بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

عنوان پایان نامه ارشد

بررسی تاثیر قارچ میکوریز (AM) در جذب وانباشت کادمیوم در گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف فسفر خاک

دانشجو

منیره رنجبریان

اساتید راهنما

دکتر حمیدرضا اصغری

دکتر محمدرضا عامریان

اساتید مشاور

دکتر هادی قربانی

مهندس احمد اخیانی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم منیره رنجبریان

تحت عنوان: بررسی تاثیر قارچ میکوریز (AM) در جذب وانباشت کادمیوم در گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف فسفر خاک

در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه .....عالی..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر حمیدرضا اصغری		نام و نام خانوادگی : دکتر هادی قربانی	
نام و نام خانوادگی : دکتر محمدرضا عامریان		نام و نام خانوادگی : مهندس احمد اخیانی	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی برادران فیروز آبادی		نام و نام خانوادگی : کامبیز جهان بین	
نام و نام خانوادگی : دکتر شاهرخ قرنجیک			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

نهال را باران باید

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

و آفتاب باید

تا بتاباند نیرو را و محکم کند شاخه های تازه روییده را

به نام مادر

بوسه ای باید زد دست هایی را که میشویند 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 همراهان همیشگی ام

پدرم، مادرم

و

همسرم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ "، از سه وجود مقدس سپاسگزارم:

آنان که ناتوان شدند تا به توانایی برسم...

موهایشان سپید شد تا روسفید شوم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجودم و روشنگر راهم باشند...

پدرم، مادرم و استادانم

از استاد شایسته؛ جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان که در سایه راهنمایی های عالمانه و همکاری های بی دریغشان زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند کمال تشکر را دارم؛ از استادان صبور و با تقوا، جناب آقای مهندس احمد اخیانی دکتر هادی قربانی که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید نیز سپاسگزارم. از محضر اساتید محترم داور آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی و دکتر شاهرخ قربچیک و نیز نماینده محترم تحصیلات تکمیلی آقای دکتر کامبیز جهان بین و نیز اساتید بزرگوار گروه زراعت تشکر می کنم. از خواهران و برادر مهربانم و همچنین دوستان و همکلاسی های بسیار خوبم که جای جای این پایان نامه نشانی از حضور پاک و صمیمی آنهاست قدردانی میکنم.

در پایان از همسر عزیزم، به آن که سایبان عشق و آرامش و تکیه گاه امن و آسایش و برترین آموزگار خوش بینی و امید من در دوران تحصیل بود، به پاس محبت و زحمات بی دریغش تشکر و قدردانی می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **منیره رنجبریان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **اگرواکولوژی** دانشکده **کشاورزی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی تاثیر قارچ میکوریز (AM) در جذب وانباشت کادمیوم در گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف فسفر خاک** تحت راهنمائی **دکتر حمیدرضا اصغری و محمدرضا عامریان** متعهد می شوم .

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .

- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۹۲/۸/۵

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

*** متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .**

چکیده

آلودگی خاک با عناصر فلزی سنگین از جمله کادمیوم یکی از موانع موجود بر سر راه تولید محصول مطلوب در کشاورزی است. تحرک بالای این فلز در سیستم خاک-گیاه ورود آن را به زنجیره های غذایی آسان تر می کند. با توجه به نیاز روز افزون جوامع به تولیدات کشاورزی و همچنین وجود عوامل محدود کننده مانند تنش ناشی از فلزات سنگین، توجه به راهکارهای مدیریتی مناسب به منظور کاهش اثرات مخرب فلزات سنگین امری ضروری به نظر میرسد. امروزه برای حل معضل اثرات سمی عناصر سنگین در خاک از روش های بیولوژیک مثل گیاه پالایی و همزیستی ریشه گیاهان با میکروارگانیسم ها استفاده می کنند. به منظور بررسی تاثیر قارچ میکوریزای آرباسکولار (AM) بر میزان جذب و تجمع کادمیم در بافت های گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف فسفر در خاک، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک های کامل تصادفی در دانشکده کشاورزی شاهرود اجرا گردید. این آزمایش دارای سه فاکتور فسفر (۰،۴۰و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) ، کادمیوم (۵،۱۰و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) و قارچ میکوریزا گونه *Glomus intraradices* (در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح) بود که در ۶ تکرار بر روی آفتابگردان رقم آذرگل انجام شد. بر طبق نتایج حاصله افزایش سطوح فسفر باعث افزایش وزن خشک ساقه، برگ و ریشه و همچنین افزایش طول ساقه و طول ریشه شد و از طرفی افزایش سطوح کادمیوم کاهش وزن خشک ساقه، برگ، ریشه، گل و همچنین طول ساقه و تعداد برگ آفتابگردان را به دنبال داشت. همچنین مشخص شد که گیاهان میکوریزی وزن خشک بیشتری نسبت به گیاهان غیر میکوریزی داشته و غلظت کادمیوم ریشه و برگ آنها بیشتر است. افزایش فسفر قابل دسترس تا ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کلونیزاسیون میکوریزی را کاهش داد و غلظت ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر جهت کلونیزاسیون قارچ میکوریز مناسب بود. کارایی جذب و کارایی استخراج کادمیوم و همچنین درصد کارایی قارچ میکوریز با افزایش سطوح کادمیوم افزایش یافت که این مقادیر در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود. میزان کلروفیل برگ در حضور قارچ میکوریز با افزایش سطوح فسفر افزایش یافت. این آزمایش نشان داد که قارچ میکوریز AM توانایی گیاه آفتابگردان را به عنوان یک گیاه جاذب فلزات سنگین در جذب و انباشت کادمیوم در اندام گیاه و همچنین تحمل گیاه به تنش فلز سنگین کادمیوم را افزایش داد. این نتایج در زیست پالایی خاک های آلوده به کادمیوم اهمیت دارد.

کلمات کلیدی: فسفر، کادمیوم، قارچ میکوریز، آفتابگردان

مقالات مستخرج از پایان نامه

-بررسی تاثیر استفاده از قارچ میکوریز و گیاه آفتابگردان در زیست پالایی کادمیوم از خاک در سطوح مختلف فسفر. همایش بیوتکنولوژی محیط زیستی. تهران سازمان حفاظت محیط زیست. ۵ و ۶ خرداد ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم:بررسی منابع	۶
۲-۱-آفتابگردان	۷
۲-۱-۱- خصوصیات گیاهی آفتابگردان	۷
۲-۱-۲- منشا	۹
۲-۱-۳- سازگاری	۹
۲-۲- عناصر سنگین	۱۰
۲-۲-۱- تنش عناصر سنگین	۱۰
۲-۲-۲- کادمیوم	۱۱
۲-۲-۲-۱- اثرات کادمیوم بر بدن انسان	۱۲
۲-۲-۲-۲- منابع تولید کادمیوم	۱۲
۲-۲-۲-۳- جذب و انتقال کادمیوم در گیاه	۱۳
۲-۲-۲-۴- تنش کادمیوم	۱۳
۲-۲-۳- تجمع و تمرکز زیستی فلزات سنگین در گیاهان	۱۵
۲-۲-۳-۱- فاکتورهای انتقال، تمرکز زیستی و غنی شدگی	۱۵
۲-۲-۳-۲- زیست دسترس پذیری فلزات سنگین	۱۶
۲-۳- قارچ میکوریزا آرباسکولار	۱۷
۲-۳-۱- میکوریزا و فلزات سنگین	۲۰
۲-۳-۲- میکوریزا و فسفر	۲۴
۲-۳-۳- زیست پالایی	۲۶
فصل سوم: مواد و روش ها	۲۸
۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش	۲۹
۳-۲- خصوصیات خاک محل آزمایش	۲۹
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی	۳۱
۳-۴- عملیات اجرایی	۳۱
۳-۴-۱-آماده سازی گلدان ها	۳۱
۳-۴-۲- کاشت	۳۳
۳-۴-۳- داشت	۳۳
۳-۴-۴- نمونه برداری	۳۳
۳-۵- صفات زراعی و مرفولوژیک	۳۴
۳-۵-۱- ارتفاع بوته	۳۴
۳-۵-۲- تعداد برگ و طبق	۳۴
۳-۵-۳-وزن خشک	۳۴

۳-۵-۴- طول ریشه ۳۴
۳-۶- صفات فیزیولوژیک ۳۴
۳-۶-۱- کلروفیل ۳۴
۳-۶-۲- کلونیزاسیون ریشه ۳۵
۳-۶-۳- فسفر خاک ۳۵
۳-۶-۴- فسفر برگ ۳۶
۳-۶-۵- کادمیوم برگ و ریشه ۳۷
۳-۷- کارایی انتقال کادمیوم ۳۷
۳-۸- کارایی استخراج کادمیوم ۳۸
۳-۹- کارایی جذب کادمیوم ۳۸
۳-۱۰- درصد کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار ۳۸
۳-۱۱- تجزیه و تحلیل داده ها ۳۸

فصل چهارم: نتایج و بحث ۳۹
۴-۱- صفات رویشی ۴۰
۴-۱-۱- وزن خشک ساقه (تک بوته) ۴۰
۴-۱-۲- وزن خشک برگ (تک بوته) ۴۲
۴-۱-۳- وزن خشک ریشه (تک بوته) ۴۴
۴-۱-۴- وزن خشک گل (تک بوته) ۴۷
۴-۱-۵- طول ساقه ۴۹
۴-۱-۶- طول ریشه ۵۰
۴-۱-۷- تعداد برگ (تک بوته) ۵۱
۴-۲- صفات فیزیولوژیک ۵۲
۴-۲-۱- کلروفیل ۵۲
۴-۲-۲- کلونیزاسیون میکوریزی ۵۴
۴-۲-۳- فسفر برگ ۵۶
۴-۲-۴- کادمیوم ریشه ۵۸
۴-۲-۵- کادمیوم برگ ۶۱
۴-۳- فسفر قابل دسترس خاک ۶۵
۴-۴- کارایی انتقال کادمیوم ۶۶
۴-۵- کارایی استخراج گیاهی ۶۸
۴-۶- کارایی جذب کادمیوم ۶۹
۴-۷-درصد کارایی قارچ میکوریزا آرباسکولار ۷۲
۴-۸- نتیجه گیری ۷۴
۴-۹- پیشنهادات ۷۴
منابع ۷۵
پیوست ۹۳

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
۴-۱- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن خشک ساقه آفتابگردان (تک بوته)	۴۰
۴-۲- اثر سطوح مختلف فسفر بر وزن خشک ساقه آفتابگردان (تک بوته)	۴۱
۴-۳- اثر سطوح مختلف فسفر بر وزن خشک برگ آفتابگردان (تک بوته)	۴۲
۴-۴- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن خشک برگ آفتابگردان (تک بوته)	۴۳
۴-۵- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و قارچ میکوریز بر وزن خشک برگ آفتابگردان (تک بوته)	۴۴
۴-۶- اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و قارچ میکوریز بر وزن خشک ریشه آفتابگردان (تک بوته)	۴۶
۴-۷- اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر وزن خشک ریشه آفتابگردان (تک بوته)	۴۷
۴-۸- اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر وزن خشک گل آفتابگردان (تک بوته)	۴۸
۴-۹- اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و قارچ میکوریز بر وزن خشک گل آفتابگردان (تک بوته)	۴۹
۴-۱۰- اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر طول ساقه آفتابگردان (تک بوته)	۵۰
۴-۱۱- تاثیر سطوح مختلف فسفر بر طول ریشه آفتابگردان (تک بوته)	۵۱
۴-۱۲- تاثیر سطوح مختلف کادمیوم بر تعداد برگ آفتابگردان (تک بوته)	۵۱
۴-۱۳- تاثیر متقابل فسفر و قارچ میکوریز بر تعداد برگ آفتابگردان (تک بوته)	۵۲
۴-۱۴- اثر متقابل فسفر و میکوریز بر میزان کلروفیل برگ آفتابگردان (تک بوته)	۵۳
۴-۱۵- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و قارچ میکوریز بر میزان درصد کلونیزاسیون میکوریزی	۵۵
۴-۱۶- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر درصد کلونیزاسیون میکوریزی	۵۶
۴-۱۷- اثر متقابل میکوریز و سطوح مختلف کادمیوم بر بروی میزان فسفر برگ	۵۷
۴-۱۸- تاثیر سطوح مختلف فسفر بر غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان	۵۸
۴-۱۹- اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان	۵۹
۴-۲۰- اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان	۶۰

۴-۲۱- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر غلظت کادمیوم برگ آفتابگردان ۶۱
۴-۲۲- اثر متقابل فسفر و میکوریز بر روی غلظت کادمیوم برگ آفتابگردان ۶۲
۴-۲۳- اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر روی غلظت کادمیوم برگ آفتابگردان ۶۳
۴-۲۴- مقایسه اثر متقابل کادمیوم و قارچ میکوریز بر غلظت کادمیوم برگ و ریشه ۶۴
۴-۲۵- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و کادمیوم بر میزان فسفر قابل دسترس خاک ۶۵
۴-۲۶- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر روی کارایی انتقال کادمیوم ۶۶
۴-۲۷- اثر متقابل فسفر و میکوریز بر روی کارایی انتقال کادمیوم ۶۷
۴-۲۸- اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر کارایی استخراج ۶۹
۴-۲۹- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و قارچ میکوریز بر روی کارایی جذب کادمیوم ۷۰
۴-۳۰- اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر روی کارایی جذب کادمیوم ۷۱
۴-۳۱- مقایسه اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر کارایی جذب و استخراج کادمیوم ۷۲
۴-۳۲- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر روی درصد کارایی قارچ میکوریز ۷۳
۴-۳۳- اثر سطوح مختلف فسفر بر روی درصد کارایی قارچ میکوریز ۷۳

فهرست جدول ها

جدول	صفحه
۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش	۳۰
۳-۲-ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش گلدانی	۳۲

فهرست جدول های پیوست

پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و گل تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز	۹۴
پیوست ۲- میانگین مربعات طول ساقه و ریشه و تعداد برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر ، کادمیوم و قارچ میکوریز	۹۵
پیوست ۳- میانگین مربعات کلروفیل برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز	۹۶
پیوست ۴- میانگین مربعات کلونیزاسیون ریشه تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز	۹۶
پیوست ۵- میانگین مربعات فسفر خاک و برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و میکوریز	۹۷
پیوست ۶- میانگین مربعات کادمیوم ریشه و برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و میکوریز	۹۷
پیوست ۷- میانگین مربعات کارایی انتقال ،کارایی استخراج ، کارایی جذب و کارایی قارچ میکوریز تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز	۹۸

فصل اول

مقدمه

امروزه خاک، این منبع با ارزش زیستی که حیات انسان ها بدان وابسته است از طرق مختلف در معرض آلودگی قرار دارد. اضافه شدن فلزات سنگین از طریق منابع گوناگون ،یکی از دلایل اصلی آلودگی خاکها در نقاط مختلف جهان است. این امر زندگی بشر را با مخاطرات فراوانی مواجه خواهد ساخت. با توجه به شناخت نسبی اثرات سوء این نوع آلودگی بر حیات، امروزه بشر با استفاده از روش های گوناگون سعی در از بین بردن این آلودگی از خاک ها دارد. ارن فالک و همکاران (۱۹۹۶) بیان نمودند که آلودگی خاک ها و محیط های آبی با فلزات سنگین یک مشکل جدی و در حال گسترش است. منشاء قسمتی از فلزات سنگین موجود در خاک ها، سنگ مادری است. در بعضی مناطق، ذخیره اتمسفری چه به صورت غبار و چه به صورت قطرات آب نیز می تواند منشاء فلزات سنگین خاک ها باشد. باران های اسیدی، مه و فوران های آتشفشانی نیز می تواند منبعی برای فلزات سنگین خاکها به شمار آید (دوسکی و آدریانو، ۱۹۹۲). ورود فلزات سمی از طریق فعالیت های انسانی باعث آلودگی بسیاری از خاک ها شده است، به طوری که شدت آلودگی در این خاک ها یا بیش از حد مجاز است و یا به زودی به آن خواهد رسید. فلورز و همکاران (۱۹۹۷) و مرینگتون و آلووی (۱۹۹۷) بیان 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. آلووی (۱۹۹۰) بیان نمود 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. مصرف بی رویه و نامناسب کودهای شیمیایی سلامت انسانها و حیات برخی از جانداران را به خطر انداخته است. همچنین مصرف بیش از اندازه بعضی سموم و کودهای شیمیایی از منابع عمده ورود فلزات سنگین از جمله کادمیوم در اراضی کشاورزی به شمار می رود (کاباتا و پندیاس، ۲۰۰۰).

مساله نگران کننده ناشی از مصرف کودهای فسفره وجود کادمیوم و برخی فلزات سنگین دیگر نظیر نیکل، سرب و جیوه می باشد. در سالیان اخیر به دنبال تغییرات بنیادی در میزان مجاز کادمیوم در محیط زیست، تقاضا برای کودهای فسفره عاری از کادمیوم با میزان کم افزایش یافته است. با مصرف بیش از حد کودهای فسفاته سالانه مقادیر قابل توجهی از عنصر کادمیوم و غلظت هایی از عناصر سرب ، نیکل و کروم وارد خاکهای زراعی و باغی گردیده است (رحمانی،۱۳۸۹). لذا پالایش خاکهای آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیوم امری ضروری است (پرینس و همکاران ۲۰۰۲). بهترین رهیافت های گیاه پالایی، جذب و انتقال آلاینده ها از خاک به گیاه، بدون تخریب ساختمان خاک

وتغییر در باروری آن است (لومبی و همکاران، ۲۰۰۱). با آنکه کادمیوم برای رشد گیاه ضروری نیست اما به راحتی از طریق ریشه جذب گیاه می شود و در نهایت وارد بافت چوبی و اندام هوایی گیاه میشود (راموس و همکاران، ۲۰۰۲).

عمده منابع کادمیم در محیط زیست، مراکز استخراج معادن فسفات، روی، مس، سرب، نفت خام و ذغال سنگ، ذوب آهن، فولاد و استفاده از کادمیم در صنایع آبکاری، رنگ کاری، پلاستیک، لامپ های فلورسنت، تلویزیون، سموم حشره کش و استفاده ازکودهای فسفاته با ناخالصی کادمیم در مزارع است (ملکوتی و همکاران،۱۳۷۹). اصولاً کادمیم به روش های مختلفی به خاک اضافه می شودکه از مهمترین منابع تأمین آن در زمین های کشاورزی مصرف کودهای فسفره می باشد. درکشاورزی امروزه افزایش عملکرد با افزایش مصرف کودهای شیمیایی از جمله کودهای فسفره مترادف است که استفاده بیش از حد از این نوع کودها سبب آلودگی خاک به فلزات سنگین از جمله کادمیم می شود. مقدار کادمیم در کودهای فسفاته تری کلسیم فسفات ۱ تا ۲ میلی گرم در کیلوگرم و برای سوپر فسفات بین ۵۰ تا ۱۷۰ میلی گرم در کیلوگرم متغیر است (چارخابی و همکاران، ۲۰۰۵). عناصر فلزی سنگین نظیر نیکل، سرب، کادمیوم، سلنیوم و غیره که در سطح کلوئیدهای خاک ذخیره می شوند، بسیار خطرناک هستند و با ورود به چرخه غذایی زیان های جبران ناپذیری را به جای می گذارند. مقاومت و پایداری عناصر سنگین در خاک نسبت به سایر آلاینده ها بسیار طولانی می باشد و آلودگی خاک توسط عناصر سنگین تقریبا دائمی است.

در نظام های پایدار، خاک به عنوان جزء حیاتی در نظر گرفته می شود و بر نقش میکروارگانیسم ها در گردش عناصر غذایی تاکید می گردد. حضور این میکروارگانیسم ها خاک را پویا نگه داشته و این توانایی را برای پشتیبانی پایدار از زندگی گیاه به وجود می آورد. یکی از اصلی ترین میکروارگانیسم های موجود در محیط ریشه، قارچ های میکوریز آرباسکولار AM هستند. همزیستی مایکوریزایی از مهم ترین و قدیمی ترین همزیستی های موجود بین گیاهان و میکروارگانیسم ها می باشد (ردکر، ۲۰۰۲). بیش از ۸۰٪ از گیاهان در کره ی زمین از همزیستی میکوریزایی بهره مند هستند (هارلی و هارلی، ۱۹۸۷). قارچ AM می تواند نقش کلیدی در چرخه ی عناصر غذایی، بویژه فسفر و انتقال آن از خاک به گیاه بازی کند (مدینا و همکاران، ۱۹۸۸ ; پوول و باگراراج، ۱۹۸۴). بر اساس بررسی های انجام شده مصرف کودهای فسفره ، بخصوص در مقادیر بالا موجب کاهش فعالیت قارچ های میکوریز و درصد اشغال ریشه های گیاه می گردد (نگاهاشی و همکاران، ۱۹۹۶ ; تامسون و همکاران، ۱۹۸۶). قارچ میکوریزا باعث افزایش غلظت فسفر اندام های هوایی و ریشه در گیاهان میکوریزی می شود. این قارچ ها بعنوان عامل موثر در گیاه و حفاظت از خاک نقش قابل ملاحظه ای را در کشاورزی پایدار بعهده دارند. میکوریز آربوسکولار که از انواع اندومیکوریزها می باشد گسترش جهانی داشته و از نواحی سرد قطبی تا گرم استوایی در محدودهٔ وسیعی از شرایط اکولوژیک نظیر محیط

های آبی، بیابان های گرم و خشک و حتی در مناطق شور نیز یافت میشود (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰; علی آبادی و همکاران، ۲۰۰۸). بیشترخانواده های گیاهی پراهمیت قادر به تشکیل این نوع همزیستی با قارچ میکوریز آربوسکولار هستند (بارئا و همکاران ،۱۹۹۳). با به کارگیری کودهای فسفاته در سطوح پایین و استفاده از گونه های میکوریز می توان سبب بهبود شرایط رشد گیاهان و کاهش آلودگی های ناشی از کودهای فسفاته شد (رنجبریان و قربانی،۱۳۹۰).

کلونیزاسیون قارچ AM استرس ناشی از عناصر سنگین را کم می کند. همچنین گیاهان میکوریزی کادمیوم را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی از خاک جذب می کنند ولی داخل هیف های خود درون ریشه ی گیاه میزبان رسوب داده و اجازه ی انتقال کادمیوم را به اندام های هوایی نمی دهند. ویسن هورن و همکاران (۱۹۹۵a) نتیجه گرفتند که همزیستی میکوریزی بیوماس گیاه را افزایش داده و غلظت عناصر سنگین را در گیاهان پایین می آورند . همچنین قارچ های میکوریزی مقاومت گیاه را در مقابل عناصر سنگین افزایش می دهند. برادلی و همکاران (۱۹۸۲) و چنج و همکاران (۱۹۸۱) اظهار نمودند که میکوریز انتقال سرب و کادمیوم را به ساقه گیاه کاهش می دهد.

نتایج محققین نشان می دهد که قارچ های میکوریز آربوسکولار با تولید متابولیت های مختلف و با مکانیسم های کلات کنندگی و برقراری پیوند با فلزات سنگین در درون و بیرون سلول و کاهش انتقال آنها به اندام های هوایی گیاهان و انتقال فلزات به اندام (Accumulator) و یا از طریق بهبود رشد و افزایش بیومس گیاهان انباشتگر (Phytostabilization) زراعی نقش مهمی در اصلاح خاک (Phytodegradation) و یا از طریق تجزیه وتخریب مواد آلی سمی (Phytoextraction) های هوایی های آلوده و امکان بهره وری بیشتر از آنها ایفا می کنند (زارعی و همکاران،۱۳۸۵).

گیاهانی مانند آفتابگردان که دارای همزیستی میکوریزایی می باشند بدلیل اینکه عناصر غذایی وآب بیشتری از خاک جذب می نمایند دارای رشد بهتری شده و عملکرد بیشتری خواهند داشت و مقاومت بیشتری در برابر تنش های زنده (عوامل بیماری زا که ریشه گیاهان را مورد حمله قرار می دهند) و غیر زنده (خشکی، سرما و شوری) از خود نشان می دهند (سیلویا و همکاران،۱۹۹۰).

گیاه آفتابگردان رقم آذرگل با وجود اینکه به طور ژنتیکی تیپ رشدی و بالطبع خصوصیات مورفولوژیکی کوچکتری نسبت به رقم پروگرس دارند در حالت میکوریزایی شده دارای رشد بهتری نسبت به گیاهان میکوریزایی شده رقم پروگرس شدند و این نشان دهنده آن است که گیاهان رقم آذرگل عکس العمل بهتری نسبت به همزیستی با قارچ میکوریز سویه *Glomus interaradices* از خود نشان دادند (کلانتری زاده و همکاران،۱۳۸۸).

اثرات زیان بار عناصر سنگین بر موجودات زنده به اثبات رسیده است. برخی از این اثرات شامل اختلال فعالیت های بیولوژیک خاک، اثرات سمی بر گیاهان، جانوران و انسان ها در اثر ورود مواد به زنجیره غذایی است (جعفری، ۱۳۸۲).

گزارش ها حاکی از آن است که متاسفانه برخی از خاک های زراعی در کشور ما نیز آلوده به عناصر سنگین هستند. لذا به دلیل اهمیت تامین غذای سالم یافتن راهکاری به منظور کاهش میزان تنش وارده به گیاه و یا افزایش تحمل گیاه به تنش فلزات سنگین ضروری به نظر می رسد. با توجه به نقش قارچ های میکوریزی درکاهش جذب عناصر سنگین توسط گیاه (سیکوریا و همکاران،۱۹۹۹) احتمال می رود که از آن بتوان جهت اصلاح بیولوژیک مکان های آلوده استفاده کرد. لذا در این مطالعه به بررسی تاثیر قارچ میکوریزای آرباسکولار بر میزان جذب و تجمع کادمیوم در بافت های گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف فسفر خاک پرداخته شد. در قالب این پژوهش اهداف زیر مطرح و دنبال گردید:

۱-بررسی تاثیر میکوریز بر تجمع کادمیوم در اندام برگ و ریشه گیاه آفتابگردان

۲-بررسی تاثیر میکوریز بر مقدار فسفر قابل استفاده گیاه آفتابگردان

۳-بررسی اثر متقابل میکوریزا و فسفر در جذب کادمیوم

۴-بررسی تاثیر تنش کادمیوم بر خصوصیات کیفی و کمی گیاه آفتابگردان

۵-بررسی اثرات متقابل میکوریزا، فسفر و کادمیوم بر خصوصیات کیفی و کمی آفتابگردان

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱-آفتابگردان

۲-۱-۱- خصوصیات گیاهی آفتابگردان

آفتابگردان با نام علمی هلیانتوس آنوس[1] گیاهی یک ساله از خانواده مرکبه[2] می باشد که به صورت بوته ای استوار رشد می نماید. نام علمی این گیاه از دو واژه یونانی هلیوس[3] به معنی آفتاب و آنتوس[4] به معنی گل گرفته شده است. آفتابگردان دارای یک ریشه اصلی عمقی بوده که در محدوده زیر یقه و در سطح الارض حاوی شبکه ریشه قوی افشان است. ریشه اصلی در شرایط مناسب بافت خاک می تواند ۲/۵ تا ۳ متر نیز در خاک نفوذ نماید. علاوه بر ریشه اصلی، ریشه های فرعی که تا عمق ۲۵ سانتی متری گسترش می یابند و ریشه های سطحی که در سطح خاک پراکنده اند نیز در آفتابگردان قابل مشاهده است. در زمان رسیدگی همراه با سنگین شدن طبق ها و انحراف آنها ریشه ها نمی توانند به خوبی وزن اندام هوایی را تحمل کنند. آفتابگردان دارای ساقه ای قطور با مقطعی گرد و تاردار است که طول آن بسته به شرایط محیط و ژنوتیپ از ۱ تا ۶ متر متغیر است. درون ساقه آفتابگردان را مغز سفید رنگی پر کرده است که به مرور زمان پوک می شود. اکثر ارقام زراعی آفتابگردان تک ساقه ای هستند که انتهای ساقه به یک طبق یا آنتودیوم[5] ختم می شود. چند شاخه ای شدن ساقه، تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر تراکم کم، زیادی کود نیتروژنه و تناوب خشکی و رطوبت قرار دارد و بیش از همه ژنتیکی است. ساقه اصلی و شاخه های انشعابی پوشیده از کرک های خشن و زبری هستند که میزان تعرق را کاهش می دهند. قطر ساقه می تواند بین ۰/۸ الی ۱۰ سانتی متر نوسان داشته باشد. طی مرحله رسیدگی، در محل اتصال ساقه اصلی به طبق بر اثر وزن طبق، زاویه موجود بین امتداد ساقه و طبق بیشتر می شود که در تیپ های ایده آل بین ۱۱۵ الی ۱۳۵ درجه است (آلیاری و شکاری، ۱۳۷۹؛ عرشی ۱۳۷۶ و کاتر ۱۹۸۰).

برگ های این گیاه قطبی شکل، مضرس و تاردار است و به طور متوسط طولی برابر ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر دارد. جفت برگ های اصلی به صورت متقابل بوده، در صورتی که برگ های بعدی به شکل متناوب در روی ساقه ظاهر می شوند. برگ ها دارای دمبرگ گوشتی و دراز بوده که طول آنها از پایین ساقه به سمت بالای ساقه کم می شود. به طور عمده برگ ها پوشیده از کرک های خشن بوده که به کاهش تعرق کمک می کند. بزرگترین برگ در محدوده وسط ساقه قرار دارد که حدود ۶۰ الی ۸۰ درصد فتوسنتز را به خود اختصاص داده و بعد از مرحله گل به مدت زیادی فعال

1-*Helianthus annus*
2-*Asteraceae (Compositae)*
3-Helios
4-anthus
5-anthodium

باقی می مانند. پهنک برگ به رنگ سبز تیره بوده و خاصیت خورشید گرایی از خود نشان می دهد و تقریبا در تمام روز عمود بر نور خورشید قرار دارند، تغییر وضعیت برگ ها در جهت مسیر خورشید نسبت به شرایطی که برگ ها ثابت مانده و حرکتی نداشته باشند، میزان فتوسنتز را ۹/۵ درصد افزایش می دهند (آلیاری و شکاری، ۱۳۷۹؛ کاتر ۱۹۸۰ و برد ۱۹۸۲).

گل آذین آفتابگردان از نوع کلاپرک یا طبق[۱] می باشد که پشت و اطراف آن را براکته ها[۲] یا فیلاری ها[۳] احاطه کرده اند. این براکته ها که در حقیقت برگ های تغییر شکل یافته هستند از لحاظ شکل و اندازه متفاوتند. طبق ها تا زمان گرده افشانی از خود خورشید گرایی نشان می دهند و از ان پس به سمت شرق ثابت باقی می مانند. گل های طبق آفتابگردان به صورت مارپیچ قرار گرفته اند و گل های حلقه ی بیرونی از نوع زبانه ای[۴] بوده که به آنها گل های شعاعی[۵] گفته می شود. گل های شعاعی با نداشتن پرچم و رشد ناکافی مادگی عقیم می باشند. گل های سایر حلقه ها ها از نوع لوله ای[۶] ۵ گلبرگ و ۵ پرچم به هم پیوسته می باشند. طبق ارقام روغنی قادر به تولید ۷۰۰ تا ۳۰۰۰ گل می می باشد و به لحاظ اینکه اندام نر گل های آفتابگردان زودتر از اندام ماده می رسد (پروتاندروس[۷]) میزان دگرگشنی گل ها بسیار بالاست و گرده افشانی عمدتا توسط حشرات انجام می شود. سطح طبق در موقع رسیدگی با توجه به نوع رقم ممکن است مسطح، محدب و یا مقعر باشد. به طور معمول ارقامی که در آنها، سطح طبق به هنگام رسیدگی به صورت مقعر و تا شده در می آید در مقابل خسارت پراندگان نسبت به اشکال دیگر طبق مقاوم تر خواهند بود. میوه آفتابگردان از نوع فندقه[۸] است که به رنگ های سیاه، خاکستری با خطوط سفید مشاهده می شود. دانه ی آفتابگردان به همراه پوست حدود ۴۵ درصد روغن، ۲۰ درصد پروتئین و ۲۵ درصد کربوهیدرات می باشد و وزن هر دانه ی آن بین ۳۰ تا ۱۵۰ گرم متغییر می باشد (سعادت لاجوردی ۱۳۷۹؛ عرشی ۱۳۷۶ ؛ کاتر ۱۹۸۰ و بگ ۱۹۹۵).

1-Capitule
2-involucres
3-phyllarie
4-les liguliflores
5-ray flowers
6- les rubiflores
7-protandrous
8-achen

۲-۱-۲- منشا

جنس هلیانتوس بومی آمریکاست. زیستگاه اولیه آفتابگردان را جنوب غربی تا نواحی مرکزی آمریکای شمالی ذکر نومده اند و عقیده بر این است که در قرن ۱۶ میلادی توسط سیاهان اروپایی این گیاه از آمریکا به اروپا برده شد و سپس به سایر نقاط جهان را یافت. کشت تجاری آفتابگردان ابتدا در سال ۱۹۶۹ با استفاده از رقم پریدوویک[1] در استرالیا انجام شد.

۲-۱-۳- سازگاری

آفتابگردان در اکثر مناطق معتدله به خوبی می روید و خصوصیت های مختلف فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی این گیاه در تطبیق پذیری وسیع آن دخالت دارد. آفتابگردان گیاهی گرما دوست است که برای رشد و نمو مناسب به نور فراوان نیاز دارد و از لحاظ عکس العمل به طول روز عمدتا جز گیاهان بی تفاوت به طول روز می باشد. دمای مطلوب برای جوانه زنی بذر آفتابگردان حدود ۱۳ الی ۱۵ درجه و حداقل دما برای جوانه زنی حدود ۵ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین رشد مطلوب را در دامنه حرارتی ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد دارد. در مقام مقایسه مقاومت آفتابگردان نسبت به سرما بیش از ذرت است و سرمای اول فصل را بهتر از ذرت تحمل می کند. در دوران گرده افشانی دماهای پایین با تاثیر برفعالیت حشرات گرده افشان و دماهای بالا با کاهش حیات دانه های گرده می توانند موجب کاهش عملکرد دانه و روغن شوند. آفتابگردان با ریشه ی توسعه یافته ای که دارد به خشکی نسبتا مقاوم می باشد مشروط به آنکه خاک عمیق بوده و ساختمان خاک عامل محدود کننده ای برای رشد ریشه نباشد. کلا این گیاه به ساختمان خاک بیشتر از بافت خاک حساس می باشد. نیاز رطوبتی بذر برای جوانه زنی در حد متوسط است. تولید دیم آفتابگردان با وجود حدود ۵۰۰ میلی متر بارندگی و توزیع مناسب آن امکان پذیر می باشد.

همزیستی میکوریزایی در همه واریته های زراعی آفتابگردان گزارش شده است. گیاهانی مانند آفتابگردان که دارای همزیستی میکوریزایی می باشند به دلیل اینکه عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می نمایند دارای رشد بهتری شده و عملکرد بیشتری خواهند داشت و مقاومت بیشتری در برابر تنش های زنده (عوامل بیماری زا که ریشه ی گیاهان را مورد حمله قرار می دهند) و غیر زنده (خشکی، سرما و شوری) از خود نشان می دهند (سیلویا و همکاران ۱۹۹۰).

1-peredovik

۲-۲-عناصر سنگین

بر اساس تقسیم بندی نایبر و ریچاردسون (۱۹۸۰) عناصر سنگین به تعدادی از فلزات و یون های آنها اطلاق می شود که عدد اتمی آنها بیشتر از ۲۰ باشد. از جمله عناصر سنگین می توان به کادمیوم(Cd)، روی(Zn)، سرب(Pb)، مس(Cu)، نیکل(Ni)، جیوه(Hg) و کروم(Cr) اشاره کرد. به صورت کاملا تئوری هر ۱۰۰۰ کیلوگرم خاک معمولی حاوی ۲۰۰ گرم کروم، ۸۰ گرم نیکل، ۱۶ گرم سرب، ۰/۵ گرم جیوه و ۰/۲ گرم کادمیوم می باشد. حتی محصولات زراعی تولیدی در مناطق کاملا پاک از نظر آلودگی، عاری از فلزات سنگین نیستند (کافی و مهدوی دامغانی،۱۳۸۱). فلزات سنگین به طور طبیعی در خاک به عنوان عناصر کمیاب یافت می شوند که محدود به معدنی شدن معمول آنها می باشد و به آسانی قابل استفاده نمی باشند. اشکال قابل استفاده بیولوژیکی در نتیجه فعالیت انسان است. وجود آنها در هوا، خاک و آب حتی در مقادیر ناچیز می تواند موجب بروز مشکلات جدی در جانداران گردد. تجمع زیستی فلزات سنگین در زنجیره غذایی می تواند بسیار خطرناک باشد (جعفری،۱۳۸۲).

۲-۲-۱-تنش عناصر سنگین

فلزات سنگین از مهمترین آلاینده های محیط زیست می باشند و خطری جدی برای موجودات زنده محسوب می شوند (بودی و همکاران، ۱۹۹۵). این فلزات در غلظت های زیاد بر رشد، نمو و عملکرد گیاه اثر می گذارند (مادهاوا راو و اسرستی، ۲۰۰۰). برای مثال علی رغم اینکه امروز نیکل یکی از عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاه محسوب می شود (بنارویا و همکاران، ۲۰۰۴) و نقش آن در رشد به ویژه فعالیت آنزیم اوره آز به اثبات رسیده است (ویت کلاز و همکاران، ۲۰۰۲) ازدیاد روی در گیاه می تواند موجب افزایش کمبود مس و منگنز در اندام هوایی گیاه گردد (فونتس و کوکس، ۱۹۹۸). از دیگر علائم سمیت روی در گیاهان، برگ های قرمز متمایل به بنفش می باشد که به کمبود فسفر نسبت داده می شود (لی و همکاران، ۱۹۹۶). جیوه می تواند از طریق ترکیب با پروتئین های کانالی مربوط به ورود آب، موجب تحریک بسته شدن روزنه ها و انسداد فیزیکی جریان آب و نیز اختلال در فعالیت میتوکندری و تحریک آسیب اکسیداتیو در گیاهان گردد (ژانگ و تیرمان، ۱۹۹۹).

زیادی مس در خاک نیز می تواند موجب کاهش رشد و کلروز برگ ها گردد (لویس و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج تحقیقات نشان می دهد تجمع جیوه می تواند سمی باشد و سطوح سمی آن آسیب های واضح و ناهنجاری های فیزیولوژیکی در گیاهان را موجب می گردد (ژو و همکاران، ۲۰۰۷). آثار سمی فلزات سنگین بر گیاهان ناشی از تولید

انواع مختلف اکسیژن فعال (ROS)[1] مانند سوپر اکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل ($OH^\cdot$) می باشد (فدور و همکاران،۱۹۹۵). این اشکال مختلف اکسیژن فعال معمولا با ایجاد آسیب های غشایی (مادهاوا راو و اسرستی،۲۰۰۰) فرآیند های مختلف سلولی را دچار اختلال می نمایند (ژو و همکاران،۲۰۰۷).

بروز تنش ناشی از این عناصر علائم و خسارات متعدد در گیاهان را در پی دارد. این اثرات ممکن است موجب حساسیت بیشتر گیاهان به سایر تنش ها گردند که بیشتر در ارتباط با تاثیر فلزات سنگین بر فرآیندهای فیزیولوژیک تاثیر گذار در تنظیم آب گیاه می باشد. برای مثال تنش فلزات سنگین از طریق کاهش ظرفیت جذب آب در سیستم ریشه ای و احتمالا بلوکه شدن روزنه های آبی[2] و نیز کاهش کارایی مصرف آب، می توانند موجب بروز تنش خشکی در گیاه گردد (ریسر و امرسون،۲۰۰۷).

با این حال مطالعات معدودی وجود دارند که نشان دهنده همزمانی اثرات تنش خشکی و تنش عناصر سنگین باشند. این مطالعات معدود نیز اکثرا در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده اند و نتایج مبهم حاصل گردیده است (پوشنریدر و بارسلو،۲۰۰۴). در آزمایشی که روی *Phaseolus vulgaris* کشت شده در پرلیت به عمل آمد، تکثیر کروم در پاسخ گیاه به تنش خشکی در بین برگ های مختلف، متفاوت بود. در حالی که وقتی این بوته ها در معرض کادمیوم قرار گرفتند تحت شرایط تنش آبی ضعیف، فشار توگر کاهش یافت (بارسلو و همکاران،۱۹۸۶). تاثیر آلومینیوم نیز تحت شرایط تنش خشکی در میان ارقام مختلف آفتابگردان متفاوت بود (کریک و همکاران،۱۹۸۸). به طور کلی تاثیر ترکیب تنش ها می تواند متفاوت از تاثیر هر کدام از آن ها به تنهایی باشد (ریژسکی و همکاران،۲۰۰۲). درک اثر متقابل بین تنش ها جهت اصلاح اراضی آلوده به فلزات سنگین مهم است (جانسون و استیونسون،۱۹۹۴).

۲-۲-۲-کادمیوم

این فلز در گروه 2B جدول تناوبی قرار دارد. ظرفیت معمولی آن II می باشد. عدد اتمی آن ۴۸ و دارای ۸ ایزوتوپ طبیعی و تعدادی ایزوتوپ مصنوعی است. کادمیوم در طبیعت بیشتر به صورت سولفید دیده می شود. این فلز بسیار شبیه روی است و به مقدار اندک به همراه روی یا همراه با سنگ معدن فلزاتی نظیر سرب و مس یافت می شود. تمامی نمک های کادمیوم نظیر انواعی از کمپلکس های کلرید کادمیوم ($CdCl_2$)، سولفات کادمیوم ($CdSO_4$) و یا فرم اکسید کادمیوم (CdO) می توانند موجب ورود کادمیوم به بدن گردند (جعفری،۱۳۸۲).

1-Reactive Oxygen Species
2- Aquaporins

۲-۲-۲-۱- اثرات کادمیوم بر بدن انسان

کادمیوم فلزی بسیار خطرناک است و نقشی در متابولیسم بازی نمی کند. تاکنون هیچ آنزیمی یافت نشده است که به عنوان کوفاکتور به کادمیوم احتیاج داشته باشد. این فلز از راه های متعدد می تواند وارد بدن گردد. ولی غذا و سیگار دو منبع مهم ناقل این فلز به بدن انسان به شمار می روند. به طور کلی انسان روزانه در حدود ۲۰ تا ۴۰ میکروگرم کادمیوم از طریق بلع و تنفس وارد بدن می کند و از این مقدار ۵ تا ۱۰ درصد جذب بدن می شود. در مجموع جذب از طریق تنفس ۳۰ درصد بیشتر از جدب از راه بلع می باشد (کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸). مسمومیت حاد با کادمیوم در اثر خوردن مقدار زیادی از این ماده رخ می دهد. هوا، آب آشامیدنی و خاک عوامل آلوده کننده ای می باشند که نسبت به غذا و سیگار از اهمیت کمتری برخوردارند. دفن زباله های حاوی کادمیوم و استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته موجب آلودگی خاک به این فلز می گردد. آب آشامیدنی نیز از طریق لحیم های استفاده شده در لوله های انتقال دهنده ی آب آلوده می شود و در صورتی که آب اندکی اسیدی باشد فلز را در خاک حل می کند. همچنین فاضلاب ها به ویژه فاضلاب های صنعتی نیز از جمله منابع مهم آلاینده ی آب و خاک به کادمیوم می باشند و مخصوصا در مناطقی که از این منابع در راستای تولید محصولات زراعی استفاده می گردد، می تواند با انتقال کادمیوم به زنجیره غذایی انسان مشکلات عدیده ای را ایجاد نمایند. کادمیوم پس از ورود به جریان خون در تمام بدن پخش می شود اما عمدتا در کبد و کلیه ها انباشته می گردد (جعفری،۱۳۸۲).

۲-۲-۲-۲-منابع تولید کادمیوم

مصارف کادمیوم در گذشته نسبت به زمان حال کمتر بوده است و بیشتر در تهیه آلیاژها و برای جلوگیری از فرسایش و ایجاد مقاومت در آنها در برابر فرسودگی مورد استفاده قرار می گرفته است. کادمیوم با چگالی برابر ۸/۶ گرم بر سانتی متر مکعب، یکی از فلزات سنگین متداولی است که توسط کارخانه های برق، سیستم های گرمایی، آبکاری فلزات، لحیم ها، کوره های مخصوص سوزاندن زباله ها، ترافیک شهری، کارخانه های سیمان، فرمولاسیون رنگ ها، ساخت باطری های نیکل- کادمیوم، تثبیت پلی وینیل کلراید، تولید پلاستیک، ساخت اتومبیل، صنایع نظامی، صنایع هوا- فضا، قارچ کش ها، حفاظ راکتورهای هسته ای، تولید کودهای فسفاته، فرایند معدنی شدن سنگ ها، تولید روغن موتور و معادن تولید می شود. کادمیوم در محیط های طبیعی به صورت یک عنصر مجزا وجود ندارد بلکه به عنوان فلز همراه، در معدنی شدن Pb/Zn موثر می باشد (پودیال و همکاران، ۲۰۰۷).

در سال های اخیر میزان استفاده از این فلز ۵ تا ۱۰ درصد افزایش یافته است. کادمیوم فلزی سمی است در عین حال از لحاظ صنعتی بسیار حائز اهمیت می باشد. این عنصر به عنوان ماده پوششی استفاده گسترده ای دارد. رنگ کادمیوم در طبیعت سفید، نقره ای و براق است اما قابلیت کدر شدن دارد (پودیال و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۲-۲-۳-جذب و انتقال کادمیوم در گیاه

تجمع کادمیوم می تواند برای تمام موجودات زنده خطرناک باشد به طوری که غلظت های بالای آن ممکن است سرطان زا و جهش زا باشد. در محلول های خاک دارای غلظت های کادمیوم ۳۵ میلی مولار غالبا تنها گونه های متراکم کننده کادمیوم توان رویش دارند. برای مثال از میان گیاهان عالی از تیره براسیکاسه، گیاه *Thlaspi caerulescens* دارای این ویژگی می باشد. میزان جذب کادمیوم توسط گیاهان، وابسته به غلظت آن در خاک، قابلیت زیست فراهمی ترکیب، pH خاک، پتانسیل ردوکس، دما و غلظت دیگر عناصر می باشد. به نظر می رسد جذب یون های کادمیوم با ناقل های عناصری مثل پتاسیم، منیزیم، کلسیم، آهن، منگنز، مس، روی و نیکل در رقابت باشد (ریسر و امرسون،۲۰۰۷).

تکنیک های متعددی برای تخمین سرعت جریان عناصر سمی یا ضروری در سلول های گیاهی ابداع شده اند. به عنوان مثال میکرو الکترود های حساس به کادمیوم برای اندازه گری جریان کادمیوم در ریشه های گیاهان عالی ساخته شدند. پیشنهاد شده که کادمیوم پس از وارد شدن به سلول های ریشه از طریق بافت پوستی ابتدا از طریق مسیر آپوپلاستی[1] یا سیم پلاستی[2] به آوندهای چوبی می رسد و سپس به مولکول های کلات گیاهی[3] متصل شده و در نهایت به صورت فسفات کادمیوم یا در کریستال های اگزالات کلسیم رسوب می کند (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰).

۲-۲-۲-۴-تنش کادمیوم

مقدار مجاز کادمیوم در خاک، حداکثر ۳ پی پی ام می باشد اما این مقدار امروزه به دلیل فعالیت های انسانی رو به افزایش است (سالت و همکاران، ۱۹۹۵). تحرک بالای این فلز در سیستم خاک-گیاه ورود آن را به زنجیره های غذایی آسانتر می کند (متوالی و همکاران، ۲۰۰۳).

1- Apoplast
2- Symplast
3- Phytochelatines

مطالعات زیادی در مورد اثرات سمیت کادمیوم بر متابولیسم گیاه صورت گرفته است. از جمله این اثرات می توان به کاهش جذب عناصر غذایی (ساندالیو و همکاران، ۲۰۰۱)، تغییر در متابولیسم نیتروژن (بوساما و همکاران، ۱۹۹۹)، جلوگیری از فتوسنتز از طریق تاثیر بر متابولیسم کلروفیل و ساختار کلروپلاست، فعالیت فتوسیستم II و آنزیم های مربوط به متابولیسم کربن فتوسنتزی اشاره کرد (کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین کادمیوم از طریق تغییر در ترکیبات لیپیدی گیاه موجب تغییراتی در عملکرد غشاء های زیستی می گردد و این مسئله می تواند موجب تاثیر بر فعالیت برخی آنزیم های مربوط به غشاء نظیر H^+-ATPase گردد (فدور و همکاران، ۱۹۹۵).

گونه های مختلف گیاهی دامنه وسیعی از انعطاف پذیری در مقابل کادمیوم نشان می دهند. به طوری که در این میان می توان گونه هایی با حساسیت بسیار بالا تا ژنوتیپ هایی با قابلیت تجمع کادمیوم در مقادیر بالا مشاهده نمود. برای مثال لگوم ها نسبت به غلات و گراس ها تحمل کمتری در برابر مسمومیت کادمیومی دارند (دات و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین دو لپه ای هایی مانند اسفناج یا کاهو در مقایسه با تک لپه هایی مانند یولاف و گندم، کادمیوم را بیشتر جذب می کنند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

سمیت کادمیوم در گیاهان منجر به پیچیدگی برگ ها، کلروز و کاهش رشد ریشه و ساقه، اختلال در تعادل آبی گیاه و آسیب به تشکیلات فتوسنتزی می شود (کوستا و مورل، ۱۹۹۴). یکی از اثرات مخرب تنش کادمیوم، تحریک تنش اکسیداتیو می باشد که در اثر آن گونه های فعال اکسیژن (ROS) تولید می گردند. ROS تولید شده در سلول ها در طبیعت بسیار فعال می باشند و باعث از بین بردن عملکرد طبیعی و متابولیسم سلول می شوند. کادمیوم موجب افزایش فعالیت برخی از آنزیم های آنتی اکسیدان نظیر کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و گلوتاتیون رداکتاز و نیز ترکیبات غیر آنزیمی نظیر آسکوربات، گلوتاتیون و آلفا توکوفرول می گردد (حیات و همکاران، ۲۰۰۵). پاسخ های متفاوت به تنش اکسداتیو حاصل از کادمیوم را می توان به مقدار کادمیوم و نیز غلظت گروه های تیول موجود یا تحریک شده در اثر کادمیوم مربوط دانست. تیول ها دارای خواص آنتی اکسیدانی کافی برای بی اثر کردن تنش اکسیداتیو هستند (پوشنریدر و بارسلو، ۲۰۰۴). کادمیوم به راحتی توسط ریشه ها جذب و به قسمت های هوایی منتقل می شود و در آنجا می تواند با مقادیر زیاد تجمع یابد.

از مهمترین اثرات سمیت کادمیوم، کلروز (زرد شدن) برگ ها می باشد. به نظر می رسد این پدیده رابطه نزدیکی با عملکرد سمی کادمیوم دارد زیرا غلظت آن در بافت اندام هوایی، به دقت از طریق اندازه گیری سطح کلروفیل اندام هوایی قابل محاسبه است (بودی و همکاران، ۱۹۹۵). مکانیسمی که از طریق آن کادمیوم موجب کلروز برگ ها می گردد، ناشناخته است. به نظر می رسد که کادمیوم می تواند تاثیر مستقیم روی آنزیم های دخیل در مسیر بیوسنتز

کلروفیل داشته باشد (بودی و همکاران، ۱۹۹۵) یا از طریق تاثیر بر کمپلکس های پروتئین رنگریزه های مربوط به فتوسیستم ها تاثیر گذار باشد (هورواس و همکاران، ۱۹۹۶). به علاوه غلظت های بالای کادمیوم در بافت برگ به طور غیر مستقیم از طریق ایجاد اختلال متابولیکی، باعث تسهیل در ریزش برگ ها (واسیلیو و همکاران، ۱۹۹۷)، آسیب اکسیداتیو (سوماسککارو، ۱۹۹۲)، افزایش فعالیت کاتابولیک (عبدالباسط و همکاران، ۱۹۹۵) یا ناکافی بودن برخی از عناصر ضروری نظیر Fe یا Mg (سیدلکا و کروپا، ۱۹۹۹)، بر میزان کلروفیل تاثیر می گذارد. جایگزینی یون Mg مرکزی در مولکول کلروفیل با کادمیوم می تواند مکانیسم دیگری در رابطه با تخریب کلروفیل باشد (درازیک و همکاران، ۲۰۰۶).

بیان شده است که تناقض در نتایج آزمایش های مربوط به اثرات کادمیوم روی ساختارهای فتوسنتزی، احتمالا با شرایط آزمایش ها مرتبط باشد به طوری که اعمال تیمار کادمیوم از مطالعه ای به مطالعه دیگر متفاوت است (باریلا و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۲-۳-تجمع و تمرکز زیستی فلزات سنگین در گیاهان

با توجه به شرایط زیست شناختی، فیزیکی و شیمیایی محیط، فلزات سنگین موجود در آب و خاک می تواند در غلظت های کم و زیاد، در شبکه غذایی وارد شده و در دسترس موجودات زنده (گیاهان و جانوران) باشد و در نهایت وارد بدن انسان شده و تهدیدی برای سلامتی محسوب شود. از نقطه نظر ژئوشیمی، گیاهان دارای عناصری هستند که در خاک ها، رسوبات، سنگ ها و آبهای زیرزمینی وجود دارد. در مواردی این عناصر در پیکره گیاه می تواند به حد کافی غنی یا تهی شده و موجب بروز آنومالی های قابل مشاهده ای مانند رشد غیر طبیعی، غول آسا شدن، رنگ های غیر عادی گل ها، اشکال عجیب برگ ها یا شاخه ها شوند (علی پور، ۱۳۸۴).

شاخص های زیستی مختلفی جهت برآورد میزان تمرکز و تجمع زیستی فلزات در گیاهان توسط محققین بررسی و ارائه شده است.

۲-۲-۳-۱- فاکتورهای انتقال، تمرکز زیستی و غنی شدگی

جهت ارزیابی کیفی و بررسی میزان آلودگی در خاک و گیاهان از فاکتورها و شاخص های مختلف ژئوشیمیایی و زیست محیطی شامل فاکتور انتقال، تمرکز زیستی و غنی شدگی استفاده می شود. در بسیاری از تحقیقات زیست محیطی با تعیین میزان شاخص های بیوژئو شیمیایی مختلف و با ارزیابی میزان توانایی گیاه در انباشت فلزات سنگین موجود در خاک و انتقال آن از ریشه به ساقه، می توان گونه های انباشت کننده، دفع کننده را شناسایی کرده و از آنها

جهت نیل به اهدافی چون گیاه پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین، تثبیت فلز سنگین در ریشه گیاه و ممانعت از ورود آن به بخش های هوایی و قابل برداشت و همچنین استخراج فلزات سنگین از خاک استفاده نمود.

فاکتور انتقال (Tracslocation Factor (TF، شاخصی است که میزان توانایی گیاه را در انتقال فلز از ریشه به ساقه نشان می دهد. فاکتور تمرکز زیستی (Bioconcentration Factor (BCF، بیانگر میزان توانایی ریشه گیاه در جذب فلز موجود از خاک می باشد. فاکتور غنی شدگی (Enrichment Factor (EF ، میزان توانایی گیاه در انتقال فلز از خاک به ساقه را نشان می دهد.

فاکتور های مختلفی چون غلظت فلز سنگین در خاک و مقدار pH، میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، سن و نوع گونه ی گیاهی بر میزان جذب فلزای سنگین توسط گیاه تاثیر می گذارند (آدریانو، ۱۹۸۶).

پوچینرتر و هوراک (۲۰۰۰) به بررسی تاثیر پارامتر های مختلف خاک بر فاکتور انتقال از خاک به گیاه فلزات کادمیوم، مس و روی در نمونه های برداشت شده از دو گونه گندم و چاودار (گندم سیاه) در ۴۵ منطقه استرالیا پرداختند. تعیین پارامترهای مختلف خاک، غلظت فلزات مورد نظر در خاک و گونه های گیاهی مورد نظر و محاسبه فاکتور انتقال فلزات از خاک به گیاه برای گونه های تعیین شده نشان داد که فاکتور انتقال کادمیوم بیشتر متاثر از محتوی مواد آلی خاک بود. فاکتور انتقال مس و روی بهترین همبستگی را با غلظت کل فلزات و محتوی رس خاک نشان داد. عناصر ضروری مس و روی بیشتر به قسمت های زایشی گیاه منتقل می شدند. همچنین فاکتور انتقال آنها از خاک به دانه بیشتر فاکتور انتقال از خاک به سبوس دانه بود. دو گونه در جذب مس و روی اختلاف کمی داشتند و در کل فاکتور انتقال گندم بیشتر از فاکتور انتقال گندم سیاه بود .

۲-۲-۳-۲-زیست دسترس پذیری[1] فلزات سنگین

زیست دسترس پذیری و سمیت فلزات سنگین برای گیاه به فاکتورهای زیستی و خصوصیات خاک بستگی دارد. میزان زیست دسترس پذیری فلزات سنگین، جذب زیستی و اثرات آن روی موجودات زنده خاک را می توان از روی گونه سازی شیمیایی آن دریافت. برخی پارامترهای خاک چون: pH، میزان رس، اکسیدهای آهن و منگنز، مواد آلی و نیز ظرفیت تبادل کاتیونی در توزیع فلزات سنگین در خاک و در دسترس پذیری این عنصر یا ترکیب در خاک موثر می باشد. میزان زیست دسترس پذیری تا حد زیادی توسط گونه سازی عنصری یا ته نشست شیمیایی آن در

1-bioavailability

خاک، کنترل می شود که انحلال پذیری را تعیین می کند (دماتوس و همکاران، ۲۰۰۰ ; استرکمان و همکاران، ۲۰۰۰).

ناواروو و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی به بررسی میزان زیست دسترس پذیری عناصر آرسنیک، کادمیوم و سرب در خاک منطقه معدنی متروکه Cabezo Rajao واقع در ناحیه Murcia، جنوب شرق اسپانیا پرداختند. همچنین به منظور ارزیابی زیست دسترس پذیری فلزات از محلول اسیدی شبیه محیط بیوشیمیایی معده و محلول خنثی شبیه محیط بیوشیمیایی روده کوچک جهت استحصال بخش های زیست دسترس پذیری فلزات مورد بررسی در نمونه های خاک، طبق استاندارد دستورالعمل کاربردی ارائه شده توسط کنسرسیوم تحقیق انحلال پذیری و دسترس پذیری زیستی (SBRC) استفاده شد. میزان زیست دسترس پذیری فلزات مورد مطالعه به طور کلی در محیط اسیدی معده نسبت به روده کوچک بیشتر بود. میزان زیست دسترس پذیری فلزات مورد بررسی در خاک به ترتیب زیر کاهش یافت: کادمیوم>سرب>آرسنیک. ترکیب کانیایی و pH خاک از جمله عوامل مهم موثر بر زیست دسترس پذیری فلزات مورد نظر معرفی شد. در شرایط اسیدی زیست دسترس پذیری فلزات بالا و در شرایط خنثی دسترس پذیری آنها پایین بود. کادمیوم دارای بیشتری میزان زیست دسترس پذیری بود که تا ۰/۴۷ در معده و در روده کوچک تا ۰/۲۷ قابل جذب بود.

۲-۳-قارچ میکوریزا آرباسکولار

میکوریز را بعنوان یک ساختار زنده که در آن همزیستی بین قارچ و ریشه گیاه بوجود آمده و منجر به افزایش توان ماندگاری هردو موجود می گردد نام می برند. اهمیت اکولوژیکی همزیستی بین موجودات زنده از جمله قارچ و جلبک در گلسنگ ها، باکتری و گیاه در سیستم تثبیت زیستی ازت و قارچ و ریشه گیاه در میکوریز در دهه های اخیر بیش از پیش روشن گردیده است. میکرو ارگانیسم های خاکزی معینی ریشه گیاهان عالی را کلونیزه میکنند و تشکیل ارتباط همزیستی می دهند (بولان، ۱۹۹۱). میکوریز یک همزیستی دوگانه بین قارچ های خاکزی و ریشه ی گیاهان عالی است (مگنه، ۱۹۸۳; کوایلامبو، ۲۰۰۳).

اصطلاح میکوریز اولین بار توسط فرانک (گیاه شناس آلمانی) در ۱۸۸۵ برای توصیف رابطه همزیستی بین ریشه گیاهان و قارچ ها مورد استفاده قرار گرفت. قبل از او نیز برخی بیولوژیست های گیاهی چنین ارتباطاتی را گزارش کرده بودند. کلمه میکوریز که از دو بخش Myco به معنای قارچ و Rhizae به معنی ریشه تشکیل شده است به نوعی رابطه همزیستی بین برخی قارچهای خاکزی با ریشه گیاهان اشاره دارد. قارچ های میکوریز توانایی

تشکیل جوامع همزیست با اغلب گونه های گیاهی را داراست (آتایس، ۲۰۰۷؛ اینیوبونگ و همکاران، ۲۰۰۸). ریسک (Reissek) در ۱۸۷۴ وجود ریسه های قارچی را در نهاندانگان مختلف و مخصوصاً ارکیداسه شرح داد. او برای اولین بار عنوان کرد که در همزیستی میکوریزی، موادی که از خاک جذب گیاه میشوند بایستی از لایه قارچی عبور کنند. تحقیق برروی قارچ مایکوریز و نقش آنها درخاک و گیاه یکی از موضوعات جالب از سال ۱۸۰۰ تاکنون است. حضور این قارچ ها در ریزوسفر ارتباط همزیستی متقابل و سودمندی را بین ریشه گیاه و قارچ های غیر بیماریزا ایجاد میکند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

قارچ ها به خاطر دریافت منابع کربنی از گیاه، جذب عناصر غیرآلی زیادی مانند فسفر، روی، مولیبدن، مس، آهن و ... را برای گیاه تسهیل می کنند. ارتباط همزیستی میکوریزی یکی از فراوانترین فعالیت های همزیستی در شاخه گیاهی است که در بیشتر اکوسیستم ها حضور دارد (بارئا و همکاران، ۲۰۰۵؛ چرینر و همکاران، ۲۰۰۳). غالب گونه های گیاهی در ارتباط با قارچ های خاکزی معینی زندگی می کنند که ریشه های آنها را کلونیزه کرده اند. وجود همزیستی میکوریزی بخاطر فرآیندهای اکولوژیکی کلیدی برای بهبود وضعیت گیاه وکیفیت خاک حیاتی است (آلتیری، ۱۹۹۴). میکوریز میتواند دراغلب انواع خاک و اکوسیستم های سطح کره زمین یافت شود گفته میشود میکوریز در ۸۰ تا ۹۰ درصدگیاهان خشکی دیده میشود. بجز در تعداد کمی ازگونه های گیاهی آونددار که متعلق به خانواده های چلیپائیان، اسفناجیان، میخکیان، جگنی ها و سازوها هستند در بقیه گیاهان میکوریز وجود دارد (بارئا و همکاران، ۲۰۰۵؛ پلنچت و دوپونیس، ۲۰۰۵). مشخص شده که این قارچ ها در دامنه گسترده ای از انواع محیط ها، معمولاً در ریشه های نهاندانگان، بازدانگان و پتریدوفیت ها یافت میگردند.

میکوریز آربوسکولار که از انواع اندومیکوریزهاست یکی از رایج ترین انواع همزیستی بین ریشه گیاهان و قارچ ها به شمار میرود. میکوریز آربوسکولار گسترش جهانی داشته و از نواحی سرد قطبی تا گرم استوایی در محدودهٔ وسیعی از شرایط اکولوژیک نظیر محیط های آبی، بیابان های گرم و خشک و حتی در مناطق شور نیز یافت میشود (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰؛ علی آبادی و همکاران، ۲۰۰۸). بیشتر خانواده های گیاهی پراهمیت قادر به تشکیل این نوع میکوریز با قارچ میکوریز آربوسکولار که عمومی ترین انواع مورد بحث در سیستم های کشاورزی است، هستند (بارئا و همکاران، ۱۹۹۳).

در تحقیقات اولیه برروی میکوریز عمدتاً اثرات مثبت این همزیستی بر تغذیه معدنی گیاهان گزارش میشد ولی بعدها به اثرات غیر تغذیه ای میکوریز از جمله توانایی دفع یو نهای سمی، کنترل گسترش پاتوژن ها، تأثیر بر فتوسنتز و روابط آبی گیاه، افزایش مقاومت گیاه میزبان به فلزات سنگین و ... نیز پی برده شد (آیوگ و همکاران،

۲۰۰۱). بخش اعظم بررسی های مربوط به کاربرد قارچ های میکوریزا در سیستم کشاورزی رایج (باگیاراج، ۱۹۹۲؛ گلانت، ۱۹۹۰؛ جفری، ۱۹۸۷) بر نقش بالقوه این قارچ در بهبود عملکرد گیاهان زراعی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی متمرکز شده و در مقابل به ارتباط بین قارچ های میکوریزا و خاک توجه کمتری شده است (هیمن، ۱۹۸۲؛ سیلویا، ۱۹۹۲). قارچ های همزیست موجود در خاک، ریشه ی گیاهان زراعی و علف های هرز (هیمن، ۱۹۸۰؛ ترپ، ۱۹۸۷) غالبا از نوع میکوریزای وزیکولار_آرباسکولار (VAM) هستند و اخیرا توسط مورتون و بنی (۱۹۹۰) به عنوان قارچ های میکوریزای آرباسکولار در شاخه Glomales طبقه بندی شده اند. این قارچ ها از جمله میکروارگانیزم های مهم خاکزی هستند که در تولید و بقای اکوسیستم های ساخت بشر نقش اساسی ایفا می کنند (هارلی و اسمیت، ۱۹۸۳).

بزرگترین گروه این قارچ ها که غالبا با محصولات کشاورزی همزیستی دارند، قارچ های میکوریزای وزیکولار – آرباسکولار (AM) نام دارند. این قارچ ها در سلول های پوست ریشه نفوذ کرده و ساختمان مخصوصی مشابه با اندام های مکنده قارچ (آرباسکول و یا هیف های درهم پیچیده) ایجاد کرده که در تماس با سیتوپلاسم گیاه میزبان قرار دارند. ساختمان این قارچ ها در پوست ریشه باعث سطح تماس بیشتری برای تبادلات متابولیکی بین گیاه میزبان و قارچ می شود. همچنین قارچ های AM از طریق هیف های خارج سلولی بطور مستقیم با خاک اطراف ریشه گیاه میزبان در ارتباط هستند. این هیف ها در داخل خاک گسترش یافته و سیستم ریشه ای را به منظور جذب عناصر غذایی و آب افزایش داده و همچنین در بهبود ساختمان خاک برای تهویه ی بهتر و نفوذ آب سهم عمده ای دارند. هنگامی که میکوریزای AM تشکیل می شود، در مورفولوژی ریشه تغییراتی صورت گرفته و فیزیولوژی ریشه ها به طور قابل توجهی تغییر می کند. برای مثال هنگامی که گیاهان با میکوریزا ارتباط برقرار می کنند، در غلظت ترکیبات تنظیم کننده ی رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین تغییراتی به وقوع می پیوندد. سرعت فتوسنتز افزایش یافته و تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه و اندام های هوایی تغییر پیدا می کند. وضعیت تغذیه ای بافت گیاه میزبان در واکنش به تغییر در میزان جذب عناصر معدنی از خاک تغییر یافته و این خود سبب تغییر در جنبه های ساختاری و بیوشیمیایی سلول های ریشه می گردد. این عامل می تواند نفوذ پذیری غشا را تغییر داده و بنابراین سبب تغییر در کمیت و کیفیت ترشحات ریشه ای شود. تغییر در ترشحات ریشه ای تغییراتی را در ترکیب میکروارگانیزم های رایزوسفر خاک ایجاد میکند و به این دلیل می توان آن را مایکورایزوسفر نامید (رامبلی، ۱۹۷۳؛ لیندرمن، ۱۹۸۸).

روابط میکوریزایی متقابل بین سیستم ریشه گیاه و قارچ ها، یک همکاری متقابل بی نظیر در طبیعت محسوب می گردد. این روابط خود دارای یک سری طبقه بندی دیگری نیز می باشد (آربسکولار، arbuscular ، اکتو

میکوریزا ectomycorrhiza ، میکوریزا بیرونی ectendomycorrhiza، ارکوئید ericoid ، مونوتروپید monotropoid و ارکید orchid ، آربوتوئید arbutoid) که بستگی به نوع قارچ میکوریزایی و ساختاری که هیف قارچ با ریشه گیاه می سازد (اسمیت و رید، ۱۹۹۷). در این رابطه به طور عمومی هیدرات های کربن (ولی نه همیشه) از گیاه در اختیار قارچ میکوریزا قرا می گیرد (هودگ، ۲۰۰۰).

با توجه به وظایف مهمی که قارچ های میکوریزا در خاک ایفا می کنند شناخت دقیق این قارچ ها و داشتن اطلاع از میزان فراوانی آن ها در خاک حائز اهمیت است. تا دهه اخیر دانشمندان برای تعیین فراوانی قارچ های میکوریزا از روش های جداسازی هیف و اسپور قارچ از خاک استفاده می کرده اند که روش بسیار دشواری است. اما به تازگی محققان به وجود گلیکوپروتئینی پی برده اند که از دیواره هیف و اسپور قارچ های میکوریزای آرباسکولار تراویده می شود .این گلیکوپروتئین که از گونه های گلوموس تراویده می شود، گلومالین نامگذاری شده است. گلومالین علاوه بر بالابردن پایداری خاکدانه های خاک، سبب کاهش فراهمی عناصر سنگین از طریق تثبیت آنها می شود (معدنی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۳-۱-میکوریزا و فلزات سنگین

تا کنون در مورد اثر متقابل قارچ AM و فلزات مطالعات اندکی صورت گرفته است و در بین این موارد، تعداد کمتری به بحث در مورد فلزات سمی پرداخته اند. با این حال، خاک هایی که دارای مقادیر زیادی فلزات قابل دسترس هستند، می توانند به عنوان محیط زندگی برای گونه های خاصی از قارچ AM مطرح باشند. مورتون (۱۹۸۶) سه گونه ی جدید از جنس *Acaulospora* را از خاک های غرب ویرجینیا که حاوی مقادیر بالایی از آلومینیوم و pH پایین بوده جداسازی کرد، این گونه ها قبلا یافت نشده بودند. این بررسی ها در مورد اثر متقابل بین قارچ های AM و فلزات سوالات اساسی را مطرح می کند. آیا میکوریزای AM فلزات سنگین را تحمل می کند؟ آیا آنها به گیاهان در جذب فلزات کمک می کنند؟ آیا قارچ های AM سبب محافظت گیاه میزبان در مقابل فلزات سمی می شوند؟

در بررسی هایی که قارچ های AM بطور مستقیم در معرض فلزات قرار داده شدند، ملاحظه شد که AM می تواند سبب افزایش جذب کلسیم، روی و استرنسیم شود (جکسون و همکاران، ۱۹۷۳؛ کوپر و تنیکر، ۱۹۷۸؛ رودز و گردمن، ۱۹۷۸). گیلمور (۱۹۷۱) با استفاده از آزمایشات گلدانی، نشان داد که AM جذب روی توسط درختان هلو [*Prunus persica (L.)*] را افزایش می دهد، به نحوی که علائم کمبود روی در این درختان مشاهده نشد. گزارش شده است که غلظت مس در بوته های سویای میکوریزایی (لامبرت و همکاران، ۱۹۷۹)، و در مورد یونجه های

آلوده شده به میکوریزا، غلظت آهن، پتاسیم و ازت افزایش پیدا می کند (لامبرت و همکاران، ۱۹۸۰؛ نیلسون، ۱۹۸۳). در مجموع ، این نتایج را می توان اینگونه تفسیر کرد که، قارچ های AM برخی از فلزات را در حد مورد نیاز گیاه میزبان فراهم می کنند. مشخص شده است که میزان جذب فلزات، مستقل از جذب فسفر است.

در برخی از منابع به توانایی قارچ های AM در افزایش جذب فلزات سمی اشاره شده است. کیل هام و فایرستون (۱۹۸۳) نشان دادند که بوته های میکوریزایی شده گیاه (*Ehrhanta calycina sm.*) تیمار شده با مس، نیکل، سرب، روی ، آهن و کبالت مقادیر بیشتری از این فلزات در مقایسه با بوته های کنترل، در ریشه ها و اندام های هوایی خود تجمع دادند. آنها نشان دادند که با افزایش اسیدیته، میزان تاثیر قارچ کاهش یافت. در مطالعات انجام شده در اطاقک رشد، جکسون و همکاران (۱۹۷۳)، پس از گذشت ۱۴ روز از رشد، دریافتند که غلظت استرنسیم در بوته های سویای میکوریزایی در مقایسه با شاهد، به میزان ۱/۳ برابر بیشتر بود. مک گراو و همکاران (۱۹۷۹) متوجه شدند که غلظت سزیم در علف های چمنی مناطق حاره ای آلوده شده به میکوریزا در مقایسه با بوته های کنترل، به میزان ۱۰ برابر بیشتر بود. روگرز و ویلیامز (۱۹۸۶) نشان دادند که جذب سزیم و کبالت در بوته های شبدر شیرین و سودان گراس [*Sorghum sudanense (piper) stapf*] آلوده به میکوریزا افزایش یافت.

قارچ های AM می توانند سبب افزایش غلظت فلزات سمی در گیاهان شوند. البته همین قارچ ها قادرند از گیاهان در برابر همین فلزات محافظت کنند. تاثیر کلونیزاسیون AM بر فلزات سنگین در گیاهان مختلف متفاوت است. در خاک های حاوی مقادیر زیاد فلزات سنگین قابل دسترس، جذب این فلزات در اندام های هوایی گیاهان آلوده به AM در حد پایینی است. در مقایسه با گیاهان بدون AM عموما جذب عناصر ریز مغذی مثل مس و روی توسط قارچ های AM بهبود می یابد (لامبرت و همکاران، ۱۹۷۹؛ کوتاری و همکاران، ۱۹۹۰). برخی از قارچ های AM نسبت به غلظت های بالای فلزات از خود تحمل نشان می دهند (گیلدون و تینکر، ۱۹۸۱). این قارچ ها می توانند از گیاه میزبان تا حدودی در مقابل فلزات سمی (بتلن فالوی و همکاران، ۱۹۹۰؛ دوک و همکاران، ۱۹۸۶؛ هیگو و همکاران، ۱۹۹۰) حفاظت کنند و قادر به تشکیل کلنی در خاک های لاتریتی (ارنست،۱۹۹۰) می باشند. اثرات منفی AM بر گیاهان در نتیجه افزایش جذب فلزات سمی قبلا گزارش شده است (کیلهام و فایرستون، ۱۹۸۳). قارچ می تواند تحت تاثیر فلزات سمی قرار گرفته و به این ترتیب کلونیزاسیون قارچ AM توسط فلزات سنگین متوقف شود (انجل و هیکمن، ۱۹۸۶ ؛ هیگو و همکاران، ۱۹۹۰) و این در حالی است که مصرف زیاد کادمیوم، مس، نیکل و روی بطور کامل می تواند کلونیزاسیون AM را متوقف کند.

میکوریزا از طریق ایجاد کانال بین ریشه گیاه وخاک، افزایش سطح جذب و قابلیت دسترسی فلزات سنگین، جذب این آلودگی ها توسط گیاه را امکانپذیر می سازد. افزایش میزان همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه منجر به افزایش مقدار جذب فلزات سنگین می شود، بنابراین هر عاملی که این میزان را بهبود و بیشتر سازد مسلما کارایی پاکسازی آلودگی خاک توسط گیاه را افزایش می دهد. گیاهان علوفه ای شبدر درجذب عناصر سنگین به خاطر دارا بودن همزیستی بالا با میکوریزا می تواند به عنوان گیاه تله مورد استفاده قرار گیرند.

قارچ میکوریزا سبب افزایش دسترسی ریشه گیاه به عناصر سنگین خاک می گردد و از این طریق باعث انتقال عناصر سنگین به گیاه و پاکسازی خاک از آلودگی ها می شود (ویسن هورن و همکاران، ۱۹۹۵a، b ۱۹۹۵). در برخی از مطالعات نشان داده که قارچ AM سبب حفاظت گیاه در مقابل این عناصر گردیده و مانع از جذب آنها شده است (هیگو و همکاران، ۱۹۹۰). برخی گونه های گیاهی خصوصا محصولات علوفه ای یونجه و شبدر در تجمع فلزات سنگین موثر عمل می کنند و از این نظر نسبت به سایر گیاهان دارای برتری اند.

سیکوریا و همکاران (۱۹۹۹) بیان نمودند که قارچهای AM جهت اصلاح بیولوژیک مکانهای آلوده به عناصر سنگین بسیار با اهمیت می باشند. همچنین اظهار نمودند که درصد کلنیزاسیون ریشه به قارچ های میکوریزی و رشد گیاه گوجه فرنگی در خاکهای آلوده به عنصر کادمیوم کاهش می یابد. تحقیقات انجام گرفته توسط جونر و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که کاهش جذب کادمیوم در گیاه شبدر به دلیل حضور همزیستی قارچهای میکوریزی با ریشه گیاه شبدر می باشد. در بررسی تأثیر قارچهای AM 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 قارچ های AM مقاومت گیاه را در مقابل عناصر سنگین افزایش می دهند. برادلی و همکاران (۱۹۸۲) و چنج و همکاران (۱۹۸۱) اظهار نمودند که ریشه های میکوریزی انتقال سرب و کادمیوم را به ساقه گیاه کاهش می دهند. بسریل و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی اثر قارچ های AM 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 ر ا 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 ۱۵-۳۱٪ و در گیاهان غیر میکوریزی ۶۲-۷۶٪ بود.

غلظت کادمیوم ریشه گیاهان میکوریزی ۵۰-۲۰ برابر غلظت آن در ساقه بود. همچنین غلظت کادمیوم در دانه ی لوبیا در حضور قارچ های میکوریز نسبت به شاهد بدون قارچ به طور معنی دار کاهش یافت. ریکن و هوفنر (۱۹۹۲) نشان دادند که قارچ های میکوریز جذب عناصر سنگین را در گیاه جو کاهش می دهند. جانوسکووا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تلقیح قارچ های میکوریز در خاک های آلوده به عنصر کادمیوم، غلظت این عنصر را در ساقه گیاه توتون کاهش می دهد.

آندرید و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که در خاک های آلوده به عناصر سنگین، قارچ های میکوریزی جذب این عناصر را در گیاه سویا افزایش داده و این عناصر در ریشه ها تجمع یافته و کمتر به بخش هوایی و بذر ها منتقل می شود. بلی لوک و هیانگ (۱۹۹۹) بیان کردند که خیلی از گیاهان سرب را پس از جذب از خاک در ریشه های خود جمع کرده و آنرا به اندام های هوایی کمتر انتقال می دهند.

کارایی گیاهان استفاده شده در روش گیاه پالایی در صورت همزیستی آنها با میکروارگانیسم های مفید خاکزی به ویژه قارچهای AM میتواند تشدید شود (گوهر و پاسکوسکی، ۲۰۰۶؛ سودوا و وساتکا، ۲۰۰۷) . مطالعات محققین، حضور قارچ های AM و کلنیزه شدن ریشه های گیاهان به وسیله آنها را در خاکهای آلوده به فلزات سنگین گزارش داده اند (گایور و ادهولیا، ۲۰۰۴؛ ژو و همکاران،۲۰۰۱). محققین زیادی گزارش داده اند که اکوتیپ های قارچ های AM منشا گرفته از خاکهای آلوده نسبت به سویه های قارچی بومی خاکهای غیر آلوده، تحمل پذیری و مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی فلزات سنگین دارند (دیاز و همکاران، ۱۹۹۶). گزارش شده است که قارچ های AM در آلی کردن فلزات در ریزوسفر گیاه موثر هستند و با تجمع فلزات به شکل غیر سمی در ریشه های گیاه و میسلیوم های برون ریشه ای به تثبیت گیاهی کمک میکنند (گوهر و پاسکوسکی، ۲۰۰۶). همچنین مشخص شده که کلنیزه شدن گیاه به وسیله برخی قارچ های AM میتواند جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه (استخراج گیاهی) را افزایش دهد (ویسن هورن و همکاران،a ۱۹۹۵).

در رابطه با نقش قارچ های AM در بهبود تغذیه فسفر گیاه در شرایط سمیت روی گزارش های زیادی وجود دارد و این همزیستی به عنوان مکانیسمی در افزایش تحمل پذیری گیاه معرفی شده است (چن و همکاران، ۲۰۰۴،۲۰۰۳،۲۰۰۱; چریستی و همکاران، ۲۰۰۴). در خاکهای غیر آلوده، روی بواسطه گرانول های پلی فسفات در هیف ها منتقل میشود، اما در خاک های آلوده مکانیسم های انتقال روی در هیف ها مشخص نیست. فسفر ممکن است روی را در هیف و ریشه ها رسوب دهد و به طور مستقیم بواسطه تشکیل ملکول های اسید فیتیک، سبب سکوستره شدن روی در گیاه و همچنین کاهش سمیت آن شود (چریستی و همکاران، ۲۰۰۴).

مکانیسم هایی که قارچ AM برای کاهش تنش فلزات سنگین برای گیاهان اعمال می کنند شامل کلات شدن و غیر پویایی فلزات سنگین در میسلیوم های خارجی، بهبود تغذیه معدنی بویژه فسفر، تغییر pH ریزوسفر، تنظیم بیان ژن ناقل های فلزی و غیره می باشد (چریستی و همکاران، ۲۰۰۴؛ گونزالز و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، قارچ های AM جذب فلزات توسط گیاهان را از خاک و انتقال آن به ریشه و اندام هوایی تحت تاثیر قرار می دهد که به نوع فلز، گیاه و گونه/اکوتیپ قارچ بستگی دارد (جونر و همکاران، ۲۰۰۰؛ لی و فنگ، ۲۰۰۱).

از مکانیزم های دیگر می توان به جذب فلزات در خارج از گیاه و در داخل میسلیوم های خارج سلولی در خاک و یا در داخل بافت های ریشه گیاه از طریق نگهداری در دیواره های سلولی اندام های قارچ (دیوک و همکاران، ۱۹۸۶؛ گالی و همکاران، ۱۹۹۴) ، کلات کردن بوسیله مولکول هایی مانند سیدروفورها و متالوتیئونین که از قارچ ها و دیگر میکروب های ریزوسفر منشاء دارند و یا ترسیب فلزات سنگین بوسیله اجزای گیاهی مانند فیتوژلاتین ها یا فیتات ها (جونر و لیوال، ۱۹۹۷) اشاره کرد. مکانیزم های دیگر تحمل فلزات سنگین ممکنست شامل رقیق شدگی از طریق افزایش رشد ساقه یا ریشه، دفع و ترسیب بداخل گرانول های پلی فسفات و قسمت بندی آنها در داخل پلاستیدها و دیگر ارگانل های غشا دار باشد (گالی و همکاران، ۱۹۹۴).

هر کدام از جدایه های قارچی و گونه های گیاهی در تحمل فلزات سنگین به صورت فردی یا ترکیب شده بایکدیگر ممکن است اختلاف داشته باشند.

۲-۳-۲-میکوریزا و فسفر

فسفر یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهی بوده و پس از نیتروژن بیشترین مصرف را در دنیا دارد به طوری که سالانه بیش از ۱۶ میلیون تن فسفر در دنیا و ۸۰۰ هزار تن کود فسفره در ایران مصرف می شود. اما به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریبا ۲۰٪ فسفر مصرف شده در کشت اول مورد استفاده گیاه قرار می گیرد و ۸۰٪ آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می یابد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). تجمع بیش از حد فسفر منجر به کاهش عملکرد و پروتئین دانه می گردد، همچنین ورود ذرات خاک حاوی فسفر زیاد به آب های سطحی موجب بهپروردگی می گردد (کریمیان،۱۳۷۷). از طرفی رفتار خاص این عنصر در اغلب خاک ها ایجاب می کند که جهت حفظ تولید، همه ساله کودهای حاوی فسفر مصرف می شوند، ولی ناکامی این روش به دلیل پیچیدگی شیمی فسفر از یک طرف و دلایل زیست محیطی و اقتصادی از طرف دیگر در دو دهه اخیر باعث شد تا دانشمندان

شیوه وفق دادن گیاهان با شرایط طبیعی خاک ها را مدنظر قرار داده و نسبت به انتخاب و اصلاح ژنوتیپ هایی که مواد غذایی خاک و کود را با بازده بالا مصرف می کنند اقدام نمایند (مارچنر، ۱۹۹۵).

مساله نگران کنندهٔ ناشی از مصرف کودهای فسفره وجود کادمیم و برخی فلزات سنگین دیگر نظیر نیکل، سرب و جیوه می باشد. در سالیان اخیر به دنبال تغییرات بنیادی در میزان مجاز کادمیم در محیط زیست، تقاضا برای کودهای فسفره عاری از کادمیم یا با میزان کم افزایش یافته است. بنابر گزارش های موجود تولید کودهای فسفره در سال ۱۹۹۵ در سطح ۴۰ کشور تا حدود ۱۳۱ میلیون تن بوده است که با فرض مقدار متوسط کادمیم ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم، بالغ بر ۲۶۰۰ تن کادمیم تنها به اراضی کشاورزی تخلیه شده است.

از گذشته تا چند سال اخیر در تجزیه کودهای فسفاته فقط به مقدار فسفر موجود در آن توجه شده ولی نظارتی بر نا خالصی های آن از جمله عناصر سنگین سرب و کادمیم نشده است. با مصرف بیش از حد کودهای فسفاته، سالانه مقادیر قابل توجهی از عنصر کادمیم و غلظت هایی از عناصر سرب، نیکل و کروم وارد خاکهای زراعی و باغی گردیده است. در چهار سال گذشته کنترل کیفی کودهای فسفاته با همت موسسه تحقیقات خاک و آب مطرح و اجباری گردیده است. بطوریکه در حال حاضر در کلیه کودها ی فسفاته وارداتی و سولفات روی داخل، غلظت این آلاینده ها کنترل و حد مجاز کادمیم حداکثر ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است. با توجه به مصرف چندین دهه کودهای فسفاتی با غلظت های غیر مجاز کادمیم و آلودگی خاکها در این مدت توجه و بررسی خاکهای زراعی ضرورت حیاتی دارد (رحمانی، ۱۳۸۹). تحقیقات متعدد نشان می دهد که فسفر، ازت، پتاسیم،روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن توسط سیستم میکوریزا جذب می شوند و به گیاه منتقل می شوند. به طور کل مکانیسم جذب از طریق افزایش حجم خاک قابل دسترس توسط ریسه های قارچ است (پوول و باگراراج، ۱۹۸۴).

قارچ های AM می تواند نقش کلیدی در چرخه عناصر غذائی، بویژه فسفر و انتقال آن از خاک به گیاه بازی کنند (مدینا و همکاران، ۱۹۸۸؛ پوول و باگراراج، ۱۹۸۴). مطالعات گذشته نشان می دهند که رشد هیف ها و بنابراین جذب فسفر به وسیله بعضی از عوامل زنده و غیر زنده شامل باکتری های خاک، کودهای شیمیائی و برخی عوامل دیگر مانند شوری تحت تأثیر قرار می گیرد (رانسکو و جکوبسن، ۱۹۹۹). فسفر اولیه خاک می تواند توسعهٔ همزیستی میکوریز ی را تحت تاثیر قرار دهد به گونه ای که سطوح بالای فسفر مانع برقراری همزیستی میکوریزی و یا باعث پائین آمدن درصد اشغال ریشه توسط قارچهای AM می گردد (پوول و باگراراج، ۱۹۸۴). بر اساس بررسی های انجام شده مصرف کودهای فسفره، بخصوص در مقادیر بالا موجب کاهش فعالیت قارچ های میکوریز و درصد اشغال ریشه های گیاه می گردد (تامسون و همکاران، ۱۹۸۶).

توسلی و همکاران (۱۳۷۹) نیز به نتیجه مشابهی دست یافته طوری که در آزمایش وی در صد کلونی زائی در خاک با مصرف فسفر ۱۱.۹٪ و در خاک بدون مصرف فسفر ۵۴.۴۵٪ بوده است.

۲-۳-۳-زیست پالایی

زیست پالایی یا پالایش زیستی خاک های آلوده به آلاینده های آلی و معدنی عبارت است از : تجزیه و تخریب و یا کاهش اثر سمیت آلاینده ها در خاک توسط فعالیت ریزجانداران خاک در شرایط هوازی و بیهوازی (روکن و استرند، ۱۹۹۸). قدمت کاربرد روش پالایش زیستی به ۶۰۰ سال پیش از میلاد حضرت مسیح باز میگردد. در آن زمان رومیان فاضلاب شهری را به گودال هایی بزرگ که در خارج از شهر ساخته بودند هدایت میکردند و سپس از طریق هوادهی و توسط فرآیند میکروبی این فاضلابها را تصفیه میکردند. این عمل به طور ناخواسته آغازی در بکارگیری روش پالایش زیستی در تاریخ زندگی بشر شد (داویس و همکاران، ۱۹۹۳). ایده و پیشنهاد استفاده از ریزجانداران در پاکسازی محیط زیست در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و سرانجام این روش زیست پالایی نامیده شد. در این دهه دانشمندان علم میکروبیولوژی، مطالعه فرآیندهای زیستی را آغاز کردند. سرانجام در دهه ۱۹۸۰ محصولاتی بیولوژیکی و تجاری به عنوان مواد محرک فرآیندهای پالایش آلاینده های محیط زیست به بازار عرضه شد.

برای پاکسازی مکانهای آلوده با استفاده از روش زیست پالایی، حضور ترکیبی از باکتری ها و قارچ ها در خاک ضروری است. معمولاً یک نوع ریزجاندار خاص به تنهایی قادر نیست که آلاینده های موجود در خاک را به طور کامل تجزیه و تخریب کند و بنابراین حضور و مشارکت سایر ریزجانداران در خاک ضروری است (بسالت پور، ۱۳۸۶). مطالعات مختلف به نقش مؤثر ریزجانداران خاک در تجزیه و تخریب آلاینده های آلی در خاک اشاره داشته و روش زیست پالایی را یک روش مؤثر جهت پالایش این آلاینده ها در خاک می دانند (بینت و همکاران، ۲۰۰۰). به شکلی که گراهام و همکاران (۱۹۹۵) روش زیست پالایی را مؤثر و کارآمد جهت پالایش حلال های آلی، ترکیبات PAHs و هیدروکربنهای آروماتیک هالوژنه و آفتکش ها میدانند. دان فیلد وگرمیدا (۲۰۰۱) نیز به نقش مؤثر جنس سودموناس در تجزیه ترکیبات PAHs در خاک اشاره نمودند. ورانا و همکاران (۱۹۹۵) تجزیه زیستی این آلاینده های آلی در خاک طی فرآیند زیست پالایی را به وضعیت خاک و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی این آلاینده ها در خاک مربوط می دانند.

زیست پالایی با معنای کلی کاربرد موجودات زنده و میکروارگانیسم های ابتدایی از جمله قارچ ها، باکتری ها و گیاهان برای از بین بردن آلاینده های زیست محیطی و کاهش اثرات سمی آنها بر سلامت انسانها و محیط زیست

به حداقل مقدار ممکن است. زیست پالایی به عنوان یکی از تکنیک های پاکسازی محیط زیست، روشی ارزشمند و سازگار با محیط زیست و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد. در تکنیک زیست پالایی از باکتری ها، قارچ ها و گیاهان در سم زدایی محیط زیست در جهت حفظ سلامت انسان ها و محیط زیست استفاده می شود. به عبارت دیگر زیست پالایی روشی است که احتمال از بین بردن یا بی خطر کردن آلودگی های مختلف را با استفاده از فعالیت های زیستی فراهم می آورد. لازمه بکارگیری این روش کم بودن دامنه آلودگی و پایدار نبودن آن است ضمناً این روش نیاز به زمان طولانی دارد (ویدالی ، ۲۰۰۱).

گیاه پالایی نوعی از زیست پالایی است که در آن از قدرت گیاه برای تصفیه خاک و آب استفاده می شود. استخراج گیاهی یا برداشت آلاینده با گیاه عبارت است از جذب فلز های سنگین در ریشه و ترابری آنها به بخش های هوایی گیاه و سپس برداشت اندام هوایی گیاهان برای پاک سازی خاک و زیستگاه های دیگر (اشمیت ، ۲۰۰۳). در این روش از گیاهان بیش اندوز یا فراانباشت کننده برای جذب فلز های سنگین از خاک بهره گیری می شود. گونه گیاهی بر پایه ی توان رشد، ساخت اندام هوایی، انباشتگی فلز، پایداری در خاک و سازگاری با آلودگی و زیستگاه برگزیده می شود. گیاهانی که در این روش بکار برده می شوند باید دارای ویژگی های زیر باشند (تانگاول و سابهورما، ۲۰۰۴):

- به خوبی در منطقه رشد کنند.
- سیستم ریشه ای گسترده ای بسازند.
- توانایی و بردباری بالایی در برابر غلظت بالایی از فلز ها را داشته باشند.
- بتوانند چندین فلز را به اندازه فراوانی در اندام هوایی انباشته کنند.
- رشد خوب و زیست توده بالایی داشته باشند.
- در برابر بیماری ها و آفات پایدار باشند.
- در زیستگاه آلوده سازگار باشند.

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.

فصل سوم

مواد و روش ها

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر استفاده از قارچ میکوریزای آرباسکولار بر میزان جذب و تجمع کادمیوم در بافت های گیاه آفتابگردان در سطوح مختلف فسفر خاک در سال زراعی ۱۳۹۱ اجرا گردید.

۳-۱-زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۱ در محیط مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر۸ جاده شاهرود- آزاد شهر) اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی متر است و بارندگی ها عمدتا در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتی گراد است. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود، در سال زراعی ۹۱-۹۰ مجموع بارندگی در این منطقه ۱۷۷/۶ میلی متر و میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه به ترتیب ۸/۵ و۱۹/۴ درجه سانتی گراد بوده است.

۳-۲- خصوصیات خاک آزمایش

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش

پارامترهای اندازه گیری شده	مقدار	واحد
هدایت الکتریکی(EC)	۰/۶۹	دسی زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع (pH)	۷/۸۹	-
نیتروژن کل (Total N)	۰/۰۵۷	درصد
پتاسیم قابل جذب K(ava)	۱۴۳	پی پی ام
فسفر قابل جذب P(ava)	۱۰	پی پی ام
کربن آلی (O.C)	۰/۷۹	درصد
رس(clay)	۲۲/۴	درصد
سیلت(silt)	۴۴/۷	درصد
شن(sand)	۳۲/۹	درصد
مجموع کاتیون ها	۸۱/۲	میلی اکی والان در لیتر
Na^{+}	۲۲/۲	میلی اکی والان در لیتر
Mg^{2+}	۲۶/۰	میلی اکی والان در لیتر
Ca^{2+}	۳۳/ ۰	میلی اکی والان در لیتر
مجموع آنیون ها	۸۰/ ۶	میلی اکی والان در لیتر
SO_4^{2-}	۲۸/۶	میلی اکی والان در لیتر
Cl^{-}	۴۷/۵	میلی اکی والان در لیتر
HCO_3^{-}	۴ /۵	میلی اکی والان در لیتر
CO_3^{2-}	۰/۰	میلی اکی والان در لیتر
Cadmium	۱/۱۹	پی پی ام

۳-۳-مشخصات طرح آزمایشی

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در ۴ تکرار و به دلیل ایجاد آلودگی مصنوعی در شرایط گلدانی در محیط مزرعه ی آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا گردید.

فاکتورهای فسفر در سه سطح صفر(a_1)، ۴۰(a_2) و ۱۰۰(a_3) میلی گرم در کیلوگرم خاک، به فرم آمونیوم دی هیدروژن فسفات و کادمیوم در سه سطح ۵(b_1) ، ۱۰(b_2) و ۲۵(b_3) میلی گرم در کیلوگرم خاک به فرم نیترات کادمیوم و قارچ میکوریزا گونه ی (*Glomus intraradices*) دارای دو سطح شامل عدم تلقیح (c_1) و تلقیح (c_2) آن بود. رقم آفتابگردان مورد کشت آذرگل پاکوتاه بود و از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان شاهرود تهیه شد.

۳-۴-عملیات اجرایی

۳-۴-۱-آماده سازی گلدان ها

مقدار ۹ کیلوگرم خاک به صورت دو سوم خاک مزرعه و یک سوم ماسه برای هر گلدان آماده گردید. ابتدا خاک هر گلدان روی پلاستیک پهن شد و غلظت های مورد نظر فسفر (به صورت آمونیوم دی هیدروژن فسفات) در هوای آرام و با استفاده از افشانه به خاک افزوده و کاملا مخلوط گردید و قبل از انتقال به گلدان ها قسمتی از خاک هر گلدان توزین شد و با غلظت های مورد نظر کادمیوم (به صورت نیترات کادمیوم) با استفاده از افشانه کاملا مخلوط گردید و تیمارهای کادمیوم به صورت لایه لایه در بین خاک های مخلوط شده با فسفر قرار داده شدند و در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا مقدار ۵۰ گرم از این قارچ وزن شد و زیر بذر در ۵ سانتی متری از سطح قرار گرفت. جهت فراهم کردن تعداد بوته لازم برای آزمایش تعداد گلدان ها ۴ برابر در نظر گرفته شد. در مجموع ۱۸ ترکیب تیماری و جود داشت که در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش گلدانی

عدم تلقیح در غلظت صفر فسفر و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم	$a_1b_1c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت صفر فسفر و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم	$a_1b_1c_2$
عدم تلقیح در غلظت صفر فسفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم	$a_1b_2c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت صفر فسفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم	$a_1b_2c_2$
عدم تلقیح در غلظت صفر فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم	$a_1b_3c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت صفر فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم	$a_1b_3c_2$
عدم تلقیح در غلظت ۴۰ فسفر و ۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_2b_1c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت ۴۰ فسفر و ۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_2b_1c_2$
عدم تلقیح در غلظت ۴۰ فسفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_2b_2c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت ۴۰ فسفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_2b_2c_2$
عدم تلقیح در غلظت ۴۰ فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_2b_3c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت ۴۰ فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_2b_3c_2$
عدم تلقیح در غلظت ۱۰۰ فسفر و ۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_3b_1c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت ۱۰۰ فسفر و ۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_3b_1c_2$
عدم تلقیح در غلظت ۱۰۰ فسفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_3b_2c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت ۱۰۰ فسفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_3b_2c_2$
عدم تلقیح در غلظت ۱۰۰ فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_3b_3c_1$
تلقیح میکوریزا در غلظت ۱۰۰ فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم	$a_3b_3c_2$

۳-۴-۲-کاشت

عملیات کاشت در تاریخ ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۱ با تعداد ۷ بذر و با دست و در عمق ۵ سانتی متری و در گلدان های با تیمار تلقیح روی ۵۰ گرم قارچ میکوریز گونه ی *Glomuse intraradices* و در تیمارهای عدم تلقیح در خاک انجام شد. ظهور اولین جوانه ها ۱ هفته بعد در تاریخ ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۱ مشاهده شد. پس از سبز شدن و استقرار کامل بوته ها در تاریخ ۹ خرداد ۱۳۹۱ جهت دستیابی به تراکم مطلوب تعداد ۲ بوته در هر گلدان نگهداری شدند. گلدان ها تا پایان فصل رشد در فضای آزاد و زیر سایبان نگهداری شدند.

۳-۴-۳-داشت

اولین آبیاری یک روز بعد از کاشت به مقدار ۵۰۰ میلی لیتر برای هر گلدان انجام شد. برای جلوگیری از آبشویی خاک گلدان ها، آبیاری را تا ۸۰٪ ظرفیت زراعی به روش داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) محاسبه شد که طبق این محاسبات مقدار ۱ لیتر آب یک روز در میان به گلدان ها داده می شد تا وزن هر گلدان به ۱۰ کیلوگرم برسد. در هر آبیاری گلدان ها توزین می شدند تا با آبیاری وزن آنها به ۱۰ کیلوگرم برسد. همچنین برای غنی سازی خاک از عناصر به جز فسفر محلول لانگ اشتون[1] تهیه گردید و هفته ای یک بار بدون آبیاری به گلدان ها اضافه می شد. همچنین علف های هرز رشد یافته در داخل گلدان ها به صورت دستی برداشته شدند.

۳-۴-۴-نمونه برداری

۹۷ روز پس از کاشت در تاریخ ۲۳ مرداد ۱۳۹۱ پس از اندازه گیری صفات رویشی گیاه، تمامی نمونه ها برداشت شدند.

1-Long Aston

۳-۵- صفات زراعی و مرفولوژیک

۳-۵-۱-ارتفاع بوته

این صفت در محیط آزمایشی و از گیاه زنده به وسیله متر بر حسب سانتی متر اندازه گیری شد.

۳-۵-۲-تعداد برگ و طبق

این صفت هم در تمامی گلدان ها با گیاهان زنده به وسیله شمارش انجام شد.

۳-۵-۳- وزن خشک

پس از برداشت تمامی گل ها به منظور خشک کردن نمونه ها، قسمت های جدا شده گیاه شامل ریشه، ساقه، برگ وگل در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت و بعد از خشک شدن وزن خشک تمام اندام ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند.

۳-۵-۴- طول ریشه

پس از برداشت و جدا کردن ریشه ،آن را کاملا شسته و در آون خشک شد و سپس طول ریشه اصلی به وسیله خط کش بر حسب سانتی متر اندازه گیری شد.

۳-۶- صفات فیزیولوژیک

۳-۶-۱-کلروفیل

اندازه گیری کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه SPAD502، ۹۷ روز پس از کاشت و زمانی که برگها سبز بودند قبل از برداشت از تمامی گلدان ها و از سه برگ (بالا، وسط و پایین کانوپی) صورت گرفت و در نهایت از میانگین اندازه گیری ها و بر حسب واحد SPAD (هیسکوکس و ایسرالیستام، ۱۹۷۸) برای محاسبات استفاده شد.

۳-۶-۲- کلونیزاسیون ریشه

پس از برداشت کامل گیاه بخشی از ریشه ها قبل از خشک شدن توسط آون جدا شدند و در محلول الکل اتیلیک ۵۰٪ درون شیشه قرار گرفتند. ریشه های نمونه برداری شده با آب بخوبی شسته شدند، بطوریکه تمامی خاک و باقیمانده گیاهی از ریشه ها حذف گردیدند. بعد از نمونه برداری از ریشه های شسته شده، ریشه ها بداخل ظروف شیشه ای شفاف به حجم ۵۰ میلی لیتر منتقل شدند. سپس محلول KOH ۱۰٪ به ریشه ها اضافه شده و در درجه حرارت اتاق بمدت ۱ روز نگهداری شدند (مدت زمان نگهداری در محلول KOH به قطر ریشه ها بستگی داشت). جهت خنثی کردن محیط قلیائی ریشه های رنگبری شده حاصل از روش قبل، ریشه ها با آب مقطر شسته شده و بمدت ۲-۱ دقیقه در محلول HCl یک مولار قرار داده شدند. جهت رنگ آمیزی ریشه ها از روش تغییر یافته فیلیپس و هایمان (۱۹۷۰) (حذف فنل از محلول رنگ) استفاده گردید. در این روش ریشه های رنگبری شده بمدت ۱۲-۶ ساعت در محلول رنگ آمیزی تریپان بلو[1] ۰.۰۱٪ در درجه حرارت اتاق نگهداری شدند. ریشه ها پس از خارج شدن از محلول رنگ و شستشو با آب مقطر آماده تعیین میزان کلونیزاسیون بودند. برای نگهداری ریشه ها تا زمان اندازه گیری میزان کلونیزاسیون از محلول اسید لاکتیک، گلیسرول و آب استفاده گردید.

برای تعیین میزان کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه گیاهان مورد بررسی از روش گیووانتی و موس (۱۹۸۰) استفاده گردید. بر اساس این روش ریشه های رنگ آمیزی شده به قطعات یک سانتیمتری تقسیم شده و تعداد ۲۰ عدد در سطح یک لام قرار گرفت. سپس با استفاده از میکروسکپ با بزرگنمائی ۴۰ تعداد ریشه هایی که دارای اندام قارچی (شامل ریسه، آرباسکول، کویل و وزیکل) بودند شمارش و بر حسب درصد محاسبه گردید.

۳-۶-۳-فسفر خاک

نمونه های خاک از محیط رایزوسفر جمع آوری شدند و جهت اندازه گیری فسفر به روش اولسن[2] (۱۹۵۴) استفاده شدند. بدین صورت که مقدار ۱ گرم از خاک را داخل لوله فالکون ریخته و سپس ۲۰ میلی لیتر $NaHCO_3$(pH سدیم بیکربنات باید ۸/۵ باشد که می توان از NaOH ۱ مولار جهت تنظیم pH استفاده کرد) به آن اضافه شد و برای شفاف تر شدن محلول از زغال اکتیو به اندازه نصف قاشق چای خوری استفاده شد. لوله ها روی

1-Trypan blue
2- Olsen Method

شیکر افقی با سرعت ۲۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه شیک شدند. سپس محلول با کاغذ صافی ۴۲ صاف شد. محلول شفاف حاصل جهت آنالیز آماده شد.

برای آنالیز نمونه به روش اسپکتوفتومتری احتیاج به ساخت دو محلول جداگانه است. محلول A شامل :

۱- حل کردن ۱۲ گرم آمونیوم مولیبدات در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر ،

۲- حل کردن ۰/۲۹۱ گرم آمونیوم پتاسیم تارتارات در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر

۳- اضافه کردن این دو محلول در ۱۰۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۲/۵ مولار

۴- رساندن حجم محلول به ۲۰۰۰ میلی لیتر با استفاده از آب مقطر

۵- نگهداری محلول در مکان تاریک و دور از نور(این محلول را تا چند روز می توان نگهداری کرد)

ساخت محلول B شامل: حل کردن ۱/۰۵۵۶ گرم از اسید آسکوربیک در ۲۰۰ میلی لیتر از محلول A (عمر این محلول ۲۴ است و باید روزانه ساخته شود)

برای اندازه گیری نمونه ها به روش اسپکتوفتومتری احتیاج به ۶-۴ عدد استاندارد داریم (معمولا یک استاندارد ۱۰۰ پی پی ام ساخته می شود و آن را رقیق می کنند) که برای اندازه گیری فسفر خاک نمونه ها استاندارهای ۱۰،۲۵، ،۱،۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ پی پی ام ساخته شد. از $NaHCO_3$ عنوان محلول Blank (شاهد) استفاده شد. در داخل هر کووت مقدار ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره ی شفاف تهیه شده و ۱۰۰۰ میکرولیتر آب مقطر و ۳۰۰ میکرولیتر محلول B ریخته شد که طیف رنگ آبی را تشکیل دادند. جهت خواندن اعداد در دستگاه اسپکتوفتومتری مدل 6305 Jenway طول موج روی ۸۸۲ نانومتر تنظیم شد و پس صفر کردن عدد دستگاه در زمان قرائت محلول شاهد به ترتیب استانداردها و بعد از آن عصاره ها خوانده شد و میزان فسفر قابل جذب بدست آمد.

۳-۶-۴-فسفر برگ

جهت اندازه گیری فسفر برگ از روش هضم مرطوب استفاده شد. بدین صورت که پس از خشک شدن برگ در آون، آن را پودر کرده و مقدار ۰/۵ گرم از ماده خشک را به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد و داخل بالن هضم قرار گرفت. اسید مصرفی برای هضم ترکیبی از اسید نیتریک و اسید پرکلریک بود که مخلوط اسید را به ماده خشک اضافه کرده و یک شب در حال استراحت قرار گرفت. سپس بالن هضم را به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد و ۱ ساعت در ۲۰۰ درجه سانتی گراد و سپس ۲ ساعت در دمای ۲۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. پس از خاموش کردن دستگاه و خنک شدن محلول، ماده داخل بالن های هضم را با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر

رسانده و از محلول حاصله ۱ میلی لیتر برداشته و ۸۰۰ میکرولیتر reagent به آن اضافه کرده و با آب مقطر حجم نهایی آن را به ۱۰ میلی لیتر رساندیم و جهت قرائت توسط دستگاه اسپکتوفتومتری آماده شد. سپس نمونه ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت گردید.

۳-۶-۵-کادمیوم برگ و ریشه

جهت اندازه گیری کادمیوم موجود در برگ و ریشه از روش هضم مرطوب استفاده شد بدین صورت که نمونه های خشک شده در آون را پودر کرده و مقدار ۲ گرم از آن را با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد. مقدار ۴۰۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ را با ۴۰ میلی لیتر اسید پرکلریک ۷۰ درصد و ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۶ درصد مخلوط شد. ۲ گرم نمونه ی گیاه به بالن هضم منتقل شد و سپس ۳۰ میلی لیتر از مخلوط اسید ها به آن اضافه شد و کاملا با نمونه های گیاهی مخلوط شد. سپس ۱شب به نمونه ها استراحت داده شد تا از کف کردن زیادی طی عمل هضم جلوگیری شود. روز بعد نمونه ها را به مدت ۴۰ دقیقه تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد. حرارت به تدریج بالا برده شد تا باقیمانده اسید نیتریک و آب تقطیر شود. سپس درجه حرارت تا نقطه جوش اسید پرکلریک (تا ۲۰۵ درجه سانتی گراد) افزایش داده شد. این حرارت تا زمانی که رنگ محلول شفاف یا بیرنگ شد ادامه داشت. پس از اتمام عمل هضم و خنک شدن نمونه ها، محتویات بالن هضم با استفاده از کاغذ صافی ریز به بالن ژوژه ۱۰۰ منتقل شد و با آب مقطر به حجم رسانده شد. سپس نمونه ها جهت قرائت میزان کادمیوم به وسیله دستگاه جذب اتمی به آزمایشگاه میکروشیمی دامغان منتقل شد.

۳-۷- کارایی انتقال کادمیوم

کارایی انتقال یا فاکتور ترابری عناصر Translocation Factor (TF)، یکی از شاخص های زیستی جهت برآورد تمرکز و تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاه می باشد. این فاکتور عبارت است از نسبت غلظت فلز در اندام های هوایی گیاه به غلظت فلز به اندام زمینی گیاه است. این شاخص بیانگر میزان توانایی گیاه در انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام های هوایی می باشد که با استفاده از رابطه ۳-۱ محاسبه می شود (آیودت و چارست، ۲۰۰۷)

رابطه ۳- ۱

$$\%TF = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز سنگین در اندام زمینی}} \times ۱۰۰$$

۳-۸- کارایی استخراج کادمیوم

کارایی استخراج یا Phytoxtraction efficiency یکی از فاکتورهای مهمی است که جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه را نشان می دهد و از رابطه ۳-۲ محاسبه می شود (کوتنی،۱۹۸۰؛ آیودت و چارست، ۲۰۰۷):

رابطه۳-۲

$$\text{کارایی استخراج گیاهی (میکروگرم در گرم)} = \frac{\text{مقدار کادمیوم جذب شده در اندام هوایی}}{\text{وزن خشک ریشه}}$$

۳-۹- کارایی جذب کادمیوم

کارایی جذب یا Uptake efficiency توانایی گیاه را در جذب فلز سنگین نشان می دهد که بر حسب میکروگرم در گرم و طبق رابطه ۳-۳ محاسبه می شود (کوتنی، ۱۹۸۰):

رابطه ۳-۳

$$\text{کارایی جذب گیاهی (میکروگرم در گرم)} = \frac{\text{مقدار کادمیوم جذب شده در اندام گیاه}}{\text{وزن خشک ریشه}}$$

۳-۱۰- درصد کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار

AM Effectiveness یا کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار بیانگر توانایی قارچ میکوریز در جذب فلز سنگین کادمیوم می باشد که با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است: (زارعی و همکاران، ۱۳۹۰)

رابطه۳-۴

$$\text{درصد کارایی قارچ} = \frac{\text{مقدار کادمیوم جذب شده در تیمار های غیر میکوریزی} - \text{مقدار کادمیوم جذب شده در تیمار های میکوریزی} \times 100}{\text{مقدار کادمیوم جذب شده در تیمار های غیر میکوریزی}}$$

۳-۱۱-تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار MSTATC و رسم نمودارها توسط نرم افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

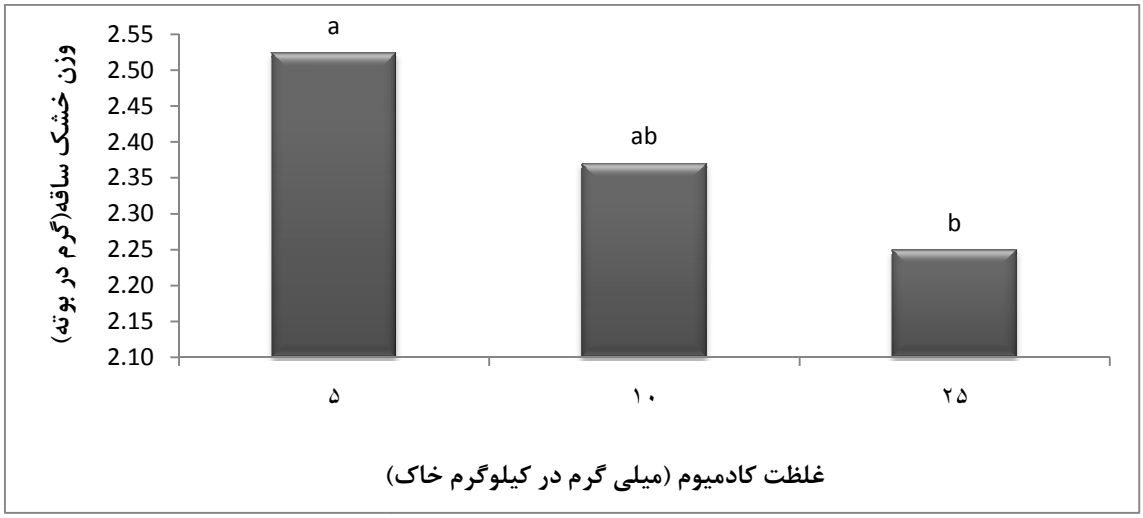
فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- صفات رویشی

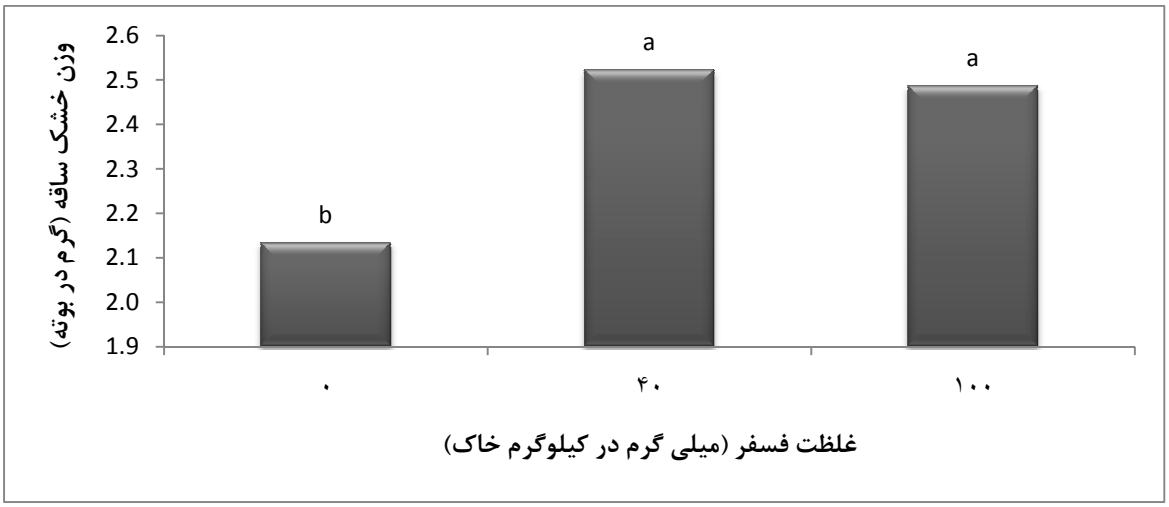
۴-۱-۱-وزن خشک ساقه (تک بوته)

وزن خشک ساقه به طور معنی داری از غلظت های مختلف کادمیوم و فسفر تاثیر پذیرفت ، ولی اثر متقابل کادمیوم و فسفر و همچنین تیمار قارچ میکوریز و سایر منابع تغییر بر این صفت تاثیر گذار نبودند (جدول پیوست ۱). با افزایش میزان کادمیوم خاک، وزن خشک ساقه روند کاهشی نشان داد. همانطور که در شکل ۴-۱ مشاهده می شود با افزایش میزان کادمیوم خاک از ۵ به ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم، وزن خشک ساقه (تک بوته) در حدود ۱۲ درصد کاهش پیدا می کند. افزودن مقدار ۱۰ میلی گرم کادمیوم به هر کیلوگرم خاک نیز باعث کاهش میزان وزن خشک ساقه شد ولی این سطح از تیمار کادمیوم تفاوت معنی داری با سطوح پایین و بالای آن نداشت. قاسمی و شهابی (۱۳۸۹) تاثیر کادمیوم بر روی شاخص های فیزیولوژیک، صفات رویشی و غلظت عناصرغذایی در گیاه گوجه فرنگی در کشت بدون خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وزن تر و خشک ریشه و ساقه و طول ساقه بویژه در غلظت ۲۰ میکرومولار کاهش معنی داری یافت اما تاثیر معنی داری بر روی شاخص های مورفولوژیک مشاهده نشد.



شکل (۴-۱) اثر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن خشک ساقه آفتابگردان (تک بوته)

با توجه به شکل ۴-۲ با افزایش فسفر خاک از غلظت صفر تا ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک ساقه حدود ۱۴ درصد افزایش می یابد که این افزایش بین سطح صفر و ۴۰ کاملا مشهود بوده و بین دو سطح ۴۰ و ۱۰۰ اختلاف معنی داری مشاهده نگردید. همچنین طبق نتایج بدست آمده اینطور برآورد می شود که تا قبل از سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر بیشترین افزایش وزن خشک ساقه اتفاق می افتد. چون در واقعیت نیز سطح بحرانی فسفر خاک برای آفتابگردان حدود ۱۵-۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. فسفر از عناصر پرمصرفی است که در رشد اندام هوایی و ریشه نقش دارد. در تیمار شاهد به دلیل کمبود شدید میزان فسفر قابل جذب در بستر کشت (سطح صفر فسفر) رشد ساقه گیاه و در نتیجه وزن خشک آن ناچیز می باشد. طبق تحقیقات انسمینگر (۱۹۵۲) با افزایش دادن میزان فسفر خاک مقدار برداشت فسفر به وسیله گیاه حتی تا ۳۰ برابر نیز ممکن است برسد. از طرفی فسفر در گیاه به طریق شیمیایی در برقراری تعادل بین نیاز گیاه و عرضه عناصر کم مصرف در محیط خارجی دخالت دارد لذا کمبود و یا زیاد بودن میزان فسفر باعث بروز سمیت عناصر کم مصرفی مثل روی می شوند که در نتیجه کاهش عملکرد گیاه را به دنبال دارد (سالاردینی، ۱۳۸۷). شاید به همین علت بیشترین میزان وزن خشک ساقه در غلظت ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر مشاهده می شود.



شکل(۴-۲) اثر سطوح مختلف فسفر بر وزن خشک ساقه آفتابگردان (تک بوته)

۴-۱-۲-وزن خشک برگ (تک بوته)

وزن خشک برگ آفتابگردان به طور معنی داری تحت تاثیر اثر اصلی فسفر، کادمیوم، قارچ و اثر متقابل کادمیوم و میکوریزا و همچنین اثر سه گانه فسفر، کادمیوم و قارچ قرار گرفت (جدول پیوست ۱). طبق این نتایج با افزایش غلظت فسفر از صفر به ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ حدود ۱۸ درصد روند افزایشی دارد و اختلاف معنی داری بین سه سطح فسفر مشاهده می شود (شکل ۴-۳). همانطور که گفته شد با افزایش میزان فسفر خاک برداشت آن توسط گیاه نیز افزایش می یابد. فسفر از عناصر پرمصرفی است که در انتقال انرژی نقش بخصوصی ایفا می کند لذا جذب آن از طریق گیاه افزایش رشد آن را نیز به دنبال دارد. بدین جهت است که وزن خشک برگ در این آزمایش در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم فسفر خاک بیشترین میزان را دارد. در آزمایشی که توسط کاظمی و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد نتایج نشان داد که فسفر موجود در دانه بیشتر از طبق و فسفر طبق بیش از برگ و فسفر برگ بیشتر از ساقه و فسفر ساقه نیز بیشتر از پوست دانه بود و افزایش فسفر، افزایش وزن خشک اندام گیاه را به دنبال داشت.

شکل (۴-۳) اثر سطوح مختلف فسفر بر وزن خشک برگ آفتابگردان (تک بوته)

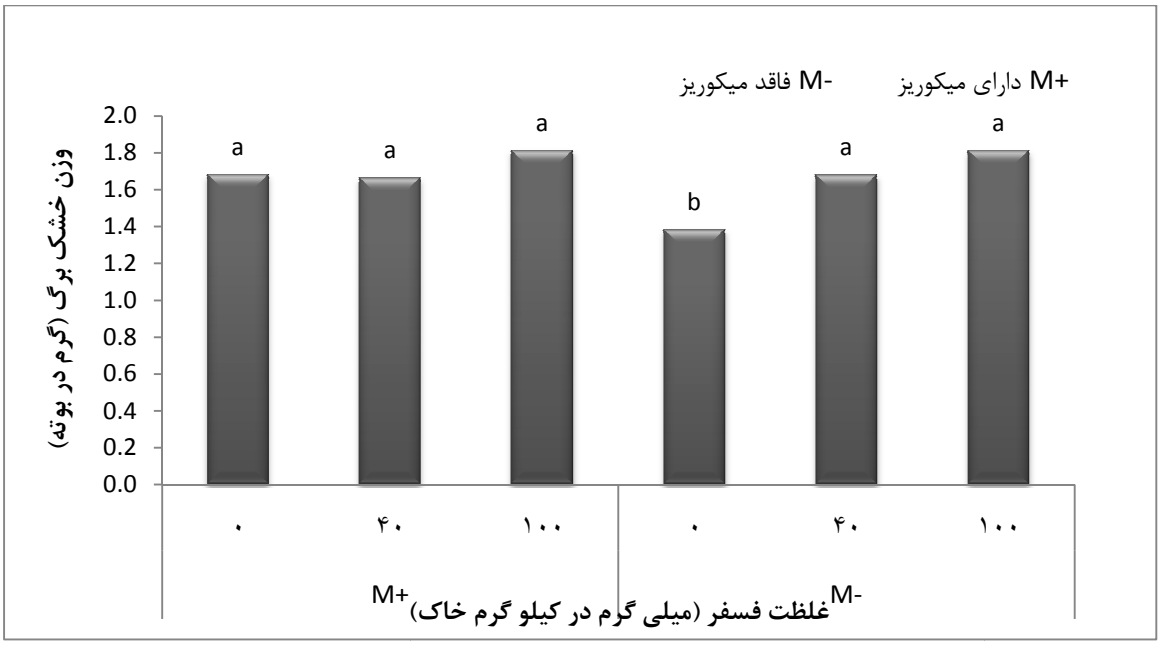
از طرفی با افزایش غلظت کادمیوم از ۵ به ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک ، وزن خشک برگ به طور معنی داری کاهش می یابد که طبق نتایج، در سطح دوم و سوم کادمیوم تفاوت معنی دار نبوده اما با سطح اول کادمیوم (۵ میلی گرم بر کیلوگرم) تفاوت معنی داری دارند (شکل ۴-۴). اثر سمیت کادمیوم و تاثیر آن بر میزان رشد برگ و همچنین وزن خشک آن در دو سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم مشابه است و کاهش وزن خشک

برگ را به دنبال دارد. لذا غلظت ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در اندام برگ می تواند از سمیت کمتری برخوردار باشد و تاثیر چندانی بر متابولیسم این اندام نداشته باشد.

شکل (۴-۴) اثر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن خشک برگ آفتابگردان (تک بوته)

در بررسی اثر متقابل فسفر و میکوریز، وزن خشک برگ در تیمارهای دارای میکوریز بیشتر از گیاهان غیر میکوریز بود ولی از لحاظ آماری معنی دار نبود و تنها تفاوت در تیمارهای غیر میکوریزی و در سطح اول فسفر (صفر) مشاهده شد و در سایر سطوح فسفر تفاوت ها معنی دار نبود (شکل ۴-۵). قارچ های میکوریزا صفات رویشی گیاهان را تحت تأثیر خود قرار می دهند و هر عاملی که بتواند صفات رویشی از جمله سطح برگ و وزن خشک گیاه را تحت تأثیر خود قرار دهد می تواند بر روی شاخص های رشدی نیز اثر داشته باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۷). زارعی و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که در گیاهان مایه زنی شده به قارچ میکوریز، وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت در تمام سطوح روی به کار برده شده در مقایسه با گیاهان مایه زنی نشده افزایش یافت. وزن خشک برگ در گیاهان غیر میکوریزی و در تیمار شاهد (سطح صفر فسفر) به طور معنی داری کمترین میزان را داشت در حالی که همین تیمار در گیاهان میکوریزی تفاوت معنی داری با سایر سطوح نداشت. هرچند سایر سطوح در دو بخش میکوریزی و غیر میکوریزی تفاوت معنی داری از لحاظ آماری با یکدیگر نداشتند ولی اینطور مشاهده شد که سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر در هر دو بخش میکوریزی و غیر میکوریزی بیشترین میزان را دارند. بیان شده است که هنگامی که فسفر خاک در سطح پایینی باشد سیستم میکوریزا جذب فسفر و در نتیجه رشد گیاه را به نحو چشمگیری افزایش می دهد. در تیمار شاهد گیاهان میکوریزی، قارچ میکوریز باعث افزایش انحلال و در نتیجه جذب بیشتر فسفر موجود در

ساختمان خاک شده است لذا از میزان وزن خشک بیشتری در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی برخوردار است لذا در اینجا می توان به نقش قارچ میکوریز در افزایش جذب فسفر در غلظت های پایین فسفر خاک اشاره کرد.



شکل (۴-۵) اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و قارچ میکوریز بر وزن خشک برگ آفتابگردان (تک بوته)

۴-۱-۳-وزن خشک ریشه (تک بوته)

اثر اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ ($p\leq ۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل فسفر×کادمیوم ($p\leq ۰/۰۱$) و کادمیوم×قارچ ($p\leq ۰/۰۵$) بر روی وزن خشک ریشه (تک بوته) معنی دار شد (جدول پیوست ۱).

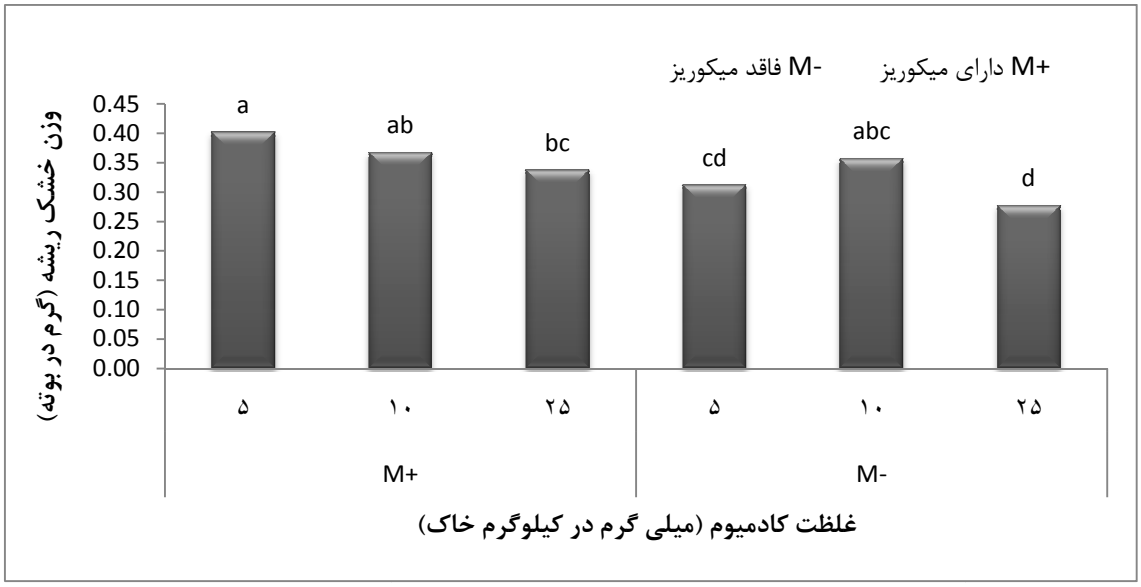
در بررسی اثر متقابل کادمیوم و قارچ میکوریز بر وزن خشک ریشه آفتابگردان طبق شکل ۴-۶ این طور برآورد می شود که افزایش کادمیوم سبب کاهش رشد ریشه و در نتیجه کاهش وزن خشک و بیومس آن می شود ولی این کاهش در ریشه های غیر میکوریزی بیشتر از ریشه های میکوریزی است که با نتایج بسریل و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد که در بررسی اثر قارچ های 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 قارچ های میکوریزی کادمیوم اثر منفی معنی دار بر بیوماس گیاه ندارد.

بیشترین میزان وزن خشک ریشه در گیاهان میکوریزی و مربوط به سطح ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم می باشد. کاهش وزن خشک ریشه همراه با افزایش سطوح کادمیوم در گیاهان میکوریزی معنی دار نیست. کمترین میزان وزن خشک نیز مربوط به تیمار گیاهان غیر میکوریزی و سطح ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم است. در گیاهان غیر میکوریزی سطح ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در مقابل سطح ۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم به طور نامشخصی از میزان وزن خشک بیشتری برخوردار است. ولی در کل اثر سمیت کادمیوم و تاثیر آن بر رشد گیاه در تیمارهای میکوریزی کنترل شده است لذا می توان گفت که قارچ های میکوریز تحمل گیاه را نسبت به تنش کادمیوم افزایش داده اند.

برادران و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند وزن خشک ریشه سویا تحت تاثیر فلز نیکل قرار گرفت به طوری که با افزایش غلظت این فلز وزن خشک ریشه کاهش یافت. همچنین اکبری (۱۳۹۰) در تحقیقی نشان داد که افزایش میزان کادمیوم در خاک سبب کاهش فعالیت ریشه سویا و در نتیجه تجمع ماده خشک در ریشه گردیده و به طور مشخص وزن خشک ریشه بوته های رشد کرده در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی گرم کادمیوم نسبت به عدم وجود این عنصر به ترتیب ۶/۴ و ۱۶/۲ درصد کمتر بود.

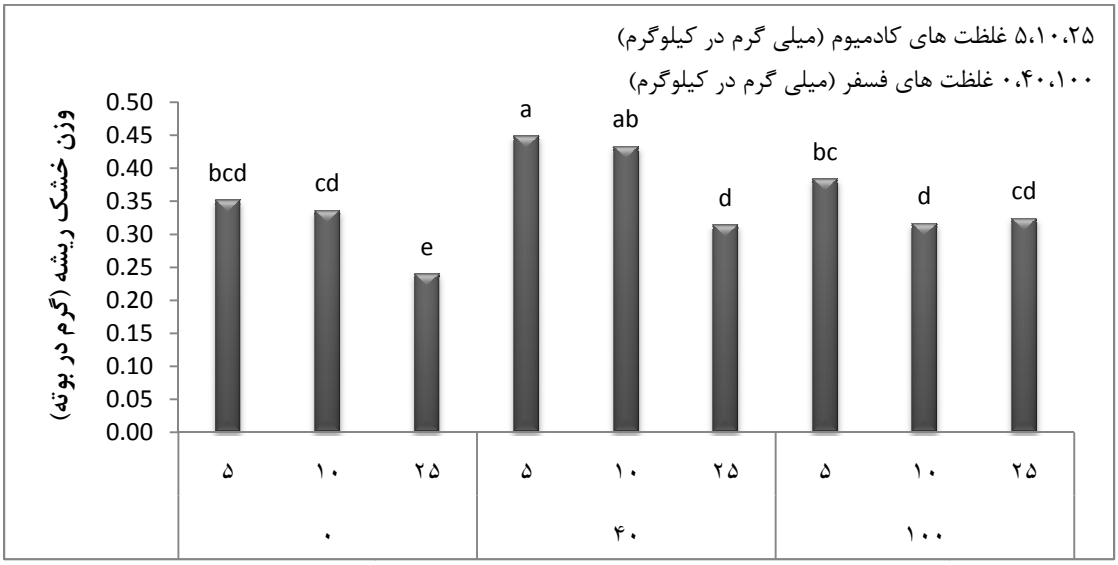
بیان شده است که کادمیوم باعث کاهش در فعالیت ATPase غشای پلاسمایی در ریشه های گندم و آفتابگردان می شود (دمیچیک و همکاران، ۱۹۹۷). به نظر میرسد که قارچهای میکوریز آرباسکولار، آستانه تحمل پذیری گیاه به سمیت فلز سنگین را افزایش می دهند. این موضوع احتمالاً به دلیل واکنش های فیزیولوژیک در سطح تماس گیاه –قارچ، بیان ژن های خاص یا کاهش آنها، تغییر الگوی توزیع فلزات سنگین در اندام های گیاه، مکانیسم های غیر مستقیم شامل جذب بیشتر عناصر فسفر و آهن، افزایش عملکرد گیاه و یا مکانیسم های مستقیم، شامل جذب فلز در سطح یا درون اندام های قارچی، کلاته شدن فلز در سیتوپلاسم به وسیله متالوتیونین ها، سکوستره شدن فلزات در گرانول های پلی فسفات داخل واکوئل هاست (گوهر و پاسکوویسکی، ۲۰۰۶). مکانیسم مطرح دیگر در این زمینه، تحریک سیستم فنولیک گیاه به واسطه کلنیزاسیون میکوریزی است که در نتیجه، تیول هایی مثل گلوتاتیون تشکیل می شوند. این ترکیب ها از نظر ساختاری با فیتوکلاتین ها ارتباط دارند و با تشکیل پیوند با فلز سنگین علاوه بر ممانعت از بروز مسمویت در گیاه، در سمیت زدایی خاکهای آلوده نیز از طریق جذب و تجمع بالای فلزات سنگین در گیاه، نقش مهمی ایفا می کنند (مارکوئز و همکاران، ۲۰۰۷).

.



شکل (۴-۶) اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و قارچ میکوریز بر وزن خشک ریشه آفتابگردان (تک بوته)

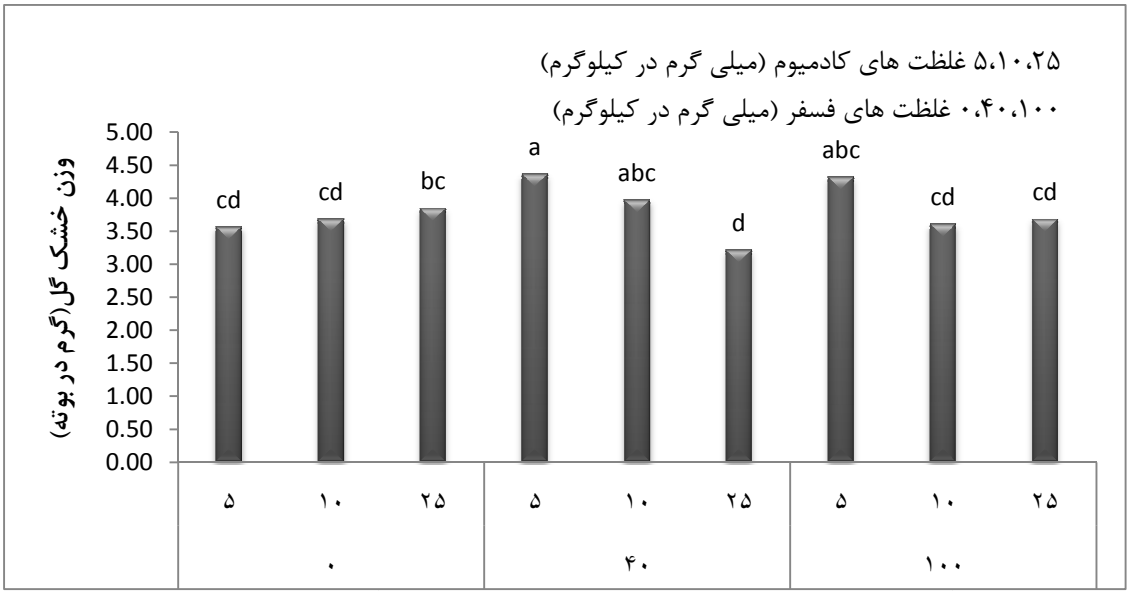
اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر روی وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول پیوست ۱). طبق نتایج حاصله همچون قبل کاهش وزن خشک ریشه به دنبال افزایش سطوح کادمیوم به طور معنی داری به چشم می خورد. اما بیشترین کاهش وزن خشک ریشه در تیمار صفر فسفر و کمترین کاهش آن در سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر خاک مشهود است. بیشترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به سطح ۴۰ فسفر و سطح ۵ کادمیوم می باشد. در دو سطح صفر و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم تفاوت معنی داری وجود ندارد و تنها اختلاف با سطح سوم کادمیوم (۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) معنی دار می باشد. در سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر اختلاف معنی داری بین دو سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم مشاهده نگردید (شکل ۴-۷). نتایج نشان می دهد که سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر در شرایط سطوح پایین کادمیوم (۵ و۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) بیشتر توسط ریشه جذب می شود و خصوصیات رویشی آن را تحت تاثیر قرار می دهد. این سطح از فسفر، غلظتی است که ریشه آن را به آسانی جذب کرده و در اختیار ساقه قرار می دهد. کاهش میزان وزن خشک ریشه در سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر می تواند ناشی از اثرات سمیت حاصل از زیاد بود فسفر باشد که در غلظت سایر عناصر کم مصرف تاثیر گذاشته و کاهش رشد ریشه را به دنبال دارد.



شکل (۴-۷) اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر روی وزن خشک ریشه آفتابگردان (تک بوته)

۴-۱-۴-وزن خشک گل (تک بوته)

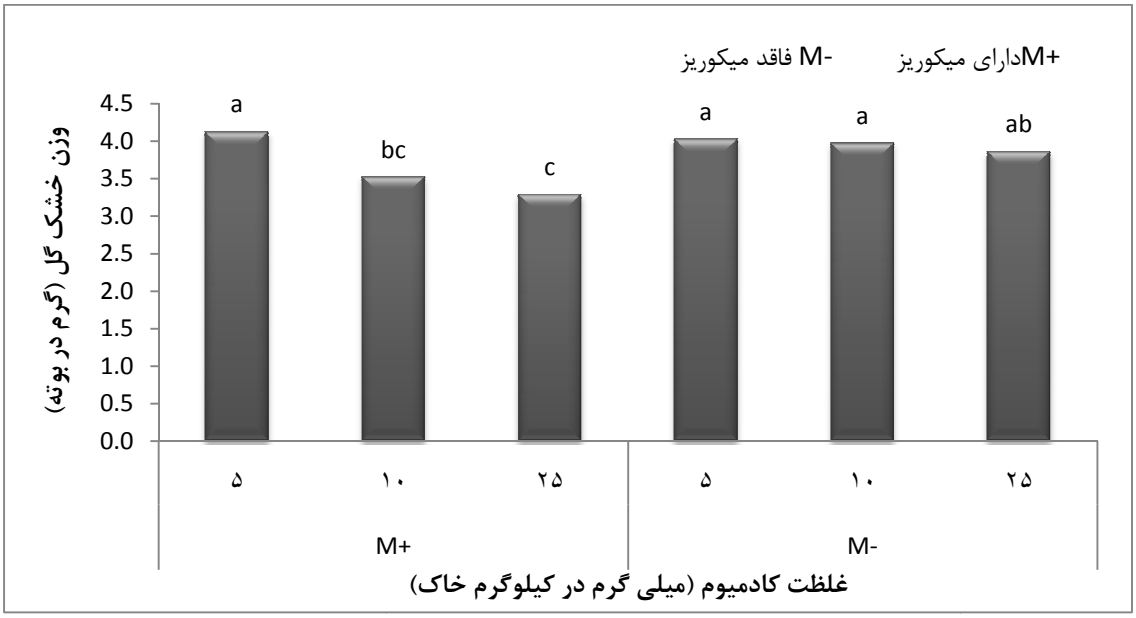
وزن خشک گل تحت تاثیر اثر اصلی کادمیوم و قارچ و اثر متقابل فسفر×کادمیوم و فسفر×قارچ و همچنین اثر سه جانبه فسفر×کادمیوم×قارچ قرار گرفت (جدول پیوست ۱). در بررسی اثر متقابل کادمیوم و فسفر ($p\leq ۰/۰۱$) شاهد روند کاهش وزن خشک گل در دو سطح ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر با افزایش سطوح کادمیوم بودیم. بیشترین میزان وزن خشک گل مربوط به سطح ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم از سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر خاک بود. همچنین در سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر بین دو تیمار ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم اختلاف معنی داری مشاهده نشد. لذا با توجه به اثرات اصلی فسفر و کادمیوم می توان اظهار داشت که سطوح ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر باعث افزایش وزن خشک گل می شود ولی این تاثیر در اثر متقابل با سطوح بالای کادمیوم کاهش وزن خشک گل را به دنبال دارد (شکل ۴-۸).



شکل (۴-۸) اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر روی وزن خشک گل آفتابگردان (تک بوته)

در بررسی اثر متقابل کادمیوم و قارچ میکوریز بر وزن خشک گل طبق شکل (۴-۹) افزایش غلظت کادمیوم در گیاهان میکوریزی کاهش وزن خشک گل را به دنبال دارد ولی این کاهش در گیاهان غیر میکوریزی دیده نمی شود. کمترین میزان وزن خشک گل مربوط به سطح ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان میکوریزی می باشد. طبق نتایج حاصله اینطور به نظر می رسد که در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی کاهش وزن خشک گل بیشتر از کاهش وزن خشک ریشه است و این ناشی از حضور قارچ های میکوریز در اندام ریشه می باشد. از مکانیسم هایی که قارچ میکوریز آربوسکولار برای کاهش تنش فلزات سنگین برای گیاهان اعمال می کنند شامل کلات شدن و غیر پویایی فلزات سنگین در میسلیوم های خارجی، بهبود تغذیه معدنی بویژه فسفر، تغییر pH ریزوسفر، تنظیم بیان ژن ناقل های فلزی و غیره می باشد و این مکانیسم ها عاملی برای کاهش صدمه ناشی از تنش کادمیوم به ریشه گیاهان میکوریزی می باشد. قارچ میکوریزا می تواند فلزات سنگین را در ناحیه ریشه گیاه توسط آزاد کردن گلیکو پروتئین های غیر محلول که به طور معمول به عنوان گلومالین شناخته شده اند، مهار نماید (گونزالز و همکاران، ۲۰۰۴) و از این طریق مانع رسیدن صدمه ناشی از سمیت کادمیوم به ریشه شوند به عبارتی نقش مقاومتی در ریشه ایفا می کنند. از طرفی طبق گزارشات قارچ های میکوریز به دلیل توسعه بیشتر در محیط خاک و افزایش جذب عناصری مانند کادمیوم آن را وارد گیاه کرده و افزایش غلظت این عنصر در گیاه به دلیل ایجاد سمیت و تنش، رشد گیاه را با مشکل مواجه می کند، سمیت ممکن است از باند شدن فلزات سنگین به گروه های سولفیدریل در

پروتیئن های گیاهی باشد و منجر به تغییرات ساختاری و یا باعث تشکیل رادیکال های آزاد و گونه های فعال اکسیژن شود (دیتز و همکاران، ۱۹۹۹). لذا دیده می شود که با افزایش میزان کادمیوم وزن خشک گل آفتابگردان با کاهش روبرو است و این موضوع در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است.



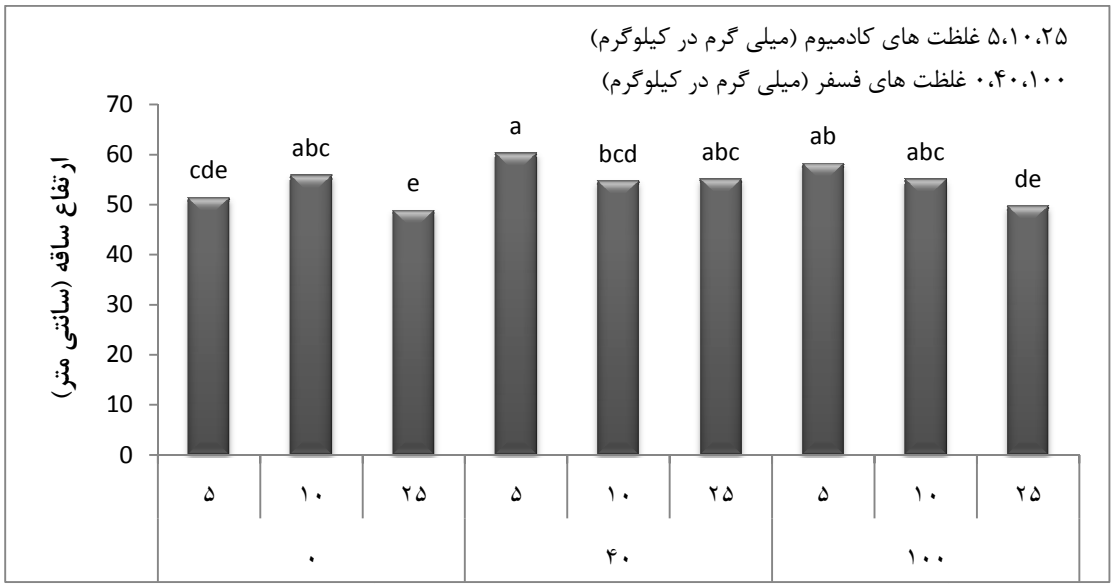
شکل (۴-۹) اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و قارچ میکوریز بر وزن خشک گل آفتابگردان (تک بوته)

۴-۱-۵-طول ساقه

اثر اصلی فسفر ($p\leq ۰/۰۵$) و کادمیوم ($p\leq ۰/۰۱$) و اثر متقابل فسفر×کادمیوم× فسفر، قارچ ($p\leq ۰/۰۵$) و همچنین اثر متقابل فسفر×کادمیوم × قارچ ($p\leq ۰/۰۱$) بر روی طول ساقه معنی دار شدند (جدول پیوست ۲).

طبق نتایج حاصله طول ساقه نیز همانند سایر صفت ها با افزایش غلظت کادمیوم رابطه معکوس داشت و با افزوده شدن مقدار کادمیوم در هر سه سطح فسفر، از ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم طول ساقه کاهش یافت و این نشان دهنده ی تاثیر منفی غلظت بالای کادمیوم و یا اثر سمیت کادمیوم بر طول ساقه است. (شکل ۴-۱۰). نیکل به عنوان یک فلز سنگین، به ویژه در غلظت های بالا، از طریق کاهش وزن تر و خشک برگ ها و ساقه (فونتس وکوکس، ۱۹۹۸)، همچنین تاثیر منفی بر طول ساقه (ژو، ۲۰۰۲) موجب کاهش در رشد عمومی گیاهان می گردد. کاهش رشد شاخساره گیاهان در نتیجه سمیت کادمیم میتواند به دلیل از دست رفتن اتساع سلولی و کاهش طویل شدن سلول ها باشد (شا و همکاران، ۲۰۰۸). طول ساقه در غلظت ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم فسفر و غلظت ۵ میلی گرم بر

کیلوگرم کادمیوم بیشترین و در غلظت صفر فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار را داشت. همانطور که گفته شد فسفر نقش مهمی در انتقال انرژی و افزایش رشد گیاه دارد لذا مشخص است که در تحقیق انجام شده سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر موثرتر از دو سطح دیگر در رشد ساقه می باشد و بین دو سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در این غلظت فسفر اختلاف معنی داری وجود ندارد.



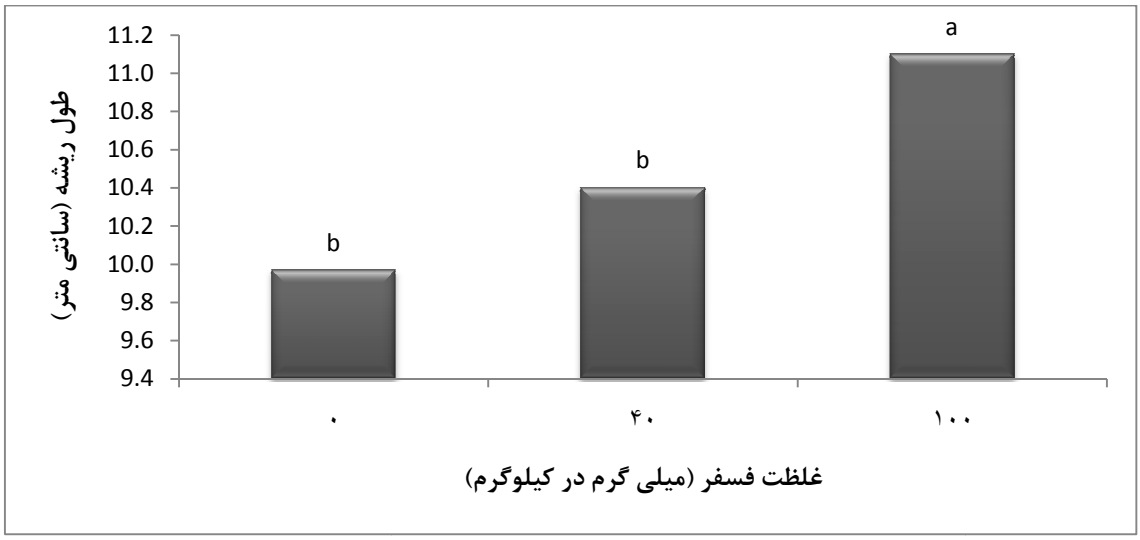
شکل (۴-۱۰) اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و فسفر بر ارتفاع بوته آفتابگردان (تک بوته)

۴-۱-۶-طول ریشه

اثر اصلی کادمیوم بر طول ریشه معنی دار نشد اما طول ریشه های آفتابگردان متاثر از غلظت های فسفر($p \leq ۰/۰۱$) قرار گرفت و با افزایش غلظت فسفر خاک از صفر به ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم، طول ریشه حدود ۱۰ درصد افزایش یافت به طوری که بین دو سطح صفر و ۴۰ تفاوت مشهود ولی معنی دار نبود (شکل ۴-۱۱). یکی از نقش های فسفر در گیاه افزایش طول ریشه جهت دست یابی به آب و عناصر غذایی بیشتر است. این عنصر به راحتی توسط بافت کورتکس ریشه گیاه جذب می شود و برای انتقال به برگ ها در آوندهای چوبی بارگذاری می شود (سالت و همکاران، ۱۹۹۵).

همچنین طول ریشه در اثر متقابل فسفر× کادمیوم × میکوریز معنی دار بود (جدول پیوست ۲). بیان شده است که عناصر سنگین قادر به جلوگیری از طویل شدن ریشه ها، کاهش فتوسنتز و فعالیت های آنزیمی و نیز وارد

شدن آسیب اکسیداتیو به غشاء ها می باشد (شا و کلیزیگ،۱۹۹۹). ولی در این آزمایش اثر اصلی کادمیوم بر روی طول ریشه معنی دار نشد و در اثر متقابل سه جانبه سه تیمار تحت تاثیر یکدیگر نتایج واضحی را نشان ندادند.



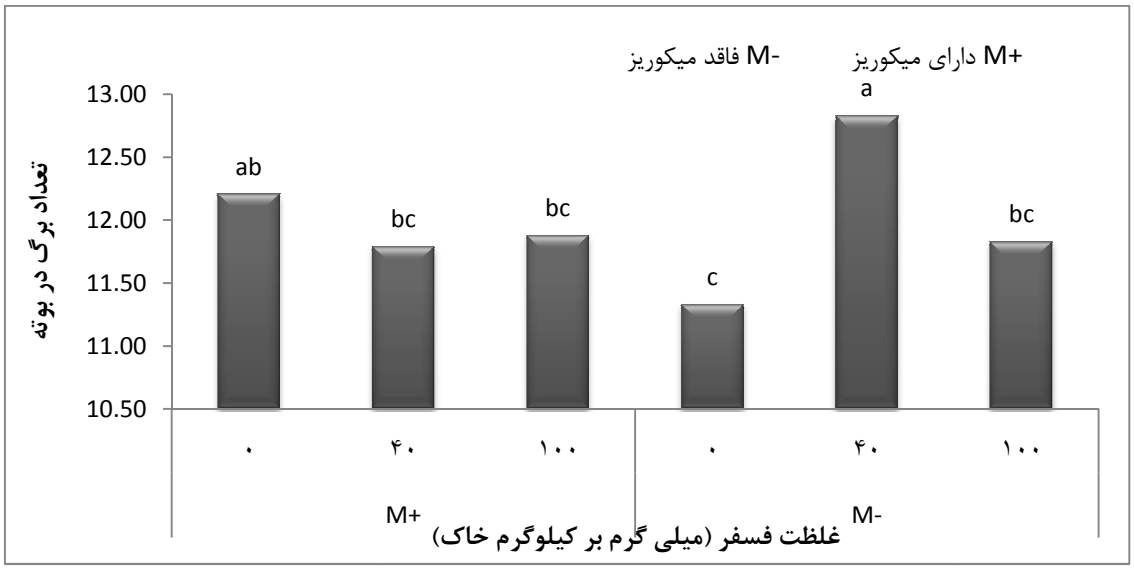
شکل (۴-۱۱) تاثیر سطوح مختلف فسفر بر طول ریشه آفتابگردان (تک بوته)

۴-۱-۷-تعداد برگ (تک بوته)

تعداد برگ تحت تاثیر اثر اصلی کادمیوم و اثر متقابل قارچ و فسفر قرار گرفت (پیوست ۲). تعداد برگ نیز همچون اکثر صفت ها با افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت و این کاهش بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم بی معنی و بین دو سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش بسیار معنی دار و حدود ۱۱ درصد بود (شکل ۴-۱۲).

شکل (۴-۱۲) تاثیر سطوح مختلف کادمیوم بر تعداد برگ آفتابگردان (تک بوته)

تاثیر متقابل فسفر و قارچ میکوریز با کاهش تعداد برگ در گیاهان میکوریزی همراه بود. سطوح ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر در گیاهان میکوریزی تفاوت معنی داری با هم نداشتند. در گیاهان غیر میکوریزی تعداد برگ در سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر بیشترین تعداد بود در حالی که سطح شاهد کمترین و سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از نظر تعداد برگ بین این دو سطح قرار داشت. همچنین در گیاهان میکوریزی سطح صفر و در گیاهان غیر میکوریزی سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر با هم اختلاف معنی داری نداشتند (شکل ۴-۱۳).



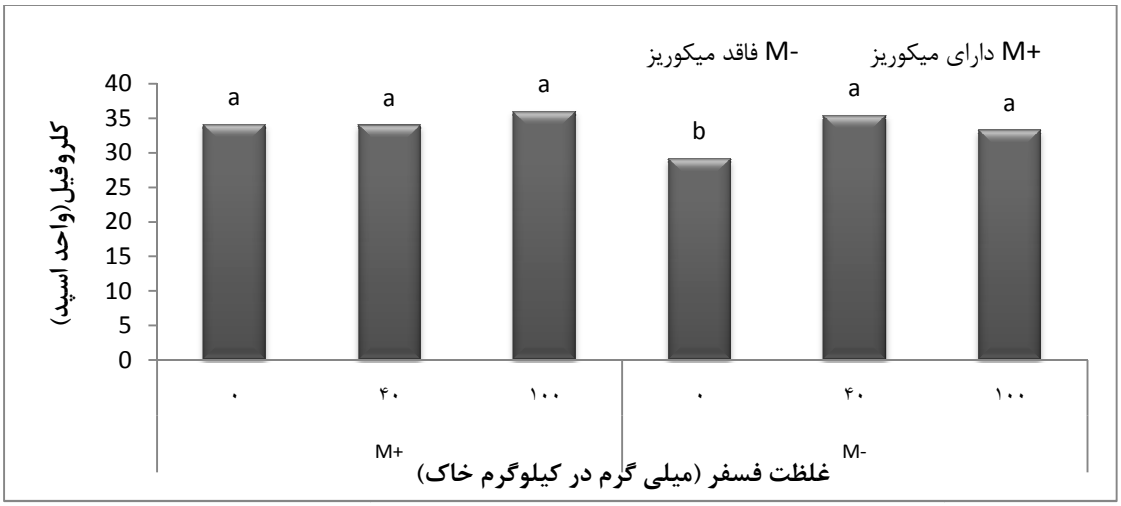
شکل (۴-۱۳) تاثیر متقابل فسفر و قارچ میکوریز بر تعداد برگ آفتابگردان (تک بوته)

۴-۲-صفات فیزیولوژیک

۴-۲-۱-کلروفیل

میزان کلروفیل برگ آفتابگردان به طور معنی داری از اثر اصلی فسفر و قارچ و اثر متقابل فسفر و میکوریز تاثیر پذیرفت (جدول پیوست ۳). اثر متقابل فسفر و میکوریزا بر میزان کلروفیل نشان داد که میزان کلروفیل در تیمارهای میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود. افزایش غلظت فسفر از صفر به ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی دار میزان کلروفیل نسبت به شاهد شد. عنصر فسفر می تواند با تاثیر بر افزایش رشد برگ و همچنین افزایش سطح تماس آن انرژی نورانی بیشتری را جذب کرده و در نتیجه فتوسنتز و رنگدانه سازی را افزایش دهد. کمترین میزان کلروفیل در گیاهان غیر میکوریزی شاهد (بدون دریافت فسفر) مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی داری داشت. اما افزایش فسفر خاک تفاوت بین گیاهان میکوریزی و غیر میکوریزی را کاهش داد (شکل ۴-۱۴). میزان کلروفیل اگرچه از لحاظ آماری بین دو تیمار میکوریزی و غیر میکوریز در دو سطح ۴۰ و ۱۰۰ میلی

گرم بر کیلوگرم بی معنی است ولی گیاهان میکوریزی از میزان کلروفیل بیشتری برخوردارند. بیشتر بودن کلروفیل در سطح شاهد گیاهان میکوریزی نسبت به غیر میکوریزی بازهم دلیل بر تاثیر و فعالیت قارچ میکوریز در غلظت های کم فسفر خاک است. طی آزمایشی مشخص گردید که تلقیح گیاه شبدر با قارچ های میکوریزا موجب افزایش سطح برگ ها و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل آنها شده و نهایتا سرعت فتوسنتز خالص را در کل دوره رشد گیاه افزایش می دهد (رایت و همکاران، ۱۹۹۸). تلقیح گیاه ذرت با قارچ های میکوریزی نیز نشان داد در شرایط غیر شور، غلظت کلروفیل در برگ گیاه در سطوح پایین فسفر ۳۲ درصد و در سطوح بالای آن ۴۰ درصد افزایش یافت (فنگ و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل (۴-۱۴) اثر متقابل فسفر و میکوریز بر میزان کلروفیل برگ آفتابگردان (تک بوته)

در این آزمایش اثر اصلی و متقابل تنش کادمیوم بر روی کلروفیل معنی دار نشد (جدول پیوست ۳) هر چند که طبق نتایج اکثر محققین اثر فلزات سنگین بر روی کلروفیل برگ منفی می باشد ولی احتمالا این اثرات به سطوح دیگر کادمیوم و اثر آن بر روی گیاه دیگر مشهودتر باشد. قربانلی (۱۳۸۵) اثر کادمیوم بر مقدار رنگریزه های فتوسنتزی در گیاه کلزا را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که در غلظت های ۴۰۰،۶۰۰ و ۸۰۰ میکرومولار کادمیوم ، باعث کاهش میزان کلروفیل b ، a و کل به همراه کاروتنوئیدها شده بود. زارعی و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که مقادیر بالای روی در برگ ها، تولید کلروفیل را احتمالا به دلیل تداخل با متابولیسم آهن کاهش می دهد که دلایل این کاهش طبق نظر روزن و همکاران (۱۹۹۷) می تواند ناشی از اشغال شدن مکان های خاص آنزیمی در مسیر سنتز کلروفیل توسط روی در رقابت با آهن باشد و یا اینکه ممکن است روی بر نسبت Fe^{3+}/Fe^{2+} گیاه اثر گذاشته و مانع از

تبدیل Fe^{3+} به Fe^{2+} در ریشه ها شود. همچنین بیان کرده اند که روی می تواند بر توزیع بین سلولی و سلولی و یا قابلیت دسترسی آهن در برگ ها اثر بگذارد.

۴-۲-۲-کلونیزاسیون میکوریزی

میزان کلونیزاسیون تحت تاثیر غلظت فسفر، کادمیوم و میکوریزا و همچنین اثر متقابل میکوریز× فسفر و فسفر×کادمیوم و اثر متقابل سه جانبه فسفر×کادمیوم × قارچ در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۴). طبق نتایج حاصله افزایش غلظت فسفر در گیاهان میکوریزی باعث کاهش درصد کلونیزاسیون شد و بین غلظت صفر و ۴۰ فسفر اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۴-۱۵). مهمترین و معتبرترین تاثیر رابطه همزیستی میکوریزا، افزایش جذب عناصر غذایی و بویژه فسفر در گیاه می باشد (خاوازی و همکاران ۱۳۸۴). دوال و همکاران (۱۹۹۵) بهبود جذب عناصر را در آفتابگردان مایه زنی شده با میکوریزا گزارش کردند. هنگامی که فسفر خاک در سطح پایینی باشد سیستم میکوریزا جذب فسفر در نتیجه رشد گیاه را به نحو چشمگیری افزایش می دهد. به علت قدرت نفوذ کم ریشه در مقایسه با قدرت نفوذ هیف های قارچ های میکوریزا به داخل شکاف و یا خلل و فرج خاک، این هیف ها به مناطقی نفوذ می کنندکه ریشه قادر به حضور در این مناطق نیست. عقیده بر این است که بالا بودن فسفر در خاک، رشد طولی هیف های خارجی قارچ میکوریز را کاهش می دهد(کوثری و همکاران، ۱۹۹۱). تحقیقی که توسط روزوارن و همکاران (۱۹۹۷) در مورد اثر سطوح مختلف فسفر در مراحل مختلف رشد بر درصد کلونیزاسیون ریشه ای گوجه فرنگی با قارچ های میکوریزی وزیکولار آرباسکولار صورت گرفته نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه در هر مرحله از رشد تحت تاثیر سطوح مختلف فسفر قرار دارد و اثر متقابل همزیستی میکوریزی و فسفر با گذشت زمان موجب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه می گردد اما تشکیل هیف های درونی، وزیکول و آرباسکول با رشد گیاه در خاک هایی که فسفر بالایی داشتند به طور معنی دار کاهش یافت.

در بررسی اثر متقابل قارچ میکوریز و غلظت های مختلف فسفر همانطور که مشاهده می شود گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی از درصد کلونیزاسیون بالاتری برخوردارند و این اختلاف در سطح صفر و ۴۰ فسفر خاک معنی دار نمی باشد. در گیاهان میکوریزی افزایش فسفر باعث کاهش کلونیزاسیون شد به طوری که در غلظت صفر و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر کلونیزاسیون بیشترین مقدار و در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار است اما در گیاهان غیر میکوریزی تفاوت معنی داری از لحاظ میزان کلونیزاسیون مشاهده نمی شود و همگی در یک سطح می باشند.

قارچ های میکوریزا می توانند با افزایش سطح تبادلات با ترکیب محلول خاک، باعث جذب بیشتر عناصر غذایی وآب شوند و در نتیجه شرایط رشدی بهتر ی برای گیاهان فراهم آورند (مستأجران و ضوئی، ۱۳۸۵). بر اساس بررسی های انجام شده مصرف کودهای فسفره، به خصوص در مقادیر بالا موجب کاهش فعالیت قارچ های میکوریز و درصد اشغال ریشه ها می گردد (نگاهاشی و همکاران، ۱۹۹۶; تامسون و همکاران، ۱۹۸۶).

شکل (۴-۱۵) اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و قارچ میکوریز بر میزان درصد کلونیزاسیون میکوریزی

اثر اصلی کادمیوم بر درصد کلونیزاسیون معنی دار بود ولی اثر منفی بر کلونیزاسیون قارچ میکوریز نداشت و با افزایش سطح کادمیوم کلونیزاسیون میکوریزی نیز افزایش یافت هر چند که گزارشات متفاوتی در مورد اثر فلزات سنگین بر قارچ میکوریز گزارش شده است. سطح ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم از کمترین درصد کلونیزاسیون برخوردار بود و دو سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم تفاوت معنی داری از لحاظ آماری با هم نداشتند (شکل ۴-۱۶).

گیلدون و تینکر (۱۹۸۱) یک نژاد از قارچ *Glomus mosseae* را از خاک جداسازی کردند که قادر به تحمل غلظت ۱۰۰میلی گرم در کیلوگرم عنصر روی بود. این نژاد همچنین متحمل به کادمیوم بوده و تا حدودی از گیاه میزبان در مقابل جذب فلزات محافظت کرد. جونر ولیوال (۱۹۹۷) نشان دادند که قارچ میکوریزا قادر به زندگی در مقادیربالای کادمیم (۱۰۰ میلی گرم برکیلوگرم خاک) می باشد .علاوه بر این بین میزان تراکم این قارچ و آلودگی خاک با عناصرسنگین ارتباطی منفی گزارش نگردیده است (ویسن هورن و همکاران،c ۱۹۹۵). بنابراین میزان

همزیستی و فعالیت این قارچ تحت تاثیر این آلودگی ها قرارنمی گیرد و یا اینکه تنش سطوح بالاتری از کادمیوم می تواند بر همزیستی میکوریزی اثر بگذارد.

شکل (۴-۱۶) اثر سطوح مختلف کادمیوم بر درصد کلونیزاسیون میکوریزی

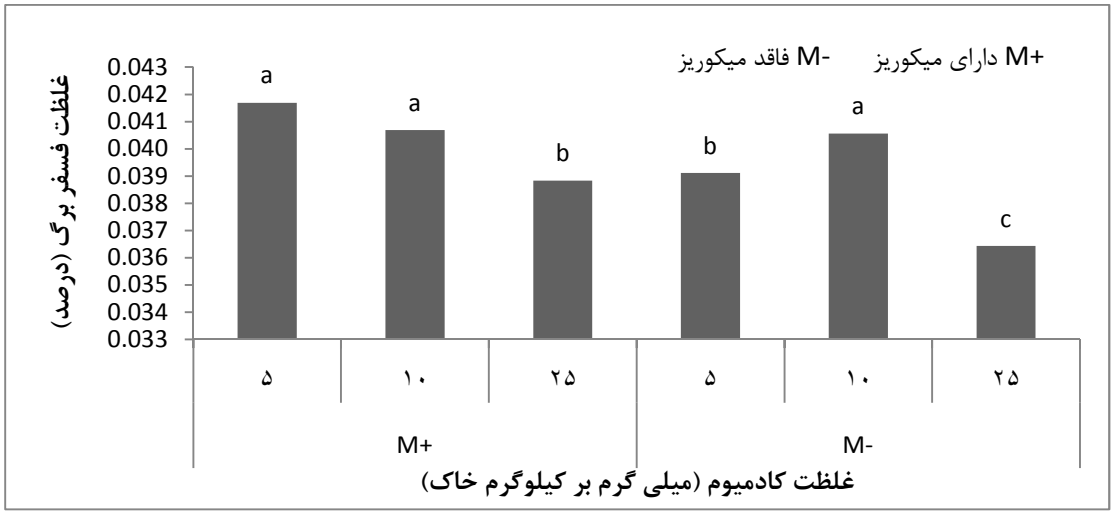
۴-۲-۳-فسفر برگ

فسفر برگ تحت تاثیر تمامی تیمار ها و اثر متقابل آنها قرار گرفت (پیوست ۵). طبق نتایج حاصله افزایش کادمیوم در گیاهان میکوریزی تا ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم تاثیر چشمگیر و معنی داری از لحاظ آماری نداشته است اما با افزایش این میزان از ۱۰ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم ، غلظت فسفر برگ به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۴-۱۷).

گادبولد و هاترمن (۱۹۸۵) گزارش کردند که سمیت کادمیم ممکن است سبب بروز کمبود فسفر در گیاه شود. شا و دوبی (۱۹۹۸) اظهار داشتند که غلظت ۵۰۰ میکرومولار کادمیم در محلول غذایی سبب کاهش معنی دار فعالیت آنزیم های فسفاتاز قلیایی و اسیدی شده و در نتیجه سبب کاهش ۶۸ تا ۷۷ درصدی جذب فسفات در شاخساره دو رقم برنج شد. نتایج آنان نشان داد که کادمیم از طریق ایجاد اختلال در متابولیسم فسفر در برنج، منجر به بازدارندگی فعالیت آنزیم های فسفاتی شده و در نتیجه مقدار فسفر در گیاه را تحت تأثیر قرار داده و با کاهش مقدار فسفر در گیاه سبب کاهش رشد برنج شده است. دیانی و رئیسی (۱۳۸۵) کاهش معنی دار فعالیت آنزیم های فسفاتاز و اوره آز را در حضور سطوح ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک گزارش نمودند. بر طبق گزارش آنان، کاهش فعالیت آنزیمی در خاک های آلوده به کادمیم سبب مختل شدن چرخه عناصر غذایی ، به ویژه فسفر و نیتروژن، می شود.

در بررسی اثر متقابل قارچ میکوریز و سطوح مختلف کادمیوم بر میزان فسفر برگ نیز شاهد کاهش میزان این صفت با افزایش میزان کادمیوم بودیم ولی طبق نتایج بدست آمده این کاهش در گیاهان غیر میکوریزی و در سطح ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم بیشتر از گیاهان میکوریزی بود. همچنین در گیاهان میکوریزی بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم اختلاف معنی داری مشاهده نگردید. در گیاهان غیر میکوریزی هر سه سطح اختلاف معنی داری باهم داشتند با این ویژگی که در غلظت ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم غلظت فسفر برگ به طور نامشخصی بیشترین میزان و با سطوح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم گیاهان میکوریزی هم معنی بود و غلظت ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم گیاهان غیر میکوریزی کمترین مقدار فسفر برگ را داشت.

در تحقیقی که زارعی و همکاران (۱۳۹۰) انجام دادند گزارش شد که غلظت و جذب فسفر در اندام هوایی گیاهان ذرت مایه زنی نشده ، با افزایش سطح روی به شدت کاهش یافته ، در صورتی که در تیمارهای میکوریزی غلظت فسفر کاهشی نداشته و مقدار کلی فسفر جذب شده در اندام هوایی با افزایش میزان روی تا سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم به طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین در این گزارش بیان شد که قارچ های میکوریزی از نظر تاثیر بر غلظت فسفر اندام هوایی با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشته اند ولی نسبت به تیمارهای غیر میکوریزی به طور معنی داری غلظت فسفر اندام هوایی گیاه را افزایش داده اند. در رابطه با نقش قارچ های میکوریز آرباسکولار در بهبود تغذیه فسفر گیاه در شرایط سمی فلزات سنگین گزارش های زیادی وجود دارد و این همزیستی به عنوان مکانیسمی در افزایش تحمل پذیری گیاه معرفی شده است (چن و همکاران، ۲۰۰۴). لذا بیان می شود که قارچ های میکوریز تاثیر منفی کادمیوم بر آنزیم های فسفاتاز را کم کرده و تحمل گیاه را بالا می برد.



شکل (۴-۱۷) اثر متقابل میکوریز و سطوح مختلف کادمیوم بر بروی میزان فسفر برگ

۴-۲-۴-کادمیوم ریشه

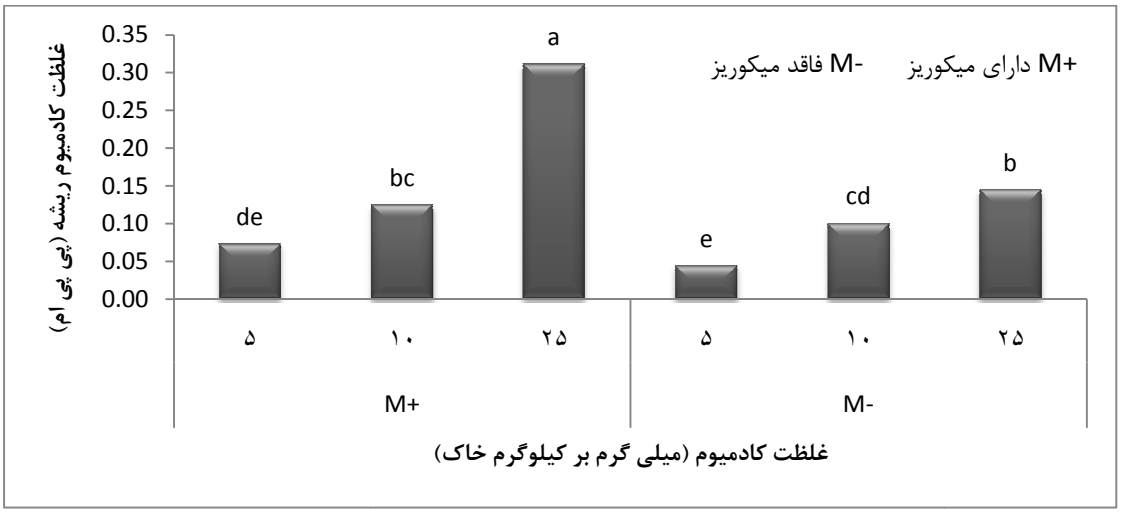
میزان کادمیوم ریشه تحت تاثیر اثرات اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریزا قرار گرفت، همچنین اثرات متقابل فسفر×کادمیوم ، فسفر×قارچ ، کادمیوم×قارچ و اثرات متقابل سه جانبه فسفر×کادمیوم×قارچ از لحاظ آماری معنی دار بود (جدول پیوست ۶). با افزایش فسفر خاک از سطح صفر به ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم، کادمیوم ریشه به طور معنی داری افزایش یافت ولی بین سطح ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر تفاوت معنی داری دیده نشد (شکل ۴-۱۸). همانطور که گفته شد فسفر و کادمیوم در محیط ریشه و رایزوسفر اثرات مثبتی بر هم می گذارند به همین دلیل افزایش غلظت کادمیوم ریشه را به دنبال افزایش غلظت فسفر خاک شاهدیم.

شکل(۴-۱۸) تاثیر سطوح مختلف فسفر بر غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان

طبق نتایج بدست آمده افزایش غلظت کادمیوم خاک، باعث افزایش این عنصر در ریشه آفتابگردان شد. غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان در سطح ۱ درصد تحت تاثیر اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و میکوریز قرار گرفت (جدول پیوست ۶). تحقیقات اوزرس و همکاران (۱۹۹۷) نشان می دهد که گوجه فرنگی های کشت شده در خاک هایی که به آنها لجن فاضلاب حاوی عناصر سنگین اضافه شده بود، جذب کادمیوم در گیاه با افزودن مقدار لجن فاضلاب افزایش می یابد. مورال و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که گوجه فرنگی های کشت شده در حضور سطوح مختلف کادمیوم (۰،۳،۳۰،۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) با افزایش سطوح کادمیوم در خاک مقدار آن در میوه گوجه فرنگی افزایش می یابد. همچنین در تحقیقات انجام گرفته توسط علیزاده اسکویی و همکاران (۱۳۸۸) مقایسه میانگین اثر اصلی عامل کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم ریشه گیاه نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم، غلظت آن در بخش ریشه گیاه به طور معنی دار افزایش می یابد.

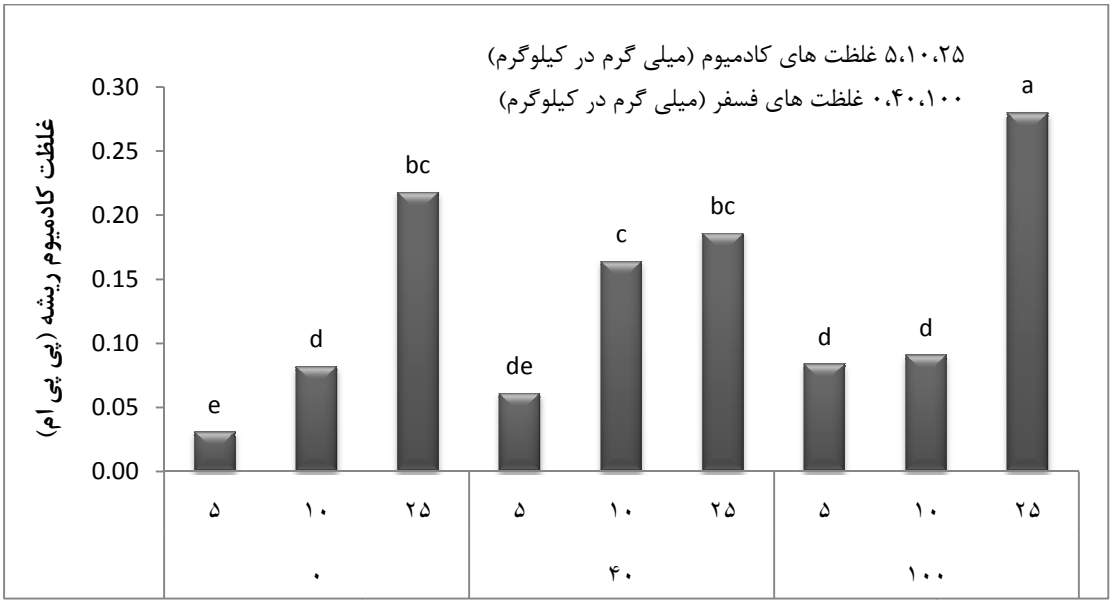
همچنین در این آزمایش مشاهده شدکه غلظت کادمیوم در ریشه گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بوده و میزان کادمیوم در هر دو گیاه میکوریزی و غیر میکوریزی با افزایش سه سطح کادمیوم افزایش یافت. افزایش میزان کادمیوم از سطح ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان میکوریزی ۷۶ درصد و در گیاهان غیر میکوریزی ۶۹ درصد بوده است یعنی بیشترین مقدار مربوط به غلظت ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان میکوریزی می باشد (شکل ۴-۱۹) .

نوریس و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که با کشت گیاه شاهدانه در خاک های آلوده به عناصر سنگین ، میزان عناصر سنگین در ریشه، برگ و ساقه ی گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود. جونر ولیوال (۱۹۹۷) نشان دادندکه میسیلیوم این قارچ قادر به جذب و انتقال کادمیم به داخل گیاه است. البته میزان جذب فلزات سنگین توسط میکوریزا بستگی به میزان آلودگی خاک دارد به طوریکه اگر این مقدار از حدی فراتر رود میزان جذب توسط قارچ کاهش پیدا می نماید (دیاز و همکاران، ۱۹۹۶). هر چند تحقیقات نشان داده میزان جذب این عناصر توسط گیاه درخاک آلوده به این قارچ درمقایسه با عدم وجود آن به مراتب بیشتر است. فابر و همکاران (۱۹۹۰) نتایج مشابهی را در مورد ذرت بیان کردند. میزان روی در بوته های ذرت آلوده به میکوریزا که روی دریافت نکرده بودند، بیشتر از بوته های غیر آلوده بود. گیلدون و تیکر (۱۹۸۱) نشان دادند که جذب مس در بوته های آلوده به میکوریزا در مقایسه با بوته های شاهد افزایش یافت. قارچ های میکوریزی با افزایش سطح جذب کننده توسط هیف ها، جذب عناصر غذایی را افزایش می دهند که احتمالا جذب کادمیوم را نیز در این گیاه افزایش داده اند.



شکل (۴-۱۹) اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان

تجزیه واریانس داده های حاصل از غلظت کادمیوم ریشه حاکی از معنی دار بودن اثر متقابل کادمیوم× فسفر ($p\leq ۰/۰۵$) بر این صفت بود. مشاهده می گردد در هر سه سطح فسفر (۰،۴۰،۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) بیشترین غلظت کادمیوم ریشه مربوط به بالاترین غلظت کادمیوم یعنی ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم و سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر خاک می باشد. افزایش غلظت کادمیوم ریشه همراه با افزایش کادمیوم از سطح ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در سطح صفر فسفر ۸۵ درصد، در سطح ۴۰ فسفر ۶۷ درصد و در سطح ۱۰۰ فسفر حدود ۷۰ درصد می باشد. در سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر تفاوت معنی داری بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم مشاهده نمی شود در حالی که در تیمار سطح صفر و سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر بین هر سه سطح کادمیوم تفاوت معنی دار می باشد (شکل ۴-۲۰). نتایج نشان می دهد با افزایش غلظت کادمیوم موجود در خاک جذب آن توسط ریشه ها افزایش می یابد و غلظت کادمیوم ریشه در سطوح بالای این عنصر بیشتر است ولی وجود فسفر به دلیل برهمکنش مثبت با کادمیوم در محیط خاک این اثر را در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و بالاترین سطح کادمیوم تشدید کرده است.



شکل (۴-۲۰) اثر متقابل فسفر و کادمیوم بر روی غلظت کادمیوم ریشه آفتابگردان

۴-۲-۵-کادمیوم برگ

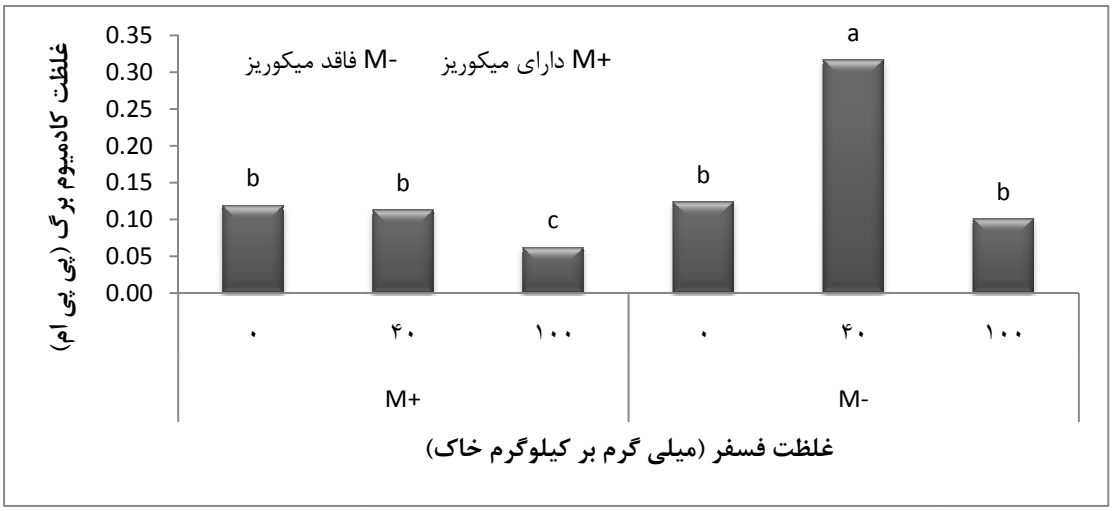
طبق جدول پیوست ۶ اثر اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز و اثر متقابل فسفر×کادمیوم و فسفر× قارچ و کادمیوم ×قارچ و همچنین اثر متقابل سه جانبه فسفر×کادمیوم × قارچ بر میزان کادمیوم برگ معنی دار شد.

اثر اصلی کادمیوم نیز بر روی غلظت کادمیوم برگ تاثیری مشابه با غلظت کادمیوم ریشه گذاشت. به این صورت که با افزایش مقدار کادمیوم خاک از ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم، غلظت کادمیوم برگ حدود ۵۳ درصد افزایش پیدا کرد که این افزایش در سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم مشهود بوده ولی از لحاظ آماری معنی دار نشد (شکل ۴-۲۱). نتایج حاصل از تحقیقات سینگ و ناروال (۱۹۸۴) نیز 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. به دلیل اینکه گیاه آفتابگردان خود به عنوان یک گیاه جاذب فلز سنگین است لذا قادر به جذب مقادیر مختلف کادمیوم توسط ریشه و طبیعتا انتقال آن به سایر بخش ها می باشد.

شکل (۴-۲۱) اثر سطوح مختلف کادمیوم بر غلظت کادمیوم برگ آفتابگردان

در بررسی اثر متقابل قارچ میکوریز و سطوح مختلف فسفر بر میزان کادمیوم برگ شاهد روند متناقضی بودیم. در این نتایج مشخص شد که در گیاهان میکوریزی افزایش میزان فسفر با کاهش غلظت کادمیوم در برگ همراه بود و بین سطح صفر و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر تفاوت معنی داری مشاهده نشد در صورتی که در گیاهان غیر میکوریزی تفاوت بین سطح صفر و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر وجود داشت و سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از بیشترین میزان کادمیوم برخوردار بود (شکل۴-۲۲).

تحقیقات انجام گرفته توسط داویس (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. دهری و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که کاربرد فسفر در خاک سبب کاهش غلظت کادمیم در برگ گیاه اسفناج شده است. در خاک های آلوده به روی، قارچ های میکوریز آرباسکولار با افزایش جذب فسفر، سبب متعادل شدن عناصر غذایی در گیاه شده و زیست توده گیاه و همچنین تحمل پذیری آن را نسبت به سطوح بالای روی افزایش می دهند(اثر رقت) (زارعی و همکاران، ۱۳۹۰). ولی در نتیجه تحقیق حاضر گیاهان میکوریزی با افزایش میزان فسفر خاک غلظت کادمیوم برگ را کاهش دادند و این شاید به این علت است که در گیاهان میکوریزی عنصر فسفر به دلیل تاثیر مثبت بر رشد و وزن خشک برگ، زیست توده گیاهی را افزایش داده و در نتیجه اثر رقت میزان کادمیوم برگ کاهش می یابد. در گیاهان غیر میکوریزی نیز تفاوتی بین شاهد و سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از لحاظ جذب کادمیوم در برگ دیده نمی شود ولی غلظت ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از سطح بالایی برخوردار است و شاید بتوان گفت که این غلظت از فسفر می تواند برهمکنش مثبتی با کادمیوم برقرار کند.

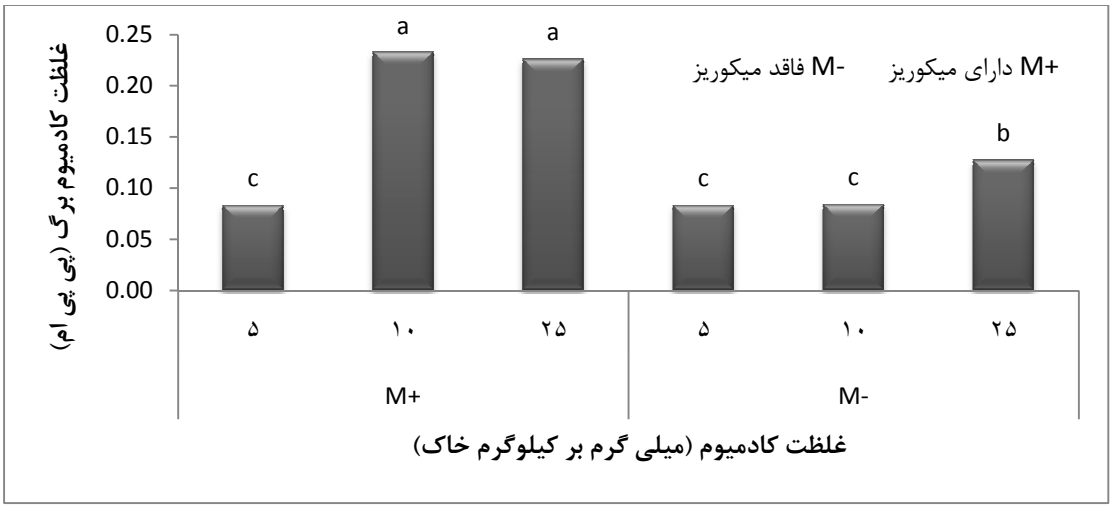


شکل (۴-۲۲) اثر متقابل فسفر و میکوریز بر روی غلظت کادمیوم برگ آفتابگردان

غلظت کادمیوم موجود در برگ تحت تاثیر اثر متقابل کادمیوم و میکوریز قرار گرفت. طبق نتایج افزایش کادمیوم خاک ، افزایش کادمیوم برگ را به طور معنی داری به دنبال داشت اما این تغییرات در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود. افزایش میزان کادمیوم برگ از سطح ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان میکوریزی ۶۳ درصد بود و بین دو سطح ۱۰ و ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم اختلاف معنی داری مشاهده

نشد همچنین این افزایش در گیاهان غیر میکوریزی ۳۴ درصد بوده و اختلاف معنی دار در دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم مشاهده نگردید (شکل ۴-۲۳). طبق این نتایج غلظت کادمیوم برگ در گیاهان میکوریزی دو برابر گیاهان غیر میکوریزی بوده است و این نشان می دهد که گیاهان میکوریزی قادرند فلز سنگین را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی جذب کرده و به اندام هوایی انتقال دهند.

بسریل و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه لوبیا در حضور قارچ های میکوریز افزایش یافته ولی غلظت کادمیوم در بذر لوبیا در حضور قارچ های میکوریز نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی داری کاهش می یابد. همچنین مشخص شده که کلونیزه شدن گیاه به وسیله برخی قارچ های میکوریز آرباسکولار می تواند جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه (استخراج گیاهی) را افزایش دهد (ویسن هورن و همکاران، ۱۹۹۵b). به طور مشابهی جونر و لیوال (۲۰۰۱) با مقایسه تیمار های غیر میکوریزی شبدر و ذرت در یک خاک آلوده به روی، به این نتیجه رسیدند که روی در گیاهان میکوریزی تجمع بیشتری داشته است. جمال و همکاران(۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که در خاک های آلوده به روی، مقدار روی در گیاهان سویا و عدس مایه زنی شده با قارچ میکوریز آرباسکولار در مقایسه با تیمارهای شاهد بالاتر بوده است. قارچ های میکوریز بدلیل داشتن سطح تماس بیشتر به عناصر موجود در خاک از طریق هیف های بیرونی می توانند کادمیوم بیشتری را جذب کنند.



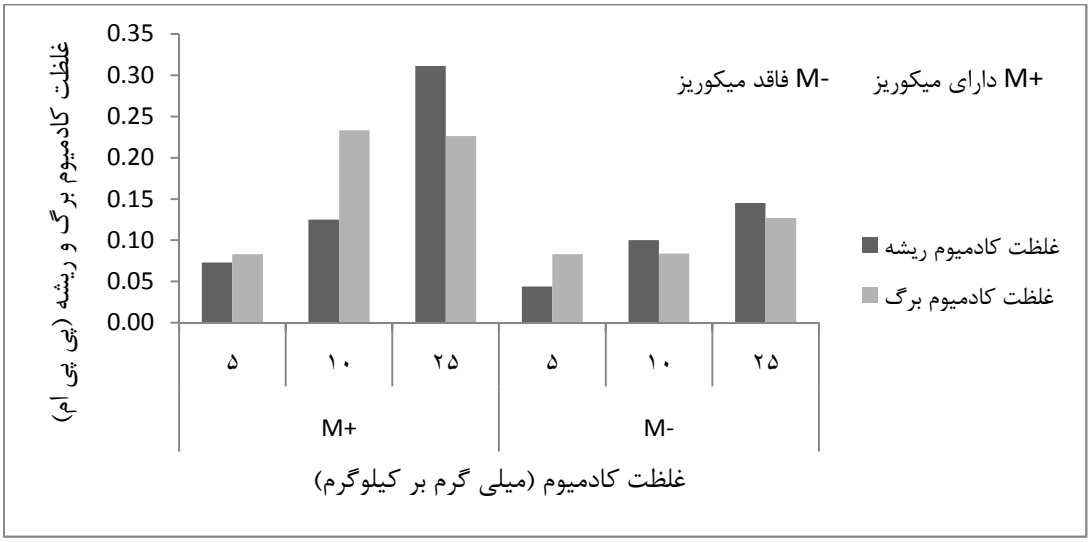
شکل (۴-۲۳) اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر روی غلظت کادمیوم برگ آفتابگردان

در مقایسه روند افزایش میزان کادمیوم در دو اندام ریشه و برگ مشاهده شد که افزایش غلظت کادمیوم برگ در گیاهان میکوریزی با افزایش سطوح کادمیوم خاک از ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم حدود ۵۳ درصد بوده است در حالی که همین اثر در ریشه آفتابگردان حدود ۷۴ درصد بود. بنابراین کاملا مشهود است که بیشتر کادمیوم در ناحیه

ریشه تجمع می یابد. با توجه به شکل (۴-۲۴) می توان گفت که به طور کل ریشه و برگ گیاهان میکوریزی فلز سنگین کادمیوم را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی جذب می کنند ولی بیشترین جذب کادمیوم توسط گیاه آفتابگردان در تیمارهای میکوریزی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم و در اندام ریشه اتفاق افتاد و این در حالی بود که در غلظت ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم خاک برگ تاثیر بیشتری نسبت به ریشه در جذب و انباشت کادمیوم داشت. لذا اینطور به نظر می رسد که گیاهان میکوریزی سعی دارند مقادیر بالای کادمیوم را در ریشه جمع کنند و اجازه انتقال آن را به سایر اندام ها ندهند و نقش قارچ میکوریز در انباشت فلز سنگین در اندام ریشه و کاهش آلودگی در مقادیر بالای فلز سنگین مشهودتر است.

آندرید و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که در خاک های آلوده به عناصر سنگین، قارچ های میکوریزی جذب این عنصر را در گیاه سویا افزایش داده و این عناصر در ریشه ها تجمع یافته و کمتر به بخش هوایی یا بذر ها انتقال می یابد. بلی لوک و هیانگ (۱۹۹۹) بیان کردند که خیلی از گیاهان سرب را پس از جذب از خاک در ریشه های خود جمع کرده و آن را به اندام هوایی کمتر انتقال می دهند. گزارش شده است که قارچ های میکوریز آرباسکولار در آلی کردن فلزات در ریزوسفر گیاه موثر هستند و با تجمع فلزات به شکل غیر سمی در ریشه های گیاه و میسلیوم های برون ریشه ای به تثبیت گیاهی کمک می کنند (گوهر و پاسکوویسکی ،۲۰۰۶).

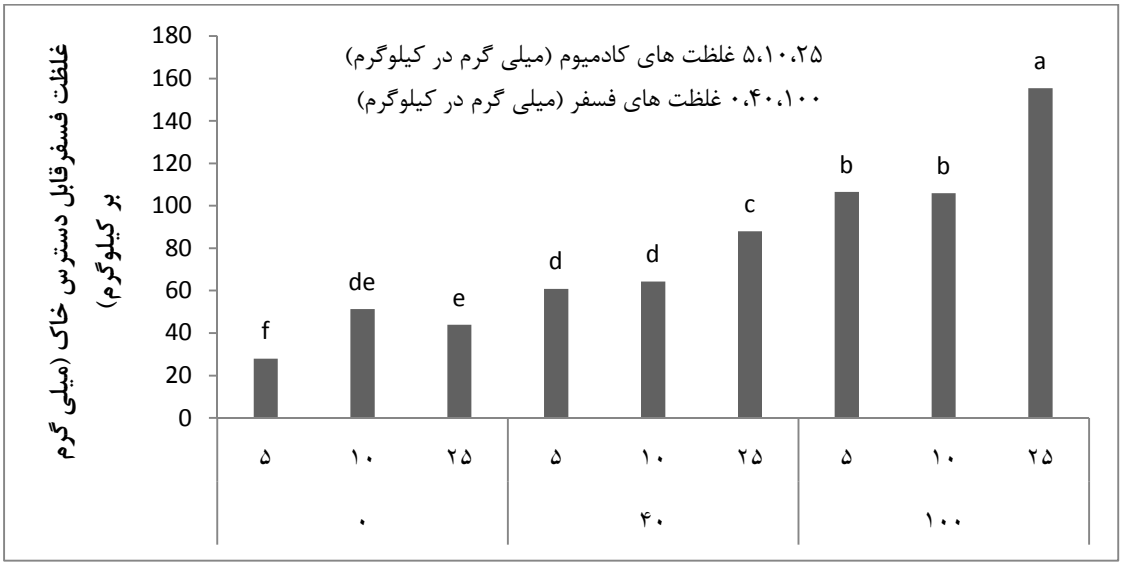
در پژوهشی آشکار شد که غلظت کادمیوم در نسبت ریشه به اندام هوایی در گیاهان میکوریزی تقریبا ۳ برابر این نسبت در گیاهان غیر میکوریزی بود (جونر و لیوال، ۱۹۹۷).



شکل (۴-۲۴) مقایسه اثر متقابل کادمیوم و قارچ میکوریز بر غلظت کادمیوم برگ و ریشه

۴-۳- فسفر قابل دسترس خاک

اثرات اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریزا و همچنین اثرات متقابل فسفر و کادمیوم و اثر سه گانه فسفر، کادمیوم و قارچ بر میزان فسفر خاک معنی دار بود (جدول پیوست ۵). اثر اصلی فسفر و کادمیوم بر میزان فسفر قابل دسترس خاک باعث افزایش این صفت شد. در بررسی اثر متقابل فسفر و کادمیوم نیز این روند مشاهده گردید. حداقل میزان فسفر قابل دسترس خاک در تیمار فاقد فسفر و در سطح ۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم، و حداکثر میزان آن مربوط به سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم می باشد. روند افزایش فسفر قابل دسترس خاک با افزایش سطوح کادمیوم در هر سه سطح فسفر خاک قابل ملاحظه می باشد با این تفاوت که در سطوح ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر اختلاف معنی داری بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم مشاهده نشد (شکل ۴-۲۵). نکته مورد توجه افزایش غلظت فسفر قابل دسترس خاک به دنبال افزایش سطوح کادمیوم خاک می باشد و این نتیجه شاید به دلیل وجود بر همکنش مثبت بین فسفر و کادمیوم در محیط خاک باشد که با نتایج ملکوتی و ثوابقی (۱۳۷۹) مطابقت دارد که بیان کردند کادمیوم با فسفر بر همکنش مثبت و با روی و پتاسیم برهمکنش منفی دارد. برهمکنش فسفر و کادمیم در نتیجه تأثیری است که فسفر بر جذب کادمیم به وسیله گیاه دارد و این تأثیر به هر دو صورت افزایش و کاهش جذب گزارش شده است. این واکنش در منطقه ریشه گیاهان رخ داده و در گیاهان مختلف متفاوت است.



شکل (۴-۲۵) اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و کادمیوم بر میزان فسفر قابل دسترس خاک

۴-۴-درصد کارایی انتقال کادمیوم

بر طبق جدول پیوست ۷، اثرات اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ و اثرات متقابل فسفر×کادمیوم و فسفر×قارچ و همچنین اثر متقابل سه جانبه فسفر× کادمیوم × قارچ بر کارایی انتقال کادمیوم معنی دار شد. تجزیه واریانس اثر اصلی کادمیوم بیانگر تاثیر معنی دار آن بر روی صفت کارایی انتقال کادمیوم بود. بدین صورت که با افزایش غلظت کادمیوم از ۵ به ۱۰ و سپس از ۱۰ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کارایی انتقال به ترتیب ۳۲ و ۱۶ درصد کاهش یافت که بین دو سطح ۱۰ و ۲۵ از لحاظ آماری اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۴-۲۶). همانطور که پیشتر گفته شد در غلظت های بالای کادمیوم خاک، غلظت این عنصر در اندام ریشه بیشتر از اندام برگ می باشد و لذا کادمیوم را کمتر به اندام هوایی منتقل و بیشتر در ریشه تجمع می دهد که این موضوع در گیاهان میکوریزی بیشتر دیده می شود.

شکل (۴-۲۶) اثر سطوح مختلف کادمیوم بر روی کارایی انتقال کادمیوم

اثر متقابل میکوریز و سطوح مختلف فسفر بر کارایی انتقال کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. طبق شکل ۴-۲۷ کاهش کارایی انتقال کادمیوم همراه با افزایش میزان فسفر خاک در گیاهان غیر میکوریزی بیشتر از گیاهان میکوریزی است. در گیاهان میکوریزی اختلاف معنی داری بین سطوح صفر و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر مشاهده نگردید در حالی که در گیاهان غیر میکوریزی اختلاف بین سطوح صفر و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم معنی دار است. لذا می توان از فسفر به عنوان مانعی جهت جلوگیری از انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی نام برد. هر چه قدر فسفر موجود در خاک زیاد باشد کارایی انتقال و توانایی گیاه برای انتقال کادمیوم از ریشه به ساقه کاهش می یابد. شاید این موضوع به دلیل تمایل بیشتر گیاه برای جذب فسفر نسبت به کادمیوم است و ممکن است که فسفر فضای

موجود در سلول های ناقل را اشغال کرده و اجازه انتقال به کادمیوم ندهند. همچنین اثر اصلی میکوریز بر کارایی انتقال معنی دار بوده و گیاهان میکوریزی کارایی انتقال کادمیوم بیشتری نسبت به گیاهان غیر میکوریزی دارند.

شکل (۴-۲۷) اثر متقابل فسفر و میکوریز بر روی کارایی انتقال کادمیوم

بر طبق نتایج مطالعات محققین، گیاهانی که دارای فاکتور انتقال بیش از یک باشند، می توان جهت استخراج گیاهی (Phytoextraction) عناصر از خاک استفاده نمود. همچنین گیاهانی که دارای فاکتور انتقال کمتر از یک باشند، جهت تثبیت گیاهی (Phytostabilization) عناصر مورد استفاده قرار می گیرند. این گیاهان مانع از انتقال فلز به اندام های هوایی شده و فلز را در ریشه خود متمرکز و تثبیت می کنند.. مقادیر کمتر از ۱ برای فاکتور انتقال نشان از تمایل بیشتر گیاه به تجمع عنصر در اندام های زمینی نسبت به اندام هوایی و در واقع تحرک کم عنصر در اندام های گیاهی دارد.

در این آزمایش در تمامی اثرات اصلی و متقابل کارایی انتقال بیشتر از یک بود. در گیاهان غیر میکوریزی نیز این مقدار بیشتر از یک دیده شد ولی مقدار آن از لحاظ عددی کمتر از گیاهان میکوریزی بود. لذا اینطور می توان برآورد کرد که گیاه آفتابگردان خود به تنهایی می تواند جهت استخراج گیاهی مورد استفاده قرار گیرد و فلزات سنگین را به اندام هوایی منتقل کرده و پاکسازی خاک آلوده را انجام دهد ولی وجود همزیستی میکوریزی در اطراف ریشه این خصوصیت را در آفتابگردان تقویت کرده تا هم جذب و هم انباشت بیشتری در برگ و ریشه داشته باشد.

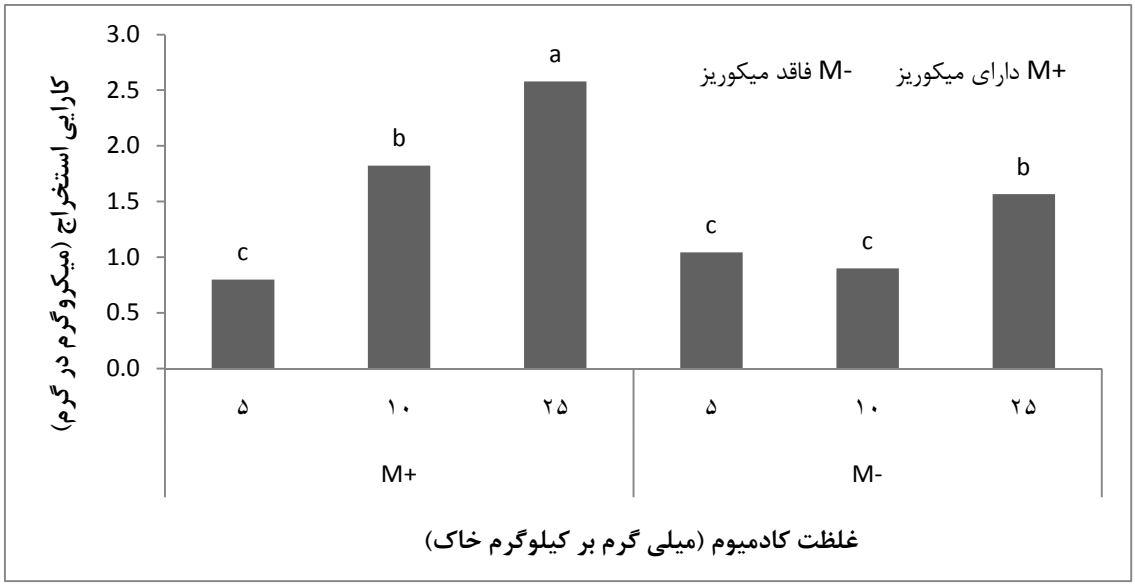
۴-۵- کارایی استخراج گیاهی

کارایی استخراج گیاهی تحت تاثیر اثر اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ و اثر متقابل فسفر×کادمیوم و فسفر×قارچ و کادمیوم×قارچ ($p\leq۰/۰۱$) و اثر متقابل سه جانبه فسفر×کادمیوم ×قارچ ($p\leq۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول پیوست ۷).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر روی کارایی استخراج گیاه آفتابگردان نشان داد که کارایی استخراج در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است به طوری که با افزایش مقدار کادمیوم خاک ، کارایی استخراج نیز افزایش می یابد. روند افزایش کارایی استخراج همراه با افزایش سطوح کادمیوم نسبت به شاهد در گیاهان میکوریزی ۶۸ درصد و در گیاهان غیر میکوریزی ۳۳ درصد بوده است یعنی بیش از ۲ برابر. کارایی استخراج و جذب و انباشت کادمیوم در اندام هوایی آفتابگردان در گیاهان میکوریزی و در بالاترین سطح کادمیوم حداکثرین مقدار است. علاوه بر این اختلاف معنی داری بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان غیر میکوریزی مشاهده نشد در صورتی که هر سه سطح کادمیوم گیاهان میکوریزی دارای اختلاف معنی دار بودند (شکل ۴-۲۸).

به طور کل هرچقدر میزان غلظت کادمیوم در خاک زیاد باشد توانایی گیاه برای جذب و تجمع فلز سنگین کادمیوم در اندام هوایی بالاتر می رود و همانطور که مشاهده می شود بیشترین کارایی استخراج مربوط به بالاترین سطح از کادمیوم می باشد. دلیلش می تواند کاهش وزن ریشه در اثر افزایش غلظت کادمیوم خاک باشد، هرچه مخرج کسر کوچکتر شود عدد بالاتر می رود.

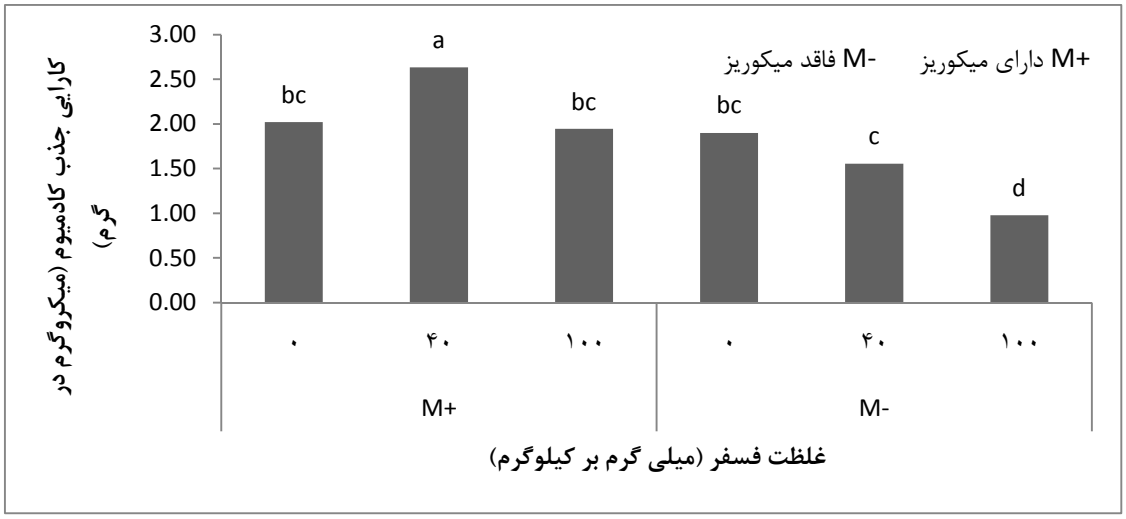
نتایج حاصل از تحقیق زارعی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که کارایی استخراج و جذب گیاهی روی در گیاه ذرت، با افزایش سطح روی به طور معنی داری افزایش می یابد و اینکه کارآیی قارچ های میکوریز آربوسکولار در گیاه پالایی خاکهایی با آلودگی کم و متوسط، بیشتر به صورت استخراج گیاهی بوده است ولی در خاک های با آلودگی زیاد روی، گلوموس اینترارادیسزدر تجمع روی در ریشه ها یا" تثبیت گیاهی "و گلوموس موسه ای در استخراج و انتقال این عنصر به اندام هوایی گیاه نقش موثرتری داشته اند .همچنین بیان کرد که با توجه به نوع کاربری زمین اگر هدف از کاشت گیاه، اصلاح خاک و زدودن آلودگی باشد، مایه زنی با گلوموس موسه ای مناسب تر به نظر میرسد، در حالیکه اگر برداشت محصول و ارزش تغذیه ای آن مورد نظر باشد، ترجیحاً استفاده از گلوموس اینترارادیسز پیشنهاد میشود.



شکل (۴-۲۸) اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر کارایی استخراج

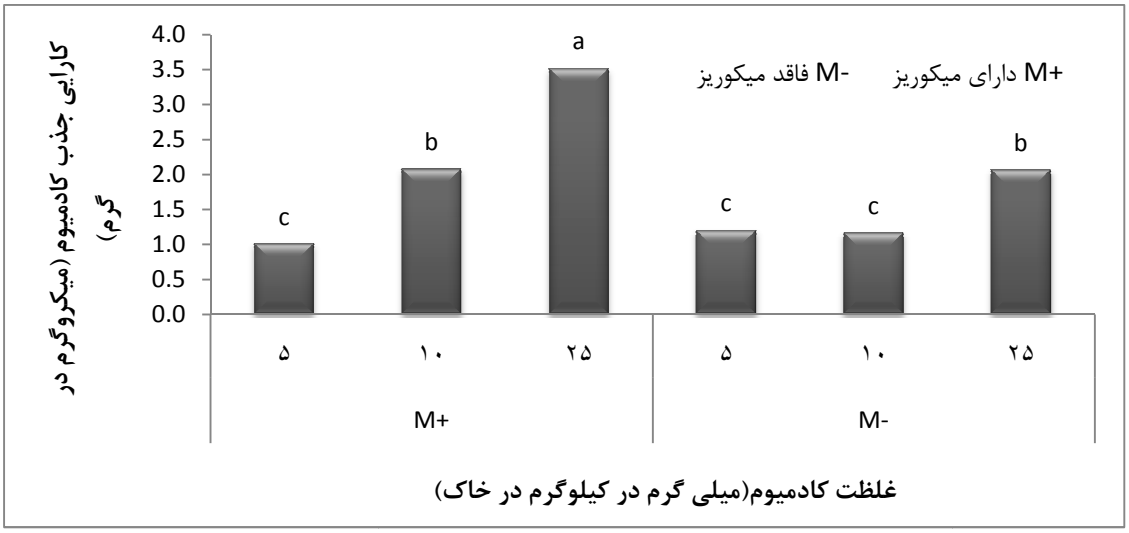
۴-۶-کارایی جذب کادمیوم

طبق جدول پیوست ۷ کارایی جذب تحت تاثیر اثرات اصلی فسفر، کادمیوم و قارچ و اثرات متقابل فسفر×کادمیوم و فسفر×قارچ و کادمیوم× قارچ و همچنین اثرات متقابل سه جانبه فسفر×کادمیوم× قارچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. در بررسی اثر متقابل فسفر و قارچ میکوریز بر کارایی جذب کادمیوم توسط گیاه در گیاهان غیر میکوریزی کاهش میزان کارایی جذب کادمیوم همراه با افزایش فسفر معنی دار می باشد و این در حالی است که با وجود اینکه کارایی جذب کادمیوم در گیاهان میکوریزی بالاتر از گیاهان غیر میکوریزی می باشد اما تفاوت معنی دار بین دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر مشاهده نمی شود و سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از بیشترین میزان کارایی جذب در گیاهان میکوریزی برخوردار است (شکل ۴-۲۹). این در نتیجه افزایش کلونیزاسیون و به همراه آن فعالیت قارچ میکوریز در جذب کادمیوم از خاک تحت تاثیر این سطح از فسفر می باشد. لذا دیده می شود که گیاهان میکوریزی در جذب کادمیوم تاثیر بیشتری نسبت به گیاهان غیر میکوریزی دارند.



شکل (۴-۲۹) اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و قارچ میکوریز بر روی کارایی جذب کادمیوم

اثر متقابل میکوریز و سطوح مختلف کادمیوم بر کارایی جذب و توانایی گیاه برای جذب فلز سنگین مشابه اثر متقابل میکوریز و کادمیوم بر روی صفت استخراج گیاهی بود. بدین ترتیب که کارایی جذب با افزایش غلظت کادمیوم خاک افزایش یافت و این مقدار در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود. روند افزایش کارایی جذب کادمیوم همراه با افزایش میزان کادمیوم خاک از ۵ به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در گیاهان میکوریزی ۷۱ درصد و در گیاهان غیر میکوریزی ۴۱ درصد بود. همچنین بین دو سطح ۵ و ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم خاک در گیاهان غیر میکوریزی تفاوت معنی داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار کارایی جذب مربوط به بالاترین مقدار کادمیوم (۲۵ میلی گرم در کیلوگرم در خاک) در گیاهان میکوریزی می باشد (شکل ۴-۳۰). کارآیی جذب، استخراج گیاهی و انتقال روی در گیاه ذرت مایه زنی شده با سه گونه قارچ ریشه آربوسکولار، تا سطح ۱۰۰ میلی گرم روی در کیلوگرم در مقایسه با تیمارهای شاهد بالاتر بوده ولی در سطح روی ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ترتیب کارآیی به صورت گلوموس موسه ای> شاهد> گلوموس ورسیفورم> گلوموس اینترارادیسز تغییر یافت (زارعی و همکاران، ۱۳۹۰). قارچ های میکوریز از طریق هیف های خارج سلولی به طور مستقیم با خاک اطراف ریشه گیاه میزبان در ارتباط هستند. این هیف ها در داخل خاک گسترش یافته و سیستم ریشه ای را به منظور جذب عناصر و آب افزایش می دهند.



شکل (۴-۳۰) اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر روی کارایی جذب کادمیوم

در بررسی مقایسه بین کارایی جذب و کارایی استخراج متاثر از اثر متقابل کادمیوم و قارچ میکوریز مشاهده شد که هر دو کارایی در گیاهان میکوریزی و غیر میکوریزی روند مشابهی را دنبال می کنند و این دو کارایی همواره در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی می باشند. طبق شکل (۴-۳۱) در هر دو تیمار میکوریزی و غیر میکوریزی کارایی جذب از مقدار بیشتری نسبت به کارایی استخراج برخوردار است و این تفاوت در سطح ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان میکوریزی به حداکثر مقدار خود می رسد. گیاهان میکوریزی در بالاترین غلظت کادمیوم (۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) کارایی جذب بیشتری دارند و این باعث می شود که تمایل گیاه در این غلظت برای جذب و انباشت کادمیوم در ریشه باشد و این در حالی است که در غلظت های ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم بیشتر انتقال به اندام هوایی و در نتیجه استخراج گیاهی صورت می گیرد. معنی دار نشدن کارایی انتقال تحت تاثیر اثر متقابل کادمیوم و قارچ میکوریز نیز گواه بر این موضوع است. جراح و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که در بالاترین سطح نیکل با تلقیح قارچ در گیاه آفتابگردان کارایی جذب و استخراج گیاهی افزایش اما کارایی انتقال گیاهی کاهش یافت.

شکل (۴-۳۱) مقایسه اثر متقابل کادمیوم و میکوریز بر کارایی جذب و استخراج کادمیوم

۴-۷- درصد کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار

درصد کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار تحت تاثیر اثر اصلی سطوح مختلف کادمیوم و فسفر و اثر متقابل آنها قرار گرفت و سایر منابع تغییر بر روی آن بی تاثیر بودند (جدول پیوست ۷). درصد کارایی قارچ با افزایش میزان کادمیوم افزایش یافت به طوری که در هر سه سطح کادمیوم اختلاف معنی دار مشاهده گردید. افزایش درصد کارایی قارچ از غلظت ۵ به ۱۰ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم ۶۳ درصد و افزایش آن از غلظت ۱۰ به ۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم کادمیوم ۴۴ درصد بوده است. بالاترین درصد کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار مربوط به بیشترین غلظت کادمیوم در خاک می باشد (شکل ۴-۳۲). در این آزمایش شاهد اثر منفی کادمیوم بر قارچ میکوریز نبودیم و قارچ توانسته است که جذب کادمیوم تا غلظت ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم از طریق اندام ریسه ای خود افزایش دهد در نتیجه کارایی مثبتی داشته است.

شکل (۴-۳۲) اثر سطوح مختلف کادمیوم بر روی درصد کارایی قارچ میکوریز

اثری که سطوح مختلف فسفر بر درصد کارایی قارچ میکوریز آرباسکولار داشتند مشابه اثر سطوح مختلف کادمیوم بر این صفت بود. افزایش میزان فسفر خاک ، افزایش کارایی قارچ میکوریز را به طور معنی داری به دنبال داشت بدین صورت که افزایش کارایی قارچ بین دو سطح ۰ و۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر ۷۳ درصد و بین دو سطح ۴۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ۶۴ درصد بود (شکل ۴-۳۳). در نتایج قبل شاهد کاهش کلونیزاسیون قارچ میکوریز با افزایش سطوح فسفر خاک بودیم و فقط سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر در کلونیزاسیون نقش مثبت تری ایفا کرد. در این قسمت کارایی قارچ، یعنی توان قارچ در جذب فلز سنگین کادمیوم با افزایش فسفر خاک به طور معنی داری افزایش یافته و این احتمالا به دلیل تاثیر عنصر فسفر در فراهمی کادمیوم و جذب آن به وسیله قارچ است زیرا که مشاهده شد افزایش فسفر در محیط ریشه ، افزایش کادمیوم را به دنبال داشت.

شکل (۴-۳۳) اثر سطوح مختلف فسفر بر روی درصد کارایی قارچ میکوریز

۴-۸-نتیجه گیری

در این بررسی سطوح مختلف فسفر و کادمیوم بر خصوصیات رویشی آفتابگردان تاثیر قابل توجهی داشتند. افزایش فسفر باعث افزایش وزن خشک ساقه، برگ و ریشه و همچنین افزایش طول ساقه و طول ریشه شد و از طرفی دیگر کادمیوم وزن خشک ساقه، برگ، ریشه، گل و همچنین طول ساقه و تعداد برگ آفتابگردان را کاهش داد. افزایش غلظت فلز سنگین کادمیوم، باعث افزایش غلظت آن در اندام های گیاه آفتابگردان شد. در اثر متقابل کادمیوم وقارچ میکوریز، مقدار فسفر برگ، کادمیوم ریشه، کادمیوم برگ، وزن خشک برگ و ریشه در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود.

قارچ های میکوریز تحمل گیاه را نسبت به تنش فلز سنگین افزایش دادند لذا در خاک های آلوده جهت افزایش تحمل گیاه می توان از این گونه قارچ ها استفاده کرد. همچنین مشخص شد که افزایش فسفر قابل دسترس کلونیزاسیون میکوریزی را کاهش می دهد و بهترین غلظت فسفر برای کلونیزاسیون ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم برای این آزمایش می باشد.

در نهایت مشخص شد که قارچ های میکوریز توان جذب و انباشت فلزات سنگین در گیاهان فراانباشتی مثل آفتابگردان را افزایش می دهند و از این جهت در بالا بردن کارایی گیاه پالایی نقش دارند.

۴-۹-پیشنهادات

۱- تاثیر گونه های دیگر قارچ میکوریز بر پاکسازی خاک از فلز سنگین کادمیوم مورد بررسی قرار گیرد.

۲- از آنجایی که در این تحقیق ۳ غلظت از کادمیوم و فسفر مورد مطالعه قرار گرفت، پیشنهاد میشود غلظت های بیشتر از ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمتر از ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر مورد بررسی قرار گیرند.

۳- تاثیر پاک سازی قارچ میکوریز بر سایر فلزات سنگین مورد مطالعه قرار گیرد.

۴- از سایر گیاهان جهت مطالعات بیشتر استفاده شود.

منابع

۱- اکبری، م. ۱۳۹۰. تاثیر محلول پاشی اسید سالسیلیک بر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی سویا تحت شرایط تنش کادمیوم. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲- آلیاری، ه. و شکاری، ف. ۱۳۷۹. دانه های روغنی زاعت و فیزولوژی. انتشارات عمیدی تیریز. ۱۸۲ صفحه.

۳-برادران فیروز آبادی، س.، رجبیان، ط. و برادران فیروز آبادی، م. ۱۳۸۸. بررسی اثر نیکل بر رشد ریشه و کلروفیل برگ در گیاه سویا. یازدهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه شهید بهشتی. ۲-۴ مردادماه ۱۳۸۹.

۴- بسالت پور، ا. ۱۳۸۶. زیست پالایی خاکهای آلوده به هیدروکربن های نفتی به روش (Phytostimulation) پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵- توسلی، ع.، بشارتی، ح.، رجالی، ف. و خاوازی، ک. ۱۳۷۹. بررسی اثرات مصرف کودهای فسفاته ، گوگرد و مایه تلقیح باکتری های تیوباسیلوس بر در صد کلنی زائی قارچهای میکوریزدر ذرت. مجلهٔ ۱۰. خاک و آب، جلد ۱۲ ، شماره ۱۱ ، ص۱۹-۱۰.

۶- جراح، م.، قاسمی، ر. و مایل، س.۱۳۹۰. کارآیی قارچ میکوریز آربوسکولار و EDTA اتیلن دی آمین تترا استیک اسید بر پالایش خاک آهکی آلوده به نیکل توسط آفتاب گردان، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۷- جعفری، ر. ۱۳۸۲. تاثیر برهم کنش کادمیوم و اسید سالسیلیک بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه لوبیا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم.

۸- خاوازی، ک و ملکوتی، م.ج.۱۳۸۰. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک درکشور (مجموعه مقالات). نشرآموزش کشاورزی.

۹- خاوازی، ک.، اسدی رحمانی، ه. و ملکوتی، م .ج ۱۳۸۴. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور(مجموعه مقالات) انتشارات سنا۴۲۰ صفحه.

۱۰- دیانی، ل. و رئیسی، ف. ۱۳۸۵. فعالیت آنزیم های فسفاتاز و اوره آز در یک خاک آلوده به کادمیم. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، صفحات ۱۱۳-۱۱۴.

۱۱- رنجبریان،م و قربانی،ه . ۱۳۹۰. تاثیر استفاده ازمیکوریزا وسوپرفسفرتریپل بر قابلیت جذب فسفر از خاک توسط گیاه شبدر. پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران.

۱۲- رحمانی، ح.ر. ۱۳۸۹.کودهای فسفره و آلودگی ناشی از آن در اراضی کشاورزی. اولین کنگره چالش های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود. تهران.

۱۳- زارعی، م.، صالح راستین، ن. و ثوابقی، غ.ر. ۱۳۸۵. نقش قارچ های میکوریز آربوسکولار و میکوریزوسفر در گیاه پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین و ترکیبات آلی. همایش خاک،محیط زیست و توسعه پایدار.

۱۴-زارعی، م.، صالح راستین، ن. و ثوابقی، غ.ر. ۱۳۹۰. کارآیی قارچهای میکوریز آربوسکولار در گیاه پالایی خاکهای آلوده به روی به وسیله گیاه ذرت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک . سال پانزدهم . شماره ۵۵.

۱۵- سعادت لاجوردی، ن. ۱۳۷۹. دانه های روغنی. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۶- سرمدنیا، غ. کوچکی، ع .۱۳۸۷. فیزیولوژی گیاهان زراعی .ترجمه .تجدید چاپ . انتشارات جهاد دانشگاه مشهد.

۱۷- سالار دینی، ع.ا. ۱۳۸۷. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۷۳۹.

۱۸- عرشی، ی. ۱۳۷۶. علوم و تکنولوژی آفتابگردان (ترجمه). ناشر اداره کل پنبه و دانه های روغنی ایران.

۱۹- علیزاده اسکویی، پ.، علی اصغرزاد، ن.، شریعتمداری، ح.، اصغرزاده، ا و باغبان سیروس، ش. ۱۳۸۸. تاثیر دو گونه از قارچ های میکوریزآرباسکولار در کاهش سمیت کادمیوم در گیاه گوجه فرنگی با سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش های خاک (علوم آب و خاک). جلد ۲۳. شماره۲.

۲۰-علی پور، ص. ۱۳۸۴. مبانی اکتشافات بیوژئو شیمیایی در کشف ذخایر معدنی و مطالعات زیست محیطی. انتشارات دانشگاه ارومیه. ص۳۱۹.

۲۱- قاسمی، ز. و شهابی، ع. ۱۳۸۹. تاثیر کادمیوم بر روی شاخص های فیزیولوژیک، صفات رویشی و غلظت عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی *Lycopersicon esculentum* در کشت بدون خاک .علوم و فنون کشت های گلخانه ای، سال اول، شماره دوم :۶۵-۵۵.

۲۲- قربانلی، م. ۱۳۸۵. اثر کادمیوم بر مقدار رنگیزه های فتوسنتزی، قندها و مالوندآلدئید در گیاه کلزا . مجله زیست شناسی ایران، جلد ۱۹. شماره:۱۳۶-۱۴۵.

۲۳-کلانتری زاده،ک.، یوسفی راد، م.، جم نژاد، م. و خوش لهجه مفرد، ع. ۱۳۸۸. مطالعه تاثیر قارچ میکوریزبر رشد رویشی ارقام آفتابگردان. همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی. ۱۱و۱۲ اسفند. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

۲۴-کافی، م. و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۱. مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۴۶۷ صفحه.

۲۵-کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. ۱۳۸۸. فیزولوژی تنش های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد ۵۰۲ صفحه.

۲۶-کریمیان، ن.ع. ۱۳۷۷. پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی و فسفری، مجله علمی پژوهشی خا ک و آب، جلد ۱۲شماره ۴، مؤسسه تحقیقات خاک وآب، تهران، ایران.

۲۷- مستأجران، ا. و ضوئی، ف. ۱۳۸۵. همزیستی میکوریز .انتشارات دانشگاه اصفهان .جلد اول.

۲۸- معدنی، ا.، لکزیان، ا.، حق نیا، غ،ح. و خراسانی،ر. ۱۳۹۰. تاثیر عناصر سنگین بر میزان تولید گلومالین قارچ میکوریزا آرباسکولار. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران.تبریز.۱۲ تا ۱۴ شهریور.

۲۹- ملکوتی، م.ج.، ترابی، م. و طباطبائی، ج. ۱۳۷۹. اثرات سوء کادمیم و روشهای کاهش غلظت آن در محصولات کشاورز ی، نشرآزمون کشاورزی.

۳۰- ملکوتی، م.ج. و ثوابقی، غ.ر. ۱۳۷۹. بررسی نقش روی در کاهش اثرات سوء کادمیوم بر عملکرد و کیفیت دانه گندم. مجله علمی پژوهشی خاک و آب (ویژه نامه کشاورزی پایدار)، جلد ۱۲ شماره ۹. صفحات ۶۶ الی ۷۵. تهران. ایران.

۳۱- ملکوتی، م.ج.، مشیری، ف. و نبی‌غیبی، م. ۱۳۸۴. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در خاک و برخی از محصولات زراعی و باغی. انتشارات سنا. چاپ اول. شماره ۴۰۷. ۱۶ صفحه.

32-Abdel-Basset, R., Issa. A.A. and Adam, M.S. 1995. Chlorophyllase activity: effects of heavy metals and calcium. Photosynthitica. 31:421-425.

33-Adriano D. C. 1986. Trace elements in Terrestrial Environments:" Springer, New York. pp 533.

34-Aliabadi Farahani, H. Lebaschi, M.H. and Hamidi, A., 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, Phosphorus and water stress on quantity and quality characteristics of coriander. Advances in Natural and Sciences. 2: 55-59.

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

36-Altieri, M.A., 1994. Sustainable agriculture, Encyclopedia of agriculture Science. 4: 239-247.

37-Arnfalk, P., Wasay, S.A. and Tokunga. S. 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.

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

39-Angle, J.S., and Heckman. J.R. 1986. Effect of soil pH and sewage sludge on VA mycorrhizal infection of soybeans. Plant Soil 93:437-441.

40-Atayese, M.o. 2007. Feild response of groundnut (*Arachis hypogea*) cultivars to mycorrhizal inoculation phosphorus fertilizer in Abeokuta, South West Nigeria. American-Eurasian J. Agric& Environ, 2(1):16-23.

41-Audet, P. and C. Charest. 2007. Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: Meta-analytical and conceptual perspectives. Environ. Poll. 147:609-614.

42-Auge, R.M., Duan, X., Ebel, R.C. and Stodola, A.J.W. 2001. Nonhydraulic signaling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta. 193: 74-82.

43-Bagyaraj, D.J. 1992. Vesicular-arbuscular Mycorrhiza: Application in agriculture. Methods Microbiol. 24:360-373.

44-Barea, J.M., Azcon, R. and Azcon-Aguilar, C. 1993. Mycorrhizal and crops. In: Advances in plant pathology . Volume 9: Mycorrhiza Synthesis. I. C. Tommerup (ed). Academic Press. San Diego. pp. 1- 31.

45-Barea, J. M., Werner, D., Azcon-Guilar, C. and Azcon, R., 2005. Interactions of arbuscular mycorrhizal and nitrogen fixing symbiosis in sustainable agriculture. In: D. Werner and W.E. Newton. (Eds.). Nitrogen fixation in agriculture,forestry,ecology and the environment. Springer.

46-Barcelo, J., Poschenrieder, C., Andreu I. and Gaunse, B. 1986. Cadmium induced decrease of water stress resistence in bush bean plants. (*Phaseolus vulgaris*

L.CV. Contender).1. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. Plant Physiol. 125:17-25.

47-Baryla, A., Carrier, P., Franck, F., Coulomb, C., Sahut, C. and Havaux, M. 2001. Leaf chlorosis in oilseed rape (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth.Planta. 212:606-709.

48-Beard. B.H. and Geng. S. 1982. Interrelationship of morphological and economic characters of sunflower. Crop. Sci. 22: 817-822.

49-Becerril,F.R., Calantzis, C. Turnau, K. Caussanel, J.P. Belimov, A.A. Gianinazzi, S. Strasser , R.J. and Pearson, V.G. 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.

50-Beg, A. 1995. Oilseed crops research and production in Iran. ICARDA.

51-Benaroya, R.O., Tzin, V., Tel-or., E. and Zamsk, E. 2004. Lead accumulation in the aquatic fern Azolla filicuoides. Plant Physiol. 42:639-645.

52-Bethlenflvay, G.J., Brown, M.S. and Franson, R.L. 1990. The Glsy sine-Glomus-Bradyrhizobium symbiosis: Relationship between leaf gas exchang and plant and soil water status in nodulated, mycorrhizal soybean under drought stress. Plant Physiol. 94:723-728.

53-Blaylock, M.J. and Huang, J.W. 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.

54-Boddi, B., Oravecz, A.R. and Lehoczki, E. 1995. Effects of cadmium on organization and Photoreduction of protochlorophyllide in dark-grown leaves and etioplast inner membrane preparations of wheat. Photosynthetica. 31:411-420.

55-Bolan, N.S., 1991. Acritical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil, 134: 189-207.

56-Boussama, N., Quariti, O. and Ghorbal, M.H. 1999. Changes in growth and nitrogen assimilation in barley seedling under cadmium stress. Plant Nutr. 22:731-75.

57-Bradley,R., Burt, A.J. Read. 1982. The biology of mycorrhiza in the Ericaceae. VIII.The role of mycorrhizal infection in heavy metal resistance. New Phytologist.91(2):197-209.

58-Binet, P., Portal, J. M. and Leyval, C. 2000. Dissipation of 3-6-rings polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere of ryegrass. Soil Biol. Biochem. 32: 2011-2017.

59-Catter, F.J. 1980. Sunflower Science and Technology. American Society of Agronomy. WI. U.S.A.

60-Chang, A.C., Page, A.L. and F.T.Bingham. 1981. Chemical composition of wastewater sludge.J.WPCF (Water Pollution Control Federation). 53(2):237-243.

61-Chen, B., Christie, P. and Li, X. 2001. A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza. Chemosphere 42:185–192

62-Chen, B.D., Li, X.L. Tao, H.Q. Christie, P. and Wong, M.H. 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere 50:839–846

63-Chen, B.D., Shen, H. Li, X. Feng, G. and Christie, P. 2004. Effects of EDTA application and arbuscular mycorrhizal colonization on growth and zinc uptake by maize (*Zea mays* L.) in soil experimentally contaminated with zinc. Plant Soil 261:219-229.

64-CharKhabi, A.H., Sakizadeh, G. Rafiee, A. 2005. Seasonal Fluctuation in Heavy Metal Pollution in Irans siahroud River A Preliminary Study . ESPR- Environ Sci & Pollut Res 2005. (Online First):1-7.

65-Christie, P., Li, X. and Chen, B.D. 2004. Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. Plant Soil 261:209-217.

66-Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. FAO Soils Bulletin, No. 38/2.

67-Cooper, K.M., and Tinker, P.B. 1978. Translocation and Transfer of nutrient in vesicular arbuscular mycorrhizas: Uptake and translocation phosphorus, zinc and sulfur. New Phytol. 81:43-52.

68-Costa, G. and Moral, J.L. 1994. Water relations, gas exchange and amino acid content in cadmium treated lettuce. Plant Physiol. Biochem. 32:561-570.

69-Dat, J.F., Lopez-Delgado, H., Foyer, C.H. and Scott, I.M. 1998. Parallel changes in H_2O_2 and catalase during induced thermotolerance in mustard seedling. Plant Physiol 118:1455-1461.

70-Da Silva, A. P., Kay, B. D. and Perfect. E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 1775-1781.

71-Davis, L. C., Ericloson, L. E., Lee, E., Shimp, J. F. and Tracy, J. C. 1993. Modeling the effects of plants on the bioremediation of contaminated and ground water. Environ. Qua. l 12:67-75.

72-Davis, R.D. 1984. Cadmium in sludg used as fertilizer.Environ.Protect. Direct. 40:117-126.

73-de Matos A. T., Fontes M. P. F., da Costa L. M., and Martinez, M. A. 2000. "Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of soil" Environmental pollution, 111, pp 429-435.

74-Demidchik V, Sokolik A, Yurin V. 1997. The effect of Cu^{2+} on ion transport system of the plant cell plasmalemma. Plant Physiology. 114,1313-1325.

75-Devall, M. S., Parresol B. R. and Wright, S. J. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora, Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in central Panama. IAWA Journal, VOL.16 (4), 1995: 411-424.

76-Dheri, G. S., M. S. Brar and S. S. Malhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 495-499.

77-Dı´az, G., Azco´n-Aguilar, C. and Honrubia, M., 1996. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake and growth of *Lygeum spartum* and *Anthyllis cytisoides*. Plant and Soil 180, 241–249.

78-Dietz K-J, Baier M, Kramer U. 1999. Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metals toxicity in Plants. in: Prasad MNV, HagemeyerrJ, eds. Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. Berlin: Springer–Verlag.73-97.

79-Dosskey, M.G. and Adriano, D.C., 1992. Trace metal impact on plants: Mediation by soil and mycorrhizae. In: The deposition and fate of trace metal in our environment, Philadelphia, PA, October 8.1991. Very. E.S., and S.J. (Eds.), USDA N. Central Forest Expriment Station (Saint Paul,Minn) General Technical Report NC

80-Drazic, G., Mihailovic, N. and Lojic, M. 2006. Cadmium accumulation in Medicago sativa seedlings treated with salicylic acid. Biol. Plant. 50:239-244.

81-Dueck, T.A., Visser, P. Ernest, W.H.O. and Schat, H. 1986. Vesicular-arbuscular-mycorrhizae decrease zinc toxicity to grasses in zinc-polluted soil. Soil Biol. Biochem. 18:331-333.

82-Dunfield, K.E. and Germida, J.J. 2001. Diversity of bacterial communities in the rhizosphere and root interior of field grown genetically modified *Brassica napus*. *Microb. Ecol*. 38: 1-9.

83-Ensminger, L.E. 1952. Loss of Phosphorus by erosion. Soil Sci. Amer. Proc. 16:338-342.

84-Ernst, W.H.O. 1990. Mine vegetation in Europe. P. 21-73. In A.J. Shaw (ed.) Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton, FL.

85-Faber, B.A., Zasoski, R.J. Burau, R.G. and Uriu, K. 1990. Zinc uptake by corn as affected by vesicular-arbuascular mycorrhizae. Plant Soil 129:121-130.

86-Feng, G., F.S. Zhang, X.L. Li, C.Y. Tian and C. Tang. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12:185–190.

87-Fodor, A., szabo-Nagy, A. and Erdei, L. 1995. The effect of cadmium on the fluidity and H^+-Atrase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. Plant Physiol. 14:787-792.

88-Fontes, R.L.S and Cox, F.R. 1998. Zinc toxicity in soybean grown at high Iron concentration in nutrient solution. Crop Sci. 21:1723-1730.

89-Galli, U. Schuepp, H. and Brunold, C. 1994. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi. Physiologia Plantarum. 92: 364-368.

90-Gaur, A. and Adholeya, A. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Current Sci. 86 528-534.

91-Gildon, A. and Tinker, P.B. 1981. A heavy metal-tolerant strain of a mycorrhizal fungus. Trans, Br. Mycol. Soc. 77:648-649.

92-Gilmore, A.E. 1971. The influence of endotrophic Mycorrhiza on the growth of peach seedling. J. AM. Soc. Hortic. Sci. 96:35-37.

93-Giovannetti, M. and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesiculararbuscular mycorrhizal infection in roots. New phytologist. 84: 489-500.

94-Glante, F. 1990. Bedeutung von VA-Mycorrhizapilzen for wachstum and Entwicklung der Kulturflanzen. Zentralbl. Microbiol. 145:339-409.

95-Godbold, D. L. and Huttermann, A. 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation of *Picea abies* (Karst.) seedlings, and the significance of these metals to forest die-back. Environ. Pollut. Series A: Ecological and Biological. 38: 375-381.

96-Gohre, V. and Paszkowski, U. 2006. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. Planta 223:1115–1122.

97-Gonzalez–Chavez, M. C. Carrillo-Gonzalez, R., Wright, S. F and Nichols, K. A. 2004. the role of glomalin, a protein produced by arbuscularmycorrhizal fungi, in sequestrering potentially toxic elements. EnvironPollut, 130:317-323.

98-Gonzalez-Guerrero M., Azcon-Aguilar C., Mooney M., Valderas A., MacDiarmid C.W., Eide D.J. and Ferrol N. 2005. Characterization of a *Glomus*

intraradices gene encoding a putative Zn transporter of the cation diffusion facilitator family. Fungal Genetics and Biology, 42 (2): 130-140.

99-Graham, D. W., Smith, V. H. and Low, K. P. 1995. Application of variable nutrient supplies to optimize hydrocarbon biodegradation. PP. 331-340. Bioremediation of recalcitrant organics. Battle Press, Columbus, OH.

100-Harley, J.L., and Esmith, S.E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York.

101-Harley, J.L, Harley, E.L. 1987. A check-list of mycorrhiza in the British flora. New Phytologist, 105: 1-102.

102-Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of weat seedling. Acta Agron. Hung. 53:433-437.

103-Hayman, D.S. 1980. Mycorrhiza and crop production . Nature (London) 287:487-488.

104-Hayman, D.S. 1982. Influence of soils and fetility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathol. 72:1119-1125.

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

106-Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1978. A method for the extraction of chrophyll from leaf tissue without naceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334.

107-Hodge, A., 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza . Microbiology ecology, 32, 91-96.

108-Horvath, G., Droppa, M., Oravecz, A., Raskin, V.I and Marder, J.B. 1996. Formation of the Photosynthetic apparatus during greening of the cadmium poisoned barley leaves. Planta. 199:238-243.

109-Iniobong, O.E., Solomon, M.G. and Osonubi. O. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation and phosphorus fertilization on the growth of Gliricidia sepiom in sterile and non-sterile soil. Res. J. Agron, 2(1): 23-27Pacovsky, R.S., Benthlenfalvay, G.J., and Paul, E.A. 1986. Comparisons between P-fertilizer and mycorrhizal plants.Crop Sci. 26:151-156.

110-Jackson, N.E., Miller, R.H. and Franklin, R.E. 1973. Influence of vesicular arbuscular Mycorrhizae on uptake of strontium-90 from soil by soybeans. Soil Biol. Biochem. 5:205-212.

111-Jamal, A., Ayub, N., Usman, M. and Khan, A.G. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance zinc and nickel uptake from contaminated soil by soybean and lentil. Intl. J. Phytorem. 4(3):205-221.

112-Janouskova, M., Pavlikova, D., Macek, T. and Vosatka, M. 2005. Influence of arbuscular mycorrhizae on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted metallothionein gene.Applied Soil Ecology.29(3):209-214.

113-Jeffries. P. 1987. Use of Mycorrhizae in agriculture. CRC Crit. Rev. Biotechnol. 5:319-357.

114-Johnson, M.S. and Stevenson, J.K.W. 1994. Revegatation of metalliferous wastes and after metal mining. In: Hester, R.E., Harison, R.M. (eds), Mining and its environmental impact. Royal Society of Chemistry. London, pp. 31-48.

115-Joner E.J., Briones R., and Leyval C. 2000. Metal-binding capacity of arbuscular mycorrhizal mycelium. Plant and Soil, 226: 227-234.

116-Joner,E.J., and Leyval, C. 1997. Uptake of 109 Cd by roots and hyphae of a *Glomus mossea*/*Trifolium subterraneum* mycorrhizae from soil amended with high and low concentrations of cadmium. New Phytologist.135(2):353-360.

117-Joner, E.J. and Leyval, C. 2001. Time-course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes. Biol. Fert. Soils 33: 351–357.

118-Kabata-Pendias ,A., & Pendias, H. 2000. Trace Element in Soils and Plants.2ndedition.CRC Press .boca Raton.FL

119-Killham, K., and Firestone, M.K. 1983. Vesicular arbuscular mycorrhizal mediation of grass response to acidic heavy metal depositions. Plant Soil. 72:39-48.

120-Kothari, S. K., Marschner, H. and George, E. 1990. Effect of VA mycorrhizal fungi and rhizophere microorganisms on root and shoot morphology. Growth and water relations in miaze. New Phytol. 116:303-311.

121-Kothari, S. K., Marschner, H. and Romheld, V. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zink by maize in a calcareus soil. Plant and Soil, 131: 177-185.

122-Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L. 2008. Treatment with salicic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. Plant Physiol. 165:920-931.

123-Kriek, D.T., Foy, C.D. and Wergin, W.P. 1988. Role of water stress in different Aluminium tolerance of six sunflower cultivars grown in an acid soil. Plant Nutr. 11:387-408.

124-Lambert, D.H,. Baker, D.E. and Cole, H. 1979. The role of mycorrhizae in the intractions of phosphorus with zinc, copper, and other elements. Soil Sci. Soc. AM: J. 43:976-980.

125-Lambert, D.H,. Cole, H. and Baker, D.E. 1980. Variation in the respone of alfalfa clones and cultivars to mycorrhizae and phosphorus. Crop Sci. 20:615-618.

126-Lee, C.W., Choi, J.M. and Pak, C.H. 1996. Micronutrient toxicity in seed germination. J. of the Ame. Society for hort. Sci. 121:77-82.

127-Lewis, S., Donkin, M.E. and Depledge, M.H. 2001. Hsp 70 expression in *Enteromorpha intestinalis* (chlorophyta) exposed environmental stresses. Aqua. Toxicol. 51:277-291.

128-Li X.L., and Feng G. 2001. Ecology and Physiology of Arbuscular Mycorrhiza. Huawen Press Bei jing.

129-Linderman, R.G. 1988. Mycorrhizae intractions with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. Phytopathol. 78:366-371.

130-Lombi, E., zhao, F., dunham, S and McGrath, P. 2001. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils.J.Environ.Qual. 30:1919-1926.

131-Madhava Rao, O.K.V. and Sresty, T.V.S. 2000. Antioxidative parameters in the seedling of pigeonpea (Cajanus cajan L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Sci. 157:113-128.

132-Marquez, A.P.G.C., Oliveira, R.S., Samardjieva, K.A., Pissarra, J., Rangel, A.O.S.S. and Castro, P.M.L. 2007. Solanum nigrum grown in contaminated soils. Effects of AMF on zinc accumulation and histolocalisation. Environ. Poll. 145:691-699.

133-Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Plants. 2nd ed., Academic Press., London.

134-McGraw, A.C., Gamble, J.F. and Schenck, N.C. 1979. Vesicular-arbuscular mycorrhizal uptake of cesium-134 in two tropical pasture grass species. Phytopathology 69:1038-1041.

135-Medina, O. A., Sylvia, D. M. and Kretschmer, A. E. 1988. Response of siratro vesicular arbuscular mycorrhizal fungi: l. selection of effective vesicular arbuscular fungi in amended soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 416-419.

136-Merrington, G., and Alloway, B.J. 1997. Determination of the residual metal binding characteristics of soils polluted by Cd and Pb.J.Water, Air and Soil Pollution.100:.49-62.

137-Megne, J.A., 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture, Can.J. Bot. 61: 1015-1024.

138-Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium tocicity in barley seedling. Plant Physiol. 132:272-281.

139-Moral,R., Cortes, A., Gomez, I. and Mataix, J. 2002. Assessing changes in Cd hytoavailability to tomato in amended calcareous soils.Bioresource Technology.85(1):63-68.

140-Morton, J.B., and Benne, G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulasporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. Mycotaxon 37:471-491.

141-Nagahashi. G., Dounds, D. D. and Abney, G.D. 1996. Phosphorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation. Mycorrhiza, 6: 403-408.

142-Navarro M.C., Perez-Sirvent C., Martmez-Sanchez M.J., Vidal J., Marimo J. 2005. "Lead cadmium and arsenic bioavailability in the abandoned mine site of Cabezo Rajao (Murcia, SE Spain)". Chemosphere., 63, pp 484-489.

143-Nieboer, E. and Richardson, D.H.S. 1980. The replacement of the non-descript term "heavy metals" by a biologically and chemically significant classification of metal ions. Environmental Pollution, Serries B, 1:3-26.

144-Nilsen, J.D. 1983. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and uptake of various nutrient as well as uptake ratio of fertilizer P for Lucerne (*Medicao sativa*).Plant Soil. 70:165-172.

145-Norris,J.R., Read, D.J. and Varma, A.K. 1992. Methods in icrobiology.Vol:24.Techniques for the study of mycorrhizae . Academic Press,London.

146-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. USDA Circular 939. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

147-Orcutt, D.M. and Nilsen, E.T. 2000. The physiology of plant under stress: soil and biotic fsctors. John Wiley Pob. Pp. 481-517.

148-Ozeres, H.M., Hanlon, E., Bryan, H. and Schaffer, B. 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.

149-Paudyal, S.P., Aryal, R.R., Chauhan, S.V.S. and Maheshwari, D.K. 2007. Effect of heavy metals on growth of rhizobium strains and symbiotic efficiency of two species of tropical legumes. Scientific World, 5:322-325.

150-Philips, J. M., and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of British Mycological Society. 55:158 161.

151-Plenchette, C. and Duponnis, R., 2005. Growth response of the saltbush Atriplex numularia L. inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices. Journal of Arid Environment. 61:535-540.

152-Powell, C. L. and Bagraraj, D. J. 1984. VA mycorrhizae. CRC.Press. Inc.

153-Poschenrieder, C. and Barcelo, J. 2004. Water relation in heavy metal stressed plants. In: pasad, M.(ed.), Heavy metal stress in plants from Biomolecules to Ecosystems, 2nd end. Springer-verlag, New York. PP.249-263.

154-Prince,W.S., Senthil Kumar, P., Doberschutz, K.D., Subburam, V . 2002. Cadmium toxicity in mulberry plants with special reference to the nutritional quality of leaves. Journal of Plant Nutrition. 25:689-700.

155-Puschenreiter .M. and Horak. O. 2000. "Influence of different soil parameters on the transfer factor soil to plant of Cd, Cu and Zn for wheat and rey" Die Bodenkulture., 51,1.

156-Quilambo, O.A., 2003. The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. African Journal Biotechnology. 2: 539-546.

157-Rhodes, L.H. and J.W. Gerdeman. 1978. Translocation of cadmium and phosphate by external hyphae of VA Mycorrhiza. Soil Sci. 126:125-126.

158-Rambelli, A. 1973. The rhizosphere of Mycorrhizae. P. 299-343. In G.L. Marks and T.T. Koslowski (ed.) Ectomycorrhizae. Academic press. New York.

159-Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J. and Garate, A. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of Lactuca sp. Cd-Mn intraction . Plant Science. 162:761-767.

160-Ravnskov, S. and Jakobsen, I. 1999. Effects of pseudomonas fluoresences DF 57 on growth and P uptake of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with cucumber. Mycorrhizae, 8: 329-334.

161-Redecker D. 2002. Molecular identification and phylogeny of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil, 244: 67-73

162-Reser, P. and Emerson, P. 2007. Growth, root and leaf structure and biomass allocation in leucanthemum vulgare as affected by heavy-metal-containing slag. Plant Soil. 59:2461-2467.

163-Ricken,B., and Hofner, W. 1992. 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.

164-Rizhsky, L., Liang, H. and Mittler, R. 2002. The comdined effect of draught stress and heat shock on gene expression in tobacco. Plant Physio. 130:1-9.

165-Rockne, K. L. and Strand, S. E. 1998. Biodegradation of bicyclic and polycyclic aromatic hydrocarbons in enrichments. Environ. Sci. Technol. 32: 3962-3967.

166-Rogers, R.D,. and Williams, S.E. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizal: Influence on plant uptake of cesium and cobalt. Soil Biol. Biochem. 18:371-376.

167-Rosewarne,G.M., Barker, S.J. and Smith, S.E. 1997. Production of near synchronous fungal colonization in tomato for developmental and molecular analysis of mycorrhizae. Mycological Research.101:966-970.

168-Rosen, J. A., Pike, C.S. and Golden, M. L. 1997. Zinc, Iron and Chlorophyll metabolism in zinc-toxic corn. Plant. Physiol. 59:1085-1087.

169-Salt, D.E., Prince, R.C., Pickering, I.J. and Raskin, I. 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. Plant Physiol. 109:1427-1433.

170-Sandalio. L.M., dalurzo, H.c., Gomes, M., Romero-Puertras, M. and del Rio, L.A. 2001. Cadmium induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. Exp. Bot. 52:2115-2126.

171-Schmidt U. 2003. "Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility plant accumulation, and leaching of heavy metals". J. of Environ, Quol. 32:1939-1945.

172-Schreiner, R.P. Mihara, K.L. McDaniel, K. and Benthlenfalvay, G.J., 2003. Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and intractions. Plant and Soil. 188: 199-209.

173-Shah, K. and Dubey, R. S. 1998. Cadmium suppresses phosphate level and inhibits the activity of phosphatases in growing rice seedlings. J. Agron. Crop Sci. 180: 223-231.

174-Shah, J. and Klessig, D.F. 1999. Salicylic acid: signal perception and transduction. In: Hooykaas, P.P.J., Hall, M.A. and Libbenga, K.R. (eds). Biochemistry

and molecular biology of plant hormones. Elsevier, Amesterdam, Netherlands, pp. 513-541.

175-Shah, F. R., Ahmad, N., Masood, K. R. and Zahid, D. M. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia Sisso* ROXB) seedlings. Pak. J. Bot. 40: 1341-1348.

176-Sharma, A.K. and Johari, B.N., 2002. Arbucular mycorrhizae- Interaction in plants, rhizospher and soils, Science publishers. Inc Enfield NH.USA. 311pp.

177-Siedlecka, A. and Krupa, Z. 1999. Cd/Fe intraction in higher plants- its consequence for the photosynthetic apparatus. Photosynthetica. 36:321-331.

178-Singh, B.R., and Narwal, R.P. 1984. Plant availability of heavy metals uptake.J.Environ. Qual.13:342-348.

179-Siqueria,J.O., Pereira, M.A.M., Simao, J.B.P. and Moreira, F.M.S. 1999. Effect of formononetin on mycorrhizae colonization and growth corn in soil with excess of heavy metals. Revista Brasilierade Fisiologia Vegetal. 23(3):561-567.

180-Smith, S.E., Read, D.J., 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, San Diego, 605 pp.

181-Somashekaraiah, B.V., Padmaja, K. and Prasad, A.R.K. 1992. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mungbean: involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. Plant Physiol. 85:85-89.

182-Sterckeman, T., Douay, F., Proix, N. and Fourrier, H. 2000. "Vertical distribution of Cd, Pb, and Zn in soils near smelters in the north of France". Environmental Pollution., 107, pp:377-389.

183-Sudova, R. and Vosatka, M. 2007. Differences in the effects of three arbuscular mycorrhizal fungal strains on P and Pb accumulation by maize plants. Plant Soil 296:77-83.

184-Sylvia, D. "et al". 1990. Vesicular arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: mycorrhizae in sustainable Agriculture. G. J. Beth Lenfalvay and R. G. Linderman (eds). ASA special publication, Number 54, Madison Wisconsin. 101-124.

185-Sylvia, D.M. 1992. Quntification of external hyphae of vesicular-arbuscular Mycorrhiza fungi. Methodes Microbiol. 24:53-66.

186-Thangavel, P. and Subhuram, C. V. 2004. "Phytoextraction Role of hyper accumolators in metal contaminated soil". Proceedlings of the Indian National Science Academy. Part B, 70(1), 109-130.

187-Thomson, B., Robson, A. D. and Abbort, L. K. 1986. Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizaes by Gigaspora and *Glomus fasciculaum* in relation to root carbohydrates. New Phytologist. 103: 751-765.

188-Trappe, J.M. 1987. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint.p. 5-25. In G.R.Safir (ed.) Ecophysiology of VA Mycorrhizal plants. CRC Press, Boca Raton, FL.

189-Vassilev, A., Yordanov, I. and Tsonev, T. 1997. Effects of Cd^{+2} on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants. Photosynthetica. 34:293-302.

190-Vidali. M., 2001. Bioremediation: An overview, Pure Appl Chem 73(7):1163–1172.

191-Vrana, B., Haluska, L., Barancikova, G., Balaz, S., Decorva, K., Weisshaar, M.P., Fuciova, E. and P. Biesek. 1995. Degradation of PCBs in different soils by inoculated *Alcaligenes Xylosoxidans*. Environ. Sci. 175: 275-285.

192-Weissenhorn, I., Leyval, C., Belgy, G., Berthelin, J., 1995a. Arbuscular mycorrhizal contribution to heavy metal uptake by maize (Zea mays L.) in pot culture with contaminated soil. Mycorrhiza 5, 245–251.

193-Weissenhorn, I., Mench, M., Leyval, C., 1995b. Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhizae in a sewage-sludge-amended sandy soil. Soil Biology & Biochemistry 27, 287–296.

194-Weissenhorn, I., Leyval, C., Berthelin, J., 1995c. Bioavailability of heavy metals and abundance of arbuscular mycorrhizae in a soil polluted by atmospheric deposition from a smelter. Biology and Fertility of Soils 19, 22–28.

195-Witte-Claus, P., Tiller-Sarah, A., Talor-Mark, A. and Davieshoward, V. 2002. Addition of nickel to Murashige and Skoog medium in plant tissue culture activates urease and may reduce metabolic stress. Plant Cell Tissue and Organ Cult. 68:103-104.

196-Wright, D.P., J.D. Scholes and D.J. Read. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L., Plant, Cell and Environ. 21:209–216.

197-Zhang, W.H. and Tyerman, S.D. 1999. Inhibition of water channels by $HgCl_2$ in intact weat root cells. Plant Physiol. 120:489-857.

198-Zho, J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 53:247.

199-Zhou, Z.S., Huang, S.Q., Guo, K., Mehta, S.K., Zhang, P.C. and Yang, Z.M. 2007. Metabolic adaptation to mercury-induced oxidative stress in root of Medicago sativa. J. of Inorganic Biochem. 101:1-9.

200-Zhu, Y.G., Christie, P. and Laidlaw, A.S. 2001. Uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal white clover from Zn contaminated soil. Chemosphere 42:193–199.

پیوست

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و گل تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک گل
تکرار	۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۵۲	۰/۳۱۳
فسفر	۲	۰/۰۷۴**	۱/۱۱۲**	۰/۴۶۹**	۰/۲۰۷
کادمیوم	۲	۰/۰۲۲**	۰/۴۵۵*	۰/۳۵۰**	۱/۵۶۳**
فسفر×کادمیوم	۴	۰/۰۲۶**	۰/۱۹۲	۰/۰۹۰	۱/۲۷۷**
قارچ	۱	۰/۰۵۲**	۰/۰۲۲	۰/۱۶۲*	۱/۷۰۸*
فسفر×قارچ	۲	۰/۰۰۳	۰/۲۵۷	۰/۱۸۷*	۲/۰۶۷**
کادمیوم×قارچ	۲	۰/۰۱۰*	۰/۱۵۸	۰/۰۰۹	۰/۷۵۸*
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۰/۰۰۵	۰/۲۱۵	۰/۱۵۳*	۰/۶۷۹*
اشتباه	۵۱	۰/۰۰۴	۰/۱۲۴	۰/۰۵۱	۰/۲۶۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۴۲	۱۴/۷۷	۱۳/۴۷	۱۳/۴۴

*و** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۲-میانگین مربعات طول ساقه و ریشه و تعداد برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر ، کادمیوم و قارچ میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	تعداد برگ
تکرار	۳	۱۹/۱۹۶	۰/۳۰۹	۳/۳۰۶ *
فسفر	۲	۱۳۱/۸۳۱*	۷/۸۹۳**	۱/۸۸۵
کادمیوم	۲	۱۸۸/۱۶۷**	۲/۰۶۵	۱۰/۹۰۶**
فسفر×کادمیوم	۴	۶۸/۸۱۲*	۱/۱۴۶	۰/۵۱۰
قارچ	۱	۲۷/۶۲۷	۳/۸۹۷	۰/۰۰۰۱
فسفر×قارچ	۲	۱۳۸/۰۱۳*	۱/۹۵۹	۵/۶۳۵**
کادمیوم×قارچ	۲	۱۱/۸۷۵	۰/۴۱۲	۲/۰۹۴
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۱۴۸/۳۹۵**	۴/۳۵۸*	۱/۱۳۵
اشتباه	۵۱	۲۷/۸۲۸	۱/۴۷۷	۰/۸۷۲
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۷۰	۱۱/۵۸	۷/۷۸

*و** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات کلروفیل برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل
تکرار	۳	۱۲/۱۴۶
فسفر	۲	۷۴/۴۷۴*
کادمیوم	۲	۱۲/۲۶۱
فسفر×کادمیوم	۴	۱۹/۷۲۰
قارچ	۱	۷۷/۵۴۳*
فسفر×قارچ	۲	۶۲/۱۴۹*
کادمیوم×قارچ	۲	۳۹/۶۲۵
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۳۶/۱۰۳
اشتباه	۵۱	۲۴/۹۸۴
ضریب تغییرات(درصد)		۱۴/۸۶

*و** به ترتیب معنی دار درسطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۴- میانگین مربعات کلونیزاسیون ریشه تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	کلونیزاسیون
تکرار	۳	۴/۴۵۸
فسفر	۲	۷۲۹/۵۵۶**
کادمیوم	۲	۱۷۲/۰۹۷**
فسفر×کادمیوم	۴	۳۸۴/۳۰۶**
قارچ	۱	۴۴۹۶/۶۸۱**
فسفر×قارچ	۲	۷۲۹/۵۵۶**
کادمیوم×قارچ	۲	۱۲/۹۳۱
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۷۸۵/۵۵۶**
اشتباه	۵۱	۲۹/۶۰۵
ضریب تغییرات(درصد)		۲۵/۱۰

*و** به ترتیب معنی دار درسطح ۵ و ۱ می باشد.

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات فسفر خاک و برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر خاک	فسفر برگ
تکرار	۳	۵۶/۷۸۲	۱۰۳۶/۸۷۰*
فسفر	۲	۳۰۶۳۴/۸۶۲**	۲۲۳۹/۲۲۴**
کادمیوم	۲	۴۴۹۹/۶۴۴**	۴۹۳۶/۵۱۴**
فسفر ×کادمیوم	۴	۱۲۵۷/۵۲۵**	۱۱۱۵/۲۲۴**
قارچ	۱	۵۳۲/۵۱۹**	۳۷۸۵/۰۸۰**
فسفر×قارچ	۲	۱۴/۲۶۴	۹۵۳/۴۱۴*
کادمیوم ×قارچ	۲	۲۱۴/۱۷۱	۸۹۸/۱۱۰*
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۵۷۲/۷۱۹*	۲۵۰۵/۹۵۰**
اشتباه	۵۱	۱۷۶/۶۹۰	۲۰۸/۴۶۱
ضریب تغییرات(درصد)		۱۶/۹۹	۳/۶۵

*و** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۶- میانگین مربعات کادمیوم ریشه و برگ تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	کادمیوم ریشه	کادمیوم برگ
تکرار	۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۱
فسفر	۲	۰/۰۰۸**	۰/۰۸۴**
کادمیوم	۲	۰/۱۳۵**	۰/۰۴۵**
فسفر×کادمیوم	۴	۰/۰۱۱**	۰/۰۲۸**
قارچ	۱	۰/۰۷۳**	۰/۰۹۲**
فسفر×قارچ	۲	۰/۰۳۶**	۰/۰۵۱**
کادمیوم ×قارچ	۲	۰/۰۲۹**	۰/۰۲۶**
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۰/۰۲۸**	۰/۰۱۲**
اشتباه	۵۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۹۷	۱۶/۴۲

*و** به ترتیب معنی دار در سطح ۵و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات کارایی انتقال ،کارایی استخراج ، کارایی جذب و کارایی قارچ میکوریز تحت تاثیر تیمارهای مختلف فسفر، کادمیوم و قارچ میکوریز

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی انتقال	کارایی استخراج	کارایی جذب	کارایی قارچ
تکرار	۳	۰/۲۹۹	۰/۱۰۲	۰/۱۳۴	۲۷۹۰/۱۱۵*
فسفر	۲	۴۸/۰۲۳**	۲/۳۶۶**	۲/۰۷۰**	۷۳۹۶۰/۶۰۱**
کادمیوم	۲	۳۶/۰۵۶**	۶/۱۵۹**	۱۳/۱۹۶**	۸۵۷۷۵/۴۸۲**
فسفر×کادمیوم	۴	۵۳/۲۱۵**	۲/۰۶۰**	۲/۱۶۵**	۵۱۴۵۴/۳۶۸**
قارچ	۱	۱۱/۷۱۷*	۳/۷۸۷**	۶/۶۸۵**	۰/۱۶۷
فسفر×قارچ	۲	۱۸/۵۸۶**	۱/۵۰۷**	۱/۲۴۱**	۰/۱۶۷
کادمیوم×قارچ	۲	۲/۵۷۷	۲/۰۶۲**	۳/۱۰۴**	۰/۱۶۷
فسفر×کادمیوم×قارچ	۴	۱۰/۸۸۲**	۰/۳۹۵*	۰/۹۸۸**	۰/۱۶۷
اشتباه	۵۱	۱/۸۷۸	۰/۱۴۵	۰/۲۰۳	۱۰۸۵/۷۱۶
ضریب تغییرات (درصد)		۲۹/۵۱	۲۶/۵۶	۲۴/۰۴	۳۹/۷۵

*و** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

Abstract

Soil pollution with heavy metals like cadmium is one of the serious problems in crop production in agriculture. High mobility of this metal in plant-soil system accelerates its entrance to the food chain. According to growing needs for communities in agriculture production and limiting factors like stress caused by heavy metals, appears to be essential the appropriate management strategies to reduce the harmful effects of heavy metals. Nowadays, biological method such as phytoremedation and symbiosis with plant roots and microorganisms are used to solve the problem. In order to study the effect of arbuscular mycorrhiza (AM) on uptake and accumulation of cadmium in plant tissues of sunflower at different levels of phosphorus an experiment was conducted as factorial based on randomize complete block in greenhouse conditions in Agriculture Faculty of Shahrood University. The experiment had three levels of P (0, 40 and 100 mg per kg of soil) and cadmium (5,10 and 25 mg per kg of soil) and mycorrhiza (*Glomus intraradices*) two levels inoculation and non-inocolation was performed in 6 replicates in sunflower. The result showed that elevated levels of phosphorus increased dry weight of shoot, leaf and root and caused shoot and root elongation. In oder hand increased levels of cadmium followed by decreased dry weight shoot, leaf, root, flower and length shoot and number leaves. Increasing available P to 100 mg/kg reduced mycorrhiza colonization and it seems phosphorus concentration of 40 mg/kg was suitable for colonization of mycorrhiza fungi. It also found that mycorrhiza plants root cadmium, leave cadmium and phosphorus and leaf dry weight had more rather than non-mycorrhiza plants. Uptake efficiency, phytoxtraction efficiency and AM effectiveness increased with increasing levels of cadmium. Translocation factor decreased with increasing phosphorus and cadmium. The amount of leaf chlorophyll in the presence of mycorrhiza fungi increased with increasing phosphorus levels. Totally, it is speculated that AM fungi are enable to increased plant uptake and accumulation of cadmium and decreased cadmium stress in sunflower. These results are important in phytoremediation of cadmium polluted soils.

Key word: phosphorus, cadmium, Mycorrhiza, sunflower

Shahrood University of Technology

Faculty Agricultuer

The effects of arbuscular mycorrhizae fungi on uptake and accumulation of cadmium in sunflower (*Helianthus annus*) in different levels of soil phosphorous

Monire Ranjbariyan

Supervisor(s):

Hamidreza Asghari

Mohamadreza Ameriyan

Septamber 2013