دانشگاه شاهد

بسم الله الرحمن الرحيم

	اظهارنامه دانشجو	شماره: تاریخ:

اینجانب **حمید نعمتی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی گرایش **علوم خاک دانشکده کشاورزی** دانشگاه شاهد گواهی می‌دهم که پایان نامه تدوین شده حاضر با عنوان **بررسی بر هم کنش قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) بر شاخص‌های رشد و جذب کادمیوم و سرب در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*).** به راهنمایی استاد محترم جناب آقای **دکتر بستانی** و جناب آقای **دکتر بشارتی** توسط شخص اینجانب انجام و صحت واصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان‌چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدارک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نمایید هم چنین اعلام می‌دارد در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل: گزارش‌های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان نامه حاضر، چارچوب مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحقیقات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارشّ پایان نامه حاضر متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: حمید نعمتی

امضاء دانشجو:

تاریخ:

دانشکده علوم کشاورزی

بررسی بر هم کنش قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) بر شاخص‌های رشد و جذب کادمیوم و سرب در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*).

پایان نامه کارشناسی ارشد علوم خاک

حمید نعمتی

استاد (اساتید) راهنما

دکتر عبدالامیر بستانی **دکتر حسین بشارتی**

استاد (اساتید) مشاور

دکتر علاء الدین کرد نائیج

۱۳۹۱

بسمه تعالی

دانشکده علوم کشاورزی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی کشاورزی

آقای حمید نعمتی به شماره دانشجوئی: ۸۹۷۶۲۰۰۰۲

تحت عنوان : بررسی برهم کنش قارچ میکوریزاآربسکولار و باکتری های محرک رشد گیاه pGpR بر شاخص های رشد و جذب سدیم و سرب در گیاه گوجه فرنگی Lycopersicumesculentum

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۰۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی وتصویب نهائی قرار گرفت که توسط هیئت داوران شایسته ی درجه عالی تشخیص داده شد.

اعضای هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	تخصص	امضاء
استاد / اساتید راهنما :			
۱- دکترعبدالامیر بستانی	استادیار		
۲- دکتر حسین بشارتی	استادیار		
استاد / اساتید مشاور:			
۱- دکتر علاءالدین کرد نائیج	استادیار		
استادان یا محققان مدعو:			
۱- دکتر حشمت امیدی	استادیار		
۲- دکترهوشنگ خسروی	استادیار		

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده : آیت اله سعدی زاده

تقدیر و قدردانی:

سپاس بی شمار او را که انعکاس ذره ای از پرتوی بی منتهایش، آتش اشتیاق آموختن را در آدمی شعله ور می سازد.

سپاس ویژه دارم از جناب آقای دکتر عبدالامیر بستانی و جناب آقای دکتر حسین بشارتی، اساتید محترم راهنما به پاس راهنمائی خالصانه و بی شائبه در تمام مراحل اجراء و تکمیل پایان نامه هم چنین جناب آقای دکتر کردنایج استاد محترم مشاور به پاس همکاری در انجام این فعالیت و اساتید بزرگوار؛ جناب آقای دکتر ترابی و جناب آقای دکتر دواتگر که افتخار تلمذ را از محضرشان داشته ام.

تشکر و سپاسگذاری می کنم از جناب آقای دکتر امیدی داور محترم داخلی و جناب آقای دکتر خسروی داور محترم خارجی به جهت قبول زحمت در امر داوری این پایان نامه نهایت سپاس و قدردانی را می نمایم.

از جناب آقای مهندس فرجی و سرکار خانم فلاح دوست کارشناسان محترم آزمایشگاه گروه مهندسی علوم خاک به خاطر همفکری، راهنمایی و مساعدت های لازم در کلیه مراحل انجام پایان نامه، کمال تشکر و سپاس را دارم.

از کلیه دوستان عزیزم، آقایان، مهندس جباری، حسن شاهی، بوالحسنی، راستی، غفارزاده و انصاری. . . و خانم ها، مهندس یوسفی، اسمائیلی، یزدانی و قاسمی که اینجانب افتخار همراهی و همکلاسی با آن ها را داشته، تشکر و قدردانی می نمایم.

وظیفه خویش می دانم از پدر دلسوز و مادر مهربانم که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند تشکر و قدردانی کنم.

نهال را باران باید

تا بشوید غبار نشسته بر برگهایش و سیرابش کند از آب حیات...

و آفتابی باید تا بتاباند

نیرو را

و محکم کند شاخه های تازه روییده را...

به نام مادر

بوسه ای باید زد دست هایی را که می شویند غبار خستگی روزگار را

و سیراب می کنند روح تشنه را...

به نام پدر

بوسه ای باید زد دست هایی را که می تابانند

نیرو را و محکم می کنند

استواری پایه های زیستن را...

تقدیم به پدر، مادر، خواهر و برادران عزیزم که گرانبهاترین گوهرهای هستی ام هستند...

فهرست مطالب

چکیده ۱

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- فلزات سنگین و اثرات آن‌ها بر آلودگی منابع آب و خاک ۵

۱-۲-۱- فلزات سنگین ۵

۱-۲-۲- آلودگی محیط توسط فلزات سنگین ٦

۱-۲-۳-آلودگی خاک با فلزات سنگین ٦

۱-۳- کادمیوم ۷

۱-۳-۱- کادمیوم در خاک ۷

۱-۳-۲- کادمیوم در گیاه ۸

۱-۳-۳- علائم سمیت کادمیوم در گیاهان ۱۰

۱-۳-۴- اثرات سوء کادمیوم بر انسان ۱۰

۱-٤- سرب ۱۱

۱-۴-۱- سرب در خاک ۱۲

۱-۴-۲- سرب در گیاه ۱۳

۱-۴-۳- اثرات سمیت سرب در انسان ۱۳

۱-۵- استراژی‌های گیاهی در مقابل خطرات محیطی ناشی از سمیت فلزات سنگین ۱۵

۱-۵-۱- پیوند فلزات با دیواره سلولی ۱۵

۱-۵-۲- کلات سازی ۱۵

۱-٦- روش‌های پالایش فلزات سنگین ۱۵

۱-۶-۱ روش غیر درجا ۱٦

۱-۶-۲- روش درجا ۱٦

۱-۶-۳- پالایش زیستی ۱۷

۱-۷- مکانیسم مقاومت به فلزات سنگین در ریز موجودات ۱۸

۱-۷-۱- بر قراری پیوند با فلز ۱۸

۱-۷-۲- غیر متحرک ساختن ۱۸

۱-۷-۳- تخریب زیستی لیگاندهای کمپلکس کننده ۲۰
۱-۸- پالایش زیستی با مشارکت گیاه ۲۱
۱-۸-۱- تصفیه ریشه‌ای ۲۱
۱-۸-۲- تثبیت گیاهی ۲۱
۱-۸-۳- تبخیر گیاهی ۲۲
۱-۸-۴- تخریب گیاهی ۲۲
۱-۸-۵- استخراج گیاهی ۲۲
۱-۹- نقش ریز موجودات مفید خاکزی در گیاه پالایی ۲۳
۱-۹-۱- باکتریهای ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) ۲۳
۱-۹-۲- مکانیسمهای مقاومت باکتریهای ریزوسفری محرک رشد گیاه به فلزات سنگین ۲۳
۱-۹-۳- پالایش فلزات سنگین با مشارکت باکتری‌های محرک رشد گیاه ۲۵
۱-۱۰- قارچ‌های میکوریزی درخاک‌های آلوده به فلزات سنگین ۲۷
۱-۱۰-۱- تحمل پذیری قارچ‌های میکوریزی آربسکولار نسبت به فلزات سنگین ۲۸
۱-۱۰-۲- نقش همزیستی قارچ‌های میکوریزی آربسکولار در پالایش زیستی فلزات سنگین ۲۹
۱-۱۱- مشارکت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در پالایش زیستی... ۲۹
۲-۱- زمان و مکان انجام تحقیق ۳۳
۲-۲- اندازه گیری خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک ۳۳
۲-۳- عوامل و تیمارهای آزمایش ۳۳
۲-٤- تهیه زادمایه قارچ میکوریزی آربسکولار ۳٤
۲-۵-تهیه باکتری ریزوسفری محرک رشد گیاه ۳۵
۲-٦- اعمال تیمارها و کشت گیاه ۳۵
۲-۷- اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید ۳۷
۲-۸- اندازه‌گیری عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی ۳۷
۲-۹- استخراج و شمارش اسپور قارچ‌های میکوریزی ۳۸
۲-۱۰- تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه ۳۹
۲-۱۱- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ٤۰
۳-۱- خصوصیات خاک بستر کشت ٤۲

۳-۲- خصوصیات زادمایه قارچ *Glomus* Sp ٤٣

۳-۳- خصوصیات باکتری *Pseudomonas* Sp ٤٣

۳-٤- اثرات باکتری *Pseudomonas* Sp، *Glomus* Sp و اثرمتقابل آنها بر شاخص‌های رشد گیاه در حضور کادمیوم ٤٣

۳-۴-۱- وزن خشک اندام هوایی، ریشه و نسبت اندام هوایی به ریشه ٤٣

۳-۴-۲ مقدار کلروفیل، کاروتنوئید، ارتفاع گیاه ٤٧

۳-۴-۳ غلظت و جذب کادمیوم در ریشه و اندام هوایی ٥١

۳-۴-۴ کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی ٥٩

۳-۴-۵ تعداد اسپور و درصد کلینزاسیون ریشه ٦٥

۳-۵- اثرات باکتری *Pseudomonas* Sp ، *Glomus* Sp و اثر توأم آن‌ها بر شاخص‌های رشد در حضور سرب ٦٩

۳-۵-۱ وزن خشک اندام هوایی، ریشه و نسبت اندام هوایی به ریشه ٦٩

۳-۵-۲ مقدار کلروفیل، کاروتنوئید، ارتفاع گیاه ٧٣

۳-۵-۳- غلظت و جذب سرب در ریشه و اندام هوایی ٧٨

۳-۵-۴ کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی ٨١

۳-۵-۵ تعداد اسپور و درصد کلینزاسیون ریشه ٨٧

۳-٦- نتیجه‌گیری کلی ٩٣

۳-۷- پیشنهادات ٩٤

منابع ٩٥

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی، ریشه و نسبت اندام هوایی به ریشه در تیمارهای میکروبی و کادمیوم. ٤٥

شکل ۳-۲- میانگین مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و ارتفاع گیاه در تیمارهای میکروبی و کادمیوم ٤٨

شکل ۳-۳- مقایسه میانگین غلظت و جذب کادمیوم در ریشه در تیمارهای میکروبی و کادمیوم ٥٣

شکل ۳-٤- میانگین غلظت و جذب کادمیوم در اندام هوایی در تیمارهای میکروبی و کادمیوم..... ٥٤

شکل ۳-٥- مقایسه میانگین کارایی استخراج، جذب و انتقال گیاهی در تیمارهای میکروبی و کادمیوم ٦١

شکل ۳-٦- مقایسه میانگین تعداد اسپور کلنیزاسیون ریشه در تیمارهای میکروبی و کادمیوم..... ٦٦

شکل ۳-۷- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی، ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در تیمارهای میکروبی و سرب. ۷۱

شکل ۳-۸- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و ارتفاع گیاه در تیمارهای میکروبی و سرب ۷٥

شکل ۳-۹- مقایسه میانگین غلظت و جذب سرب در ریشه و اندام هوایی در تیمارهای میکروبی و سرب ۸۰

شکل ۳-۱۰- مقایسه میانگین کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی در تیمارهای میکروبی و سرب ۸۳

شکل ۳-۱۱- مقایسه میانگین تعداد اسپور و درصد کلنیزاسیون در تیمارهای میکروبی و سرب ۸۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱- خصوصیات کلی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای ٤٢

جدول ۳-۲ پارامترهای اندازه‌گیری شده زادمایه *Glomus* Sp..... ٤٣

جدول ۳-۳- خصوصیات اندازه‌گیری شده باکتری *Pseudomonas* SP ٤٣

جدول ۳-٤- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی،کادمیوم و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی ٤٤

جدول ۳-٥- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، کادمیوم و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و ارتفاع گیاه ٤٧

جدول ۳-٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای میکروبی و کادمیوم بر مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و ارتفاع گیاه ٤٩

جدول ۳-۷- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، کادمیوم و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت و جذب کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ٥٢

جدول ۳-۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای میکروبی و کادمیوم بر غلظت و جذب کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ٥٨

جدول ۳-۹- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، کادمیوم و اثر متقابل آن‌ها بر کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی ٥٩

جدول ۳-۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی و کادمیوم بر کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی ٦٤

جدول ۳-۱۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، کادمیوم و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد اسپور و درصد کلینزاسیون ریش٦٥

جدول ۳-۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی با کادمیوم بر تعداد اسپور و درصد کلینزاسیون ریشه ٦٨

جدول ۳-۱۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، سرب و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه، اندام هوایی و نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه ٧٠

جدول ۳-١٤- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی و سرب بر مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و ارتفاع گیاه ٧٣

جدول ۳-١٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای میکروبی و سرب بر مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و ارتفاع گیاه ٧٧

جدول ۳-١٦- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، سرب و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت و جذب سرب در اندام هوایی و ریشه... ٧٨

جدول ۳-١٧- تجزیه واریانس اثر تیمارهای میکروبی، سرب و اثر متقابل آن‌ها بر کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی ٨٢

جدول ۳-١٨- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکروبی، سرب بر کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی ٨٥

جدول ۳-١٩- تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای میکروبی با سرب بر تعداد اسپور و درصد کلینزاسیون ریشه ٨٧

جدول ۳-٢٠- نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای میکروبی با سرب بر تعداد اسپور و درصد کلینزاسیون ریشه..... ٩١

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر قارچ میکوریز آربوسکولار (AMF) و باکتری‌های PGPR بر شاخص‌های رشد گیاه گوجه فرنگی در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب انجام شد. بدین منظور دو آزمایش گلخانه‌ای جداگانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش اول شامل موجود زنده در چهار سطح شاهد (B_0F_0)، باکتری (B_1F_0)، قارچ (B_0F_1) و اثر توأم باکتری و قارچ (B_1F_1) و چهار سطح کادمیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و برای آزمایش دوم فاکتورها شامل موجود زنده در چهار سطح شاهد (B_0F_0)، باکتری (B_1F_0)، قارچ (B_0F_1) و اثر توأم باکتری و قارچ (B_1F_1) و چهار سطح سرب (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. نتایج نشان داد که در هر دو آزمایش، افزایش سطح کادمیوم و سرب، باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی ریشه، میزان کلروفیل، ارتفاع گیاه، کاروتنوئید، درصد کلنیزاسیون ریشه و تعداد اسپور قارچ میکوریز شد، همچنین غلظت و جذب کادمیوم و سرب در ریشه و اندام هوایی، کارایی استخراج و جذب گیاهی افزایش یافت. حداکثر جذب کادمیوم در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار قارچ بود که به ترتیب افزایش ۲/۱۶ و ۳/۴۲ برابر نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) داشت. در بین تیمارهای میکروبی حداکثر غلظت سرب در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار توأم قارچ و باکتری بود که به ترتیب افزایش ۱/۴۶ و ۶/۸ برابر نسبت به تیمار شاهد داشت. کمترین مقدار جذب و غلظت سرب در اندام هوایی، کارایی استخراج، انتقال و جذب گیاهی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) مربوط به اثر توأم باکتری و قارچ بود. با توجه به نتایج این پژوهش تلقیح قارچ بیشترین تأثیر را در انتقال کادمیوم به اندام هوایی ، تلقیح توأم قارچ با باکتری در تجمع سرب در ریشه و تلقیح جداگانه باکتری در استخرج و انتقال سرب به اندام هوایی نقش موثری داشته‌اند.

کلمات کلیدی: پالایش زیستی، PGPR، *Glomus* Sp، کادمیوم، سرب، گوجه‌فرنگی

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- مقدمه

پیشرفت سریع تکنولوژی در قرن گذشته در کنار مزایای فراوانی که برای بشر به ارمغان آورده، به سبب استفاده نا معقول از آن، منابع طبیعی و محیط زیست از جمله خاک را در معرض آلودگی قرار داده است. خاک به عنوان یکی از اجزاء مهّم محیط زیست، دریافت کننده انواع پسماندهای مختلف است و از این جهت سلامت جوامع بشری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علی‌رغم اثرات بسیار زیادی که آلودگی خاک و زنجیره‌ی غذایی انسان و کیفیت تولیدات مواد غذایی و دیگر اجزاء محیط زیست دارد، این مسئله بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است (Dushenkov, *et al*., 1997). آلاینده‌ها اعم از اینکه در هوا، خاک یا آب باشند، در صورتی که غلظت آنها از حد معینی (غلظت آستانه) بیشتر شود می‌توانند برای محیط خطرناک بوده و برای گیاهان، حیوانات و انسان سمّی باشند. سمّیت در گیاهان ابتدا منجر به کاهش رشد می‌شود. بدیهی است هرگاه غلظت آلاینده‌ها در محیط بسیار بیشتر از حد آستانه شود نابودی کامل گیاه را در پی خواهد داشت (Vcrma, *et al*., 1995). لذا یافتن راهکارهای مدیریتی در جهت پاکسازی یا خنثی‌سازی آن‌ها در محیط امری حیاتی است. پدیده آلودگی خاک، فرآیند انتقال و انباشتگی مواد و ترکیبات خطرناک در آن بوده و این دو پدیده نیز از هم بر هم‌کنش ترکیبات موجود در خاک ناشی می‌شوند. فلزات سنگین آلاینده‌های خطرناکی برای محیط زیست و سلامت انسان به شمار می‌آیند. تحرک فلزات سنگین در خاک، در مقایسه با دیگر فلزات به واسطه ظرفیت بالای ذرات خاک در جذب، کم می‌باشد. از این رو وقتی فلزات سنگین به خاک اضافه می‌شوند، بعضی از غیر متحرک شده، آن‌ها یا به فرم ترکیبات کم محلول یا رسوب یافته در می‌آیند. درجه جذب فلزات سنگین وابسته به فاکتورهای زیست محیطی اجزای تشکیل

دهنده‌ی خاک، ویژگی‌های خاک و همچنین مقدار جذب فلزات سنگین اضافه شده به خاک است. زمان اقامت فلزات سنگین در خاک، مستقیماً با دسترسی زیستی آن‌ها در خاک، ارتباط دارد. مطالعات در این زمینه نشان داده است که بالاترین دسترسی فلزات بلافاصله پس از اضافه کردن آن‌ها به خاک است. این زمان تحت تأثیر واکنش بین یون‌های فلزی به خاک می‌باشد. خاک‌های آلوده به عناصر سنگین علاوه بر خطر سلامتی، به هزینه‌های زیادی برای حذف جایگزینی نیاز دارند. از این رو تکنولوژی‌های متنوع، موثر و ارزان‌تر برای بازیابی اراضی تخریب شده توسعه یافته است. ریشه گیاهان با تعداد زیادی از موجودات زنده مختلف در ارتباط است. واکنش این دو با یکدیگر و با شرایط خاک تعیین کننده رشد و تکثیر گیاهان است (Varvara, *et al*., 2000. Lymch, 1990). در این حالت واکنش بین فلزها، میکروب‌ها و گیاهان به دلیل پتانسیل بیولوژیکی موجودات زنده برای جابجایی فلز به طور مستقیم از خاک‌های آلوده شده، یا انتقال احتمالی فلزات و تجمع یافته در اندام هوایی، همچنین اثر سمّیت فلزات سنگین بر سوخت و ساز میکروبی و رشد گیاهان مورد توجه قرار می‌گیرد .(Geoffrey and. Gadd, 2004 Maize, 1997) واکنش‌های بین گیاهان و میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر می‌تواند تولید زیست توده و تحمل گیاه به فلزات سنگین را افزایش دهد. (Wenzel, *et al*., 1999a; Bernard and Glick, 2003). در بین موجودات ریزوسفری که در واکنش گیاه با خاک اطراف دخالت دارند، باکتری‌های محرّک رشد گیاه (PGPR[1]) مانند حل کننده‌های فسفرو پتاسیم و باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن، ریزوبیوم‌ها، قارچ میکوریزی آربسکولار (AMF) مورد توجه قرار گرفته‌اند (Varvara, *et al*., 2000). همچنین یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به وجود آمده است، همزیستی میکوریزی می‌باشد که در آن ریشه گیاه با قارچ بصورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود می‌برند. میکوریز آربسکولار یکی از رایج‌ترین انواع همزیستی ریشه گیاهان با قارچ‌ها می‌باشد که از نوع اندومیکوریز است، زیرا هیف‌های

1.Plant Growth Promoting Rhizobacteria

قارچ قادر به عبور از دیواره سلول‌های پوست ریشه می‌باشند. از آنجائیکه قارچ‌های میکوریزی پس از برقراری رابطه همزیستی ترشحات ریشه‌ای گیاه میزبان را به صورت کمی و کیفی تغییر می‌دهند لذا می‌توانند نقش مهمی در پاکسازی محیط از این نوع آلاینده‌ها داشته باشند. گونه‌های مقاوم قارچ‌های میکوریزی به آلاینده‌های فلزی منجر به افزایش غلظت آلاینده‌ها در اندام هوایی گیاه و یا ریشه می‌گردد (Liao, *et al*., 2003). قارچ‌های میکوریزی از طریق بهبود شرایط تغذیه‌ی گیاه، اصلاح روابط آبی گیاه و افزایش تحمل گیاه به آلاینده‌ها نقش مهمی را ایفاء می‌نمایند (Hardie and leyton, 1981). با توجه به عدم وجود برنامه‌های مدیریتی موفق و کار آمد و همچنین رعایت نکردن اصول و مبانی مسائل زیست محیطی معطوف به خاک و آب در بسیاری از خاک‌های زیر کشت ایران و لزوم توسعه‌ی سطح زیر کشت محصولات مختلف مانند گوجه‌فرنگی به عنوان یک منبع تغذیه ای مناسب برای انسان در این خاک‌ها، برای تولید هر چه بیشتر این محصولات در ایران، ضرورت استفاده از راهکارهای بیولوژیک برای دستیابی به تولید بهینه اینگونه محصولات در اراضی آلوده مهم به نظر می‌رسد.

۱-۲- فلزات سنگین[1] و اثرات آن‌ها بر آلودگی منابع آب و خاک

۱-۲-۱- فلزات سنگین

فلزات سنگین به آن دسته از عناصر اطلاق می‌گردد که دارای جرم ویژه بیش از ۵ یا ۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند و عمدتاً به عناصر واسطه تعلق دارند (کریمیان، ۱۳۷۳؛ مجللی ۱۳۷۳). فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های محیط زیست هستند که به دلیل دوام بلند بیولوژیکی و باقی ماندن در خاک، سبب انباشت این فلزات در خاک می‌شوند و از طریق جذب توسط گیاه، وارد زنجیره‌ی غذایی شده و مسمومیت‌هایی را برای انسان و دام ایجاد می-کند (کریمیان، ۱۳۷۳ ؛ Basta, and Tabatabai. 1992; Dushenkov, 1997). تقریباً افزایش تجمع تمامی فلزات سنگین در بدن عوارض سوئی بر جای می‌گذارند که از آن جمله می‌توان به ایجاد اختلاف در سیستم

1.Heavy Metal

عصبی، کلیوی و ایجاد جهش ژنتیکی اشاره کرد (صاحبقدم لطفی، ۱۳۶۸). با توجه به تعریف فوق برخی از این فلزات به عنوان ریز مغذی(Cr, Mn, Zn, Mo, Ni, Cu, V, W and Fe) برای متابولیسم گیاهی با اهمّیت هستند و عناصری نیز وجود دارد که وقتی مقدار آنها در محیط رشد گیاه زیادتر از رشد نرمال باشد، برای گیاهان مسمومیّت‌زا هستند. عناصر دیگری نیز که نقش بیولوژیکی ناشناخته و خاصیت مسمومیت‌زایی بالایی دارند وجود دارد (As, Hg, Pb, Sb, Cd and U). در حال حاضر به اثرات مخرب رها سازی فلزات سنگین در طبیعت توجه زیادی می‌شود (Anderson, A. 1992).

۱-۲-۲- آلودگی محیط توسط فلزات سنگین

آلودگی آب و خاک با فلزات سنگین می‌تواند به دو صورت انجام پذیرد:

الف) آلودگی به صورت طبیعی: با توجه به فعل و انفعالات در واکنش‌های خود به خودی صورت می‌گیرد.

ب) آلودگی حاصل از فعالیت‌های بشر: بر اثر توسعه و گسترش شهرها، رشد و تکامل صنایع و فناوری، آلاینده-های گوناگون وارد محیط زیست می‌شوند. این آلودگی ناشی از تخلیه پسماندهای صنعتی، مصرف مواد سوختنی، تخلیه فاضلاب‌های شهری، مصرف لجن حاصل از تصفیه فاضلاب به عنوان کود آلی در اراضی و غیره می‌باشد.

۱-۲-۳-آلودگی خاک با فلزات سنگین

خاک به عنوان بستر رشد گیاهان، محل زندگی بسیاری از جانداران و در عین حال به دلیل پیچیدگی سیستم‌های اکولوژیکی پذیرای انواع مختلفی از مواد سمی و آلاینده است امروزه میزان فلزات سنگین در خاک به دلیل ورود انواع پسمانده‌های صنعتی و ضایعات کارخانجات مختلف رو به افزایش است. تجمع فلزات سنگین در نیمرخ خاک تا حد زیادی با بخش جامد خاک و با برخی از ویژگی‌های خاک همچون pH خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، درصد ماده آلی، نوع کانی‌های غالب خاک و . . . در ارتباط است. مهمترین واکنش‌هایی که در این راستا رخ می‌دهد، عبارتند از: الف) رسوب به صورت معدنی نظیر کربنات، سولفیدها و هیدرواکسیدها.ب)

ایجاد کمپلکس‌های پیچیده با مواد آلی خاک و تولید ترکیباتی با جرم مولکولی بالا. ج) ایجاد پیوند محکم با کانی‌های رسی، اکسیدهای منگنز و هیدرات آهن (Alloway, 1990).

۱-۳- کادمیوم

کادمیوم [1] فلزی است به رنگ سفید براق با جرم ۱۱۲/۴۱۱ گرم، نقطه جوش ۷۶۷ درجه سانتیگراد و نقطه ذوب ۳۲۰/۹ درجه سانتی‌گراد. این عنصر به راحتی در نیتریک اسید محلول ولی در کلریدریک اسید و سولفوریک اسید به کندی حل می‌شود (Kabata and Pendias, 1992; Grant *et al*., 1999). کادمیوم از لغت لاتین Cadmia به معنی کربنات از روی (Calamine) منشاء گرفته است. کادمیوم به گروه IIB جدول تناوبی تعلق دارد و از نظر فراوانی رتبه شصت و هفتم را در بین عناصر به خود اختصاص داده است (McBride, 1995). کادمیوم دارای عملکرد زیستی خاصی نمی‌باشد و یک عنصر غیر ضروری برای گیاهان است که می‌تواند خیلی سمّی باشد. این عنصر در غلظت‌های پائین نیز اثرات مخربی بر کیفیت خاک و چرخه غذایی دارد (Zorpas, *et al*., 2000). به دلیل غلظت کم این عنصر در طبیعت سمیّت حادّ ناشی از این عنصر در خاک‌های غیر آلوده دیده نشده است (Alloway, 1990). به نقل از جیانگ و همکاران [2] (۲۰۰۱) غلظت‌های بیشتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم در خاک (آلودگی در اثر فعالیت‌های بشری) را فراتر از حد مجاز این عنصر در محیط اطراف می‌دانند.

۱-۳-۱- کادمیوم در خاک

این عنصر در خاک‌های آهکی غیر پویاست و عمدتاً در لایه‌های سطحی تجمع می‌یابد. میانگین غلظت کادمیوم در پوسته جامد زمین ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. غلظت معمول آن در خاک ۰/۱ تا ۲ و حدّ بحرانی آن ۳ تا ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌ها می‌تواند یکی از منابع کادمیوم خاک باشد، ولی مقدار ورودی کادمیوم از این منبع به خاک نا چیز است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در مناطق غیرآلوده

1.Cadmium
2.Jiang