جدول ۱ - نتایج تجزیهٔ واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات مورد بررسی گوجه فرنگی**

| منابع تغییر | درجهٔ آزادی | درصد آلودگی ریشه | غلظت کادمیوم در ریشهٔ گیاه | غلظت کادمیوم در بخش هوایی گیاه | غلظت کادمیوم در میوهٔ گیاه |
|---|---|---|---|---|---|
| | | میانگین مربعات (M.S.) | میانگین مربعات | میانگین مربعات | میانگین مربعات |
| بلوک | **۳** | ۰/۸۰۲ Ns | ۱۹۷۲/۴۸۳** | ۲۸۹/۹۶۳ ** | ۱۳/۸۴۵ ** |
| فسفر | ۲ | ۱۲/۳۶۱ ** | ۵۲۱/۰۹۲ ** | ۱۰۳۵/۰۸۳ ** | ۹/۵۲۸ ** |
| کادمیوم | ۲ | ۷۹/۳۵۲ ** | ۲۰۶۴۶۸۴/۱۱۶ ** | ۱۹۱۴۳۲/۵۴۲ ** | ۱۱۷/۳۲ ** |
| فسفر × کادمیوم | ۴ | ۱/۴۰۷ Ns | ۵۵/۱۷۰ Ns | ۱۹۴/۱۵۲ ** | ۰/۹۳۲ ** |
| قارچ | ۲ | ۵۰۷۸/۸۲۹ ** | ۱۰۳۷/۵۳۷ ** | ۵۷۳/۷۷۵ ** | ۷/۶۹۴ ** |
| فسفر × قارچ | ۴ | ۳/۱۵۹ ** | ۴/۴۶۵ Ns | ۶/۹۵۷ Ns | ۰/۰۴ Ns |
| کادمیوم × قارچ | ۴ | ۱۹/۹۵۱ ** | ۱۰۹/۸۴۰ * | ۴۴/۷۱۲ ** | ۰/۵۴۱ ** |
| فسفر× کادمیوم×قارچ | ۸ | ۱/۷۶۱ Ns | ۷۶۹/۸۱۱ Ns | ۷۹/۶۹۷ Ns | ۰/۳۸۳ Ns |
| اشتباه | ۷۸ | ۰/۷۴۱ | ۳۴/۴۹۳ | ۸/۵۰۳ | ۰/۰۵۹ |
| | | Cv =٪ ۶/۲۸ | Cv =٪ ۲۱/۶۷ | Cv =٪ ۴/۳۵ | Cv =٪ ۶/۵۳ |

*،**، Ns به ترتیب معنی دار بودن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار

**جدول ۲- ضرایب همبستگی بین عوامل مورد بررسی**

| | غلظت کادمیوم در ریشهٔ گیاه | غلظت کادمیوم در بخش هوایی گیاه | غلظت کادمیوم در میوهٔ گیاه |
|---|---|---|---|
| درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه | - ۰/۱۰۳ Ns | −۰/۱۷۴ * | −۰/۳۱۲ ** |
| غلظت کادمیوم در ریشهٔ گیاه | ---------- | ۰/۹۹۳ ** | ۰/۸۵۶ ** |
| غلظت کادمیوم در بخش هوایی گیاه | ---------- | ---------- | ۰/۸۸۸ ** |
| غلظت کادمیوم در میوهٔ گیاه | ---------- | ---------- | ---------- |

*،**، Ns به ترتیب معنی دار بودن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار

## فهرست منابع:


۱. پیوست، غلامعلی.۱۳۷۷. سبزیکاری (ترجمه). انتشارات دانشگاه گیلان. ۳۸۴ صفحه.

۲. خوگر، زهرا. ارشد: کامران و ملکوتی: محمد جعفر.۱۳۷۹. اثرات مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد گوجه فرنگی. نشریه فنی شماره ۶۵. موسسه تحقیقات خاک وآب. ۲۱ صفحه.

۳. علی اصغرزاده، ناصر.۱۳۷۶. میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک. انتشارات دانشگاه تبریز.ص۳۲۳-۳۰۲ .

۴. علیزاده اسکویی، پریسا. علی اصغرزاد، ناصر و باغبان سیروس، شهرام. ۱۳۸۴. تأثیر قارچهای میکوریز VA بر عملکرد و غلظت ویتامین ث میوه گوجه فرنگی در سطوح مختلف فسفر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.۷۰-۶۰:(۶)۱۲.

۵. بی نام. ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی (ترجمه). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۴۲۸ صفحه.

۶. مبلی، مصطفی و پیراسته، بهمن. ۱۳۷۳. تولید سبزی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ص۶۸۵-۶۷۵.

7. Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons Inc., New York, PP: 20-27.

8. Andrade,S.A.L., C.A.Abreu, M.F. de Abreu., and A.P.D. Silveria .2004.Influence of lead additions on arbuscular mycorrhiza and Rhizobium symbioses under oybean.Applied Soil Ecology.Volume 26(2):123-131.

9. Arnfalk,P., S.A.Wasay, and S.Tokunga.1996.A Comparative Study of Cd,Cr,Hg and Pb Uptake by Minerals and Soil Materials.J.Water,Air and Soil Pollution,87:.31-148.
10. Becerril,F.R.,C.Calantzis,K.Turnau,J.P.Caussanel,A.A.Belimov,S.Gianinazzi,R.J. Strasser,andV.G.Pearson.2002.Cadmium accumulation and buffering of cadmium industed stress by arbuscular mycorrhiza in three Pisum sativum L.genotypes.Journal of Experimental Botany.53(371):1177-1185.
11. Blaylock,M.J., and J.W.Huang.1999.Phytoextraction of metals.In Phytoremediation of Toxic Metals:Using Plants to Clean up the Environment .I.Raskin,B.D.Ensley(eds),PP.53-70.John Wiley and Sons Inc,New York,NY.
12. Bradley,R.,A.J.Burt,Read1982.The biology of mycorrhiza in the Ericaceae.VIII.The role of mycorrhizal infection in heavy metal resistance.New Phytologist.91(2):197-209.
13. Brown,J.,D.Jolley,and D.J.Van.1986.An evaluation of concepts related to iron deficiency chlorosis.Journal of plant Nutrition.9(3):175-186.
14. Brown,S.,B.Vhristensen,L.Enzo,M.Mclaughlin,S.cgrath,J.Colpaert,and J.Vangronsveld. 2005.An interlaboratory study to test the ability of amendents to reduce the availability of Cd,Pb,and Zn in situ.Environmental Pollution.138(1):34-45.
15. Chang,A.C.,A.L.Page,and F.T.Bingham.1981.Chemical composition of wastewater sludge.J.WPCF(Water Pollution Control Federation).53(2):237-243.
16. Cong,T.,Z.Chun Rong,C.HuaiMan.2002.Effect of heavy metals on phosphorus retention by typic udic Ferrisols.Equilibrium and Kinetics.Pedospher.12(1):15-24.
17. Cottenie,A.1980.Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendations.FAO Soils Bull.38/2.FAO.Rome.
18. Dalpe,Y.1993.Vesicular-Arbuscular mycorrhiza.In.M.R.Carter(ed).Soil Sampling and Methods of Analysis.Lewis Publishers.pp.287-301.
19. Davis,R.D.1984.Cadmium in sludg used as fertilizer.Environ.Protect. Direct. 40:117-126.
20. Flores,L., G.Blas, G.Hernandez, and R.Alcala.1997.Distribution and sequential extraction of some heavy metals from soils irrigated with wastewater from Mexico City.J. Water,Air and Soil Pollution,98:105-117.
21. Goh,T.B., M.R.Banerjee, S.Tu, and D.L.Burton. 1997.Vesicular arbuscular mycorrhiza mediated uptake and translocation of P and Zn by weat in a calcareous soil.Can.J.Soil.Sci.77:339-346.
22. Hashem,A.R.1990.Hymenoscy Phus ericae and the resistance of Vaccinium macrocarpon to lead.Transactions of the mycological Society of Japon.31(3):345-353.
23. Janouskova,M.,D.Pavlikova,T.Macek,and M.Vosatka.2005.Influence of arbuscular mycorrhiza on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted metallothionein gene.Applied Soil Ecology.29(3):209-214.
24. Joner,E.J., and C.Leyval.1997.Uptake of 109 Cd by roots and hyphae of a Glomus mossea/Trifolium subterraneum mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium.New Phytologist.135(2):353-360.
25. Merrington,G.,and B.J.Alloway. 1997.Determination of the residual metal binding characteristics of soils polluted by Cd and Pb.J.Water,Air and Soil Pollution.100:.49-62.
26. Moral,R.,A.Cortes,I.Gomez,and J.Mataix.2002.Assessing changes in Cd hytoavailability to tomato in amended calcareous soils.Bioresource Technology.85(1):63-68.
27. Norris,J.R.,D.J.Read,and A.K.Varma.1992.Methods in icrobiology.Vol:24.Techniques for the study of mycorrhiza .Academic Press,London.
28. Ozeres,H.M., E.Hanlon, H.Bryan, and B.Schaffer.1997.Cadmium,Copper,Lead,Nickel and Zinc concentrations in tomato and squash grown in MSW compost amended calcareous soil.Compost Science and Utilization.5(4):40-45.

29. Ricken,B., and W. Hofner. 1996.Effect of arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) on heavy metal tolerance of alfalfa (Medicago sativa L.)and oat(Avena sativa L.)on a sewage sludge treated soil .Zeitschrift für Planzenernahrung und Bokenkunde 159:189–194.
30. Rosewarne,G.M., S.J.Barker, and S.E.Smith. 1997.Production of near synchronous fungal colonization in tomato for developmental and molecular analysis of mycorrhiza. Mycological Research.101:966-970.
31. Singh,B.R.,and R.P.Narwal.1984.Plant availability of heavy metals uptake.J.Environ. Qual.13:342-348.
32. Siqueria,J.O.,M.A.M.Pereira,J.B.P.Simao,and F.M.S.Moreira.1999.Effect of formononeti n on mycorrhiza colonization and growth corn in soil with excess of heavy metals.Revista Brasilierade Fisiologia Vegetal.23(3):561-567.
33. Wang,Y.H.,F.G.David,and L.V.Kochian.2001.Nitrate induced genesin tomato roots.Plant physiology,127:345-359.
34. Weissen horn.I.,Mench.M.,Leyval.c.1995.Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhiza in a sewage sludge amended sandi soil.Soil Biology and Biochemistry.27:3 pp.287-296.