دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی کشاورزی

گروه آب و خاک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

# تاثیر کاربرد کودهای فسفره و همزیستی قارچ میکوریز با ذرت و آفتابگردان بر قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده

**مهدیه آموزگار**

**اساتید راهنما:**
**دکتر علی عباسپور**
**دکتر شاهین شاهسونی**

**اساتید مشاور:**
**دکتر حمیدرضا اصغری**
**دکتر مهدیه پارسائیان**

بهمن ماه ۱۳۹۳

شکر خدا که هرچه طلب کردم از خدا
بر منتهای همت خود کامران شدم

تقدیم به

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم:

پدر گرانقدرم، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

مادر مهربانم؛ که زندگی ام را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

برادر و خواهرانم همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگیم...

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

«بوسه بر دستان پرمهرتان»

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. سپاسگذار کسانی هستم که سرآغاز تولد من هستند. از یکی زاده می شوم و از دیگری جاودانه. استادی که سپیدی را بر تخته سیاه زندگی ام نگاشت و مادری که تار مویی از او به پای من سیاه نماند. که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما...

از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر علی عباسپور و جناب آقای دکتر شاهین شاهسونی که صبورانه در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید، لذا از محبت های بی دریغ و راهنمایی های ارزنده آنان صمیمانه سپاسگزارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

از اساتید مشاور پایان نامه جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری و سرکار خانم دکتر مهدیه پارسائیان به سبب راهنمائی های علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان و جناب آقای دکتر هادی قربانی که زحمت بازخوانی آن را را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و کارکنان آموزش دانشکده، کارشناس های آزمایشگاه های خاکشناسی، گیاهشناسی، آبیاری و زراعت آقای مهندس شاکری، آقای مهندس حسین پور، آقای مهندس گلی و آقای مهندس مطهری نژاد، سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی ریایشان بهره مند گشتم تشکر و قدردانی می نمایم.

از برادر و خواهرانم که با قبول مسئولیتهایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

«برای همه بهترین آرزوها را دارم»

# تعهد نامه

اینجانب مهدیه آموزگار دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان: تاثیر کاربرد کودهای فسفره و همزیستی قارچ میکوریز با ذرت و آفتابگردان بر قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده. تحت راهنمائی جناب آقای دکتر علی عباسپور و جناب آقای دکتر شاهین شاهسونی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای 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 شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایح اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- 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**

**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 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.

## چکیده

همزمان با رشد جمعیت، پیشرفت فعالیت‌های صنایع و معادن نیز حادث شده است. پیامد این فعالیت‌ها آلودگی محیط زیست به آلاینده‌ها بخصوص فلزات سنگین می‌باشد. یکی از مهمترین این عناصر سرب می‌باشد زیرا این عنصر در اشکال یونی محلول بسیار سمی می‌باشد و می‌تواند منجربه کاهش کیفیت و عملکرد محصولات کشت شده در خاک‌های آلوده به این عنصر شود. همزیستی ریشه این گیاهان با قارچ میکوریز می‌تواند مقاومت گیاه را در مقابل عناصر سنگین افزایش دهد. همچنین قابلیت دسترسی این عنصر برای ریشه گیاهان می‌تواند با تشکیل ترکیبات با حلال پذیری پایین و رسوب آنها توسط اصلاح کننده‌های فسفره، کاهش یابد. بدین منظور آزمایشی گلدانی به صورت آزمایشات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شاهرود انجام پذیرفت. تیمارهای این آزمایش شامل قارچ میکوریز با دو سطح تلقیح و عدم تلقیح و کودهای آلی و غیرآلی فسفره از قبیل شاهد، اسید هیومیک، دی آمونیوم فسفات، پودر استخوان و کاربرد توام پودر استخوان و اسید هیومیک بر روی دو گیاه ذرت و آفتابگردان می‌باشد. نتایج نشان داد تلقیح میکوریز در هر دو گیاه ذرت و آفتابگردان سبب افزایش معنی دار درصد کلونیزاسیون میکوریزایی و وزن خشک ریشه گیاهان شده است. کودهای فسفره در هر دو گیاه سبب افزایش معنی دار فسفر محلول و قابل دسترس خاک، وزن خشک اندام هوایی و ریشه شده است. غلظت و میزان جذب فسفر اندام هوایی و ریشه با کاربرد جداگانه قارچ میکوریز و کودهای فسفره در گیاه آفتابگردان معنی دار شده است در حالی که در گیاه ذرت اثرات متقابل آنها در این صفات معنی دار گشته است. اثرات متقابل میکوریز و کودهای فسفره بر کاهش سرب تبادلی خاک در هر دو گیاه معنی دار می‌باشد. تیمار دی آمونیوم فسفات در گیاه ذرت و تیمارهای اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات به همراه میکوریز در گیاه آفتابگردان، کاهش معنی دار سرب تبادلی خاک را سبب شدند. اثرات اصلی تیمارکودهای فسفره و میکوریز بر کاهش غلظت سرب اندام هوایی هر دوگیاه معنی دار می‌باشد در حالی که اثرات متقابل

کود فسفره و میکوریز بر کاهش میزان جذب سرب اندام هوایی در گیاه ذرت معنی دار است و در گیاه آفتابگردان اثر اصلی تیمار کود فسفر معنی دار می‌باشد. غلظت سرب اندام هوایی گیاه ذرت توسط کاربرد تیمار دی آمونیوم فسفات بیشترین کاهش را در پی داشت در حالیکه در گیاه آفتابگردان تیمارهای دی آمونیوم فسفات، اسید هیومیک و پودر استخوان و کاربرد توام اسید هیومیک و پودر استخوان سبب کاهش معنی دار غلظت سرب اندام هوایی شده‌اند. بطور کلی تیمار کودی دی آمونیوم فسفات بر اکثر صفات این پژوهش در هر گیاه سبب تاثیر مثبت و افزایش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، فسفر قابل دسترس خاک و کاهش سرب تبادلی خاک، غلظت سرب گیاه و ریشه شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از اصلاح کننده‌های فسفره بر کاهش میزان سرب قابل دسترس و کاهش میزان جذب توسط گیاه می‌تواند موثر واقع شود.

**کلمات کلیدی**: میکوریز، فسفر، سرب، ذرت، آفتابگردان

مقالات مستخرج:

۱- تاثیر کاربرد کودهای فسفره و همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه ذرت بر قابلیت دسترسی فسفرخاک در خاک آلوده به سرب. اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار. دانشکده شهید مفتح. ۲۰ شهریور ۱۳۹۳. همدان.

۲- بررسی همزیستی قارچ میکوریزا در سطوح کودهای آلی و غیرآلی در گیاه آفتابگردان بر قابلیت دسترسی فسفر در خاک آلوده به سرب. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. ۱۵ الی ۱۹ آذر ۱۳۹۳. دانشگاه تهران.

۳- تاثیر تلقیح قارچ میکوریزا در سطوح کودهای آلی و غیرآلی بر فراهمی فسفر خاک و محتوای فسفر گیاه ذرت در خاک آلوده به سرب. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. ۱۵ الی ۱۹ آذر ۱۳۹۳. دانشگاه تهران.

# فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱ فصل یک:  مقدمه............................................................................ ......... ۱

۱-۱ مقدمه ........................................................................................... ۲

۲ فصل دو: کلیات و بررسی منابع..................................................................... ۷

۲-۱ آفتابگردان ....................................................................................... ۸

۲-۲ ذرت .............................................................................................. ۸

۲-۳ خاک و اهمیت آن.................................................................................. ۹

۲-۴ آلودگی خاک ....................................................................................... ۹

۲-۵ انواع آلاینده‌ها .................................................................................... ۱۰

۲-۵-۱ آلاینده‌های آلی ................................................................................. ۱۰

۲-۵-۲ آلاینده‌های غیر آلی ............................................................................. ۱۰

۲-۵-۲-۱ عناصر سنگین و مضرات آن.................................................................. ۱۰

۲-۵-۲-۲ پراکنش برخی فلزات سنگین در خاک‌های ایران ........................................... ۱۱

۲-۶ سرب .............................................................................................. ۱۲

۲-۶-۱ سرب در اتمسفر.................................................................................. ۱۳

۲-۶-۲ سرب در خاک..................................................................................... ۱۳

۲-۶-۲-۱ منشأ طبیعی ..................................................................................... ۱۴

۲-۶-۲-۲ منشأ انسانی ۱۴
۲-۶-۲-۳ گونه‌های سرب در محلول خاک ۱۴
۲-۶-۳ سرب در گیاه ۱۵
۲-۶-۴ سرب در انسان ۱۷
۲-۶-۴-۱ سرب در زنجیره غذایی ۱۷
۲-۶-۴-۲ تاثیر سرب بر سلامتی انسان ۱۷
۲-۷ روش‌های پاکسازی و اصلاح خاک‌های آلوده ۱۸
۲-۷-۱ روش‌های بیولوژیکی ۱۸
۲-۷-۲ روش‌های غیربیولوژیکی ۱۸
۲-۸ قارچ‌های میکوریز ۱۹
۲-۸-۱ تاریخچه ۱۹
۲-۸-۲ تقسیم بندی و وظایف قارچ‌های میکوریز ۱۹
۲-۸-۳ تاثیر و نقش میکوریز در خاک‌های آلوده ۲۱
۲-۹ فسفر ۲۲
۲-۹-۱ اهمیت فسفر ۲۲
۲-۹-۲ نقش فسفر در اصلاح خاک‌های آلوده ۲۲
۲-۱۰ اسید هیومیک ۲۳
۲-۱۰-۱-۱ تاریخچه شناسایی مواد هیومیکی ۲۳
۲-۱۰-۲ شناخت و اهمیت اسیدهیومیک ۲۳

۲-۱۰-۳ ساختار شیمیایی اسید هیومیک ........................................ ۲۴
۲-۱۰-۴ تشکیل اسید هیومیک در طول تجزیه بافت‌های گیاهی و جانوری ......... ۲۴
۲-۱۰-۵ فرم‌های اسید هیومیک موجود در بازار ایران ................................ ۲۵
۲-۱۰-۶ معرفی ویژگی‌های اقسام کودهای هیومیکی .................................. ۲۵
۲-۱۱ پودر استخوان ............................................................. ۲۶
۳ فصل سوم: مواد و روش‌ها ............................................................ ۲۹
۳-۱ زمان، مشخصات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی منطقه ......................... ۳۰
۳-۲ خصوصیات خاک .............................................................. ۳۰
۳-۳ انتخاب بذر مناسب و تهیه مایه تلقیح ............................................ ۳۱
۳-۴ عملیات اجرایی .............................................................. ۳۱
۳-۴-۱ نوع و قالب طرح آزمایشی ................................................... ۳۱
۳-۴-۲ آماده سازی و نحوه کاشت در گلدان‌ها ......................................... ۳۲
۳-۴-۳ عملیات داشت ............................................................. ۳۳
۳-۴-۴ برداشت نهایی و نمونه برداری از خاک و ریشه ................................ ۳۴
۳-۵ اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه .......................................... ۳۴
۳-۶ اندازه گیری EC و pH در سوسپانسیون خاک ...................................... ۳۶
۳-۷ اندازه گیری فسفر محلول ...................................................... ۳۶
۳-۸ اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن .................................. ۳۶
۳-۸-۱ ساخت محلول‌های شیمیایی لازم ............................................... ۳۷

۳-۸-۲ ساخت محلول استاندارد ........................................................ ۳۷

۳-۹ اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاهی (اندام هوایی و ریشه) ........................ ۳۷

۳-۹-۱ تهیه محلول شیمیایی ........................................................ ۳۸

۳-۹-۲ تهیه محلول استاندارد ........................................................ ۳۸

۳-۹-۳ تهیه نمونه‌ها........................................................ ۳۹

۳-۱۰ اندازه گیری میزان سرب گیاه........................................................ ۳۹

۳-۱۱ اندازه گیری میزان سرب محلول و تبادلی خاک ........................................ ۳۹

۳-۱۲ تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها........................................................ ۳۹

۴ فصل چهارم: نتایج و بحث........................................................ ۴۱

۴-۱ گیاه ذرت........................................................ ۴۲

۴-۱-۱ وزن خشک اندام هوایی........................................................ ۴۲

۴-۱-۲ وزن خشک ریشه ........................................................ ۴۳

۴-۱-۳ هدایت الکتریکی خاک........................................................ ۴۵

۴-۱-۴ pH خاک........................................................ ۴۵

۴-۱-۵ کلونیزاسیون میکوریزی........................................................ ۴۷

۴-۱-۶ فسفر محلول خاک ........................................................ ۴۸

۴-۱-۷ فسفر قابل دسترس خاک ........................................................ ۴۹

۴-۱-۸ غلظت فسفر اندام هوایی ........................................................ ۵۲

۴-۱-۹ میزان جذب فسفر اندام هوایی ........................................................ ۵۲

۴-۱-۱۰ غلظت فسفر ریشه ........................................................ ۵۳

۴-۱-۱۱ میزان جذب فسفر ریشه ................................................... ۵۵

۴-۱-۱۲ سرب قابل استخراج با کلرید منیزیم ( سرب محلول و تبادلی خاک) ........ ۵۵

۴-۱-۱۳ غلظت سرب اندام هوایی گیاه ............................................ ۵۷

۴-۱-۱۴ میزان جذب سرب اندام هوایی ............................................ ۵۹

۴-۱-۱۵ غلظت سرب ریشه ........................................................ ۶۰

۴-۱-۱۶ میزان جذب سرب ریشه ................................................... ۶۱

۴-۲ گیاه آفتابگردان ................................................................ ۶۳

۴-۲-۱ وزن خشک اندام هوایی ..................................................... ۶۳

۴-۲-۲ وزن خشک ریشه ............................................................ ۶۴

۴-۲-۳ هدایت الکتریکی خاک ...................................................... ۶۶

۴-۲-۴ pH خاک ...................................................................... ۶۷

۴-۲-۵ کلونیزاسیون میکوریزی ..................................................... ۶۸

۴-۲-۶ فسفر محلول خاک ........................................................... ۶۹

۴-۲-۷ فسفر قابل دسترس خاک .................................................... ۷۰

۴-۲-۸ غلظت فسفر اندام هوایی ................................................... ۷۱

۴-۲-۹ میزان جذب فسفر اندام هوایی ............................................. ۷۲

۴-۲-۱۰ غلظت فسفر ریشه ......................................................... ۷۴

۴-۲-۱۱ میزان جذب فسفر ریشه ................................................... ۷۵

۴-۲-۱۲ سرب قابل استخراج با کلرید منیزیم ( سرب محلول و تبادلی خاک) ........ ۷۷

۴-۲-۱۳ غلظت سرب اندام هوایی.......................................................... ۷۹

۴-۲-۱۴ میزان جذب سرب اندام هوایی ................................................... ۸۱

۴-۲-۱۵ غلظت سرب ریشه ................................................................ ۸۲

۴-۲-۱۶ میزان جذب سرب ریشه .......................................................... ۸۴

نتیجه گیری.................................................................................. ۸۵

پیوست........................................................................................ ۸۹

منابع........................................................................................... ۹۵

## فهرست اشکال

شکل ۳-۱- نمایی از گلدان‌های آزمایش در طول فصل رشد......................... ۳۴

شکل ۳-۲- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ............................................ ۳۵

شکل ۴-۱- تاثیر کاربرد کودهای مختلف فسفره بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت ....... ۴۳

شکل ۴-۲- اثر کاربرد تیمار کود فسفره بر وزن خشک ریشه گیاه ذرت...................... ۴۴

شکل ۴-۳- تاثیر کودهای فسفره بر EC خاک رایزوسفر گیاه ذرت ........................... ۴۵

شکل ۴-۴- اثر تلقیح میکوریز برpH خاک رایزوسفر گیاه ذرت.............................. ۴۶

شکل ۴-۵- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر pH خاک رایزوسفر گیاه ذرت..................... ۴۷

شکل ۴-۶- اثر تلقیح قارچ میکوریز بردرصد کلونیزاسیون ریشه گیاه ذرت ..................... ۴۸

شکل ۴-۷- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر میزان فسفر محلول خاک در گیاه ذرت........... ۴۹
شکل ۴-۸- تاثیر کودهای فسفره بر فسفر قابل دسترس خاک در گیاه ذرت ................. ۵۰
شکل ۴-۹- اثراث متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه ذرت..۵۱
شکل ۴-۱۰- اثر متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه ذرت... ۵۳
شکل ۴-۱۱- تاثیر تلقیح میکوریز بر میزان فسفر ریشه گیاه ذرت ............................... ۵۴
شکل ۴-۱۲- اثر متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر غلظت فسفر ریشه گیاه ذرت .... ۵۴
شکل ۴-۱۳- اثر متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه ذرت .. ۵۵
شکل ۴-۱۴- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر سرب قابل دسترس خاک..... ۵۷
شکل ۴-۱۵- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره برغلظت سرب اندام هوایی گیاه ذرت ۵۹
شکل ۴-۱۶- اثرات متقابل میکوریز و کود فسفره بر جذب سرب اندام هوایی گیاه ذرت...... ۶۰
شکل ۴-۱۷- اثرات متقابل قاچ میکوریز و کودهای فسفره بر غلظت سرب ریشه گیاه ذرت .. ۶۱
شکل ۴-۱۸- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر جذب سرب ریشه گیاه ذرت . ۶۲
شکل ۴-۱۹- تاثیر کاربرد کود مختلف فسفره بر وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان.... ۶۴
شکل ۴-۲۰- اثر متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان.... ۶۶
شکل ۴-۲۱- تاثیر کاربرد قارچ میکوریز بر EC خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان............... ۶۷
شکل ۴-۲۲- اثر کاربرد کودهای فسفره بر EC خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان ............... ۶۷
شکل ۴-۲۳- تاثیر کودهای فسفره بر pH خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان....................... ۶۸
شکل ۴-۲۴- اثر تلقیح میکوریز بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه آفتابگردان ................. ۶۹
شکل ۴-۲۵- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر میزان فسفر محلول خاک در گیاه آفتابگردان .. ۷۰
شکل ۴-۲۶- تاثیرکاربرد کود فسفره بر میزان فسفر قابل دسترس خاک در گیاه آفتابگردان. ۷۱
شکل ۴-۲۷- اثرات متقابل قارچ میکوریز وکود فسفره برغلظت فسفر اندام هوایی آفتابگردان ۷۲
شکل ۴-۲۸- اثر تلقیح میکوریز بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه آفتابگردان..................... ۷۳

شکل ۴-۲۹- اثر کاربرد کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر اندام هوایی آفتابگردان ........ ۷۳
شکل ۴-۳۰- تاثیر کاربرد تلقیح میکوریز بر میزان غلظت فسفر ریشه گیاه آفتابگردان ....... ۷۵
شکل ۴-۳۱- اثر کاربرد کودهای فسفره بر غلظت فسفر ریشه گیاه آفتابگردان................ ۷۵
شکل ۴-۳۲- تاثیر تلقیح میکوریز بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه آفتابگردان................ ۷۶
شکل ۴-۳۳- اثر کاربرد کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه آفتابگردان.......... ۷۷
شکل ۴-۳۴- تاثیر میکوریز و کود فسفره بر قابلیت دسترسی سرب خاک در آفتابگردان ..... ۷۹
شکل ۴-۳۵- تاثیر کاربرد قارچ میکوریز بر غلظت سرب اندام هوایی گیاه................... ۸۰
شکل ۴-۳۶- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر غلظت سرب اندام هوایی گیاه آفتابگردان ....... ۸۱
شکل ۴-۳۷- اثر کاربرد کودهای فسفره بر میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه آفتابگردان .. ۸۲
شکل ۴-۳۸- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر غلظت سرب ریشه آفتابگردان ..... ۸۳
شکل ۴-۳۹- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر جذب سرب ریشه گیاه آفتابگردان ۸۴

## فهرست جداول

جدول ۳-۱: نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه ........................................ ۳۱
جدول ۳-۲- مشخصات اسید هیومیک.................................................................... ۳۲
جدول ۳-۳- خصوصیات پودر استخوان مورد استفاده.................................................. ۳۳
جدول ۴-۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه ذرت و خصوصیات خاک کشت شده آن ............ ۹۰
جدول ۴-۲- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه ذرت ........................................... ۹۰
جدول ۴-۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه ذرت ........................................... ۹۱
جدول ۴-۴- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه ذرت ........................................... ۹۱
جدول ۴-۵- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه ذرت ........................................... ۹۲

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه آفتابگردان و خصوصیات خاک کشت شده آن....... ۹۲
جدول ۴-۷- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه آفتابگردان....... ۹۳
جدول ۴-۸- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان....... ۹۳
جدول ۴-۹- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه آفتابگردان....... ۹۴
جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان....... ۹۴

# ۱ فصل یک

## مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند در طبیعت است که بدون وجود آن حیات و زندگی بر روی زمین امکان پذیر نخواهد بود. ۹۵ درصد غذای انسان از آن تهیه می‌گردد. همچنین علاوه بر نقشی که خاک در تداوم حیات به عهده دارد، در پیدایش حیات و تکامل نیز مؤثر بوده است (دبیری، ۱۳۷۵). افزایش توان علمی و فنی بشر از یک سو و افزایش جمعیت از سوی دیگر موجب افزایش دستکاری بشر و جابجایی مواد در کره خاکی گردیده است (الووی، ۱۹۹۵؛ هولدن، ۱۹۸۹). پیشرفت سریع فناوری در دهه‌های اخیر با وجود مزایای فراوانی که برای بشر داشته، منابع طبیعی و اجزا محیط‌زیست را در معرض آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین قرار داده است (خان، ۲۰۰۵).

فلزات سنگین ترکیباتی هستند که بطور طبیعی در خاک وجود دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسان وارد خاک می‌شوند. گداختن فلزات، فعالیت‌های معدن‌کاوی، استفاده از سوخت‌های فسیلی، به کار بردن کودها و حشره‌کش‌ها و تولید فاضلاب‌های شهری از مهمترین فعالیت‌های انسانی است که خاک را با مقادیر زیادی از فلزات سنگین آلوده می‌کنند (سالت و همکاران، ۱۹۹۸؛ بارکر، ۱۹۸۷؛ بروکس، ۱۹۹۸). این فلزات در خاک غیر قابل تجزیه هستند و به علت جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره‌های غذایی به عنوان آلاینده محسوب می‌شوند و سلامتی انسان را به مخاطره می‌اندازند (سالت و همکاران، ۱۹۹۸). آلودگی اراضی کشاورزی به فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، روی و نیکل از منابعی نظیر کودهای شیمیایی فسفاته، کاربرد لجن فاضلاب، پساب‌های شهری و فاضلاب‌های خانگی یکی از مشکلات مهم و تهدیدهای جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان به شمار می‌آید (خان ،۲۰۰۵).

وجود فلزات سنگین در محیط یکی از عوامل محدود کننده رشد گیاهان محسوب می‌شود که در حالت شدید باعث از بین رفتن گیاه می‌شود. با این‌حال، در بسیاری از خاک‌های آلوده به فلز، جمعیت‌ها و گونه‌های گیاهی مقاوم وجود دارند که برخی از این گیاهان توانایی جذب و تجمع فلز را

در بافت‌های هوایی و برگ‌های خود دارند و بنابراین منبع ارزشمندی برای مقابله با آلودگی‌های زیست‌محیطی هستند (سالت و همکاران، ۱۹۹۸؛ بروکس، ۱۹۹۸). درکشورهای در حال توسعه مانند ایران نیز به دلیل فشارهای اقتصادی و صنعتی شدن، آلودگی فلزی رفته رفته به عنوان واقعیتی انکار ناپذیر در آمده است. لذا شناخت مسائل محیط‌زیست و روش‌های حفاظتی پیش از آنکه دیر شده باشد، بسیار ضروری است (خداوردیلو، ۱۳۸۵).

در بین فلزات سنگین، سرب یکی از خطرناک‌ترین فلزات می‌باشد که به‌وسیله گیاهان جذب می‌شود و گیاهان با جذب آن در معرض آلودگی به این عنصر قرار می‌گیرند و با جذب آن علاوه بر این که آسیب‌هایی به خود گیاه وارد می‌گردد، سبب می‌شود تا انسان و دام‌هایی که از این گیاهان تغذیه می‌کنند نیز در معرض خطر آلودگی به این فلز قرار بگیرند (دل ریو سلستینو و همکاران، ۲۰۰۶). اثرات سوء سرب در انسان‌ها به‌خوبی شناخته شده است. به‌طور کلی در اطفال، سبب بروز مشکلاتی از قبیل کاهش بهره هوشی، کند شدن رشد فیزیکی و مشکلات شنوایی می‌شود. در افراد بالغ، ممکن است سبب کم‌خونی، امراض کلیوی، آسیب رساندن به مغز و سیستم عصبی، افزایش فشار خون، و غیر عادی شدن تولیدمثل و متابولیسم ویتامین D و در حالت شدید سبب مرگ گردد (دادکا و همکاران، ۱۹۹۷).

اگر چه پاک سازی خاک از طریق روش‌های فیزیکی و شیمیایی امکان‌پذیر می‌باشد ولی تمام این روش‌ها نیاز به کارشناس و ابزارآلات دارند، از سوی دیگر این روش‌ها می‌توانند سبب از بین رفتن ساختمان خاک و اختلال در فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و آلودگی بخش دیگری از محیط‌زیست شوند (دل ریو سلستینو و همکاران، ۲۰۰۶). روش‌های مختلفی جهت اصلاح خاک‌های آلوده وجود دارد، یکی از روش‌های کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک‌های آلوده، غیرمتحرک نمودن (*Immobilization*) سرب توسط برخی ترکیبات آلی و غیرآلی می‌باشد. از جمله اصلاح‌کننده‌ها، می‌توان به ترکیبات فسفردار اشاره نمود (عباسپور و همکاران، ۲۰۱۰؛ ما و رائو، ۱۹۹۷). ولیکن

مشخص نیست در روش غیرمتحرک کردن سرب توسط ترکیبات فسفردار، گیاهان قادر به جذب سرب می‌باشند یا خیر. عباسپور وگلچین (۲۰۱۰) از دی آمونیوم فسفات، زئولیت و ورمی کمپوست جهت کاهش قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده استفاده نمودند که دی آمونیوم فسفات بیشترین تاثیر را به همراه داشت. ما و رائو (۱۹۹۷) نشان دادند که وجود سنگ فسفات،  سرب قابل دسترس گیاه را کاهش می‌دهد و دامنه این کاهش از ۱۰ تا ۹۶٪ بود.

ریزوسفر زیستگاه مناسبی برای فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی می‌باشد. در این بین قارچ‌های میکوریز از اهمیت خاصی برخوردار هستند. میکوریز، همزیستی ایجاد شده بین ریشه گیاه با یک قارچ می‌باشد و اکثر گیاهان آوندی در این همزیستی شرکت می‌کنند. مهمترین تاثیر قارچ‌های میکوریز، افزایش جذب عناصر غذایی می‌باشد. این افزایش عمدتا به دلیل انتشار ریسه‌های قارچی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه، در فضای پیرامون ریشه و تشکیل یک سیستم جذبی مکمل برای سیستم ریشه گیاه می‌باشد (سلیمان زاده و همکاران، ۱۳۸۸). سیوردینگ (۱۹۹۱) گزارش کرد تاثیر همزیستی میکوریزی در جذب عناصر کم تحرک مانند فسفر که جریان آن به سمت ریشه با مکانیسم پخش و به کندی انجام می‌شود، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. عوامل متعددی بر شدت وابستگی میکوریزی گیاه موثر می‌باشند که از مهمترین آنها می‌توان به نوع گیاه میزبان، گونه قارچ میکوریز و شرایط خاک اشاره کرد (براندت و همکاران، ۱۹۸۸).

در تحقیقات اولیه بر روی میکوریز، عمدتا اثرات مثبت این همزیستی بر تغذیه معدنی گیاهان گزارش می‌شد ولی بعدها به اثرات غیر تغذیه‌ای میکوریز از جمله توانایی دفع یون‌های سمی، کنترل گسترش پاتوژن‌ها، تاثیر بر فتوسنتز و روابط آبی گیاه، افزایش مقاومت گیاه میزبان به فلزات سنگین و .... نیز پی برده شده است (اوگ و همکاران، ۲۰۰۵). در اواخر قرن ۱۹ میلادی گیاه کیسه چوپان (*Thlaspi caerulesens*) جز اولین گونه‌های گیاهی بود که برای تجمع غلظت‌های بالای فلزات در برگ‌ها مورد استفاده قرار گرفت (بیرز، ۱۹۳۵). گلچین و همکاران (۱۳۸۵) گزارش نمودند در

آفتابگردان و کلزا حداکثر میزان تجمع سرب در ریشه و حداقل آن در دانه مشاهده شده است. صفری سنجانی و همکاران (۱۳۹۰) پیامد کاربرد کود مرغی و عصاره آن در خاک برگیاه بهسازی سرب یک خاک آلوده توسط گیاه شاهدانه را بررسی کرده‌اند که میانگین غلظت سرب در گیاه کشت شده در خاک شاهد (کود داده نشده) بیشتر از خاک تیمار شده با عصاره کود مرغی و همچنین غلظت در گیاه کشت شده در خاک تیمار شده با عصاره کود مرغی بیش از کود مرغی بود. حیدری سورشجانی و همکاران (۱۳۹۰) تاثیر کلات کننده‌های شیمیایی و کود دامی بر مقدار استخراج سرب به وسیله گیاه گوجه فرنگی را بررسی کرده‌اند که نتایج نشان داد که نوع و غلظت کلات کننده، اثر آماری معنی داری بر مقدار سرب انباشته شده در ریشه، ساقه و برگ گوجه فرنگی داشته است.

هدف از اجرای این پژوهش بررسی تاثیر کودهای فسفره بر میزان حلالیت و قابلیت دسترسی سرب در خاک‌های آلوده و همچنین میزان توانایی گیاهان آفتابگردان و ذرت همزیست با قارچ میکوریز، در جذب سرب موجود در خاک اصلاح شده با کودهای فسفره می‌باشد.

فرضیات :

۱-کود فسفره باعث کاهش حلالیت و قابلیت دسترسی سرب موجود در خاک آلوده می‌گردد.

۲- همزیستی میکوریزی سبب تغییر در جذب سرب توسط ریشه گیاه می‌شود.

# ۲ فصل دو:کلیات و بررسی منابع

## ۲-۱ آفتابگردان

آفتابگردان با نام علمی هلیانتوس آنوس گیاهی یک ساله از خانواده مرکبه می‌باشد که به صورت بوته‌ای استوار رشد می‌نماید. نام علمی این گیاه از دو واژه یونانی هلیوس به معنی آفتاب و آنتوس به معنی گل گرفته شده است. این گیاه داری یک ریشه اصلی عمقی بوده که در محدوده زیر یقه و در سطح الارض حاوی شبکه ریشه قوی افشان است، همچنین دارای ساقه‌ای قطور با مقطعی گرد و تاردار است ( آلیاری و شکاری، ۱۳۷۹).

این گیاه دارای برگ‌های قلبی شکل، مضرس و تاردار است و به طور متوسط طولی برابر ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر دارند. میوه آفتابگردان از نوع فندقه است که به رنگ‌های سیاه، خاکستری با خطوط سفید مشاهده می‌شود. (سعادت لاجوردی، ۱۳۷۹؛ آلیاری و شکاری ۱۳۷۹). تاریخ ورود آفتابگردان به ایران دقیقاً مشخص نیست لیکن کشت آن به منظور آجیل از حدود یک قرن پیش در مناطق آذربایجان غربی معمول بوده است. آفتابگردان در اغلب مناطق معتدله به خوبی می‌روید و خصوصیات مختلف فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی این گیاه در تطبیق پذیری وسیع آن دخالت دارد.

## ۲-۲ ذرت

ذرت گیاهی متعلق به تیره غلات *Poaceae*، جنس *Zea*، گونه *mays* و با نام علمی *Zea mays* L. می‌باشد که تاکنون ۵۰۷ گونه آن شناخته شده است. این گیاه از لحاظ فتوسنتزی گیاهی چهار کربنه و از گیاهان گرمسیری و روزکوتاه می‌باشد که عملکرد آن در مناطق معتدله بیشتر است (پورصالح، ۱۳۷۳). دارای ساقه استوانه‌ای که در مقطع عرضی بیضوی است، می‌باشد وبرگ‌ها از غلاف و پهنک تشکیل یافته‌اند (راشد محصل و همکاران، ۱۳۷۶). تاریخچه دقیق ورود این گیاه به ایران نیز دقیقاً مشخص نیست و درباره نحوه ورود آن به ایران گفته‌ها متفاوت است. برخی معتقدند که این گیاه توسط پرتغالی‌ها از جنوب ایران وارد شده است و ابتدا در همان جا کشت می‌شده است. برخی دیگر نیز ورود ذرت را به دوران شاه اسماعیل صفوی نسبت می‌دهند (میرهادی، ۱۳۸۰). ذرت یکی از

گیاهان با ارزش علوفه‌ای است که تنوع، سازگاری بالا و ارزش غذایی فراوانش آن را در ردیف مهمترین گیاهان زراعی جهان قرار داده است. سطح زیر کشت، میزان تولید در هکتار و مقدار مصرف ذرت، در طی سال‌های اخیر در اغلب کشورهای جهان افزایش شدیدی یافته به نحوی که در بین غلات مقام سوم را پس از گندم و برنج کسب نموده است. ( تاج بخش، ۱۳۷۵).

## ۲-۳ خاک و اهمیت آن

خاک مهم‌ترین زیر بنای تمدن هر کشور و ماده زندگی‌ساز می‌باشد که بدون آن زندگی بشر غیرممکن است. این ماده زندگی‌ساز گرچه منظری زیبا ندارد و همه از گرد و غبار آن گریزانند ولی زندگی صدها میلیون انسان در رابطه مستقیم با خاک و کشاورزی است و آن را تنها عامل بقا و ثروت خود می‌دانند. از آن‌جایی‌که گیاه در خاک رویش می‌یابد، مهم‌ترین منبع تامین کننده غذا، مسکن و پوشاک بشر می‌باشد. از دیدگاه جهانی پس از آب و هوا، پوسته خاک سومین جزء عمده محیط‌زیست انسان تلقی می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۲۰۰۹).

## ۲-۴ آلودگی خاک

هر گونه تغییر در ویژگی اجزای تشکیل دهنده خاک به طوری که استفاده از آن را ناممکن سازد، آلودگی خاک نامیده می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۲۰۰۹). با وجود اینکه خاک منبع اصلی تولید غذا و دیگر مواد خام برای انسان محسوب می‌گردد، اما امروزه از آن برای دفع ضایعات شهری وصنعتی بویژه در کشورهای صنعتی استفاده می‌شود. آلودگی خاک خطرات روزافزونی برای سلامتی انسان‌ها و محیط‌زیست دارد (لاپرچ و همکاران، ۱۹۹۷). روند فعلی فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی بشر امروزه، خطر جدی برای آلوده کردن محیط زیست بشمار می‌آیند. (الووی، ۱۹۹۵؛ هولدن، ۱۹۸۹).

## ۲-۵ انواع آلاینده‌ها

### ۲-۵-۱ آلاینده‌های آلی

از مهمترین آن‌ها می‌توان به هیدروکربن‌های نفتی، آفت کش‌ها، حلال‌های کلره، بقایای چوب و مواد دیگر اشاره نمود (پیوتز، ۲۰۰۱).

### ۲-۵-۲آلاینده‌های غیر آلی

شامل فلزات و غیرفلزات، متالوئیدها و مواد رادیواکتیو می‌باشند (پیوتز، ۲۰۰۱). در کشورهای اتحادیه اروپا میزان آلودگی با فلزات بیشتر از ۳۷ درصد، مواد معدنی روغنی در حدود ۳۳ درصد و آلودگی توسط هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای چیزی در حدود ۱۳/۳ درصد می‌باشد (EEA، ۲۰۱۰).

### ۲-۵-۲-۱ عناصر سنگین و مضرات آن

از جمله مهمترین آلاینده‌های محیط‌زیست عناصر سنگین می‌باشند که در چند دهه اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. این عناصر در خاک، بویژه در زمین‌های کشاورزی، به تدریج تجمع یافته و می‌تواند به سطوحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه هزاران تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است وارد خاک می‌شود. به عنوان مثال سالانه بیش از ۳۸ هزار تن کادمیوم و ۱ میلیون تن سرب از منابع مختلف به خاک اضافه می‌شود (الووی، ۱۹۹۵؛ هولدن، ۱۹۸۹). استخراج معادن، ذوب فلزات و مصرف سوخت‌های فسیلی بیشترین منابع آلودگی خاک هستند. هر ساله نیز مقادیر قابل توجهی لجن فاضلاب، پساب و کمپوست ضایعات شهری به خاک افزوده می‌گردد. از منابع دیگر آلودگی خاک به عناصر سنگین، می‌توان به گرد و غبار اتمسفری حاصل از کارخانجات تولید انرژی و کارخانجات صنعتی اشاره کرد (الووی، ۱۹۹۰؛ کیواواویلر، ۱۹۹۸).

این فلزات شامل ۵۳ عنصر بوده و در رده‌بندی عناصر دارای جرم اتمی بالای ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار می‌گیرند (هولمان و همکاران، ۱۹۹۵). بیش از دو قرن است که پراکنش فلزات سنگین سمی از منابع طبیعی و فعالیت‌های انسان به طور آشکاری افزایش یافته و مناطق بسیاری را آلوده کرده است (اوانجلو، ۲۰۰۴؛ کلمنز، ۲۰۰۶).

فلزات سنگین به طور مداوم از طریق فعالیت‌های کشاورزی مانند کاربرد طولانی مدت فاضلاب‌های شهری در اراضی کشاورزی، استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی، همچنین فعالیت‌های صنعتی، پسماندها، سوزاندن بقایا و دود حاصل از وسایل نقلیه به خاک اضافه می‌شوند. این امر سبب تجمع فلزات و شبه فلزات در خاک‌های کشاورزی شده و در پی آن تهدید امنیت غذایی و ایجاد خطرات بالقوه بهداشتی به دلیل انتقال آن‌ها از خاک به گیاه را به دنبال خواهد داشت (یانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ خان، ۲۰۰۶). سمیت بالای فلزات سنگین در غلظت های کم برای زیست‌بوم ، تجزیه ناپذیری و تأثیرپذیری اندک آن‌ها از بوم سازگان اهمیت آلودگی به این عناصر را نشان می‌دهد (لسمانا و همکاران، ۲۰۰۹).

این عناصر شامل دو گروه کلی می‌باشند:

۱- عناصر ضروری: گیاهان به مقدار خیلی جزئی به آن نیاز دارند و در متابولیسم‌های گیاهی دخالت دارند ولی در صورت داشتن غلظت بالا سمی به‌شمار می‌آیند، نظیر Fe، Ni، Mn، Cu و Zn (یانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

۲- عناصر غیر ضروری: وجود آن ها برای رشد گیاهان لازم نیست و سمی می باشند مانند Pb، As، Hg، Se، Sr، Co و Cs (مکینتایر، ۲۰۰۳).

### ۲-۵-۲-۲ پراکنش برخی فلزات سنگین در خاک‌های ایران

با تجزیه نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از زمین‌های کشاورزی مجاور کارخانجات استان

زنجان، گلچین (۱۳۸۲) مقدار کادمیوم کل و قابل استخراج با DTPA[1] را به ترتیب بین ۱۰ تا ۳۲۳۳ و ۳ تا ۴۷ و مقدار سرب کل و قابل استخراج با DTPA را به ترتیب ۵۹ تا ۱۵۸۵۰ و ۰/۵ تا ۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کرد که نشان‌دهنده آلودگی شدید خاک‌های مطالعه شده به عناصر مذکور می‌باشد.

جهت تهیه نقشه آلودگی سرب و کادمیوم، امینی و همکاران (۲۰۰۵)، ۲۵۵ نمونه تصادفی از ۶۸۰۰ کیلومترمربع خاک‌های نواحی استان اصفهان جمع‌آوری نمودند. آن‌ها مشاهده کردند که کادمیوم کل بیش از ۸۹ درصد خاک‌ها بیشتر از مقدار مجاز سوئیس[2] ( برای کادمیوم و سرب به ترتیب ۰/۸ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ) بود. برای سرب این مقدار کمتر از ۵ درصد بود. افیونی و همکاران (۱۳۷۹) با تحقیق بر خاک‌های اطراف اصفهان گزارش کردند که مقدار کادمیوم بین ۰/۲ تا ۳/۶ و سرب کل بین ۳/۴ تا ۶۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. غلظت کادمیوم و سرب قابل استخراج با DTPA در خاک‌های خرمشهر به ترتیب ۰/۰۶ تا ۲۴ و ۰/۸ تا ۱۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (امینی و همکاران، ۲۰۰۵).

## ۲-۶ سرب

یکی از سمی‌ترین عناصرسنگین برای انسان خصوصاً اطفال سرب می‌باشد. این عنصر با ورود به محیط، نهایتاً به زنجیره غذایی وارد و مسمومیت شدید حیوانات و انسان‌ها را باعث می‌گردد (باسک و همکاران، ۱۹۹۳). همچنین در اولویت بندی سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا (EPA) بین مضرترین فلزات جهان این عنصر در رده دوم قرار دارد (لیو و همکاران، ۲۰۰۶).

سرب جز عناصر شیمیایی واسطه در جدول تناوبی است و در رده بندی فلزها قرار دارد. این عنصر در جدول تناوبی با عدد اتمی ۸۲ و نشان Pb وجود دارد. عنصری سنگین، سمی و چکش خوار است که دارای رنگ خاکستری مایل به کدر می‌باشد. بیشترین استفاده جهانی از سرب در باطری‌ها

---

[1] 1- diethylene triamine pentaacetic acid

[2] 2 - Swiss guide value

می‌باشد. همچنین از این عنصر در لحیم کاری، آلیاژها، وزنه‌های سربی، مواد شیمیایی، کابل‌ها، پشم سربی و بنزین نیز استفاده می‌شود (کاباتا پندیاس و موخرجی، ۲۰۰۷).

### ۲-۶-۱ سرب در اتمسفر

سرب موجود در اتمسفر اطراف کره زمین بیشتر نتیجه استفاده از ترکیبات سرب در سوخت وسایل نقلیه است. استفاده از تترا اتیل سرب، تترا متیل سرب، برمید اتیلن، برمید اتیل و دیگر ترکیبات با مقدار سرب حدود ۰/۷۸ گرم در لیتر که منجر به انتشار برمید و اکسید سرب از اگزوز ماشین‌ها می‌شود (کیواواویلر، ۱۹۸۰). در سال ۱۹۷۰ در آمریکا، ماشین‌ها سالیانه حدود ۲۵۰۰۰۰ تن تترا اتیل سرب مصرف می‌نمودند. سرب منتشرشده از اگزوز ماشین‌ها عمدتاً به شکل نمک‌های هالیدی نظیر $PbBrCl$، $PbBr^+$، $Pb(OH)Br$، $Pb(O)_2PbBr_2$ است. این ذرات سرب منتشر شده معمولاً ناپایدار بوده و به راحتی به اکسیدها و کربنات‌ها و سولفات‌های سرب تبدیل می‌گردد (کیواواویلر، ۱۹۸۰؛ مک لافلین، ۱۹۹۴).

### ۲-۶-۲ سرب در خاک

در شرایط طبیعی زمین پایدارترین ترکیب سرب مخصوصاً در شرایط اسیدی، فسفات سرب است. حلالیت سرب در خاک‌های آهکی، بوسیله کربنات سرب کنترل می‌شود و در خاک‌های غیر آهکی، به‌وسیله $Pb(OH)_2$، $Pb_3(PO_4)_2$، $PbO(PO_4)_2$ و یا $Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ مهار می‌شود که بستگی به پ‌هاش خاک دارد. در پ‌هاش کمتر از ۶، تبادل یونی مهمترین فرآیند در نگهداری سرب در خاک است. سرب می‌تواند در مقادیر بیشتر از ظرفیت تبادل کاتیونی جذب گردد. احتمالاً تشکیل گونه‌های هیدروکسید نظیر $Pb(OH)^+$ یا رسوب هیدروکسیدهای سرب دو ظرفیتی در این پدیده نقش دارد (نیجو و همکاران، ۱۹۹۹).

### ۲-۶-۲-۱ منشأ طبیعی

سرب (Pb) با مقدار معمول ۲ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کم‌تحرک‌ترین عنصر در بین عناصر سنگین، محسوب می‌شود (چارلاتچکا و همکاران، ۲۰۰۰). میانگین غلظت آن در قشر پوسته زمین حدود ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است. دو نوع سرب در محیط شناخته شده است:

۱) سرب اولیه که منشأ زمین‌شناسی داشته و از ترکیب شدن سرب با ترکیبات دیگر، کانی‌های متفاوتی را ایجاد می‌نماید.

۲) سرب ثانویه که منشأ رادیواکتیو داشته و از تجزیه اورانیوم و تالیم تولید می‌گردد. از نسبت سرب با منشأهای گوناگون برای ردیابی کانی‌های اولیه استفاده می‌شود (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷).

### ۲-۶-۲-۲ منشأ انسانی

در خاک‌های غیرآلوده غلظت سرب کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، اما در نواحی آلوده غلظت‌های ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر غلظت طبیعی آن نیز در خاک وجود دارد (نیجو و همکاران، ۱۹۹۹). سرب می‌تواند از منابع مختلفی وارد چرخه حیات شده و سبب آلودگی محیط‌زیست گردد و در زندگی جانداران اختلالاتی به وجود آورد. سرب موجود در خاک، آب، هوا در نتیجه فعالیت‌های بشری از جمله کاربرد سموم کشاورزی، پسماندهای شهری، لجن فاضلاب‌های شهری، کارخانجات ذوب فلزات و معادن حاصل می‌شود (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷).

### ۲-۶-۲-۳ گونه‌های سرب در محلول خاک

از گونه‌های هیدرولیزی مهم سرب در محلول خاک می‌توان به $PbOH^+$ اشاره نمود که در پ‌هاش ۷/۷ ، غلظت آن برابر غلظت کاتیون آزاد دو ظرفیتی سرب خواهد بود و در پ‌هاش بیشتر از ۷/۷ غلظت این گونه از $Pb^{2+}$ تجاوز می‌نماید (آندرسون و همکاران، ۲۰۰۰).

پایداری کمپلکس‌های یون‌های هالید با سرب با کاهش عدد اتمی هالیدها کاهش می‌یابد. اگر غلظت یون یدید در محلول خاک حدود $۱۰^{-۲}$ مولار باشد غلظت کمپلکس $PbI^-$ تا حدودی برابر با غلظت یون آزاد دو ظرفیتی سرب خواهد بود و کمپلکس‌های برمید و کلرید سرب به مراتب غلظت کمتری در محلول خاک خواهند داشت. در خاک‌هایی که غلظت یون سولفات زیاد است، کمپلکس $PbSO_4^0$ سهم بالایی از سرب کل محلول خاک را به خود اختصاص خواهد داد (آندرسون و همکاران، ۲۰۰۰).

### ۲-۶-۳سرب در گیاه

گیاهان به علت حلالیت خیلی کم سرب در خاک قادر به جذب مقدار زیاد آن نمی‌باشند و عمده سرب موجود در خاک برای گیاه غیرقابل استفاده است. در پژوهشی جذب سرب بوسیله گیاه جو مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که تنها ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۵ ٪ سرب کل خاک توسط گیاهان جذب شد (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷). علی‌رغم گزارش‌های متعدد در مورد جذب اندک سرب بوسیله گیاهان، ولی بعضی گونه‌ها نظیر تالاسپی، ذرت و آفتابگردان مقادیر قابل توجهی سرب را در بافت‌های خود خصوصاً در ریشه ذخیره می‌کنند. این عنصر عمدتاً از طریق تارهای کشنده جذب شده و به مقدار قابل توجهی در دیواره سلولی ذخیره می‌گردد. در تحقیقی مشاهده شد که جذب سرب بوسیله گیاهان به طور غیر فعال صورت می‌گیرد و مقدار جذب نیز با کاهش دما و آهک دهی کم می‌شود (زیمدال و کوپه، ۱۹۷۷). اخیراً قابلیت استفاده ترکیبات آلی سرب (عمدتاً سرب آلکیل‌دار) و اثرات سمی آن بر روی گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. معمولاً تترا آلکیل‌های سرب در خاک سریعاً به ترکیبات محلول سرب تبدیل شده و به آسانی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. از این جهت گیاهان رشدیافته در این خاک‌ها دارای مقادیر سرب نسبتا بالایی در اعضای رویشی وزایشی خود هستند (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷). زیمدال و کوپه (۱۹۷۷) نشان دادند که در شرایط خاص، سرب در داخل گیاه متحرک است و قادر است از خاک به بخش‌های خوراکی گیاهان انتقال یابد. همچنین آن‌ها بیان نمودند عامل اصلی در انباشتگی سرب در بافت‌های ریشه‌ای، رسوب سرب مخصوصاً بصورت پیرو فسفات سرب در طول

دیواره سلولی است. همچنین ترکیبات سرب رسوب یافته در ریشه ها، ساقه ها و برگ ها نشان داد که انتقال و رسوب سرب در بافت‌های گیاهی مختلف دارای روند مشابهی است. گزارش‌های متعددی در مورد اثرات سمی سرب بر فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، تقسیم سلولی و جذب آب وجود دارد. سرب در تنفس و فتوسنتز گیاهان به علت ایجاد اختلال درفرایند انتقال الکترون مساله ساز می‌باشد. این واکنش‌ها حتی در غلظت‌های کمتر از ۱ میکروگرم بر گرم سرب در میتوکندری ذرت کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت سرب به حدود ۱ میکروگرم بر گرم در برگ‌های آفتابگردان، فرایند فتوسنتز به حدود نصف کاهش می‌یابد.. مخربترین اثر سرب بر ساختمان گیاه، تخریب پلاسمالما است به گونه‌ای که با تأثیر بر قابلیت نفوذ آب منجر به اختلال در رشد گیاه می‌گردد (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷). لان و همکاران گزارش کردند که سرب با ترکیبات در دیواره سلولی خصوصاً با اسید پکتیک پیوند قوی برقرار کرده و تأثیر قابل ملاحظه ای بر خاصیت انعطاف پذیری و شکل‌پذیری دیواره سلولی دارد. دامنه طبیعی غلظت سرب در گیاهان از ۰/۲ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد بحرانی آن ۳۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (چارلاتچکا و همکاران، ۲۰۰۰).

### ۲-۶-۴سرب در انسان

سرب در آب، غذا و هوا یافت می‌شود و راه‌های انتقال آن به انسان و تأثیر آن در افراد مختلف متفاوت است. به عنوان مثال، جنین انسان از طریق جفت خود و یا اطفالی که از شیر مادر تغذیه می‌نمایند، می‌توانند در معرض خطر آلودگی به سرب قرار گیرند. این عوامل ممکن است منجر به بروز اثرات زیان‌باری در طول دوره رشد اطفال گردد. در مورد افراد مسن، آزاد شدن سرب در استخوان در اثر حل شدن ترکیبات موجود در آن در نتیجه پوکی استخوان یا حل شدن ترکیبات موجود در اسکلت افراد مسن باعث انتقال آن به برخی از اعضای مهم بدن نظیر کلیه و مغز می‌شود (نیجو و همکاران، ۱۹۹۹).

### ۲-۶-۴-۱ سرب در زنجیره غذایی

سرب پس از ورود به بدن انسان به طور عمده در استخوان و همچنین در کلیه و کبد انباشته می‌شود. یک منبع ذخیره ای کوتاه مدت برای سرب، خون می‌باشد که معیار مفیدی در سنجش مقدار آلودگی افراد به سرب به شمار می‌رود (نیجو و همکاران، ۱۹۹۹). عمده مسمومیت اطفال با سرب در اثر مصرف آن از محیط از طریق گردوغبار، خاک، ذرات رنگ، سرامیک، آب آشامیدنی و داروهای خاص است (نیجو و همکاران، ۱۹۹۹). در افراد مسن، مسمومیت با سرب عمدتاً در اثر استشمام در محیط کار، محیط‌های پر رفت‌وآمد، نواحی صنعتی و مصرف آن از طریق غذا و آب آشامیدنی است (وانگ و سلیم، ۲۰۰۳).

### ۲-۶-۴-۲ تاثیر سرب بر سلامتی انسان

مهمترین اثر سرب در اطفال، ایجاد اختلال در سیستم عصب مرکزی است. این عنصر می‌تواند سبب تأخیر در رشد فیزیکی، کاهش ضریب هوشی و تغییر رفتار اطفال گردد. این اثرات هنگامی رخ می‌دهد که مقدار سرب در خون اطفال به حدود ۲۰-۱۰ میکروگرم در دسی لیتر برسد. محققان مشاهده کردند، هنگامی که مقدار سرب خون به ۱۰ میکروگرم در دسی لیتر برسد اختلال در رفتار و رشد فکری اطفال، کاهش دوره حاملگی در زنان آبستن و کاهش وزن نوزاد را به همراه خواهد داشت. در مطالعه انجام شده با اشخاصی که در مجاورت معدنی در لهستان زندگی می‌کردند، مشخص شد که غلظت سرب خون اطفال ۸-۶ ساله ۲۶٪ و اطفال ۱۵-۱۴ ساله ۱۱٪ بیشتر از مقدار حد مجاز آن یعنی ۲۰ میکروگرم در لیتر بوده است (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷). در صورتی که غلظت سرب در خون این افراد از حد ۲۰ میکروگرم در دسی لیتر بالاتر رود افزایش فشار خون را به دنبال دارد. علایم اصلی مسمومیت افراد مسن با سرب، دربرگیرنده اختلالات گوارشی نظیر کاهش اشتها، سوء هاضمه، یبوست و شکم درد و علایم عصبی نظیر پرخاشگری، اغماء، تشنج و علایم دیگر نظیر درد مفصل و ماهیچه، خستگی و رعشه است (نیجو و همکاران، ۱۹۹۹). بطور کلی در اطفال، سرب سبب بروز مشکلاتی از

قبیل کاهش بهره هوشی، کند شدن رشد فیزیکی و مشکلات شنوایی می‌گردد. در افراد بالغ، ممکن است سبب کم خونی، امراض کلیوی، آسیب رساندن به مغز و سیستم عصبی، افزایش فشار خون، غیر عادی شدن تولید مثل و متابولیسم ویتامین D و در حالت شدید سبب مرگ گردد (وانگ و سلیم، ۲۰۰۳).

## ۲-۷ روش‌های پاک‌سازی و اصلاح خاک‌های آلوده

### ۲-۷-۱ روش های بیولوژیکی

روش‌های مختلفی برای مدیریت و اصلاح زیستی (*Bioremediation*) خاک‌ها و آب‌های آلوده به عناصر سنگین به وسیله محققین مورد استفاده قرار گرفته است (اسپارکس، ۱۹۹۵).

زیست پالایی تکنولوژی استفاده از ویژگی‌های رشدی میکروارگانیسم‌ها (قارچ‌ها و باکتری‌ها) و یا گیاهان به منظور تسریع تجزیه و تغییر در مواد آلی و معدنی در مناطق با آلودگی بالا می‌باشد که امروزه در رفع آلودگی خاک بسیار مطرح است (پالفورد و واتسون، ۲۰۰۳).

با توجه به معایب روش‌های غیربیولوژیک استفاده از روش‌های بیولوژیکی مانند استفاده از گیاهان فراانباشگر و میکروارگانیسم‌های خاک، در کاهش استرس عناصر سنگین امید بخش می‌باشند (هرناندز و همکاران، ۲۰۰۶؛ مک گراث و همکاران، ۲۰۰۶).

### ۲-۷-۲روش‌های غیربیولوژیکی

که شامل روش‌های فیزیکی و برداشت خاک آلوده و خاک برداری و انتقال لایه‌های خاک، تثبیت شیمیایی و استفاده از جاذب‌های مختلف برای تثبیت عنصر آلاینده از خاک و یا حذف عنصرآلاینده از آب، تجزیه عناصر سنگین توسط هوادهی، درآمیختن خاک آلوده با آسفالت و شستن خاک‌های آلوده با محلول‌هایی از اسیدها و کلات کننده‌های قوی در خاک می‌باشد (بارگاوا و همکاران، ۲۰۱۲؛ اسپارکس، ۱۹۹۵). این روش‌ها دارای کارآمدی کم و هزینه بالا بوده و سبب تخریب ساختمان

و کاهش حاصلخیزی خاک می‌شوند و تا حد زیادی وابسته به نوع آلاینده‌ها، ویژگی‌های خاک و شرایط محل مورد نظر می‌باشند. (هه و یانگ، ۲۰۰۷).

## ۲-۸ قارچ‌های میکوریز

### ۲-۸-۱ تاریخچه

همزیستی قارچ با گیاهان از حدود یک قرن پیش مشخص شده و تا امروز اطلاعات فراوانی در مورد ویژگی‌های ساختاری، پراکنش، فیزیولوژی و بوم‌شناسی این همزیستی به دست آمده است. همزیستی قارچ های میکوریزی از ۴۶۰ میلیون سال قبل، ابتدا در بازدانگان و خانواده سرخس‌ها و سپس در اکثر پوشش‌های زمینی صورت گرفت (رد و همکاران، ۲۰۰۰). فرانک گیاه‌شناس آلمانی در سال ۱۸۸۵ کلمه‌ی یونانی Mycorrhizae را که به معنی قارچ ریشه است، به کاربرد که از دو بخش Myco به معنای قارچ و Rhizae به معنی ریشه تشکیل شده است. همزیستی میکوریزی از رایج‌ترین و سابقه‌دارترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان است و یکی از مهمترین انواع میکوریزها، میکوریز آرباسکولار (AM) می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت فوق‌العاده زیادی دارد و به عنوان یک نوع کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی با اهمیت می‌باشد، زیرا ریشه اغلب گیاهان مرتعی، زراعی و باغی با میکوریز همزیست هستند ( شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

### ۲-۸-۲ تقسیم بندی و وظایف قارچ های میکوریز

بر اساس تفاوت‌های مورفولوژیک میکوریز به دو دسته کلی اکتومیکوریز و اندومیکوریز تفکیک شده‌اند، که در حالت اندومیکوریز میسیلیوم قارچ به داخل بافت ریشه و سلول‌های روپوست و پوست نفوذ می‌کند، ولی هیچ نوع میسیلیومی بر سطح ریشه مشاهده نمی‌شود. در نتیجه هیف‌ها در داخل و یا در فضای سلول‌های میزبان قرار می‌گیرند. این قارچ به آندودرم و استوانه آوندی و مریستم‌های ریشه نفوذ نمی‌کند. در همه‌ی قارچ‌های میکوریز آرباسکولار، هیف داخل سلول می‌تواند ساختاری

مشابه با مکنده ایجاد کند که از نظر شکل ظاهری درختچه مانند است و آرباسکول نامیده می‌شود و وظیفه‌ی آن تبادل مواد غذایی مابین قارچ و گیاه میزبان است (اسمیت و رید، ۲۰۱۰). به غیر از آرباسکول، وزیکول‌ها که اندام‌های بیضوی یا تخم‌مرغی شکل و غنی از ترکیبات لیپیدی با دیواره نازک هستند، از متورم شدن سلول‌های میانی یا انتهایی هیف‌های درون ریشه‌ای تشکیل می‌شوند که در برخی جنس‌ها دیده نمی‌شود. استقرار میکوریز در ریشه باعث تغییر فیزیولوژیکی گیاه می‌شود مانند تغییر در ترکیب عناصر در بافت‌های گیاهی، تعادل هورمونی و الگوی تخصیص منابع کربن، همچنین قارچ ترکیب ترشحات ریشه را تغییر می‌دهد و گسترش میسیلیوم‌ها در خاک به عنوان منبعی از کربن برای جوامع میکروبی خاک عمل می‌کند و باعث تغییر فیزیکی محیط خاک می‌شود (گریندر، ۲۰۰۰).

همزیستی قارچ‌های میکوریز با ۸۰ تا ۹۰ درصد گیاهان اکوسیستم‌های خشکی و جنگل‌ها مشاهده می‌شود (بران درت، ۲۰۰۲). نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه گیاهان میکوریزی بیش از گیاهان غیر میکوریزی است که این امر در اثر افزایش سطح موثر ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی می‌باشد. همچنین هدایت آبی در واحد طول ریشه گیاهان میکوریزی می‌تواند ۲ تا ۳ برابر گیاهان غیر همزیست افزایش یابد (ترو و لویانچان، ۲۰۰۳). همزیستی قارچ میکوریز روابط آبی گیاه میزبان را از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کاهش مقاومت روزنه‌ای و تغییر در تعادل هورمون های گیاهی بهبود می‌بخشد ( آلکاراکی و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین قارچ‌های میکوریز با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه باعث بهبود استقرار گیاه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی مخصوصاً فسفر، روی، مس و نیتروژن (کلارک و زتو، ۲۰۰۰) و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده (باسکوت، ۲۰۰۵؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸) می‌شوند. همچنین همزیستی میکوریز باعث تغییرات وسیع شاخص‌های مورفولوژیکی ریشه به ویژه افزایش شاخه‌دهی ریشه می‌شود (برتا و همکاران، ۲۰۰۲).

بطور کلی قارچ‌های میکوریز سبب افزایش جذب آب و املاح غذایی از خاک، کاهش استرس

گیاهان در خاک‌های آلوده، بهبود ساختار خاک، تولید برخی از مواد ترکیب شونده با عناصر (سیستئین، گلوتاتیون و گلومالین)، کاهش اثر پاتوژن‌های بیماری‌زا و ایجاد رابطه با سایر میکروارگانیسم‌ها و بهبود کارایی تلفیقی با آن‌ها می‌شود(میر انصاری، ۲۰۱۱؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۷).

### ۲-۸-۳ تاثیر و نقش میکوریز در خاک‌های آلوده

در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، حضور ریزجاندارانی مانند قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در رایزوسفر، می‌تواند فراهمی و سمیت فلزات سنگین را برای گیاه تغییر دهد و از این طریق نقش مهمی در گیاه‌پالایی داشته باشد (بیرو و تاکاس،۲۰۰۷ ). قارچ میکوریز آربوسکولار نقش اکولوژیک قابل توجهی در تثبیت فلزات سنگین توسط گیاه در خاک‌های آلوده به این فلزات با ایجاد کمپلکس، ایفا می‌کند و به نوبهٔ خود به بقای گیاهان میکوریزی کمک می‌کند .از طرف دیگر، برخی گزارش‌ها حاکی از افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان میکوریزی است که در این صورت از جهت استخراج فلزات از خاک توسط گیاه حایز اهمیت بوده و برای اصلاح خاک‌های آلوده مفید خواهد بود (خان، ۲۰۰۶). اگرچه نتایج آزمایش‌های انجام یافته در زمینهٔ قارچ‌های میکوریز و فلزات سنگین، متنوع و وابسته به شرایط آزمایش از جمله ویژگی‌های بستر رشد، نوع گیاه و گونهٔ قارچ همزیست می‌باشد ولی به طور کلی، به نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادر به تعدیل سمیت ایجاد شده توسط فلز سنگین برای گیاه می‌باشند (بیرو و تاکاس، ۲۰۰۷ ).

همچنین ریسه‌های قارچ میکوریز، فلزات سنگین را درون خود نگه می‌دارد که می‌تواند باعث کاهش حرکت آن‌ها به داخل گیاه میزبان و مسمومیت کمتر آن شده و بنابراین به تحمل تنش کمک می‌کنند. مکانیزم‌های رفع مسمومیت، ممکن است گیاهان و قارچ‌ها را برای اجتناب از اثرات سمی فلزات سنگین قادر سازد (انتری و همکاران، ۱۹۸۷؛ جونز و هاتچینسون، ۱۹۸۷).

## ۲-۹ فسفر

### ۲-۹-۱ اهمیت فسفر

فسفر بعد از ازت مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد .مقدار فسفر در خاک‌های مختلف متفاوت است ولی به طور کلی در خاک‌های جوان و بکر نواحی خشک بیشتر است. این عنصر در ترکیبات انرژی‌زا، کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی و ساخت غشاءهای سلول و انتقال انرژی دخالت دارد. خصوصیاتی مانند pH، کاتیون‌های محلول و تبادلی (مانند $Ca^{+2}$،$Mg^{+2}$،$Fe^{+2}$،$Al^{+3}$)، نوع ذرات و سطح آن‌ها، اشکال مختلف فسفر در خاک را تعیین می‌کنند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

### ۲-۹-۲ نقش فسفر در اصلاح خاک‌های آلوده

در برخی مطالعات، برای غیرمتحرک نمودن سرب در خاک از ترکیبات فسفردار، کانی‌های حاوی آهن و منگنز و حتی ترکیبات آلی استفاده می‌گردد. افزودن ترکیبات فسفردار به خاک نظیر هیدروکسی آپاتیت ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) باعث تشکیل کانی‌های کم محلول‌تر سرب نظیر هیدروکسی پایرومورفیت ($Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) و کلروپایرومورفیت ($Pb_{10}(PO_4)_6(Cl_2)$) می‌گردد (یان و اسکابرت، ۲۰۰۰).

مکانیسم کاهش فعالیت سرب توسط ترکیبات آلی و ترکیبات منگنز و آهن دار به خوبی شناخته نشده است. به نظر می‌رسد که واکنش‌های جذب سطحی و به دنبال آن واکنش‌های رسوب باعث کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک می‌گردد (لاپرچ و ترینا، ۱۹۹۸). در پژوهشی اضافه کردن فسفات به یک خاک آلوده به سرب سبب کاهش سرب محلول در خاک گردید. همچنین سرب همراه با اکسیدها و کربنات‌ها را کاهش داد، ولی بخش همراه با مواد آلی و بخش باقیمانده افزایش یافت (سیلویرا و سامرز، ۱۹۷۷).

دی آمونیوم فسفات یکی از کودهای فسفره محلول در آب است که از واکنش آمونیاک و اسید

فسفریک حاصل می‌شود که حاوی ۱۸-۲۱٪ N و ۲۰-۲۳٪P  (۴۶-۵۳٪ P2O5) می‌باشد. بکار بردن این کود می‌تواند سبب کاهش  جزئی  pH خاک گردد.

## ۲-۱۰اسید هیومیک

### ۲-۱۰-۱-۱ تاریخچه شناسایی مواد هیومیکی

در سال ۱۷۸۶ میلادی اسید هیومیک نخستین بار توسط دانشمند آلمانی تبار به نام آکارد طی جداسازی ترکیبات تورب معرفی گردید. در پی آن وائوکولیئن در سال۱۷۹۷ آن را از مواد گیاهی استخراج نمود. کارایی و اهمیت اسید هیومیک در کشاورزی توسط سائوسور در سال ۱۸۰۴ و دوبرینر در سال ۱۸۲۲ مشخص گردید. نخستین مقاله رسمی درمورد اسید هیومیک توسط اسپرینگر در سال ۱۸۲۶ انتشار یافت که درآن اسید هیومیک را از طریق مواد قلیائی استخراج نموده بودند (جیهونی، ۱۳۸۹).

### ۲-۱۰-۲  شناخت و اهمیت اسیدهیومیک

در صورت مناسب بودن شرایط برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها (یعنی گرما، رطوبت، اکسیژن و مواد معدنی فراهم باشد) از ۳ کیلوگرم هوموس در مدت ده سال یا بیشتر حدود ۱ کیلوگرم ماده سیاه رنگ مایل به قهوه‌ای به نام هیومیک اسید تشکیل خواهد شد (دای و سرداری، ۱۳۸۹).

محصول نهایی تجزیه هر ماده آلی در شرایط ویژه و توسط میکروارگانیسم‌های خاص اسید هیومیک می‌باشد. از آنجا که ماده اولیه آن موجود زنده است و توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شود، به همین دلیل برای رشد میکروارگانیسم‌ها نیز مفید می‌باشد. مواد هیومیکی نام خود را از هوموس گرفته‌اند، و در واقع ترکیب اصلی هوموس اسید هیومیک می‌باشد. pH آن ۳/۸ تا ۵ می‌باشد و اسیدی ضعیف است، هیچ شباهتی به اسیدهای شناخته شده معدنی و یا آلی ندارد، ظرفیت تبادل کاتیونی آن ۵۰۰-۶۰۰ میلی اکی والان در۱۰۰گرم خاک است. مواد هیومیکی در واقع طیف وسیعی از ترکیبات

آلی- معدنی گوناگون نظیر اسیدهای آمینه، پپتیدها، فنول‌ها، آلدئیدها و اسیدهای نوکلئیک در پیوند با انواع کاتیون‌ها می‌باشند. در بررسی های انجام شده سه بخش عمده در هوموس قابل تشخیص است (جیهونی، ۱۳۸۹):

۱- اسید هیومیک که در مواد قلیایی محلول و در آب و اسید نامحلول است.

۲- اسید فولویک که درآب، قلیا و اسید محلول می‌باشد.

۳- هیومین که در قلیا، اسید و آب نامحلول است.

### ۲-۱۰-۳ ساختار شیمیایی اسید هیومیک

اسید هیومیک دارای زنجیره بلندی است که از کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن تشکیل شده است (استیونسون، ۱۹۸۲). اسید هیومیک شامل، ۵۷-۵۱ درصد کربن آلی، ۶- ۴ درصد نیتروژن، ۱-۰/۲ درصد فسفر می‌باشد که در افزایش عملکرد گیاهان زراعی موثر است. اسید هیومیک همانند یک اسید در واکنش‌ها شرکت نمی‌کند و ساختار بلورین ندارد. مولکول‌های تشکیل دهنده آن در آب یونیزه نمی‌شود و میزان شوری آن اندک است. اگر بتوان میزان شوری آن را اندازه گیری کرد از ۰/۱٪ نیز کمتر است. پایه اصلی ساختار اسید هیومیک ترکیبات فنولیک و کربوکسیلیک می‌باشند که در واکنش اسید هیومیک نقش دارند (استیونسون، ۱۹۸۲). وجود کربوکسیلات و فنولات توانایی تشکیل کمپلکس با یون های دیگر مانند $Mg^{2+},Ca^{2+},Fe^{2+},Fe^{3+}$ را به اسید هیومیک می‌دهد.

### ۲-۱۰-۴ تشکیل اسید هیومیک در طول تجزیه بافت های گیاهی و جانوری

شاه حسینی (۱۳۸۹) به نقل از واکسمن گزارش داد که لیگنین به وسیله میکروارگانیسم‌ها کاملاً تجزیه نمی‌شود و باقیمانده آن هوموس خاک را تشکیل می‌دهد تغییر لیگنین شامل از دست دادن گروه‌های متوکسیل ($OCH3$) و تشکیل هیدروکسی فنول و اکسید شدن ساختارهای آلیفاتیک به گروه‌های $COOH$ است که بر اثر تغییرات دیگری که ایجاد می‌شود به اسید هیومیک و اسیدفولویک تبدیل می‌شود. شواهد ارائه شده توسط واکسمن در حمایت از فرضیه لیگنین در تشکیل

اسید هیومیک به شرح زیر می‌باشد:

۱- لیگنین و اسید هیومیک به سختی توسط گروه‌های قارچها و باکتری‌ها تجزیه می‌شوند.

۲- لیگنین و اسید هیومیک در الکل و پیریدین حل می‌شوند.

۳- لیگنین و اسید هیومیک در قلیا حل می‌شوند و در اسید نامحلول هستند.

۴- لیگنین و اسید هیومیک شامل گروه های OCH3 می‌باشند.

۵- لیگنین و اسید هیومیک در طبیعت اسیدی هستند.

این شواهد تاییدکننده تشکیل اسید هیومیک از لیگنین می‌باشد.

### ۲-۱۰-۵ فرم های اسید هیومیک موجود در بازار ایران

از سال ۱۳۸۲ اسید هیومیک وارد بازار ایران شد. در بازار اسید هیومیک‌های متفاوتی وجود دارد که کیفیت‌های آنها نیز بسیار متفاوت است و در دنیا به عنوان طلای سیاه مطرح شده است.

کود هیومیک در بازار به فرم‌های مختلف وجود دارد:

۱- مایع

۲- پودر

۳- گرانوله

از سال ۱۳۸۶ اولین کارخانه استخراج و تولید انواع کودهای هیومیک با ترکیبات متفاوت به ویژه از لحاظ غلظت اسید هیومیک و فولویک اسید در یزد تاسیس شد و به آسانی قابل دسترسی است.

### ۲-۱۰-۶ معرفی ویژگی‌های اقسام کودهای هیومیکی

اسید هیومیک ماده سنتزی یا قابل ساخت نیست بلکه قابل استخراج است و از طبیعت گرفته می شود (به همین دلیل هیچ گونه ضرر شیمیایی برای گیاه و انسان ندارد) (جیهونی،۱۳۸۹).

موادهیومیک به دو صورت فعال (اشکال مایع، میکرو گرانول و گرانول) و غیرفعال (گرانـول) بـه

بازار عرضه می‌شود. مواد هیومیکی غیر فعال تنها تأمین کننده‌های اسیدهیومیک هستند که دارای pH اسیدی‌اند و در خاک بسیار کند تجزیه می‌شوند چرا که همانطور که ذکر شد اسید هیومیک در آب نامحلول است. ولی اشکال فعال به سرعت جذب خاک و گیاه می‌شوند و تماما دارای pH قلیایی هستند ( جیهونی،۱۳۸۹).

## ۲-۱۱ پودر استخوان

برای افزایش کارایی استفاده از فسفر، بکارگیری منابع آلی به همراه کودهای شیمیایی و یا به صورت جداگانه در مدیریت حاصلخیزی خاک مناسب‌تر از کودهای شیمیایی است. امروزه با رشد دانش بشر و پژوهش‌های انجام شده، امکان استفاده از ضایعات صنعتی نیز به عنوان منابع آلی سرشار از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، مورد توجه قرارگرفته است (اقبال و همکاران، ۲۰۰۵). یکی از مهم‌ترین این موارد ضایعات کشتارگاهی است و استخوان جزء مهمترین ضایعات تولید شده در کشتارگاه‌ها می‌باشد. حدود ۱۱ درصد از توده بدن خوک، ۱۵ درصد گاو و ۱۶ درصد گوسفند را استخوان تشکیل می‌دهد (لیو، ۲۰۰۲) که می‌تواند به پودر استخوان تبدیل شده و در موارد گوناگون مورد استفاده قرار گیرد (نیلسن، ۲۰۰۰). پودر استخوان حاوی ۱۲٪ فسفر بوده و به دلیل ساختار شیمیایی آن در شرایط موجود خاک، فسفر به فرم فراهم تبدیل می‌شود. استخوان‌هایی که از لاشه دام گرفته می‌شوند از سه بخش چربی، ترکیب‌های نیتروژن و مواد معدنی تشکیل شده‌اند که چربی ارزش کودی ندارد و به وسیله جوشاندن و یا بخار و حرارت دادن حذف می‌شود. هنگامی که مواد حاوی نیتروژن و چربی در طی فرآیند رندرینگ با اعمال فشار و دمای زیاد از استخوان گرفته می‌شود، استخوان به ماده‌ای نرم و متخلخل تبدیل شده و زمانی که آسیاب و پودر می‌شود به توده‌ای از ذرات ریز اسفنجی شکل تبدیل می‌گردد که این امر منجر به حل شدن فسفر آن در خاک می‌شود. از سوی دیگر پ‌هاش پایین خاک و اندازه کوچک ذرات آن و حضور قارچ‌های میکوریز بر انحلال پذیری پودر استخوان مؤثر است (هیو و همکاران، ۱۹۹۴). در حدود ۲۰۰۰ سال پیش کشاورزان از استخوان‌ها به عنوان منبع تأمین

کننده فسفر خاک استفاده می‌کردند و در سال ۱۸۴۲ با استفاده از اسیدسولفوریک امکان افزایش حلالیت فسفر فراهم میسر گردید (بیتان، ۱۹۸۵).

# ۳ فصل سوم

## مواد و روش ها

## ۳-۱ زمان،  مشخصات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی منطقه

این پژوهش درسال زراعی ۱۳۹۲- ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود واقع در یک کیلومتری شهر بسطام به اجرا درآمد. میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی ۱۶۰ میلی‌متر در سال و رطوبت نسبی ۶۳ درصد می‌باشد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی شهرستان شاهرود در طول ۵۴ درجه شمالی و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی قرار دارد و دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد. ارتفاع شهرستان شاهرود از سطح دریا ۱۳۶۷ متر و ارتفاع محل اجرای آزمایش ۱۳۴۹ متر است.

## ۳-۲ خصوصیات خاک

به منظور تهیه خاک با منشا آلودگی طبیعی، پس از نمونه برداری و بررسی های مکرر از زمین‌های اطراف معادن و کارخانجات سرب و روی، در نهایت خاک  مورد استفاده در این پژوهش از استان زنجان، از مناطق اطراف کارخانه و شرکت سرب و روی  زنجان، برداشت و به شاهرود منتقل گردید. پیش از اجرای آزمایش و انجام عملیات آماده‌سازی به منظور تعیین برخی برخی پارامترها، پس از اختلاط کامل خاک مورد نظر و عبور از الک ۲ میلی‌متری،  یک نمونه حدوداً یک کیلوگرمی به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۳-۱ مشاهده می‌شود.

**جدول ۳-۱: نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه**

| پارامتر | مقدار | واحد |
|---|---|---|
| **EC (1:2.5)** | ۰/۶۵ | دسی زیمنس بر متر |
| **pH (1:2.5)** | ۸/۲۲ | - |
| **کربن آلی** | ۲/۲ | درصد |
| **فسفر کل** | ۱۷۳ | پی پی ام |
| **سرب کل** | ۱۲۳۴ | پی پی ام |
| **رس (Clay)** | ۱۰/۱۶ | درصد |
| **سیلت (Silt)** | ۶ | درصد |
| **شن (Sand)** | ۸۳/۸۴ | درصد |
| **بافت** | لوم شنی | |

## ۳-۳ انتخاب بذر مناسب و تهیه مایه تلقیح

از بین ارقام مختلف ذرت، رقم سینگل کراس ۷۰۴ و آفتابگردان روغنی رقم ایروفلور برای این تحقیق انتخاب شد. مایه تلقیح میکوریز نیز که حاوی مخلوطی از اسپورها، ریسه‌ها و ریشه‌های میکوریزی قارچ *Glomus intraradices* بود، از شرکت زیست فناور توران شاهرود تهیه گردید.

## ۳-۴ عملیات اجرایی

### ۳-۴-۱ نوع و قالب طرح آزمایشی

این پژوهش، به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید.

فاکتورهای آزمایش شامل:

۱- میکوریز در ۲ سطح عدم تلقیح میکوریز و تلقیح میکوریز نوع *Glomus intraradices* .

۲- کود آلی و غیر آلی فسفره (شاهد، اسیدهیومیک، دی آمونیوم فسفات، پودر استخوان، پودر استخوان + اسیدهیومیک).

با توجه به تعداد گیاه، تیمار و تکرار، ۶۰ عدد گلدان ( با قطر ۱۷ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) به عنوان واحد کشت برای دو گیاه ذرت و آفتابگردان، قرار گرفت.

### ۳-۴-۲آماده سازی و نحوه کاشت در گلدان‌ها

پس از مشخص شدن تیمارهای مربوط برای هر گیاه، ۱۵ گلدان فاقد مایه تلقیح و به ۱۵ گلدان دیگر مایه تلقیح *Glomus intraradices* اضافه شد. از هر ۱۵ گلدان، ۳ گلدان فاقد کود فسفره (شاهد)، به ۳ گلدان اسید هیومیک (۲۵ کیلوگرم در هکتار)، ۳ گلدان دی آمونیوم فسفات (۰/۱۲۵ گرم در کیلوگرم خاک)، ۳ گلدان پودر استخوان (۰/۲۵ گرم در کیلوگرم خاک) و سه گلدان پودر استخوان + اسید هیومیک قبل از کاشت اضافه گردید. پس از پر کردن گلدان‌ها از خاک (به میزان ۴ کیلوگرم و تا ارتفاع پایین‌تر از ۳ سانتیمتری لبه هرگلدان)، ۶ بذر با فاصله مناسب از یکدیگر در هر گلدان کاشته شدند. سپس گلدان‌ها آبیاری گردید. لازم به ذکر است رطوبت گلدان‌ها همواره در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی نگه‌داشته شد.

**جدول ۳-۲- مشخصات اسید هیومیک**

| نوع | مواد آلی | اسید هیومیک | اسید فولویک |
|---|---|---|---|
| **جامد** | ٪۹۲/۸ | ٪۷۵ | ٪۵ |

جدول ۳-۳- خصوصیات پودر استخوان مورد استفاده

| پارامتر | مقدار | واحد |
|---|---|---|
| **pH** | ۵/۹ | |
| **EC (1:2)** | ۳۹ | دسی زیمنس بر متر |
| **C/N** | ۱۱ | |
| **N** | ۴۹ | پی پی ام |
| **Fe** | ۰/۰۷ | درصد |
| **Na** | ۰/۱ | درصد |
| **Ca** | ۱۷ | درصد |
| **K** | ۰/۰۱ | درصد |
| **P** | ۱۲ | درصد |
| **کربن آلی** | ۲۱/۴ | درصد |

### ۳-۴-۳ عملیات داشت

در طول مدت اجرای طرح، که به مدت ۸ هفته به طول انجامید، مقدار رطوبت گلدان‌ها در حد ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه ثابت نگه داشته شد. همچنین پس از سبز شدن بذور، اقدام به تنک کردن گردید و تعداد گیاهچه‌های ذرت و آفتابگردان، به ۴ عدد در هر گلدان کاهش یافت (شکل ۳-۱).

**شکل ۳-۱- نمایی از گلدان‌های آزمایش در طول فصل رشد**

### ۳-۴-۴ برداشت نهایی و نمونه برداری از خاک و ریشه

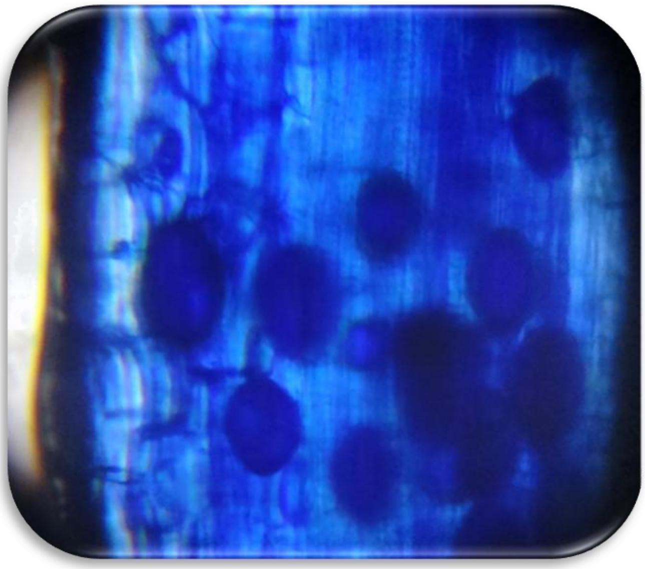
برداشت گونه‌های تحت کشت، هشت هفته پس از کاشت صورت گرفت. در نمونه برداری، گیاهان ذرت وآفتابگردان از یک سانتیمتری سطح خاک با دقت قطع گردیدند و در داخل پاکت کاغذی شماره‌دار ریخته شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس بمدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون، در حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند تا کاملاً خشک شوند. پس از این مدت از آون خارج و پس از گذشت مدت زمان بیست دقیقه‌ای جهت رسیدن به تعادل دمایی با محیط، با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند.

### ۳-۵ اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه

به منظور اندازه گیری درصد همزیستی میکوریزی، ابتدا پس از برداشت، مقداری ریشه (با قطر کمتر از یک میلیمتر) جدا شد و در الکل ۵۰ درصد نگهداری گردید. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمایشگاه از روش تغییریافته فیلیپس و هیمن (۱۹۷۰) استفاده شد. بدین جهت، ابتدا ریشه‌ها را کاملا شسته و به مدت ۲۴ ساعت در محلول KOH ۱۰ درصد در دمای اتاق قرار داده شد. سپس ریشه‌ها، سه بار با آب مقطر شسته شده و برای خنثی کردن محیط قلیایی به مدت دو دقیقه در محلول HCl یک دهم نرمال قرار گرفتند. در مرحله بعد، ریشه‌ها، به مدت ۲۴ ساعت در محلول

تریپان بلو (شامل ۲۲۵ میلی لیتر اسیدلاکتیک، ۳۵۰ میلی لیتر گلیسیرین، ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر، ۰/۶۵ گرم رنگ تریپان بلو)، جهت رنگ آمیزی قرار داده شدند. به‌منظور نگهداری طولانی مدت ریشه‌ها، از محلول گلیسیرین + اسید لاکتیک استفاده گردید. برای تعیین درصد کلونیزاسیون نیز از روش جیوانی و موس (۱۹۸۰) استفاده گردید. ریشه‌های مویین به قطعات یک سانتی‌متری تقسیم شدند و در نهایت با میکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰× مشاهده (شکل ۳-۲) و درصد کلونیزاسیون از رابطه زیر محاسبه شد:

۱۰۰*(تعداد قطعات مشاهده شده/تعداد قطعات آلوده شده به میکوریز ) = درصد کلونیزاسیون



**شکل ۳-۲- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ**

### ۳-۶ اندازه گیری EC و pH در سوسپانسیون خاک

به منظور بررسی تغییرات اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در گلدان‌ها، پس از برداشت گیاهان یک نمونه ۱۰۰ گرمی از خاک هر گلدان تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس عصاره از خاک با نسبت ۱به ۲/۵ تهیه گردید. سپس با استفاده از دستگاه EC متر و pH متر، میزان EC و

pH اندازه گیری شد.

## ۳-۷ اندازه گیری فسفر محلول

غلظت فسفر محلول با استفاده از دو معرف مولیبدات آمونیم و کلرید قلع اندازه گیری شد. برای تهیه معرف مولیبدات آمونیم، ۲۵ گرم $(NH_4)_6MoO_{24}.4H_2O$ در ۱۷۵ میلی‌لیتر حل گردید، سپس ۲۸۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. پس از سرد شدن، محلول به حجم ۱ لیتر رسانیده شد. به‌منظور تهیه معرف کلرور قلع، ۲/۵ گرم $SnCl_2.2H_2O$ در ۱۰۰ میلی لیتر گلیسرول حل گردید. از $KH_2PO_4$ نیز برای تهیه محلول استاندارد فسفر استفاده شد. در این روش، بر روی ۲۰ میلی لیتر نمونه، ۲ میلی لیتر معرف مولیبدات آمونیم و ۵ قطره معرف کلرور قلع افزوده شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Jenway 6305 غلظت فسفر نمونه‌ها تعیین گردید (سعو و همکاران، ۲۰۰۰)

## ۳-۸ اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن

برای اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک از روش اولسن استفاده گردید (اولسن، ۱۹۵۴). بدین منظور مقدار ۴۲ گرم بی‌کربنات سدیم خالص ($NaHCO_3$) را در یک لیتر آب مقطر تازه تهیه شده حل کرده و با اضافه کردن سود یا اسید کلریدریک، pH آن در ۸/۵ تنظیم شد. جهت عصاره گیری خاک، مقدار ۱ گرم خاک الک شده وزن گردید و ۰/۵ گرم پودر زغال اکتیو عاری از فسفر به آن افزوده و در ارلن مایر ۵۰ سی سی قرار گرفت. سپس ۲۰ میلی لیتر از محلول بی‌کربنات سدیم به آن اضافه کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در شیکر افقی با سرعت ۲۰۰ نوسان در دقیقه قرارگرفتند. محلول بدست آمده را از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و صاف گردید.

### ۳-۸-۱ ساخت محلول‌های شیمیایی لازم

بمنظور تهیه محلول Reagent A، ابتدا ۱۲ گرم مولیبدات آمونیوم را در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب

مقطر حل گردید. همچنین مقدار ۰/۲۹۱ گرم پتاسیم آنتیمونی تارتارات را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. ۷۴ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ را به آرامی به ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کرده، پس از سرد شدن محلول اسید سولفوریک، هر سه محلول را با هم مخلوط کرده و به حجم ۱ لیتر رسانده شد.

برای تهیه محلول Reagent B، مقدار ۱/۰۵۵۶ گرم اسید اسکوربیک در ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول Reagent A حل گردید. میزان ۰/۶ میلی لیتر از محلول عصاره نمونه خاک و محلول‌های استاندارد، ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۰/۶ میلی لیتر از محلول Reagent B را در کووت ریخته و پس از گذشت ۱۰ دقیقه، نمونه‌ها با دستگاه اسپکترو فوتومتر مدل Jenway 6305 در طول موج ۸۸۲nm اندازه گیری شد.

### ۳-۸-۲ ساخت محلول استاندارد

برای تهیه محلول ۱۰۰ ppm فسفر، مقدار ۰/۴۳۹۴ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات را در یک لیتر آب مقطر حل می‌شود. ۲۰ میلی لیتر از محلول ۱۰۰ppm فسفر را برداشته و به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده تا محلول ۱۰ppm فسفر ساخته شود.

به ترتیب مقادیر ۱۰، ۲، ۱، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۲ از محلول ۱۰ ppm فسفر برداشته و به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بدین ترتیب غلظت فسفر با استفاده از یک منحنی استاندارد تعیین گردید.

## ۳-۹ اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاهی (اندام هوایی و ریشه)

برای اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاهی، از روش هضم تر با اسید پرکلریک و اسید نیتریک استفاده شد (هانسون، ۱۹۵۰؛ کیستون و همکاران، ۱۹۴۴). بدین جهت ابتدا مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ با ۸۳ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۷۰ ٪ (نسبت ۶ به ۱) مخلوط گردید. مقدار ۰/۵ گرم نمونه گیاهی خرد شده، وزن و در لوله های هضم قرار داده شد. سپس مقدار ۷ میلی-

لیتر از محلول اسید نیتریک و اسید پرکلریک در لوله‌های هضم ریخته و نمونه ها به‌مدت یک شب در محلول قرار گرفتند. در نهایت به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۱ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۲ ساعت در دمای ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس عصاره بدست آمده به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

### ۳-۹-۱ تهیه محلول شیمیایی

مقدار ۲/۵ گرم آمونیوم وانادات در یک لیتر آب حل گردید. ۵۰ گرم آمونیوم مولیبدات در یک لیترآب حل شد و سپس با یک لیتر اسید نیتریک مخلوط شدند.

### ۳-۹-۲ تهیه محلول استاندارد

برای تهیه محلول استاندارد ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام فسفر مقدار ۴/۳۹۳۷ گرم از پتاسیم دی هیدروژن فسفات را در آب حل و به حجم یک لیتر رساندیم. ۲۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام را به بالن ژوژه ۱ لیتری منتقل و به حجم رساندیم. این محلول استاندارد ۲۰ پی‌پی‌ام در لیتر فسفر می‌باشد.

میزان ۹۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد ۲۰ میکروگرم در لیتر را به بالن ژوژه ۱ لیتری منتقل کرده و سپس میزان ۸ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات - وانادات - اسید نیتریک اضافه کرده و به حجم ۱۰۰ رسانده شد. این سری محلول‌ها حاوی ۴۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵، ۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر هستند که در رسم منحنی کالیبراسیون استفاده گردید.

### ۳-۹-۳ تهیه نمونه‌ها

مقدار ۰/۸ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات - وانادات - اسید نیتریک و ۰/۷ میلی‌لیتر عصاره گیاه با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. این محلول را در کووت ریخته و بعد از ۳۰

دقیقه در طول موج ۳۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد.

## ۳-۱۰ اندازه گیری میزان سرب گیاه

برای اندازه گیری میزان سرب در بافت گیاهی نیز، از روش هضم تر با اسید پرکلریک و اسید نیتریک استفاده شد که در بخش ۳-۹ بیان گردید. غلظت سرب موجود در اندام هوایی و ریشه گیاه در عصاره حاصل توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید.

## ۳-۱۱ اندازه گیری میزان سرب محلول و تبادلی خاک

برای استخراج میزان سرب محلول و تبادلی در خاک، از عصاره گیر $MgCl_2$ یک مولار استفاده گردید. بدین منظور به ۴ گرم خاک، ۳۲ میلی‌لیتر $MgCl_2$ (با نسبت ۱:۸) اضافه شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در شیکر با سرعت ۲۵۰ دور بر دقیقه قرار گرفت. سپس بعد از ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ کردن با دور ۵۰۰۰ دور بر دقیقه، اقدام به عصاره گیری شد (تسیر، ۱۹۷۹).

## ۳-۱۲ تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

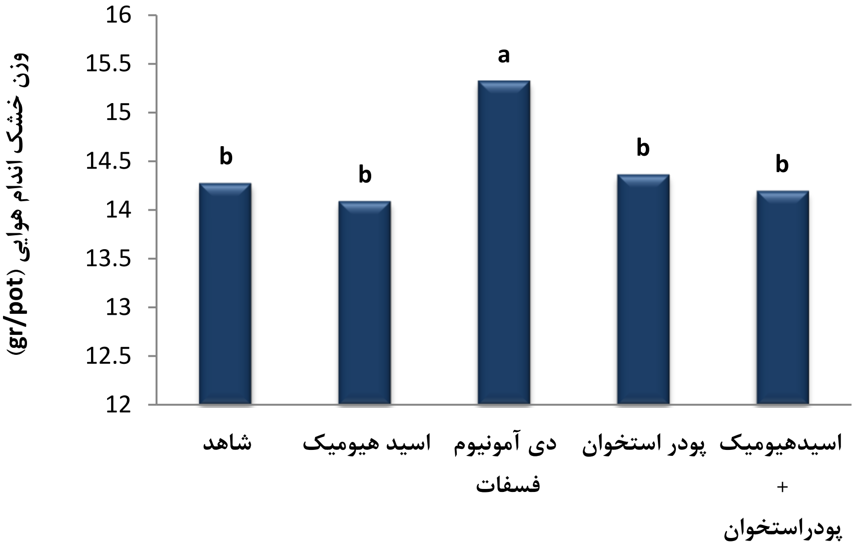
به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده در این پژوهش، از نرم‌افزار MSTATC استفاده گردید. همچنین رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel و کلیه مقایسه میانگین با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت.

# ۴ فصل چهارم

## ۴-۱ گیاه ذرت

### ۴-۱-۱ وزن خشک اندام هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۱ واقع در پیوست) نشان می‌دهد فاکتور کودهای فسفره، بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت معنی دار شده است ($\rho \leq ۰/۰۱$). همچنین قابل ذکر است تاثیر میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی گیاه معنی دار نشده است. با توجه به مقایسه میانگین‌ها تنها کاربرد کود دی آمونیوم فسفات در خاک آلوده به سرب توانست وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت را نسبت به سایر کودهای فسفره افزایش معنی دار دهد و اثر مابقی کودهای فسفره از لحاظ آماری معنی دار نشده است (شکل ۴-۱). طبیعی است که افزودن کودهای فسفره سبب رشد بهتر گیاه شده و دی آمونیوم فسفات نسبت به پودر استخوان به دلیل حلالیت بیشتر فسفر موجود در آن توانسته است که وزن خشک گیاه را افزایش دهد. محمدی ثانی (۱۳۸۸) در پژوهش خود بیان کرد تامین فسفر مورد نیاز گیاه به وسیله کود پایه، دلیل افزایش وزن زیست توده گیاه گندم را می توان در تثبیت عنصر سرب به وسیله فسفر در خاک آلوده و تشکیل کانی‌های کم محلول فسفره سرب دار نظیر پیرومورفایت دانست. به نظر می‌رسد که تشکیل کانی‌های کم محلول فسفر با سرب سبب کاهش قابلیت دسترسی سرب برای گیاه شده و از سمیت آن برای گیاه کاسته می‌شود (زو و همکاران، ۲۰۰۳؛ زورپاس و همکاران، ۲۰۰۰).



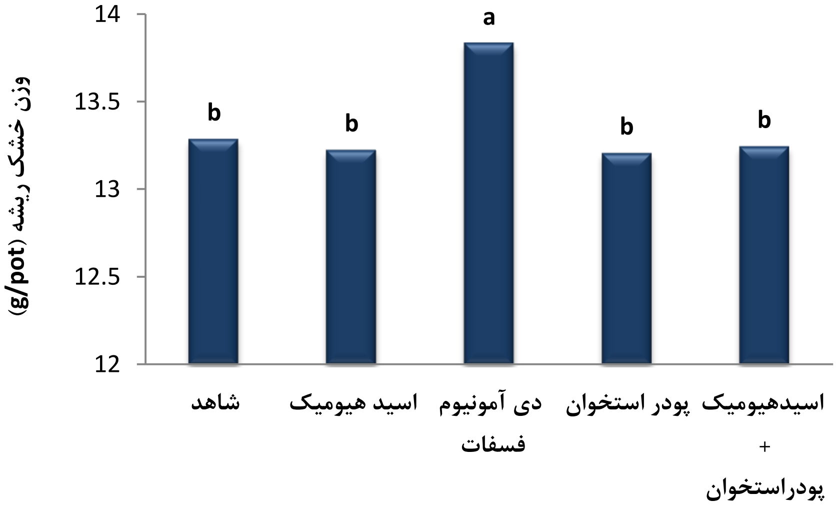
**شکل ۴-۱- تاثیر کاربرد کودهای مختلف فسفره بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت**

### ۴-۱-۲ وزن خشک ریشه

تجزیه داده‌های آزمایش نشان می‌دهد اثرات اصلی قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره بر وزن خشک ریشه گیاه ذرت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار هستند (جدول ۴-۱). کاربرد قارچ میکوریز با اثر مثبت خصوصیات رشدی گیاه توانست در این آزمایش وزن خشک ریشه گیاه ذرت را نسبت به عدم کاربرد آن بهبود ببخشد و افزایش معنی دار دهد. وامرالی و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند با افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله قارچ میکوریز، کربن اختصاص یافته به ریشه بیشتر می‌شود. فنگ و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر تأثیر قارچ میکوریز روی وزن خشک ریشه ذرت، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه در نتیجه همزیستی با میکوریز جنس گلوموس افزایش یافت. آنها دلیل این امر را افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان میکوریزی و در نتیجه افزایش غلظت کربوهیدرات های محلول در ریشه دانستند. دوپونویس و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند تلقیح با میکوریز گونه *G. interadices* سبب افزایش ماده خشک اندام هوایی و ریشه گیاه آکاسیا شده است. علیزاده و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی خود، بیشترین وزن خشک ریشه گیاه ذرت را در حضور قارچ میکوریز گزارش کردند. در واقع نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از قارچ میکوریز ضمن

آنکه باعث کاهش سمیت سرب می‌گردد، از سوی دیگر موجب افزایش تحمل گیاه نسبت به آلودگی نیز می‌شود. به نحوی که افزایش وزن خشک گیاه در تیمار تلقیح با میکوریز نسبت به شاهد بارز و معنی دار می‌باشد.

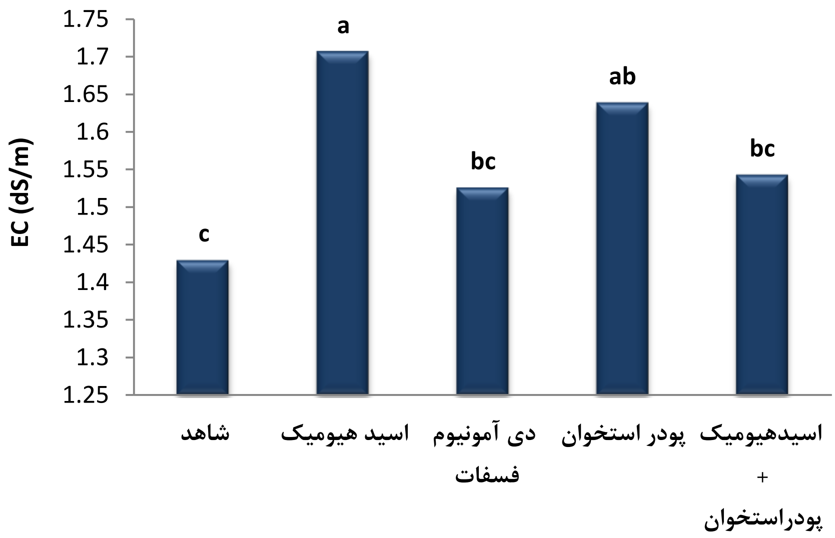
در بین کاربرد کودهای مختلف فسفره تنها کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات وزن خشک ریشه گیاه ذرت را نسبت به شاهد افزایش معنی دار داد (شکل ۴-۲). در مطالعه دیگری که از منابع مختلف فسفر از جمله سوپر فسفات تریپل در خاک‌های آلوده به سرب و روی استفاده شده بود افزایش معنی دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی مشاهده شد ( رایسویک و همکاران، ۲۰۰۴؛ کمپاین و همکاران، ۲۰۰۷). میگناردی و همکاران (۲۰۱۲) اذعان داشتند با استفاده از تیمار سنگ فسفات در خاک آلوده به عناصر سنگین، وزن خشک ریشه و اندام هوایی افزایش پیدا کرد. بنابراین کاربرد کودهای شیمیایی فسفره با دارا بودن فسفر محلول سبب کاهش حلالیت سرب در خاک‌های آلوده به این فلز می‌شود و ضمن فراهم کردن فسفر مورد نیاز گیاه سبب افزایش بیومس ریشه این گیاهان نسبت به گیاهان شاهد شده و در نتیجه افزایش وزن خشک ریشه این گیاهان را به همراه دارد.



**شکل ۴-۲- اثر کاربرد تیمار کود فسفره بر وزن خشک ریشه گیاه ذرت**

### ۴-۱-۳ هدایت الکتریکی خاک

بر اساس نتایج جدول (۴-۱) فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۵ درصد (ρ≤۰/۰۵) بر EC خاک رایزوسفر معنی دار می‌باشد. در بین کودهای آلی و غیر آلی فسفره، اسید هیومیک و تیمار پودر استخوان EC خاک را نسبت به شاهد افزایش معنی داری داده است (شکل ۴-۳). پودر استخوان و اسید هیومیک با کاهش pH خاک، حلالیت عناصر را تحت تاثیر قرار داده و EC خاک افزایش پیدا می‌کند.



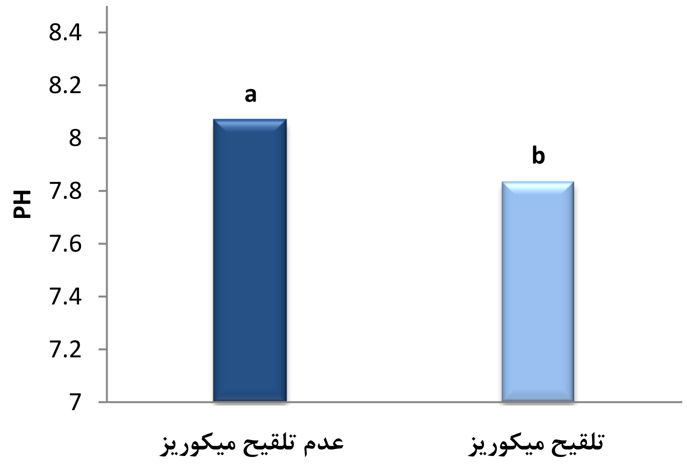
شکل ۴-۳- تاثیر کودهای فسفره بر EC خاک رایزوسفر گیاه ذرت

### ۴-۱-۴ pH خاک

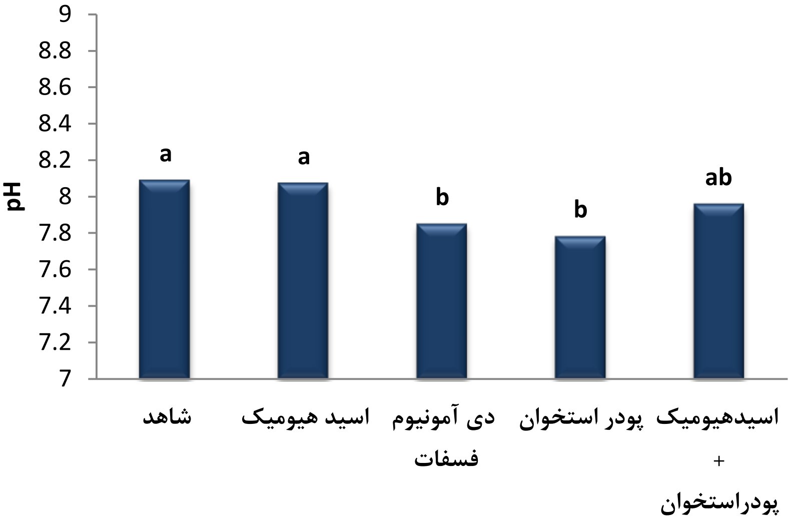
نتایج نشان می‌دهد اثرات اصلی کاربرد میکوریز و فاکتور کود فسفره بر pH خاک رایزوسفر به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی دار می‌باشند (جدول ۴-۱). تلقیح میکوریز با ریشه گیاه ذرت سبب شد pH رایزوسفر کاهش معنی دار پیدا کند (شکل ۴-۴). میکوریز می‌تواند pH خاک را با ترشح اسیدهای آلی کاهش دهد (شنوی و کلگودی، ۲۰۰۵؛ کاید و کبیر، ۲۰۰۰؛ جونر و

جوهانسن، ۲۰۰۰). هیف‌های قارچ میکوریز موادی مانند اسید سیتریک ترشح می‌کنند که قادرند pH خاک را کاهش دهند (تاواریا و همکاران، ۲۰۰۶). میکوریز با ترشح آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی نظیر اسید مالیک از ریشه گیاهان تلقیح یافته می‌تواند pH خاک رایزوسفر را کاهش دهد (طرفدار و مارشنر، ۱۹۹۴).

همچنین کودهای فسفره، pH خاک را کاهش معنی داری دادند. کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات و کود آلی پودر استخوان بیشترین کاهش را در pH خاک نشان دادند که با تیمار اسید هیومیک + پودر استخوان اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۴-۵). کاربرد ترکیبات فسفر دار بخصوص کودهای فسفره دارای آمونیوم می‌توانند pH خاک را اسیدی کنند، زیرا آمونیوم در خاک‌های با pH بالا به آسانی به نیترات اکسیده شده و بدین صورت $H^+$ آزاد می‌شود (بیغم، ۱۹۹۶).



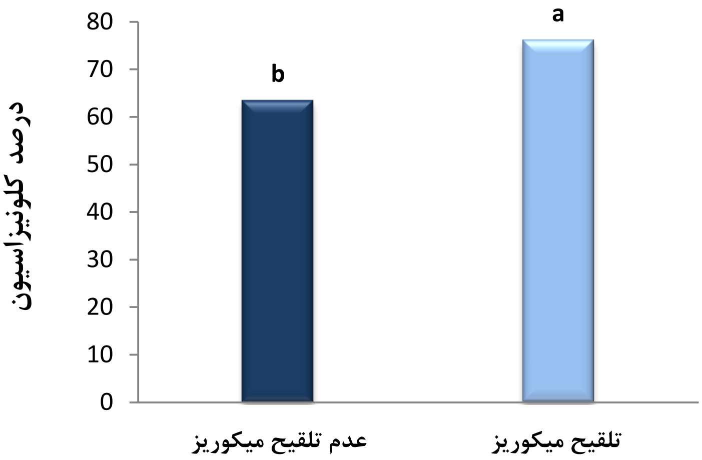
**شکل ۴-۴- اثر تلقیح میکوریز بر pH خاک رایزوسفر گیاه ذرت**



شکل ۴-۵- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر pH خاک رایزوسفر گیاه ذرت

### ۴-۱-۵ کلونیزاسیون میکوریزی

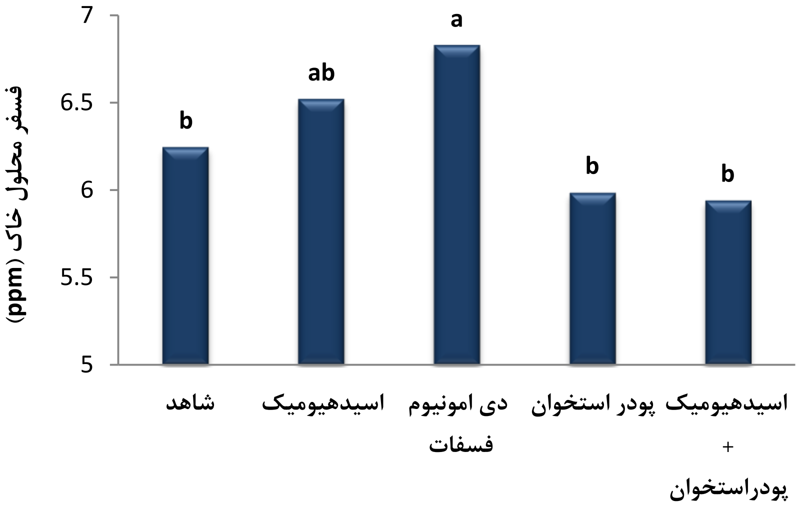
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۲) نشان می‌دهد که تلقیح میکوریز موجب معنی دار شدن درصد کلونیزاسیون این قارچ با ریشه گیاه ذرت در سطح احتمال ۱ درصد (ρ≤۰/۰۱) شده است. تلقیح میکوریز با ریشه گیاه ذرت سبب افزایش درصد کلونیزاسیون این قارچ از ۶۳٪ به ۷۶٪ شد (شکل ۴-۶). آل کراکی و حمد (۲۰۰۱) و گوپتا و همکاران (۲۰۰۲) در دو آزمایش جداگانه به ترتیب روی گیاهان گوجه فرنگی و نعناع در شرایط مزرعه بیان کردند که گیاهان تلقیح شده با میکوریز دارای درصد کلونیزاسیون ریشه بالاتری بودند. در پژوهشی تعداد اسپورها و کلونی‌زایی میکوریز در گیاه ذرت در خاک دارای عناصر سنگین سمی مورد بررسی قرار گرفت و هیچ گونه اثر منفی دیده نشد (ویسنهورن و همکاران، ۱۹۹۵). قابل ذکر است که مقادیر مشاهده شده در تیمار عدم کاربرد، مربوط به جمعیت میکوریزی بومی خاک می باشد که قبلاً در خاک حضور داشته‌اند. اثر متقابل کودهای فسفره بر میزان کلونیزاسیون میکوریز معنی دار نگشت.



**شکل ۴-۶- اثر تلقیح قارچ میکوریز بردرصد کلونیزاسیون ریشه گیاه ذرت**

## ۴-۱-۶ فسفر محلول خاک

نتایج آنالیز داده ها در جدول (۴-۲) نشان می‌دهد اثرات اصلی فاکتور کود فسفره بر فسفر محلول خاک در گیاه ذرت معنی دار (ρ≤۰/۰۵) است و اثر قارچ میکوریز معنی دار نمی‌باشد. در بین کودهای فسفره آلی و غیرآلی، اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات، فسفر محلول خاک را افزایش دادند ولی تنها اثر کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات در فسفر محلول خاک نسبت به شاهد معنی دار می‌باشد (شکل ۴-۷). نتایج نشان می‌دهد کاربرد کود دی آمونیوم فسفات توانست فسفر محلول خاک را به میزان ۹/۳۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد.

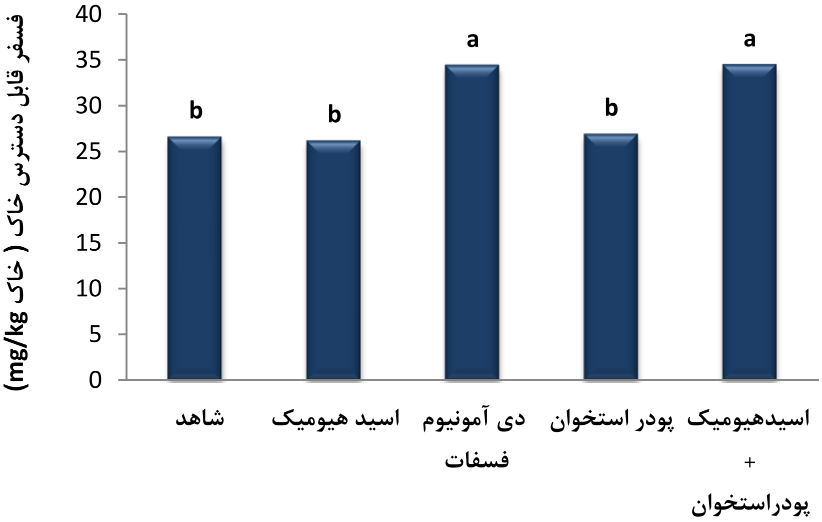


شکل ۴-۷- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر میزان فسفر محلول خاک در گیاه ذرت

### ۴-۱-۷ فسفر قابل دسترس خاک

نتایج برگرفته از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد که با اضافه شدن کودهای فسفره در خاک آلوده به سرب، فسفر قابل دسترس خاک، در سطح احتمال ۵ درصد ($\rho\leq$۰/۰۵) معنی دار شده است. در بین کودهای فسفره، بیشترین افزایش نسبت به شاهد در فسفر قابل دسترس خاک مربوط به کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات و کاربرد توام اسید هیومیک و پودر استخوان، می‌باشد (شکل ۴-۸). قول لرعطا (۱۳۸۴) در پژوهش خود بیان کرد افزایش فسفر خاک توسط کودهای شیمیایی به طور معنی‌داری فسفر قابل جذب خاک را افزایش می‌دهد. کاربرد توام اسید هیومیک و پودر استخوان توانست فسفر قابل دسترس خاک را به اندازه کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات افزایش دهد بطوریکه از لحاظ آماری در یک گروه قرار گیرند. نکته قابل توجه اینکه کاربرد تنهای اسید هیومیک و پودر استخوان افزایش معنی داری بر فسفر قابل دسترس نداشته است در حالیکه کاربرد توام این دو کود، فسفر محلول را افزایش داده است. به نظر می‌رسد پودر استخوان حاوی مقدار زیادی فسفر می‌باشد و کاربرد توام آن با اسید هیومیک، در افزایش فسفر قابل دسترس خاک تاثیر گذار

است. به هر حال اسید هیومیک با کمپلکس کردن فسفر می‌تواند از رسوب آن در خاک‌های آهکی جلوگیری نماید.



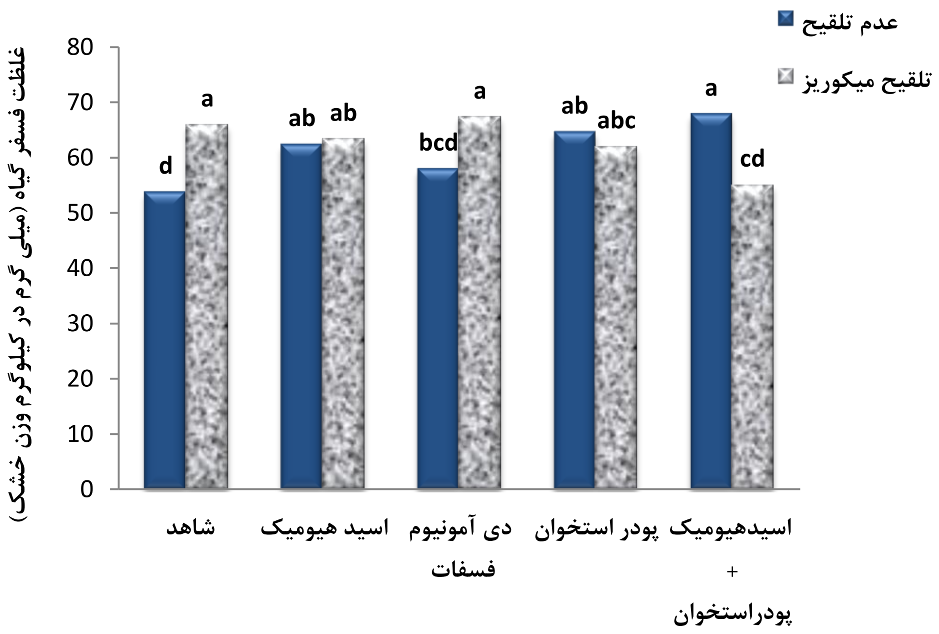
**شکل ۴-۸- تاثیر کودهای فسفره بر فسفر قابل دسترس خاک در گیاه ذرت**

### ۴-۱-۸ غلظت فسفر اندام هوایی

نتایج حاصل از این پژوهش (جدول ۴-۳) نشان می‌دهد اثرات متقابل قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه ذرت معنی دار است ($\rho \leq ۰/۰۱$). همه تیمارها به جز تیمار دی آمونیوم فسفات و تیمار توام اسید هیومیک و پودر استخوان و میکوریز، غلظت فسفر گیاه را نسبت به شاهد (تیمار بدون تلقیح میکوریز) بطور معنی داری افزایش دادند. (شکل ۴-۹). قارچ میکوریز به تنهایی توانست غلظت فسفر را در اندام هوایی گیاه ذرت نسبت به شاهد افزایش معنی داری دهد. تلقیح ریشه گیاهان با میکوریز از طریق افزایش سطح جذب و با افزایش قابلیت جذب فسفر به وسیله هیف‌های خارجی، این عنصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (پترسو وهمکاران، ۲۰۰۴؛

شنوی و همکاران، ۲۰۰۵). در گیاهان میکوریزی سرعت جریان فسفر به درون گیاه ۳ الی ۶ مرتبه بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). در پژوهشی درگیاه سویا نیز تلقیح میکوریز محتوی فسفر گیاه را در سطوح پایین کود فسفر به طور معنی داری افزایش داد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). توسلی و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند کاربرد میکوریز محتوی فسفر گیاه نخود را به طور معنی داری افزایش می‌دهد.

اثر اصلی پودر استخوان و اثر اصلی اسید هیومیک و همچنین اثر اصلی کاربرد توام آن‌ها سبب افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه ذرت نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۹). واگان و همکاران (۱۹۷۹) در پژوهش خود، میزان جذب فسفر را به عنوان یک عنصر موثر در توسعه سیستم ریشه در سلول های ریشه گندم زمستانه در حضور اسید هیومیک بررسی کردند و دریافتند که در غلظت‌های ۵ تا ۵۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش معنی داری در جذب فسفر شد که البته میزان جذب فسفر در ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت.

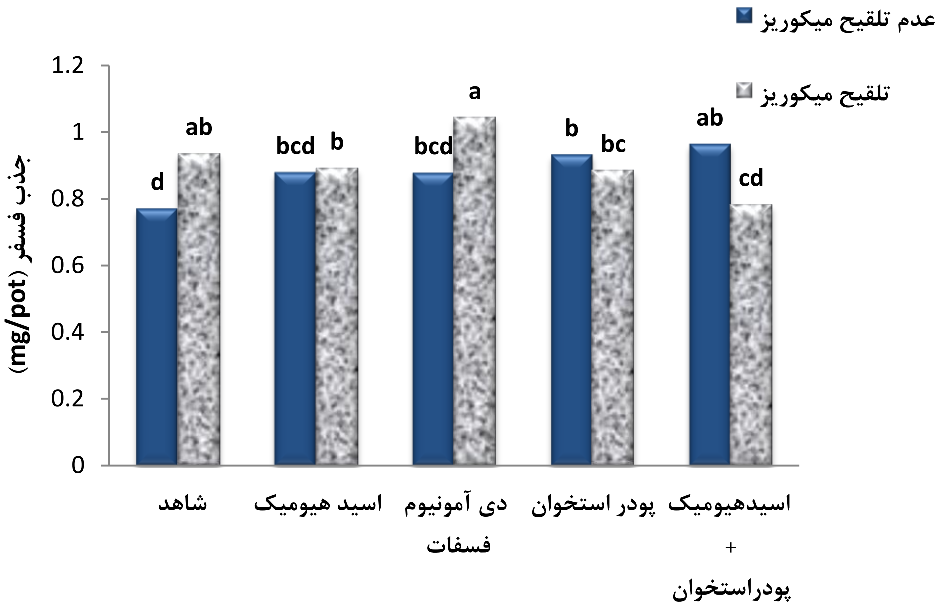


شکل ۴-۹- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه ذرت

### ۴-۱-۹ میزان جذب فسفر اندام هوایی

نتایج نشان دهنده معنی داری ($\rho \leq ۰/۰۱$) اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر اندام هوایی می‌باشد (جدول ۴-۳). کاربرد میکوریز سبب افزایش جذب فسفر نسبت به شاهد شده است. همچنین کاربرد توام میکوریز و دی آمونیوم فسفات موجب افزایش جذب فسفر نسبت به کاربرد تنهای این کود شده است (شکل ۴-۱۰). در یک پژوهش، تلقیح گیاه شبدر با قارچ میکوریز به طور معنی داری باعث افزایش رشد اندام هوایی و همچنین افزایش غلظت و محتوی فسفر گیاه شبدر گردید (اصغری، ۱۳۸۶). همزیستی قارچ میکوریز با ریشه‌های گیاه از طریق جستجوی حجم بیشتری از خاک، جذب فسفر را افزایش می‌دهد که نتیجهٔ آن افزایش غلظت فسفر در اندام گیاه نسبت به گیاهان غیر همزیست می‌باشد.

در بین کاربرد کودهای فسفره بدون تلقیح میکوریز تنها پودر استخوان و پودر استخوان + اسید هیومیک جذب فسفر را نسبت به شاهد افزایش معنی دار دادند (شکل ۴-۱۰). وانگ و همکاران (۱۹۹۵) در آزمایشی مزرعه‌ای، اسید هیومیک را به همراه کود فسفر به خاک اضافه کردند و مشاهده نمودند که میزان جذب فسفر ، ۲۵٪ نسبت به عدم حضور اسید هیومیک افزایش یافت.



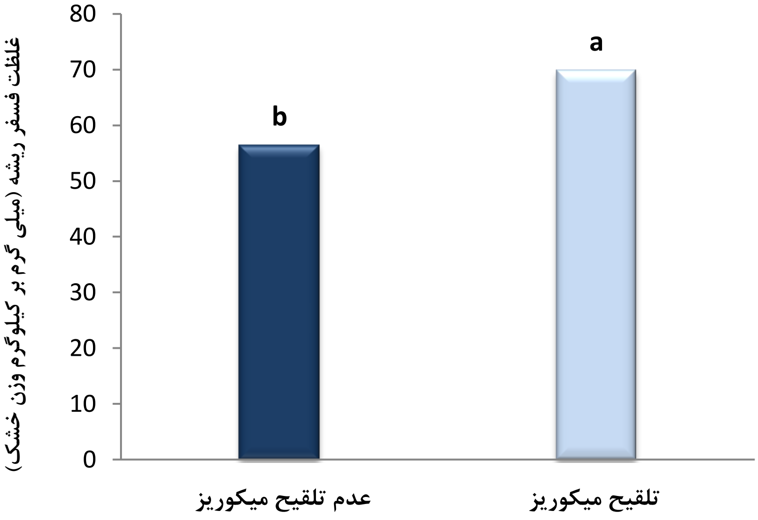
شکل ۴-۱۰- اثر متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر اندام هوایی گیاه ذرت

### ۴-۱-۱۰ غلظت فسفر ریشه

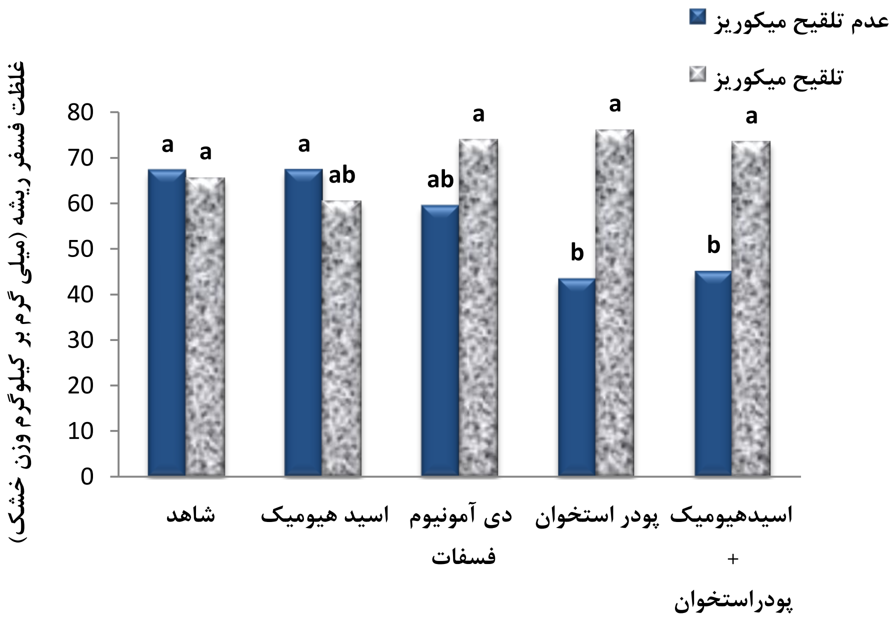
نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که اثر اصلی میکوریز در سطح احتمال ۱ درصد و اثرات متقابل میکوریز و فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت فسفر ریشه گیاه ذرت معنی دار است (جدول ۴-۳). تلقیح ریشه گیاه ذرت با قارچ میکوریز موجب افزایش غلظت فسفر ریشه به میزان ۲۳/۸۱٪ شده است (شکل ۴-۱۱). در پژوهشی استفاده از قارچ های میکوریز گونه موسه‌آی در خاک آلوده به عنصر سنگین مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید کاربرد قارچ میکوریز سبب افزایش معنی دار میزان فسفر در بافت ریشه این گیاه، نسبت به گیاهان شاهد (غیر همزیست) شد (لانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

در بررسی اثرات متقابل کاربرد قارچ میکوریز و کودهای فسفره، تیمارهای پودر استخوان و پودر استخوان + اسید هیومیک در شرایط عدم تلقیح میکوریز غلظت فسفر ریشه گیاه ذرت را نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۴-۱۲). بایستی یادآور شد که کمترین غلظت فسفر محلول خاک در شکل

(۴-۷) مربوط به همین دو تیمار می‌باشد.



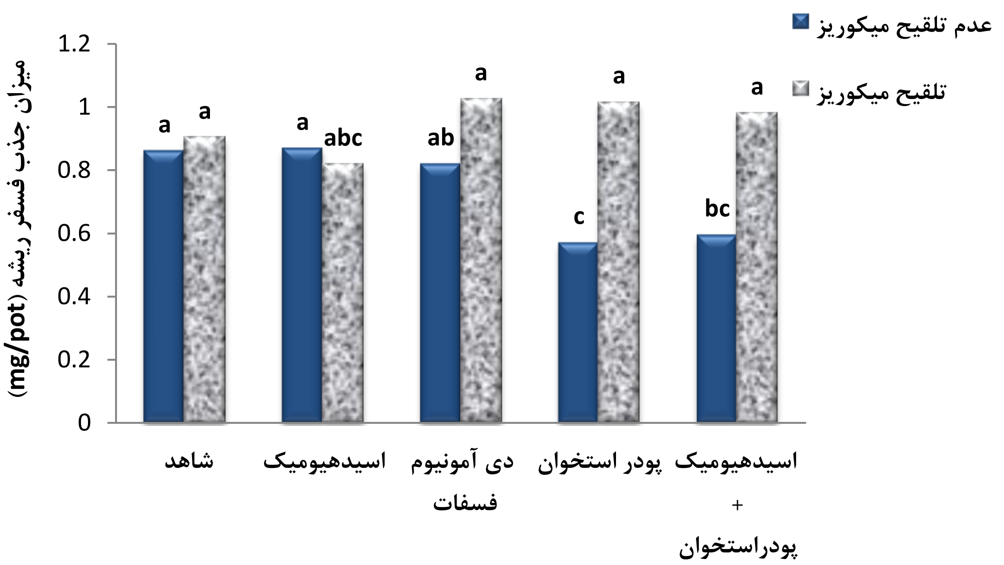
شکل ۴-۱۱- تاثیر تلقیح میکوریز بر میزان فسفر ریشه گیاه ذرت



شکل ۴-۱۲- اثر متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر غلظت فسفر ریشه گیاه ذرت

### ۴-۱-۱۱ میزان جذب فسفر ریشه

نتایج برگرفته از آنالیز داده‌ها (جدول ۴-۳) نشان‌دهنده آن است که اثر اصلی قارچ میکوریز در سطح احتمال ۱ درصد (ρ≤۰/۰۱) و اثرات متقابل قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۵ درصد (ρ≤۰/۰۵) بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه ذرت معنی دار می‌باشد. در تیمارهای پودر استخوان و اسید هیومیک + پودر استخوان که با میکوریز تلقیح شده اند نسبت به عدم تلقیح میزان جذب فسفر ریشه گیاه را به طور معنی داری افزایش داده‌اند (شکل ۴-۱۳). گارج و سینگلا (۲۰۱۲) در آزمایشی که  به منظور بررسی نقش گونه های قارچی *Glomus mosseae* در گیاه پالایی محیط آلوده به آرسنیک انجام داده اند، بیان کردند که گیاهان همزیست با قارچ در تمامی سطوح آلاینده حاوی مقادیر بالاتری از فسفر در اندام های هوایی خود نسبت به گیاهان شاهد (غیر همزیست) در آن سطوح از آلاینده بودند.



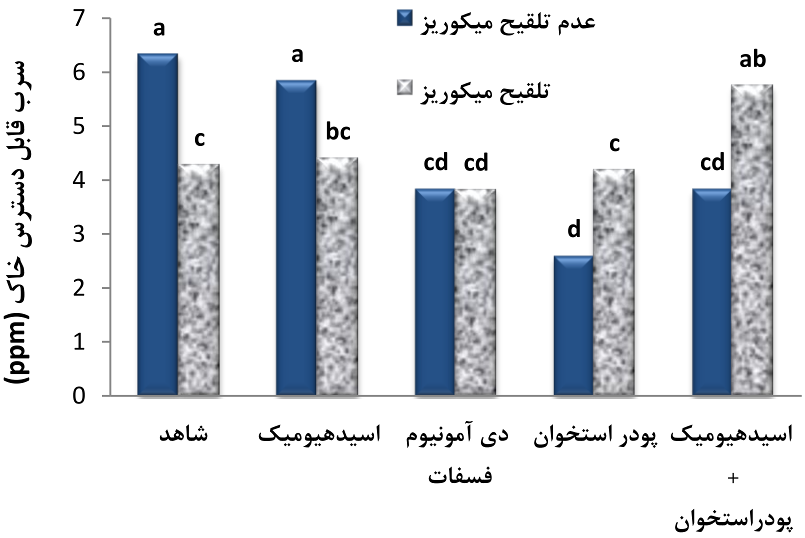
**شکل ۴-۱۳- اثر متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه ذرت**

### ۴-۱-۱۲ سرب قابل استخراج با کلرید منیزیم ( سرب محلول و تبادلی خاک)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۴) حاکی از آن است که اثر اصلی فاکتور کود فسفره و اثرات متقابل تلقیح قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر سرب تبادلی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار می‌باشند (ρ≤۰/۰۱). کاربرد کودهای فسفره دی آمونیوم فسفات، پودر استخوان و اسید هیومیک + پودر استخوان بدون تلقیح میکوریز توانستند به ترتیب ۳۹/۴، ۵۹ و ۳۹ درصد سرب تبادلی خاک را نسبت به شاهد کاهش معنی داری دهند و تنها تاثیر اسید هیومیک بر کاهش سرب تبادلی خاک معنی داری نبوده است (شکل ۴-۱۴). منابع فسفات محلول نظیر کود دی آمونیوم فسفات می‌تواند فراوانی فسفر محلول را افزایش دهد و در نتیجه کارایی تشکیل ترکیبات معدنی فسفر با فلز سنگین را بالا ببرد (مک گوون و همکاران، ۲۰۰۱). سرب و فسفر اثرات متفاوتی بر روی یکدیگر دارند. فسفر می‌تواند فراهمی زیستی این عنصر سنگین را در خاک‌های مناطق آلوده کاهش دهد و خطر سمیت آن را برای گیاهان کاهش یابد (باستا و مک گوون، ۲۰۰۴؛ پارک و همکاران، ۲۰۱۱). فسفر اضافه شده به خاک، تحرک سرب به وسیله فرآیندهای تبادل یونی و رسوب به شکل کانی‌های گروه پیرومورفایت $[Pb_5(PO_4)_3X; X = F, Cl, Br\ Or\ OH]$ را کاهش می دهد. این کانی‌ها حلالیت و زیست فراهمی بسیار پایینی داشته و باعث تغییر شکل سرب از حالت فراهم به غیر فراهم می‌شود (ونگ، ۲۰۰۳). پایداری کانی‌های گروه پیرومورفایت نظیر کلروپیرومورفایت به حدی است که ریشه‌ی اکثر گیاهان قادر به جذب فسفر موجود در آن در شرایط کمبود فسفر نمی‌باشد (عباسپور، ۲۰۱۲). عمویی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود بیان کردند میزان حلالیت فلز سرب توسط فسفات آمونیوم کاهش می‌یابد به طوری که این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار می‌باشد. این محققان دریافتند ماده فسفات آمونیوم باعث کاهش میزان قابلیت انحلال و دسترسی فلزات سنگین مزبور و به ویژه سرب در خاک گردید. محمدی ثانی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهش خود در زمینه تاثیر سوپر فسفات تریپل بر توزیع سرب بیان کردند اثر سوپر فسفات تریپل در تبدیل سرب از فرم‌های قابل استفاده برای گیاه به فرم‌های با زیست فراهمی کمتر است. در مطالعه دیگری کاربرد فسفات هیدروژن پتاسیم و سنگ فسفات

به ترتیب باعث کاهش ۲۸ و ۱۵ درصدی سرب قابل دسترس شده است ( زونیتزر و همکاران، ۲۰۰۳).

در تیمارهای شاهد و اسید هومیک، تلقیح میکوریز سبب کاهش معنی دار سرب تبادلی نسبت به عدم تلقیح شده است این در حالی است که در تیمارهای پودر استخوان و پودر استخوان + اسید هومیک تلقیح میکوریز سبب افزایش معنی دار سرب تبادلی نسبت به عدم تلقیح شده است. این نشان می‌دهد که در خاک‌های تلقیح شده با میکوریز افزودن ترکیبات فسفردار نتوانسته است اثر کاهشی بر سرب تبادلی داشته باشد. (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر سرب قابل دسترس خاک

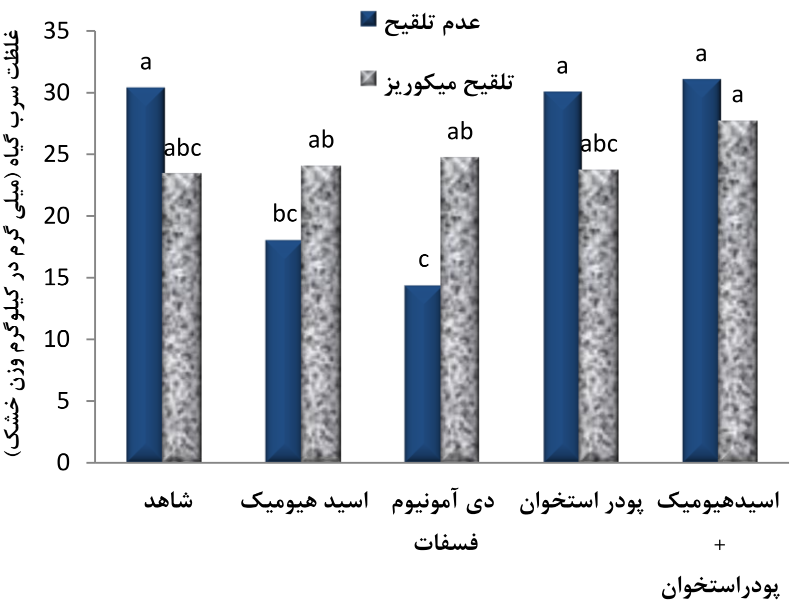
### ۴-۱-۱۳ غلظت سرب اندام هوایی گیاه

مطابق جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی فاکتور کود فسفره و اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت سرب اندام هوایی گیاه ذرت معنی دار می‌باشد (جدول ۴-۴). کاربرد اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات در شرایط بدون تلقیح میکوریز،

کاهش قابل توجه و معنی داری در غلظت سرب اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۴-۱۵). اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات به ترتیب ۴۲/۶۵٪ و ۵۲/۷۵٪ غلظت سرب گیاه ذرت را نسبت به شاهد کاهش دادند. اثر کودهای پودر استخوان و اسیدهیومیک + پودر استخوان بدون تلقیح میکوریز بر کاهش میزان غلظت سرب اندام هوایی گیاه معنی دار نبود.

در پژوهشی کاربرد اصلاح کننده‌های شیمیایی مانند سنگ فسفات، سنگ آهک، سوپر فسفات تریپل، اسید فسفریک و اصلاح کننده های آلی به منظور تثبیت سرب مشخص گردید که سوپر فسفات تریپل و اسید فسفریک بیشترین کارایی را در کاهش سرب به شکل‌های محلول در آب، قابل استفاده برای گیاه و غلظت آن در بافت گیاهی داشتند (بران و همکاران، ۲۰۰۵). در تحقیق دیگری با کاربرد فسفات کلسیم به عنوان اصلاح کننده مشاهده شد غلظت سرب در بخش هوایی گیاه گندم ۷ برابر کاهش یافت ( چلوپکا و همکاران، ۱۹۹۶). محمدی ثانی و همکاران (۱۳۸۹) بیان کردند گیاهانی که در خاک آلوده همراه با اصلاح کننده ها (زئولیت و کود سوپر فسفات تریپل) رشد کردند کمترین میزان غلظت سرب و روی در آن ها دیده شد.

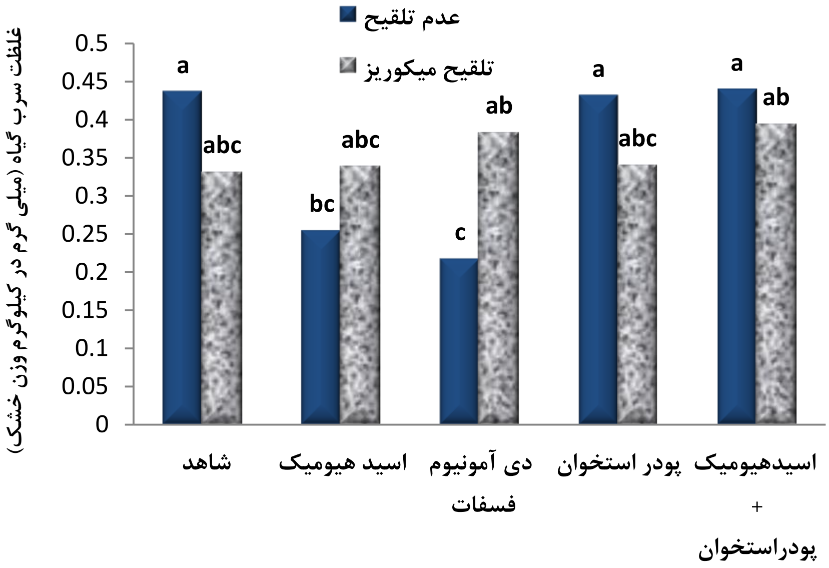
تلقیح میکوریز غلظت سرب گیاه را کاهش داده است ولی این کاهش از لحاظ آماری معنی دار نبود. همچنین تلقیح میکوریز به همراه کاربرد پودر استخوان و اسید هیومیک + پودر استخوان غلظت سرب اندام هوایی ذرت را نسبت به شاهد و نسبت به عدم تلقیح میکوریز، کاهش داد ولی از لحاظ آماری معنی دار نبود (شکل ۴-۱۵).



**شکل ۴-۱۵- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان غلظت سرب اندام هوایی گیاه ذرت**

## ۴-۱-۱۴ میزان جذب سرب اندام هوایی

نتایج در جدول (۴-۴) نشان می‌دهد اثرات متقابل میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه ذرت در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار می‌باشد و اثر اصلی آنها معنی دار نیست. کاربرد اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات بدون تلقیح میکوریز، میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه را به ترتیب ۴۱/۷۴ و ۵۰/۲۲ درصد نسبت به شاهد کاهش قابل توجه و معنی داری دادند (شکل ۴-۱۶). تلقیح میکوریز به تنهایی میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه ذرت را نسبت به شاهد کاهش داد ولی از لحاظ آماری معنی دار نبود. کاربرد توام میکوریز و کودهای فسفره نیز نتوانستند میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه را نسبت به شاهد کاهش معنی داری دهند (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶- اثرات متقابل میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه ذرت

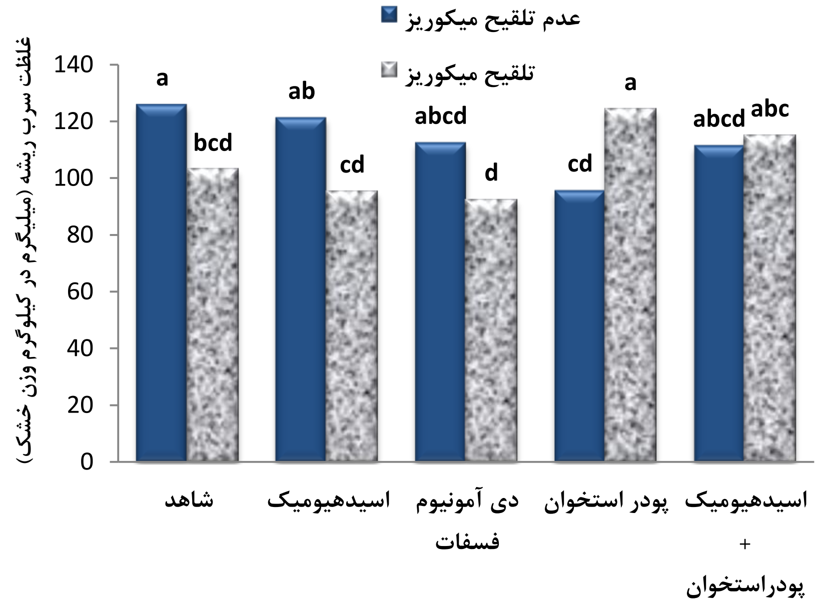
### ۴-۱-۱۵ غلظت سرب ریشه

از نتایج جدول (۴-۵) استنباط می‌شود اثرات متقابل قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره بر میزان غلظت سرب ریشه گیاه ذرت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار می‌باشد و اثرات اصلی آنها معنی دار نشده است. نتایج نشان می‌دهد در بین کودهای فسفره بدون تلقیح میکوریز، تنها پودر استخوان توانست غلظت سرب ریشه گیاه ذرت را کاهش معنی داری به میزان ۲۴ درصد نسبت به شاهد دهد (شکل ۴-۱۷).

تلقیح قارچ میکوریز با ریشه گیاه ذرت میزان غلظت سرب ریشه را نسبت به عدم تلقیح آن ۱۸/۲ درصد کاهش معنی دار داده است (شکل ۴-۱۷). تیمارهای دی آمونیوم فسفات و اسید هیومیک که با میکوریز تلقیح شده‌اند میزان غلظت سرب ریشه را کاهش معنی داری نسبت به شاهد و کاربرد در شرایط عدم تلقیح، داده است (شکل ۴-۱۷).

تثبیت سرب توسط فسفر و در نتیجه تشکیل کانی پیرومورفایت در خاک از عوامل کاهش

غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه گیاهان می‌باشد (ویشنو و همکاران، ۲۰۰۷). غلظت سرب ریشه (شکل ۴-۱۷) بسیار بیشتر از اندام‌های هوایی (شکل ۴-۱۵) ذرت می‌باشد که نشان‌دهنده تحرک بسیار کم این عنصر در داخل گیاه می‌باشد (عباسپور و همکاران، ۲۰۱۲). به طور کلی میزان غلظت سرب در ریشه گیاهان بیشتر از اندام هوایی می‌باشد زیرا در سطح سلول‌های ریشه، فسفات سرب (پیرومورفایت) تشکیل شده و رسوب می کند و تجمع سرب در ریشه را تحت تأثیر قرار می دهد. همچنین (انصاری محمدی و همکاران، ۲۰۰۷)، بیان کردند که عمده سرب جذب شده در ریشه تجمع پیدا می‌کند و گیاهانی که با اصلاح کننده‌های فسفره همراه بودند کمترین میزان انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی را داشتند. در پژوهشی با کاربرد سطوح مختلف فسفات پتاسیم، غلظت و جذب سرب در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت کاهش معنی داری مشاهده شد (قاسمی فساحی، ۲۰۱۲).



**شکل ۴-۱۷- اثرات متقابل قاچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان غلظت سرب ریشه گیاه ذرت**

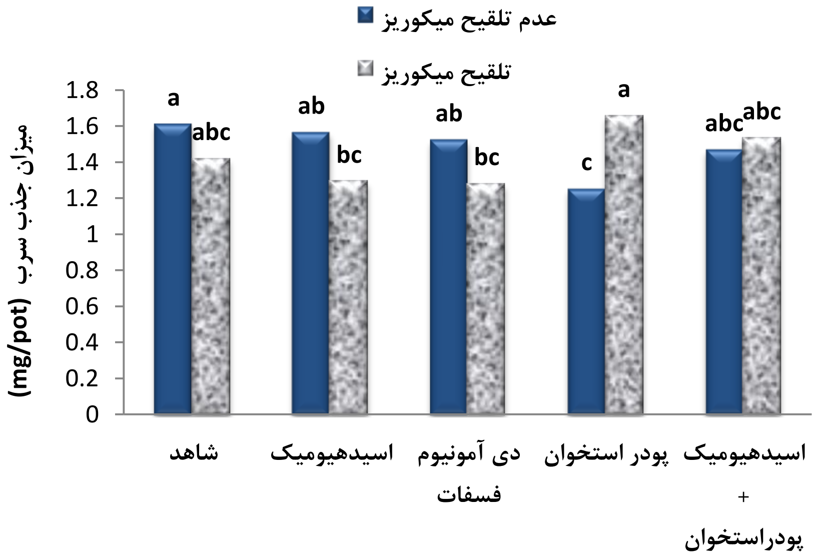
## ۴-۱-۱۶ میزان جذب سرب ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۵) حاکی از معنی داری اثرات متقابل قارچ میکوریز و

کودهای فسفره بر میزان جذب سرب ریشه گیاه ذرت، در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. در بین کاربرد کودهای مختلف فسفره تنها کود پودر استخوان در میزان جذب سرب ریشه، کاهش معنی داری ایجاد کرده است (شکل ۴-۱۸). کاربرد کود آلی پودر استخوان جذب سرب ریشه را به میزان ۲۲/۲ درصد نسبت به شاهد (فاقد تلقیح قارچ میکوریز) کاهش داده است. در تیمار پودر استخوان، تلقیح میکوریز سبب افزایش جذب سرب ریشه گیاه ذرت نسبت به کاربرد تنهای این کود شده است.

کاربرد توام دو تیمار اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات با قارچ میکوریز، کاهش معنی داری در جذب سرب ریشه نسبت به شاهد ایجاد کرده است در حالی که کاربرد این دو تیمار بدون تلقیح میکوریز نسبت به شاهد کاهش معنی داری نداشتند (شکل ۴-۱۸). لازم به ذکر است تلقیح قارچ میکوریز به تنهایی، تاثیر معنی داری بر جذب سرب ریشه نداشته است.

ژائو و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند محتوای سرب ریشه و اندام هوایی گیاه چچم *Lolium prenne* در اثر کاربرد سنگ فسفات در خاک آلوده به سرب و روی، کاهش قابل توجهی یافت.



شکل ۴-۱۸- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب سرب ریشه گیاه ذرت

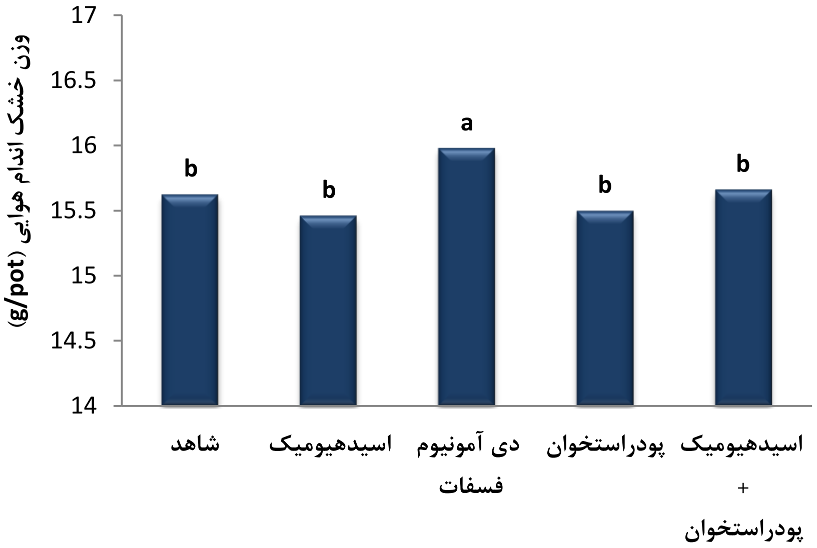
## ۴-۲ گیاه آفتابگردان

### ۴-۲-۱ وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان در اثر کاربرد قارچ میکوریز در سطح احتمال ۵ درصد ($\rho\leq$۰/۰۵) و فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۱ درصد ($\rho\leq$۰/۰۱) معنی دار گردید (جدول ۴-۶). تاثیر کاربرد قارچ میکوریز بر روی وزن خشک اندام هوایی گیاه کشت شده در خاک آلوده به سرب نسبت به عدم کاربرد این قارچ، مثبت و سبب افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان شده است. تجمع بیش از اندازه فلزات سنگین برای اکثر گیاهان موجب سمیت می‌شود و زمانی که عناصر سنگین در سطوح بالا در خاک وجود داشته باشند به مقدار زیادی توسط ریشه گیاهان کشت شده در این خاک‌ها، جذب شده و در نهایت به اندام‌های هوایی منتقل و انباشته می شوند که این امر موجب صدمات شدید متابولیسمی و کاهش رشد می‌شود (هه و یانگ، ۲۰۰۷). سمیت سرب در گیاهان سبب ایجاد اختلال در جذب عناصر غذایی، رژیم آبی گیاه، تنفس سلولی و فتوسنتز می شود که این یکی از مهم ترین دلایل کاهش عملکرد گیاه در اثر افزایش غلظت سرب در خاک می باشد (شارما و دوبی، ۲۰۰۵). ریسه‌های قارچ میکوریز، می‌توانند فلزات سنگین را درون خود نگه دارند و باعث کاهش حرکت آنها بداخل گیاه میزبان و مسمومیت کمتر آن شده و بنابراین به تحمل تنش کمک می‌کنند (جونز و هاتچینسون، ۱۹۸۸؛ اینترای و همکاران،۱۹۸۷). در گیاهان میکوریزی سرعت جریان فسفر به درون گیاه ۳ الی ۶ مرتبه بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است، همچنین علاوه بر فسفر و نیتروژن، قارچ میکوریز قادر است جذب عناصری دیگری مانند سولفور، بور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومینیوم را نیز افزایش دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). همچنین محققان بیان کردند دلیل بیش تر بودن عملکرد گیاه در تیمارهای میکوریزی نسبت به تیمار شاهد این است که قارچ میکوریز می‌توانند عملکرد گیاهان را در خاک‌های آلوده به سرب از طریق افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر، تولید هورمون‌های افزاینده رشد گیاه و همچنین تأثیر بر

ترشحات ریشه بیفزایند (ویواس و همکاران، ۲۰۰۳ ؛ چن و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج مشابهی نیز توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است برای مثال پونامیا و همکاران ( ۲۰۱۰ ) گزارش کردند مایه زنی قارچ *G. mosseae* سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان علفی در خاک‌های آلوده به سرب می‌شود.

مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده آن است (شکل ۴-۱۹) که در بین کودهای فسفره آلی و غیرآلی، تنها کود دی آمونیوم فسفات توانست وزن خشک گیاه را نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهد و اثر مابقی کودها معنی دار نبود.



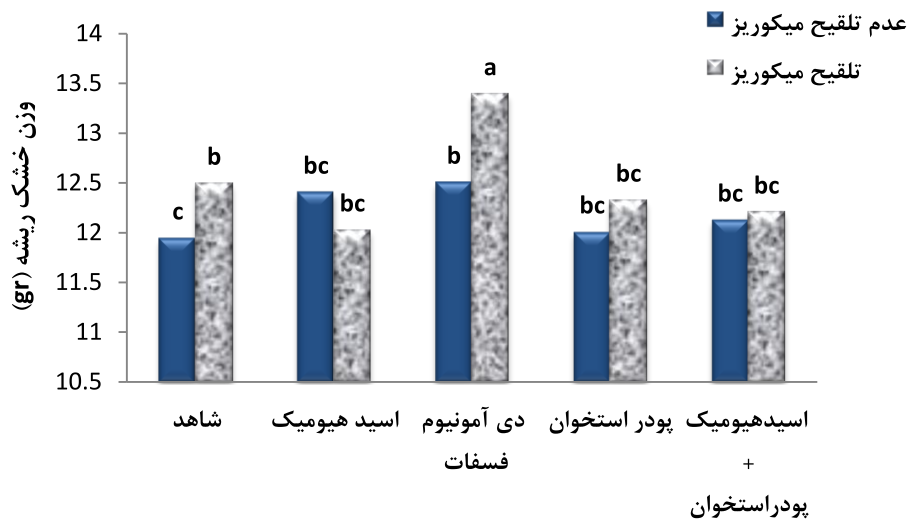
**شکل ۴-۱۹- تاثیر کاربرد کودهای مختلف فسفره بر وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان**

## ۴-۲-۲ وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۶) گویای معنی داری اثرات اصلی قارچ میکوریز در سطح احتمال ۵ درصد و فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان می‌باشد. همچنین اثرات متقابل قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره بر وزن خشک ریشه

گیاه آفتابگردان معنی دار ($p\leq ۰/۵$) می‌باشد. تلقیح میکوریز با ریشه گیاه آفتابگردان در شرایط عدم مصرف تیمار کود فسفره موجب افزایش معنی دار وزن خشک ریشه گیاه نسبت به عدم کاربرد آن شده است (شکل ۴-۲۰). نتایج حمزه ئی و صادقی می‌آبادی (۱۳۹۲) نشان می‌دهد که تلقیح با قارچ در مقایسه با عدم تلقیح در هر سه رقم گیاه سورگوم باعث افزایش وزن خشک ریشه می‌شود، همچنین گاور و همکاران (۲۰۰۰) و لویی و همکاران ( ۲۰۰۰ ) نیز بیان کردند تلقیح میکوریز سبب افزایش وزن ریشه گیاه می‌شود. ریسه‌های قارچ میکوریز نسبت به ریشه های گیاهان، در برابر تنش فلزات سنگین، حساسیت کمتری دارند، بنابراین گسترش ریسه‌ها و جذب آب و عناصر غذایی، رشد و عملکرد گیاهان را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین افزایش می‌دهد (جونر و لیوال، ۱۹۹۷ ). با توجه به آلودگی خاک مورد آزمایش به فلز سرب، قارچ میکوریز با تاثیر مثبت بر روی سیستم ریشه-ایی و اندام هوایی گیاه آفتابگردان، منجربه افزایش رشد گیاهان تلقیح یافته در این خاک نسبت به عدم تلقیح آن شده است.

با کاربرد کود شیمیایی دی آمونیوم فسفات بدون تلقیح میکوریز، وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان افزایش معنی دار نسبت به شاهد پیدا کرده است. نکته قابل توجه اینکه با کاربرد توام میکوریز و کود دی آمونیوم فسفات اثر مثبت آن در افزایش وزن خشک ریشه بیشتر شده و در بالاترین رده آماری نسبت به سایر کودها و شاهد قرار گرفته است (شکل ۴-۲۰). به نظر می‌رسد که کودهای فسفاته تاثیر مثبت بیشتری بر سیستم ریشه ای نسبت به اندام هوایی دارد. به همین دلیل است که به کودهای فسفره، بطور عام کود ریشه‌ای می‌گویند. محمدی ثانی (۱۳۸۸) در آزمایش خود بیان کرد کاربرد کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل سبب افزایش وزن خشک ریشه در محیط کشت آلوده به عناصر سنگین از جمله سرب شده است.

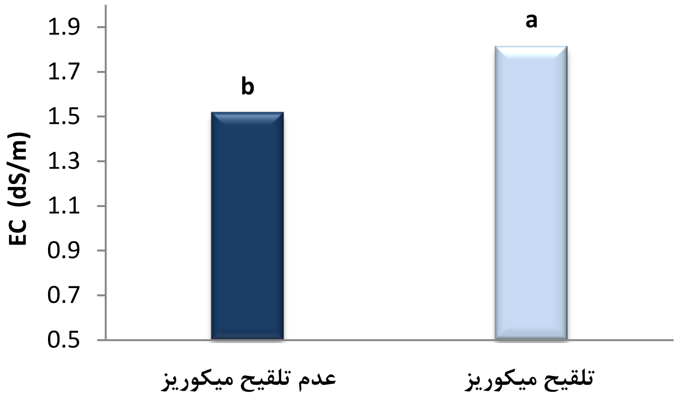


شکل ۴-۲۰- اثر متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان

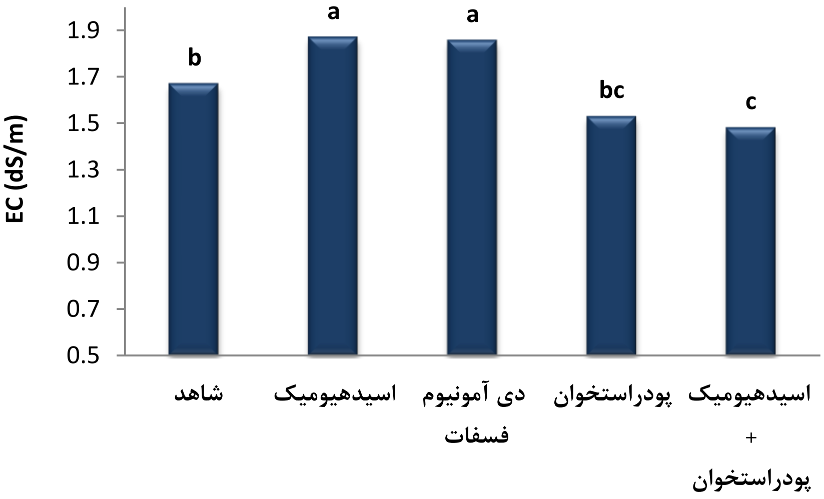
### ۴-۲-۳ هدایت الکتریکی خاک

نتایج جدول آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد EC خاک رایزوسفر در اثر کاربرد قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۱ درصد (ρ≤۰/۰۱) معنی دار شده است (جدول ۴-۶). کاربرد قارچ میکوریز سبب افزایش معنی‌دار EC خاک نسبت به عدم کاربرد آن شده است (شکل ۴-۲۱). به نظر می‌رسد قارچ میکوریز با تاثیر بر حلالیت عناصر خاک و کاهش pH خاک رایزوسفر سبب افزایش EC شده است.

همچنین کاربرد برخی تیمارها در خاک سبب تغییرات معنی دار در EC خاک نسبت به شاهد (بدون تلقیح میکوریز) شده است. به این ترتیب که اسید هیومیک و دی آمونیوم فسفات بیشترین افزایش را نسبت به شاهد نشان دادند، کاربرد توام پودر استخوان و اسید هیومیک EC خاک را نسبت به شاهد کاهش معنی دار داده‌اند (شکل ۴-۲۲). عباسپور و گلچین (۲۰۱۱) در پژوهش خود بیان کردند با کاربرد کود دی آمونیوم فسفات EC خاک افزایش معنی داری پیدا کرد. زیرا در طی اکسیداسیون آمونیوم $H^+$ آزاد شده که قابل تبادل با کاتیون‌های کلسیم و پتاسیم می‌باشد و از این جهت EC خاک با کاربرد این تیمار افزایش پیدا کرد.



**شکل ۴-۲۱- تاثیر کاربرد قارچ میکوریز بر EC خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان**

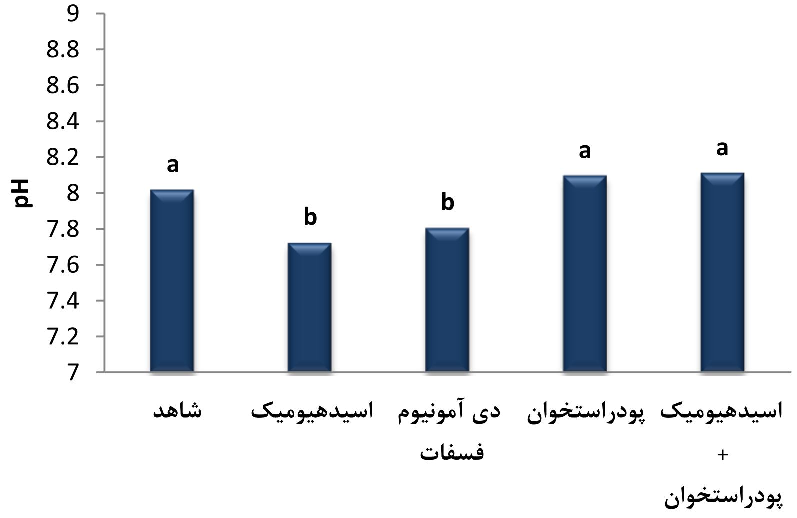


**شکل ۴-۲۲- اثر کاربرد کودهای فسفره بر EC خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان**

### ۴-۲-۴ pH خاک

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها حاکی از آن است که تنها فاکتور کود فسفره بر pH خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان اثر معنی داری ($\rho\leq$۰/۰۱) داشته است (جدول ۴-۶). نتایج نشان می‌دهد اسید

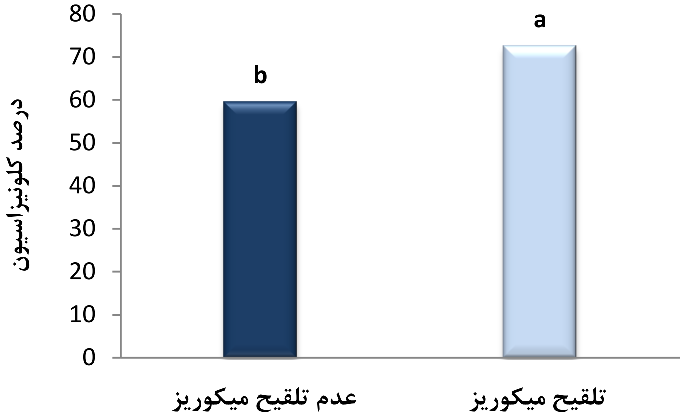
هیومیک و دی آمونیوم فسفات pH خاک را نسبت به شاهد کاهش معنی داری داده‌اند (شکل ۴-۲۳). مک گوئن و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند با کاربرد دی آمونیوم فسفات pH خاک کاهش معنی داری یافته است و نتایج مشابه در فسفات کلسیم ( دئودرانتوز و همکاران،۲۰۰۲) بر pH خاک نیز مشـاهده شده است.



شکل ۴-۲۳- تاثیر کودهای فسفره بر pH خاک رایزوسفر گیاه آفتابگردان

### ۴-۲-۵ کلونیزاسیون میکوریزی

در نتایج آنالیز داده‌ها (جدول ۴-۷) مشاهده می‌شود درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه آفتابگردان تنها در اثر کاربرد میکوریز معنی دار (ρ≤۰/۰۱) شده است و فاکتور کود فسفره بر درصد کلونیزاسیون معنی دار نبوده است. تلقیح میکوریز سبب شده است درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان ۲۲٪ افزایش پیدا کند (شکل ۴-۲۴). قارچ های میکوریز قادراند در خاک‌های آلوده به فلـزات سـنگین بـه صـورت همزیست با ریشه گیاه زندگی کنند (مارکس و همکاران، ۲۰۰۷).

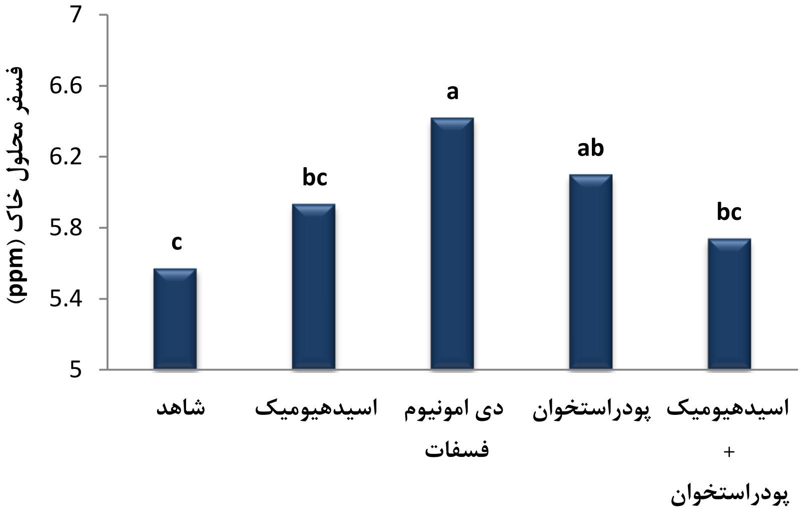


شکل ۴-۲۴- اثر تلقیح میکوریز بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه آفتابگردان

### ۴-۲-۶ فسفر محلول خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۷) بیانگر معنی داری اثر اصلی فاکتور کود فسفره بر فسفر محلول خاک در گیاه آفتابگردان در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. کاربرد دی آمونیوم فسفات و پودر استخوان در گیاه آفتابگردان منجربه افزایش معنی دار فسفر محلول خاک نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۲۵). اثر افزایشی اسید هیومیک و کاربرد توام آن با پودر استخوان سبب افزایش فسفر محلول شده ولی از لحاظ آماری نسبت به شاهد معنی دار نمی‌باشند (شکل ۴-۲۵).

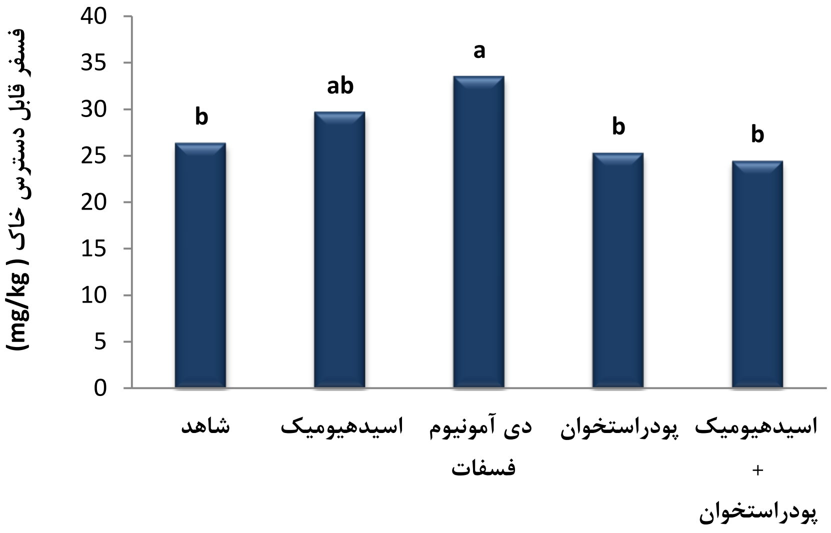
غلظت فسفر در محلول خاک بسیار کم و مقدار آن شدیدا به pH محیط وابسته می باشد. با تغییر pH در دو سوی این محدوده (بین ۶ تا ۷) سرعت تشکیل ترکیبات غیرمحلول فسفر شدت گرفته و از غلظت اشکال یونی قابل جذب به شدت کاسته می شود. به نظر می‌رسد کودهای فسفره نظیر اسید هیومیک، پودر استخوان و دی آمونیوم فسفات با کاهش pH می‌تواند فسفر محلول خاک را افزایش دهند، ضمن اینکه خود این ترکیبات حاوی فسفر می‌باشند. دی آمونیوم فسفات به دلیل اینکه نسبت به پودر استخوان فسفر محلول‌تری دارد، باعث افزایش فسفر محلول در خاک شده است.



شکل ۴-۲۵- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر میزان فسفر محلول خاک در گیاه آفتابگردان

## ۴-۲-۷ فسفر قابل دسترس خاک

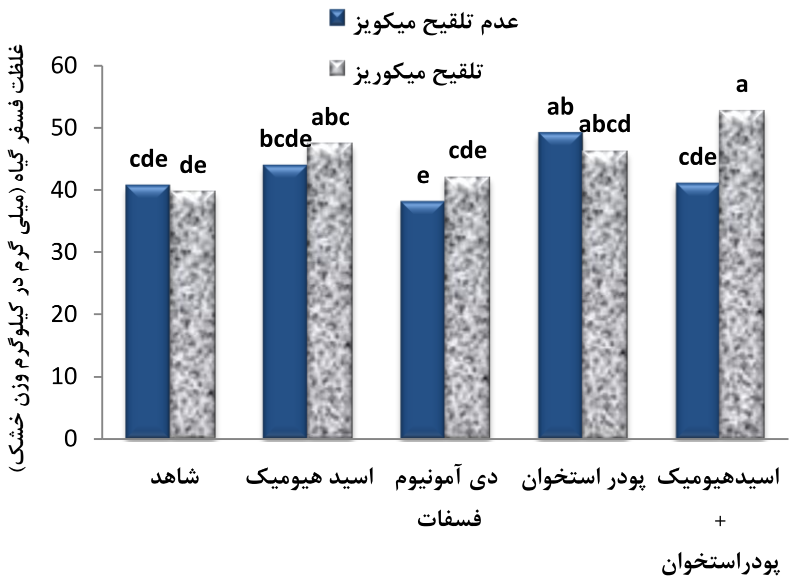
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد تاثیر فاکتور کود فسفره، بر فسفر قابل دسترس خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار می‌باشد (جدول ۴-۷). کود دی آمونیوم فسفات و اسید هیومیک توانستند فسفر قابل دسترس خاک را نسبت به شاهد افزایش دهند ولی تنها اثر افزایشی کود دی آمونیوم فسفات بر فسفر قابل دسترس خاک معنی دار می‌باشد و اثر افزایشی اسید هیومیک نسبت به شاهد معنی دار نشده است (شکل ۴-۲۶). لوبارتینی و همکاران (۱۹۹۸) در پژوهش خود بیان کردند کاربرد اسید هیومیک در زراعت ذرت توانست فسفر قابل دسترس خاک را افزایش دهد. از طرفی اسید هیومیک با کاهش pH خاک می‌تواند فسفر قابل دسترس خاک را افزایش دهد، زیرا در pH بالای خاک واکنش فسفر با ترکیب‌های کلسیمی آغاز می‌شود و کنترل فسفات محلول خاک از حیطه عمل فسفات آلومینیوم خارج و در اختیار فسفات‌های کلسیم قرار می‌گیرد (بور، ۱۹۸۳).



**شکل ۴-۲۶- تاثیرکاربرد کودهای فسفره بر میزان فسفر قابل دسترس خاک در گیاه آفتابگردان**

### ۴-۲-۸ غلظت فسفر اندام هوایی

نتایج جدول (۴-۸) حاکی از آن است که اثرات اصلی قارچ میکوریز در سطح احتمال ۵ درصد و فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۱ درصد بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه آفتابگردان معنی دار است. همچنین اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره اثر معنی داری بر غلظت فسفر اندام هوایی این گیاه دارد ($\rho \leq ۰/۰۵$). بین کودهای فسفره تنها پودر استخوان سبب افزایش معنی دار غلظت فسفر اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد شده است. کاربرد توام پودر استخوان + اسید هیومیک به همراه تلقیح قارچ میکوریز موجب افزایش غلظت فسفر نسبت به شاهد و تلقیح تنهای میکوریز شده است (شکل ۴-۲۷). کود آلی پودر استخوان و اسید هیومیک با در اختیار قرار دادن دادن فسفر مورد نیاز گیاه سبب افزایش جذب آن توسط گیاه شده و در نتیجه غلظت این عنصر در بافت گیاهی افزایش پیدا می‌کند.



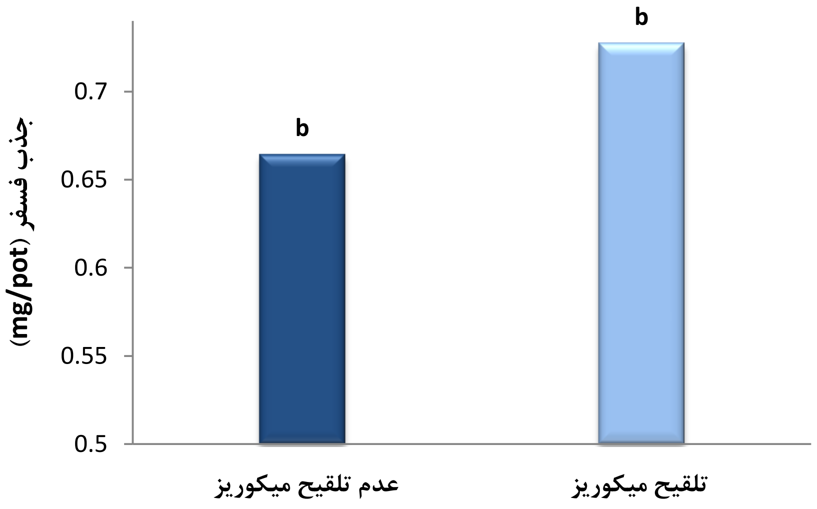
**شکل ۴-۲۷- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه آفتابگردان**

## ۴-۲-۹ میزان جذب فسفر اندام هوایی

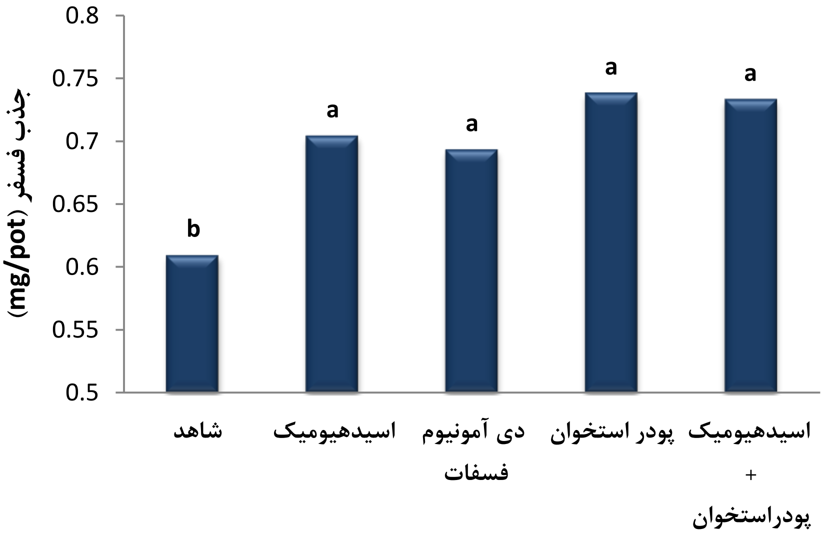
آنالیز داده‌ها نشان می‌دهد اثرات اصلی قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه آفتابگردان معنی دار ($\rho\leq$۰/۰۵) می‌باشد (جدول ۴-۸). تلقیح میکوریز با ریشه گیاه آفتابگردان جذب فسفر اندام هوایی گیاه را به میزان ۹٪ افزایش داده است (شکل ۴-۲۸). امامی فر و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود بیان کردند در خاک‌های آلوده به سرب، گیاهان همزیست با میکوریز حاوی مقدار بالاتر فسفر در اندام هوایی خود بودند. در گیاه گندم تلقیح میکوریز باعث شد که جذب فسفر به طور معنی‌داری افزایش پیدا کند (فارودی، ۲۰۱۰). هیف‌های قارچ به دلیل قطر کم آنها نسبت به تارهای کشنده در منافذ ریزتری از خاک نفوذ می‌کنند (جکوبسن و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین جذب بیشتر فسفر در گیاهان میکوریزی به دلیل گسترش هیف‌ها (اسنف و همکاران، ۲۰۰۸) و توانایی رقابت آنها برای جذب فسفر (تیبت و سندرس، ۲۰۰۲؛ کاواگنرو و همکاران، ۲۰۰۵) می‌باشد.

کاربرد کودهای فسفره اثر مثبت و معنی داری بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه آفتابگردان

نسبت به شاهد داشته است. کاربرد تمامی این کودها توانسته میزان جذب فسفر را توسط اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهند (شکل ۴-۲۹).



**شکل ۴-۲۸- اثر تلقیح میکوریز بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه آفتابگردان**

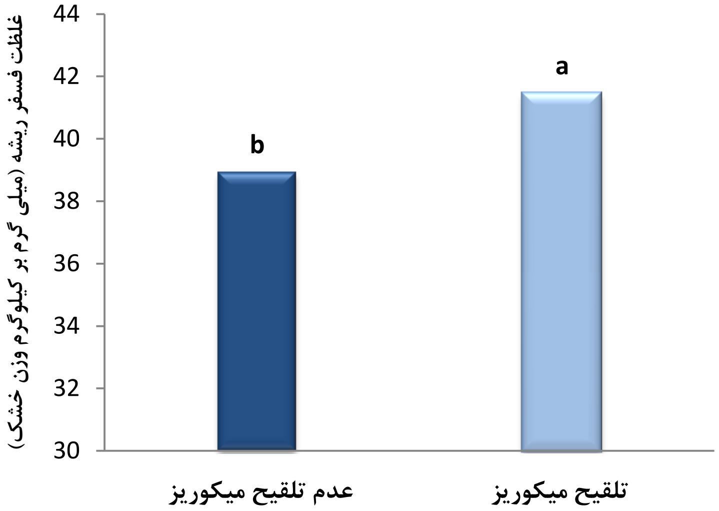


**شکل ۴-۲۹- اثر کاربرد کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر اندام هوایی آفتابگردان**

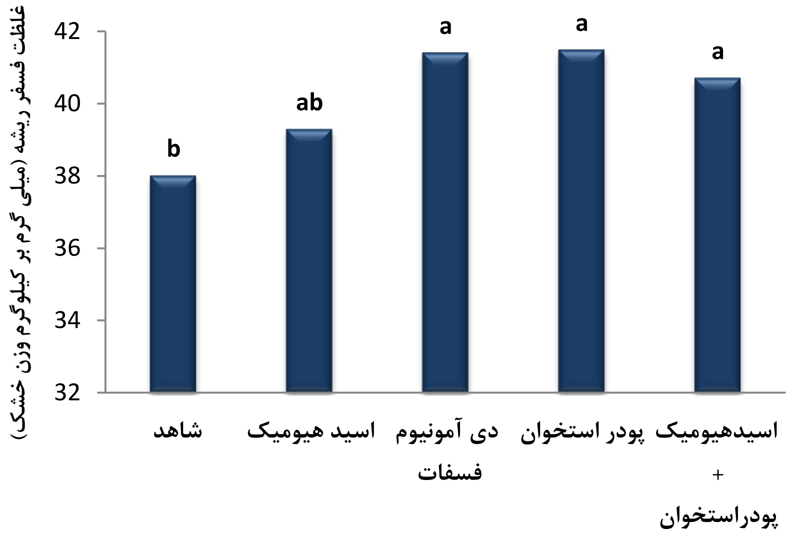
### ۴-۲-۱۰ غلظت فسفر ریشه

نتایج آنالیز داده‌ها (جدول ۴-۸) نشان داد اثرات اصلی قارچ میکوریز در سطح احتمال ۱ درصد و کودهای فسفره در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت فسفر ریشه گیاه آفتابگردان در خاک آلوده به سرب معنی دار می‌باشد. قارچ میکوریز با افزایش جذب فسفر توانست میزان غلظت فسفر ریشه گیاه را که تحت آلودگی عنصر سنگین سرب بوده است به میزان ۶/۴٪ افزایش دهد (شکل ۴-۳۰). کاهش جذب عناصر غذایی ضروری نظیر پتاسیم، کلسیم، آهن و فسفر و کاهش بیوماس گیاهان به دلیل اختلال در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن در غلظت‌های بالای عناصر سنگین رخ می‌دهد (لابی و همکاران، ۲۰۰۲). در آزمایشی تحت بررسی نقش گونه‌های قارچی *Glomus mosseae* بر روی گونه گیاهی *Pisum sativum* انجام گرفت، مشخص شد که همزمان با افزایش میزان آلودگی خاک به عنصر سنگین آرسنیک تا سطح ۹۰ میلی گرم، از میزان فسفر ریشه گیاهان همزیست و غیر همزیست کاسته می شود ولی این کاهش در گیاهان همزیست کمتر محسوس می‌باشد (گارج و سینگلا، ۲۰۱۲).

کاربرد کودهای فسفره دی آمونیوم فسفات، پودر استخوان و اسید هیومیک + پودر استخوان در خاک آلوده به سرب، با تاثیر مثبت بر جذب فسفر سبب افزایش معنی دار غلظت این عنصر نسبت به شاهد در ریشه گیاه آفتابگردان شده است (شکل ۴-۳۱).



شکل ۴-۳۰- تاثیر کاربرد تلقیح میکوریز بر میزان غلظت فسفر ریشه گیاه آفتابگردان



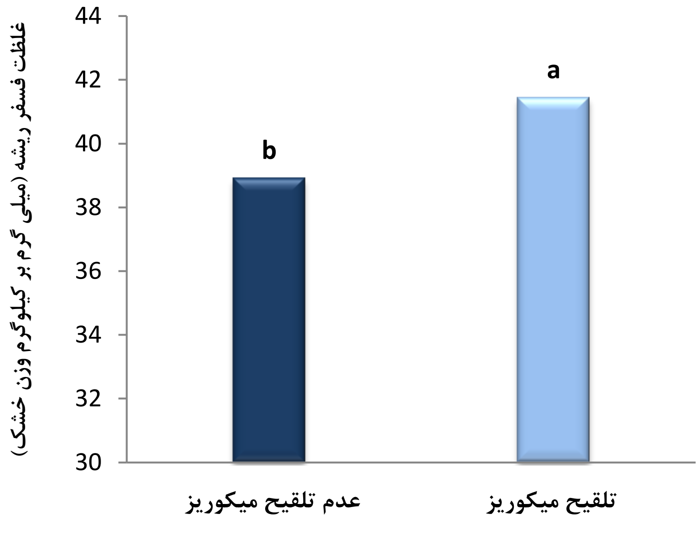
شکل ۴-۳۱- اثر کاربرد کودهای فسفره بر غلظت فسفر ریشه گیاه آفتابگردان

## ۴-۲-۱۱ میزان جذب فسفر ریشه

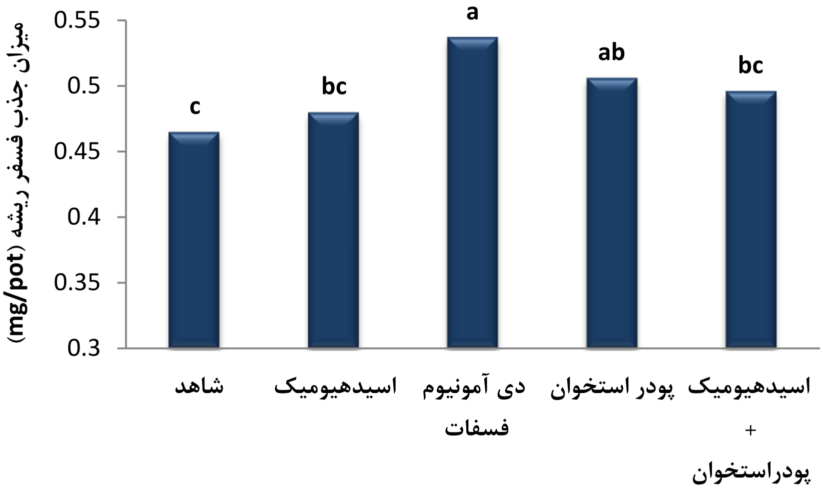
نتایج برگرفته از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۸) نشان می‌دهد که اثرات اصلی قارچ میکوریز و کودهای فسفره در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه آفتابگردان

معنی دار می‌باشد. کاربرد قارچ میکوریز موجب بهبود و افزایش جذب فسفر ریشه گیاه به میزان ۸/۸۴٪ نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۳۲). دسوزا و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود به منظور بررسی نقش همزیستی قارچ میکوریز بر گونه گیاهی *Calopogonium mucunoides* و در خاک‌های آلوده به سرب، مشاهده کردند که گیاهان همزیست با قارچ‌های میکوریز در تمام سطوح آلاینده، حاوی غلظت بیشتری از فسفر در ریشه خود، نسبت به گیاهان شاهد (غیر همزیست) در همان سطوح سرب بودند.

در بین کودهای مختلف فسفره، کود دی آمونیوم فسفات و پودر استخوان جذب فسفر ریشه گیاه را افزایش معنی دار دادند و اثر افزایشی مابقی کودها معنی دار نبوده است (شکل ۴-۳۳).



**شکل ۴-۳۲- تاثیر تلقیح میکوریز بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه آفتابگردان**



شکل ۴-۳۳- اثر کاربرد کودهای فسفره بر میزان جذب فسفر ریشه گیاه آفتابگردان

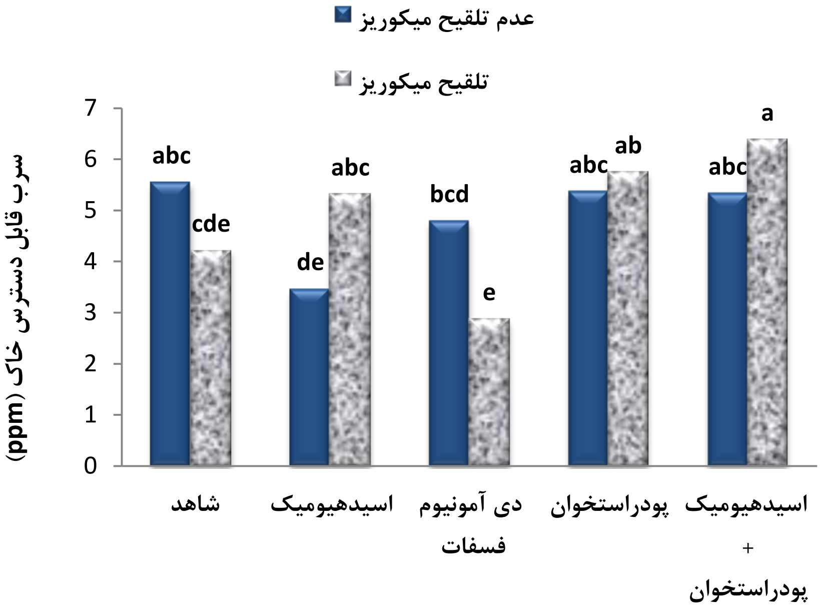
## ۴-۲-۱۲ سرب قابل استخراج با کلرید منیزیم ( سرب محلول و تبادلی خاک)

نتایج آنالیز داده‌ها نشان می‌دهد اثر اصلی فاکتور کود فسفره و اثر متقابل میکوریز و کودهای فسفره بر سرب تبادلی خاک معنی دار (ρ≤۰/۰۱) می‌باشد و اثر میکوریز به تنهایی معنی دار نبوده است (جدول ۴-۹). کاربرد میکوریز در شرایط عدم مصرف تیمار کود فسفره، سرب تبادلی خاک را نسبت به شاهد کاهش داده است ولی این کاهش از لحاظ آماری معنی دار نیست (شکل ۴-۳۴). کاربرد توام قارچ میکوریز و کود دی آمونیوم فسفات در خاک موجب کاهش معنی دار در سرب تبادلی خاک شده است (شکل ۴-۳۴). کود دی آمونیوم فسفات در خاک باعث کاهش pH می‌شود، از جهتی با کاهش pH عناصری مانند فسفر و سرب حلالیت بیشتری پیدا می‌کنند، درنتیجه سرب و فسفر واکنش داده و سرب تبادلی خاک تثبیت شده و حلالیت آن کاهش پیدا می‌کند. لذا با وجود کاهش pH، بایستی حلالیت سرب افزایش یابد ولی به دلیل تشکیل کانی‌های پایدار نظیر پیرومورفایت قابلیت دسترسی سرب کاهش می‌یابد. عباسپور وگلچین (۲۰۱۰) از دی آمونیوم فسفات، زئولیت و ورمی کمپوست جهت کاهش قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده استفاده نمودند که دی آمونیوم

فسفات بیشترین تاثیر را به همراه داشت. کاربرد ترکیبات مختلف فسفر دار باعث تغییر وضعیت سرب از بخش‌های قابل استفاده تبادلی و پیوند با کربنات، اکسیدهای آهن و منگنز و یا پیوند با مواد آلی به بخش‌های با بیشترین قدرت اتصال مانند بخش سولفید و تشکیل پیرومورفایت می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۷).

کاربرد اسیدهیومیک در عدم حضور میکوریز نیز توانست سرب تبادلی خاک را کاهش دهد (شکل ۴-۳۴). ترکیبات فسفردار می‌توانند به عنوان اصلاح کننده در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین به کار روند، زیرا باعث غیر متحرک نمودن (*Immobilization*) سرب و کاهش سمیت آن می‌شوند (عباسپور و گلچین، ۲۰۱۰؛ ما و رائو، ۱۹۹۷).

از طرفی در تیمارهای مربوط به تلقیح میکوریز، کاربرد پودر استخوان و کاربرد توام پودر استخوان و اسید هیومیک در خاک، سرب تبادلی خاک را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۴-۳۴). پودر استخوان pH اسیدی دارد (جدول ۳-۳) و کاربرد آن در خاک می‌تواند pH را کاهش دهد که این امر منجربه افزایش حلالیت سرب خاک می‌شود و به دلیل اینکه پودر استخوان فسفر خود را به آرامی در اختیار گیاه قرار می‌دهد لذا فسفر آن نتوانسته با سرب واکنش داده و سرب تبادلی را کاهش دهد.

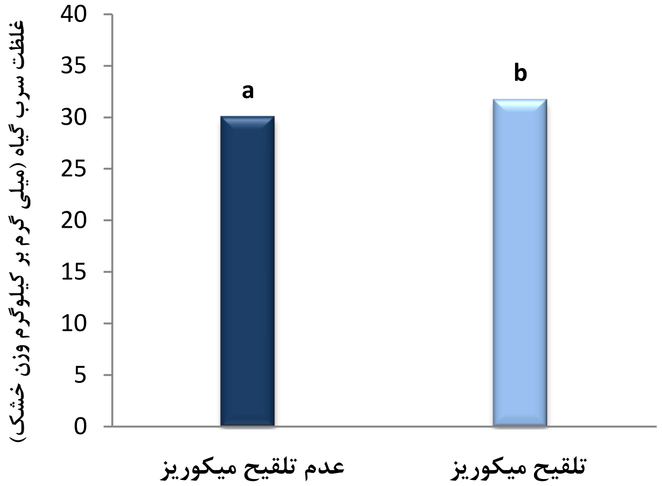


**شکل ۴-۳۴- تاثیر کاربرد توام میکوریز و کودهای فسفره بر قابلیت دسترسی سرب خاک در گیاه آفتابگردان**

### ۴-۲-۱۳ غلظت سرب اندام هوایی

از نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۹) استنباط می‌شود که اثر اصلی تیمارهای قارچ میکوریز و فاکتور کود فسفره بر غلظت سرب اندام هوایی گیاه آفتابگردان معنی دار ($\rho\leq ۰/۰۵$) است. گیاهان تلقیح یافته با قارچ میکوریز از غلظت سرب کمتری در اندام هوایی خود نسبت به گیاهان شاهد برخوردار می‌باشند که این کاهش به میزان ۱۴/۷۷٪ مشاهده شده است (شکل ۴-۳۵). در پژوهشی به منظور مطالعه اثر همزیستی قارچ میکوریز با گیاه *Calopogonium mucunoides* در محیط کشت آلوده به سرب انجام گرفت و بیان شد قارچ میکوریز با افزایش آلودگی خاک تا سطح ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک، سبب افزایش غلظت و محتوای این عنصر سنگین در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه شد ولی در سطوح بالاتر این آلاینده از میزان آن در گیاه کاسته شد (دسوزا و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین برخی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند قارچ میکوریز سبب کاهش جذب فلزات سنگین از جمله سرب می‌شود (شتی و همکاران، ۱۹۹۴؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۱ ). کلارک و زتو

(۲۰۰۰) نیز بیان کردند قارچ‌های میکوریز جذب عناصر سنگین را کاهش می‌دهند.

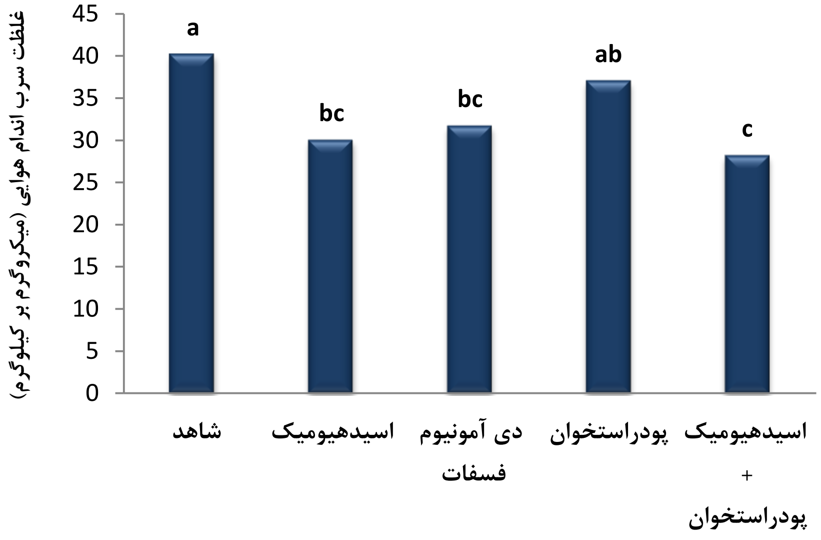


**شکل ۴-۳۵- تاثیر کاربرد قارچ میکوریز بر غلظت سرب اندام هوایی گیاه**

در بین کودهای فسفره، اسید هیومیک، دی آمونیوم فسفات و کاربرد توام اسید هیومیک و پودر استخوان بیشترین کاهش معنی دار در غلظت سرب اندام هوایی گیاه نشان دادند (شکل ۴-۳۶). زو و همکاران (۲۰۰۴) اثر چندین اصلاح کننده‌های فسفره را در خاک آلوده به سرب با اسیدیته قلیایی مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که جذب سرب توسط گیاه در نتیجه‌ی کاهش دسترسی سرب در خاک با استفاده از اصلاح کننده‌های فسفره کاهش یافت. چن و همکاران (۲۰۰۷) کارایی اصلاح کننده‌های مختلف فسفره ( هیدروکسی آپاتیت طبیعی، سنگ فسفات، سوپر فسفات تریپل و دی آمونیوم فسفات) را در خاک آلوده به سرب مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند فراهمی سرب خاک و جذب سرب توسط گیاه با کاربرد اصلاح کننده‌های فسفره در خاک آلوده کاهش می‌یابد. در یک مطالعه، توانایی‌های اصلاح کننده‌های مختلف فسفره (سنگ فسفات، اسید فسفریک و

سوپرفسفات تریپل) تحت آزمایش قرار گرفت و مشخص شد اضافه کردن سوپر فسفات تریپل یا اسید فسفریک موثرترین نتیجه را در افزایش رشد گیاه، کاهش غلظت عنصر سنگین در بافت گیاه و کاهش حلالیت و فراهمی سرب در خاک، دربر داشته است ( بران و همکاران، ۲۰۰۵).

کاربرد توام اسید هیومیک و پودر استخوان در خاک آلوده به سرب منجربه کاهش معنی دار میزان غلظت این عنصر در اندام هوایی هوایی گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۳۶). بران و همکاران (۲۰۰۴, ۲۰۰۵) بیان کردند که کاربرد توام اصلاح کننده‌های فسفره در کاهش سرب گیاه و دسترسی سرب خاک می‌تواند موثرتر باشد.

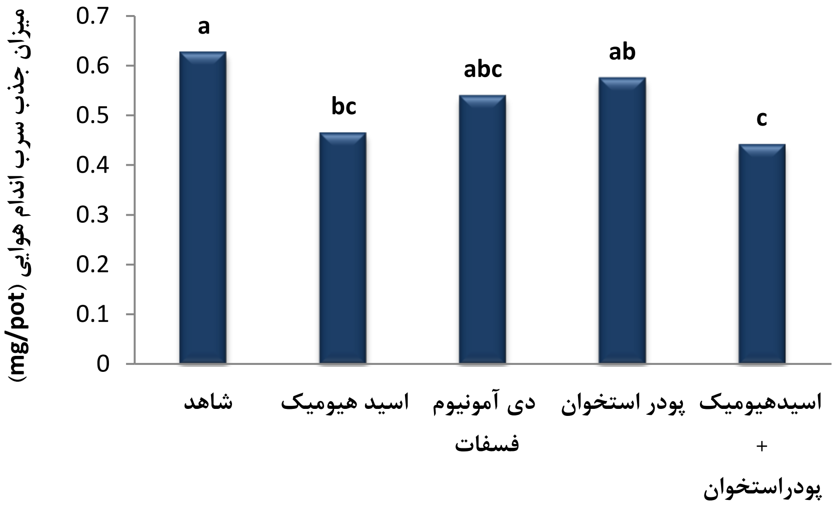


**شکل ۴-۳۶- تاثیر کاربرد کودهای فسفره بر غلظت سرب اندام هوایی گیاه آفتابگردان**

### ۴-۲-۱۴ میزان جذب سرب اندام هوایی

آنالیز داده‌های مربوط به میزان جذب سرب گیاه آفتابگردان در جدول (۴-۹) نشان می‌دهد که تنها اثر اصلی فاکتور کود فسفره در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار می‌باشد ($\rho \leq ۰/۰۵$). اسید هیومیک و کاربرد توام آن با پودر استخوان به ترتیب موجب کاهش معنی دار ۲۶/۲۳ و ۲۹/۵۵

درصدی میزان جذب سرب گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شده اند (شکل ۴-۳۷).



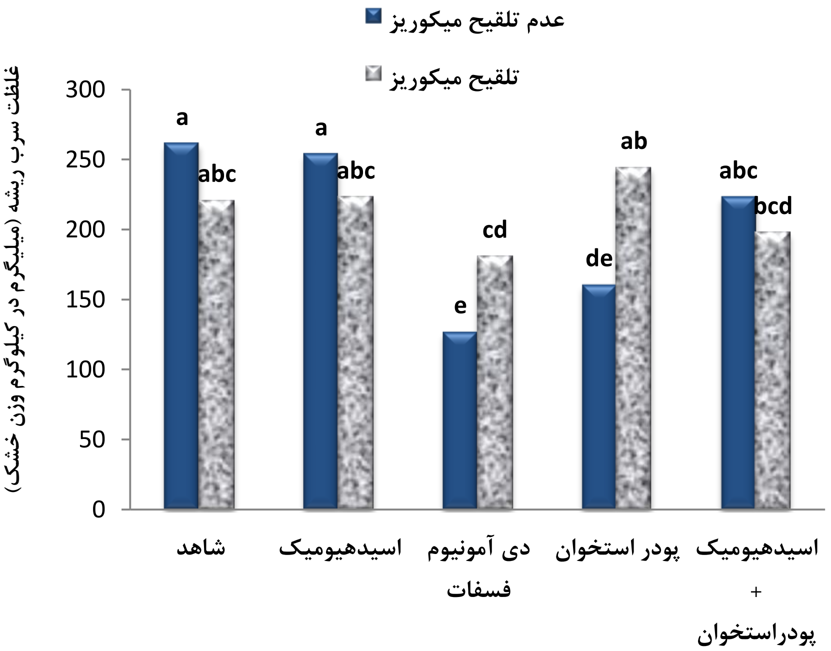
**شکل ۴-۳۷- اثر کاربرد کودهای فسفره بر میزان جذب سرب اندام هوایی گیاه آفتابگردان**

### ۴-۲-۱۵ غلظت سرب ریشه

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد اثرات اصلی فاکتور کود فسفره و اثرات متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر میزان غلظت سرب ریشه گیاه آفتابگردان در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار می‌باشد (جدول ۴-۱۰). کاربرد کودهای دی آمونیوم فسفات و پودر استخوان بدون تلقیح میکوریز در خاک آلوده به سرب منجربه کاهش معنی دار غلظت سرب ریشه به ترتیب میزان ۵۱/۵ و ۳۸/۶ نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۳۸). پارک و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند کاربرد سنگ فسفات و اصلاح کننده‌های فسفره محلول، کاهش قابل توجهی و معنی داری در جذب و انباشت سرب در سرب ریشه و ساقه گیاه آفتابگردان را منجر شدند. شیبائو و همکاران (۲۰۰۹) اثر اصلاح کننده های

مختلف فسفره را بر روی جذب سرب گیاه کلم در خاک آلوده مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند غلظت سرب تحت تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش (سنگ فسفات، هیدروکسی آپاتیت، سوپر فسفات تریپل و هیدروکسی آپاتیت + سوپر فسفات تریپل) در اندام هوایی و ریشه به ترتیب ۱۸/۳٪- ۵۱/۶٪ و ۱۶/۸٪- ۵۷/۳٪ نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است. آنها نتیجه گرفتند که کاربرد ترکیبات فسفاته در خاک‌های آلوده به سرب می‌تواند جذب سرب گیاه را کاهش دهد و از این طریق مقاومت گیاهان کشت شده در این خاک‌ها را افزایش دهند.

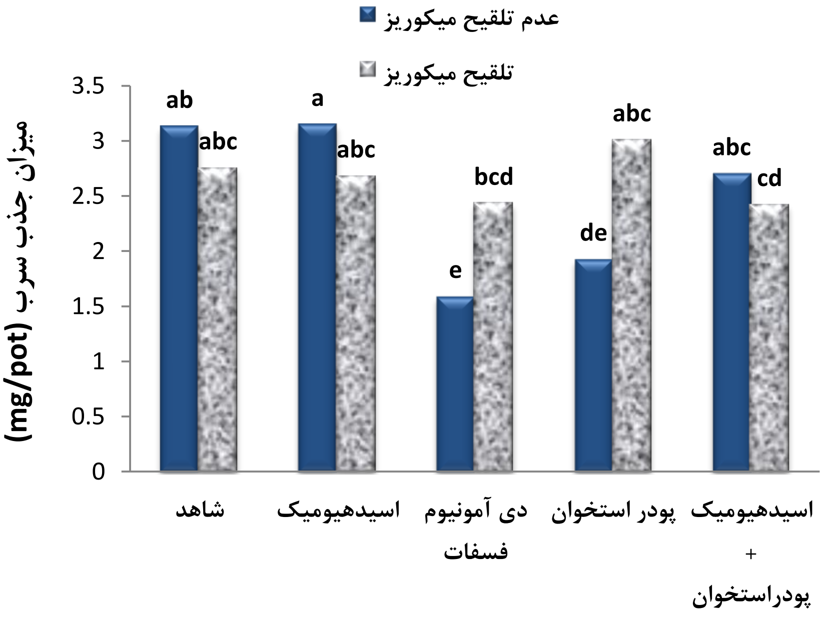
تلقیح ریشه گیاه آفتابگردان با قارچ میکوریز غلظت سرب ریشه را کاهش داد ولی از لحاظ آماری معنی دار نشده است. تیمار پودر استخوان + اسید هیومیک که با میکوریز تلقیح شده است غلظت سرب ریشه را کاهش معنی داری نسبت به شاهد داده است در حالی که کاهش غلظت سرب ریشه در کاربرد این بدون تلقیح میکوریز، نسبت به شاهد معنی دار نبوده است (۴- ۳۸).



شکل ۴-۳۸- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان غلظت سرب ریشه گیاه آفتابگردان

### ۴-۲-۱۶ میزان جذب سرب ریشه

نتایج تجزیه واریانس جدول (۴-۱۰) نشان‌دهنده معنی داری اثرات اصلی فاکتور کود فسفره و اثرات متقابل قارچ میکوریز و کود فسفره بر میزان جذب سرب ریشه گیاه آفتابگردان در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد. نتایج حاکی از آن است کاربرد کودهای دی آمونیوم فسفات و پودر استخوان در شرایط عدم تلقیح میکوریز، جذب سرب ریشه گیاه آفتابگردان را نسبت به شاهد کاهش معنی دار دهند (شکل ۴-۳۹). استفاده کودهای دی آمونیوم فسفات و پودر استخوان در شرایط عدم تلقیح میکوریز در این آزمایش، میزان جذب سرب ریشه را به ترتیب ۴۹/۳ و ۳۸/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش قابل توجهی دادند. تیمارهای تلقیح قارچ میکوریز به تنهایی و اسید هیومیک به همراه تلقیح میکوریز، جذب سرب ریشه را نسبت به شاهد کاهش دادند که از لحاظ محاسبات آماری معنی دار نبوده است. جذب سرب ریشه در دو تیمار دی آمونیوم فسفات و پودر استخوان در شرایط تلقیح میکوریز، نسبت به کاربرد آنها در شرایط عدم تلقیح، افزایش معنی دار یافته است که نشان می‌دهد قارچ میکوریز سبب افزایش جذب سرب ریشه در کاربرد توام آنها شده است (شکل ۴-۳۹).



**شکل ۴-۳۹- اثرات متقابل قارچ میکوریز و کودهای فسفره بر میزان جذب سرب ریشه گیاه آفتابگردان**

## نتیجه گیری:

آلودگی خاک به عنصر سرب منجربه کاهش کیفیت و کمیت محصولات کشت شده می‌شود زیرا این عنصر در اشکال یونی محلول بسیار سمی می‌باشد. کاربرد اصلاح کننده‌های فسفره در خاک‌های دارای آلودگی شدید به عناصر سنگین از جمله سرب، با تبدیل فرم‌های قابل استفاده برای گیاه به فرم‌هایی با زیست فراهمی کمتر، جذب آن توسط گیاه را کاهش داده و از سمیت این عنصر می‌کاهد. افزودن کودهای فسفره در این پژوهش سبب افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه، فسفر محلول و قابل دسترس خاک در دو گیاه ذرت و آفتابگردان شده است. کودهای فسفره با کاهش pH و افزایش هدایت الکتریکی خاک سبب افزایش حلالیت برخی عناصر در خاک شده که می‌تواند بر واکنش فسفر و سرب در خاک تاثیر گذار باشد. با کاربرد این کودهای فسفره، سرب تبادلی در خاک کاهش یافته و در نتیجه جذب این عنصر سنگین را در اندام هوایی و ریشه در هر دو گیاه کاهش داده است.

همزیستی میکوریز با ریشه گیاهان در خاک‌های آلوده به سرب، سبب افزایش مقاومت این گیاهان به تنش عناصر سنگین و افزایش رشد در مقایسه با سایر گیاهان کشت شده در این خاک‌ها می‌شود. نتایج نشان داده که تلقیح قارچ میکوریز در برخی تیمارها سبب کاهش جذب عناصر سنگین توسط ریشه در محیط‌های آلوده به عناصر سنگین می‌شود. تلقیح ریشه دو گیاه ذرت و آفتابگردان با قارچ میکوریز در محیط آلوده به سرب با تاثیر معنی دار بر وزن خشک، غلظت و جذب فسفر اندام هوایی و ریشه، سبب افزایش این پارامترها در دو گیاه ذرت و آفتابگردان شده است.

کاربرد توام قارچ میکوریز و کودهای فسفره با تاثیر مثبت بر یکدیگر سبب معنی داری اثرات متقابل آنها بر افزایش غلظت و جذب فسفر توسط اندام هوایی و ریشه دو گیاه شده است. همچنین اثرات متقابل بر کاهش سرب تبادلی خاک و غلظت و جذب سرب ریشه در دو گیاه و غلظت و جذب سرب اندام هوایی گیاه آفتابگردان معنی دار شده است.

بررسی دو گیاه زراعی ذرت و آفتابگردان در این پژوهش نشان داد با کاربرد اصلاح کننده‌های فسفره و قارچ میکوریز اثرات سمیت سرب برای هر دو گیاه کاهش یافت و گیاهان تلقیح یافته با میکوریز همراه با تیمار کود فسفره، نسبت به گیاهان شاهد از رشد بهتر و غلظت سرب کمتر در پیکره خود برخوردار بودند.

در آخر می‌توان بیان کرد در مناطق دارای خاک آلوده به سرب با کاربرد کودهای فسفره نظیر اسید هیومیک، دی آمونیوم فسفات، و پودر استخوان به همراه قارچ میکوریز، سرب تبادلی خاک را با تثبیت در خاک به فرم با فراهمی کمتر و با تشکیل ترکیبات با حلال پذیری پایین و رسوب آن‌ها، برای ریشه گیاهان کاهش داد و در نتیجه غلظت و جذب سرب در پیکره گیاه کاسته شود.

## پیشنهادات:

با نگرش در نتایج حاصله از این پژوهش پیشنهاد می‌شود:

- از کودهای مختلف فسفره در یک آزمایش مزرعه‌ای به منظور کاهش حلالیت سرب در خاک استفاده گردد.

- مقادیر مختلف کودهای فسفره به منظور کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک مورد بررسی قرار گیرد.

- تاثیر کاربرد فسفر بر اشکال و گونه‌های مختلف سرب مورد بررسی قرار گیرد.

- تاثیر تیمارهای این پژوهش بر سایر عناصر سنگین نظیر کادمیوم، ارسنیک و ... مورد مطالعه قرار گیرد.

- می‌توان گونه‌های مختلف قارچ میکوریز بر قابلیت دسترسی سرب و سایر عناصر غذایی، بررسی گردد.

# پیوست

**جدول ۴-۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه ذرت و برخی صفات خاک مورد کشت**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | وزن خشک اندام هوایی | وزن خشک ریشه | EC خاک | pH خاک |
|---|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۰/۰۲۰ | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۳ |
| **میکوریز** | ۱ | ۰/۰۰۱ | ۱/۳۱۵** | ۰/۰۴۹ | ۰/۴۱۱** |
| **کود فسفر** | ۴ | ۱/۴۸۷** | ۰/۴۲۷** | ۰/۰۶۸* | ۰/۱۱۰* |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۰/۰۶۸ | ۰/۲۳۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۱۶ |
| **خطا** | ۱۸ | ۰/۲۰۲ | ۰/۰۹۰ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۵ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۳/۱۱ | ۲/۲۵ | ۸/۶۶ | ۲/۰۱ |

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

**جدول ۴-۲- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه ذرت**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | کلونیزاسیون میکوریزی | فسفر محلول خاک | فسفر قابل دسترس خاک |
|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۴۶/۱۰۵ | ۰/۰۵۵ | ۷/۸۸۷ |
| **میکوریز** | ۱ | ۱۲۱۴/۳۷۹** | ۰/۰۴۳ | ۰/۱۱۶ |
| **کود فسفر** | ۴ | ۲۰/۶۳۴ | ۰/۸۳۶* | ۱۲۰/۴۰۶* |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۱۶/۴۹۸ | ۰/۱۵۴ | ۱/۵۴۹ |
| **خطا** | ۱۸ | ۲۰/۸۸۳ | ۰/۲۲۸ | ۲۹/۱۶۴ |
| **ضریب تغییرات (درصد)** | | ۶/۵۶ | ۷/۵۷ | ۱۸/۶۸ |

**جدول ۴-۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه ذرت**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | غلظت فسفر اندام هوایی | میزان جذب فسفر اندام هوایی | غلظت فسفر ریشه | میزان جذب فسفر ریشه |
|---|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۲۹/۹۶۵ | ۰/۰۰۳ | ۲۳۹/۰۱۹ | ۰/۰۳۵ |
| **میکوریز** | ۱ | ۱۴/۷۴۶ | ۰/۰۰۴ | ۱۳۵۳/۴۵۹** | ۰/۳۲۱** |
| **کود فسفر** | ۴ | ۴۶/۳۶۷ | ۰/۰۴۱ | ۷۵/۲۹۰ | ۰/۰۲۰ |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۵۹۷/۸۲۷** | ۰/۱۳۲** | ۴۳۶/۲۷۲* | ۰/۰۶۹* |
| **خطا** | ۱۸ | ۳۰۶/۰۵۱ | ۰/۰۷۴ | ۱۱۷/۱۸۱ | ۰/۰۲۱ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۶/۶۶ | ۷/۱۵ | ۱۷/۱۴ | ۱۷/۱۶ |

**جدول ۴-۴- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه ذرت**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | سرب تبادلی خاک | غلظت سرب اندام هوایی | میزان جذب سرب اندام هوایی |
|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۰/۱۸۶ | ۳۴/۳ | ۰/۰۰۶ |
| **میکوریز** | ۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۰۰ |
| **کود فسفر** | ۴ | ۴/۲۰۷** | ۱۰۶/۹۵* | ۰/۰۱۸ |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۴/۶۷۳** | ۹۱/۱۱۷* | ۰/۰۲۱* |
| **خطا** | ۱۸ | ۰/۶۱۶ | ۳۰/۶۳۳ | ۰/۰۰۷ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۱۷/۴۹ | ۲۲/۴۱ | ۲۲/۸۱ |

**جدول ۴-۵- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه ذرت**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | غلظت سرب ریشه گیاه | جذب سرب ریشه گیاه |
|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۱۴۵/۹۰۱ | ۰/۰۲۹ |
| **میکوریز** | ۱ | ۴۰۳/۱۱۴ | ۰/۰۲۱ |
| **کود فسفر** | ۴ | ۱۳۴/۸۱۵ | ۰/۰۱۱ |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۸۱۴/۲۶۲$^{**}$ | ۰/۱۲۷$^{*}$ |
| **خطا** | ۱۸ | ۱۴۶/۴۱۶ | ۰/۰۲۹ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۱۱/۰۴ | ۱۱/۷۳ |

**جدول ۴-۶- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه آفتابگردان و خصوصیات خاک کشت شده آن**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | وزن خشک اندام هوایی | وزن خشک ریشه | EC خاک | pH خاک |
|---|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۰/۱۵۶ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۳ |
| **میکوریز** | ۱ | ۰/۹۲۸$^{*}$ | ۰/۶۲۵$^{*}$ | ۰/۶۷۵$^{**}$ | ۰/۰۱۳ |
| **کود فسفر** | ۴ | ۲/۴۵۱$^{**}$ | ۰/۶۹۵$^{**}$ | ۰/۱۵۶$^{**}$ | ۰/۱۸۶$^{**}$ |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۰/۳۹۸ | ۰/۳۴۶$^{*}$ | ۰/۰۶۴ | ۰/۰۲۶ |
| **خطا** | ۱۸ | ۰/۱۷۷ | ۰/۰۸۹ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۱۸ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۲/۶۶ | ۲/۴۲ | ۹/۰۱ | ۱/۶۹ |

**جدول ۴-۷- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه آفتابگردان**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | کلونیزاسیون میکوریزی | فسفر محلول خاک | فسفر قابل دسترس خاک |
|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | | ۸/۲۷۲ | ۰/۵۴۰ | ۴۸/۷۲۵ |
| **میکوریز** | ۱ | ۱۲۷۳/۳۵۷** | ۰/۳۰۰ | ۱۴/۰۹۱ |
| **مود فسفر** | ۴ | ۴۶/۴۶۷ | ۰/۶۴۶* | ۸۳/۷۲۴* |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۲۸/۵۸۵ | ۰/۴۱۱ | ۳۷/۴۱۵ |
| **خطا** | ۱۸ | ۲۸/۱۶۲ | ۰/۱۶۰ | ۲۰/۹۳۲ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۸/۰۵ | ۶/۷۲ | ۱۶/۴۶ |

**جدول ۴-۸- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | غلظت فسفر اندام هوایی | میزان جذب فسفر اندام هوایی | غلظت فسفر ریشه | میزان جذب فسفر ریشه |
|---|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | | ۴۶/۴۴۹ | ۰/۰۱۷ | ۲/۶۰۹ | ۰/۰۰۱ |
| **میکوریز** | ۱ | ۷۱/۳۷۰* | ۰/۰۳۰* | ۴۷/۹۳۴** | ۰/۰۱۴** |
| **کود فسفر** | ۴ | ۸۱/۵۰۶** | ۰/۰۱۶* | ۱۳/۵۰۴* | ۰/۰۰۴** |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۴۷/۶۳۶* | ۰/۰۰۹ | ۷/۰۹۲ | ۰/۰۰۱ |
| **خطا** | ۱۸ | ۱۶/۱۵۳ | ۰/۰۰۴ | ۳/۶۶۹ | ۰/۰۰۱ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۹/۱۲ | ۹/۱۷ | ۴/۷۷ | ۴/۵۳ |

جدول ۴-۹- آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه گیاه آفتابگردان

| منابع تغییرات | درجه آزادی | سرب تبادلی خاک | غلظت سرب اندام هوایی | میزان جذب سرب اندام هوایی |
|---|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۰/۸۰۸ | ۱۲۱/۶ | ۰/۰۳۵ |
| **میکوریز** | ۱ | ۰/۰۰۰ | ۲۱۳/۳۳* | ۰/۰۳۸ |
| **کود فسفر** | ۴ | ۴/۱۶۷** | ۱۵۱/۰۵* | ۰/۰۳۵* |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۳/۷۷۹** | ۴۶/۷۵ | ۰/۰۱۵ |
| **خطا** | ۱۸ | ۰/۷۴۳ | ۳۸/۱۹۳ | ۰/۰۱۰ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۱۷/۵۹ | ۱۸/۵ | ۱۸/۶۵ |

جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان

| منابع تغییرات | درجه آزادی | غلظت سرب ریشه گیاه | جذب سرب ریشه گیاه |
|---|---|---|---|
| **تکرار** | ۲ | ۷۱۵/۷۶۸ | ۰/۱۰۲ |
| **میکوریز** | ۱ | ۴۹۹/۱۴۷ | ۰/۱۹۳ |
| **کود فسفر** | ۴ | ۷۴۷۲/۰۸** | ۰/۸۷۱** |
| **کود فسفر × میکوریز** | ۴ | ۴۸۱۶/۰۱۲** | ۰/۸۲۳** |
| **خطا** | ۱۸ | ۹۱۷/۵۴۶ | ۰/۱۶۶ |
| **ضریب تغییرات(درصد)** | | ۱۴/۴۹ | ۱۵/۸۳ |

## منابع

۱. افیونی م. ح. خادمی ح. شریعتمداری م. امینی و خسروی ا. (۱۳۷۹). بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان، گزارش نهایی سازمان حفاظت محیط زیست.

۲. آلیاری ه. و شکاری ف. (۱۳۷۹). دانه‌های روغنی زراعت و فیزیولوژی. انتشارات عمیدی تبریز. ۱۸۲ صفحه.

۳. امانی‌فر س. علی‌اصغرزاد ن. نجفی ن. اوستان ش. و بلندنظر ص. (۱۳۹۱). اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر گیاه پالایی سرب توسط سورگوم (*Sorghum bicolor L*) . نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۲. شماره ۱. ص ۱۵۶ - ۱۷۰.

۴. پورصالح مسعود. (۱۳۷۳). غلات، نشر سپهر، ۱۷۶ ص.

۵. تاجبخش م. (۱۳۷۵). "ذرت زراعت – اصلاح آفات و بیماریهای آن"، نشر احرار، تبریز ص۱۵۰.

۶. جیهونی م. (۱۳۸۹). بررسی جامع مواد هیومیکی و کاربرد آنها در کشاورزی. شرکت کشاورزی حاصل نوین، نشریه شماره ۳. مرداد ماه ۱۳۸۹.

۷. حیدری سورشجانی ش. فرقانی ا. مشهدی ا. بوجار ن. زواره م. (۱۳۹۰)، تاثیرکلات کننده‌های شیمیایی وکود دامی بر مقدار استخراج سرب به وسیله گیاه گوجه، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران.

۸. حمزه‌ئی ج. و صادقی می‌آبادی ف. (۱۳۹۲). مطالعه درصد کلونیزاسیون ریشه ارقام سورگوم دانه‌ای با دو گونه از قارچ میکوریزا و اثر آن بر بعضی صفات مورفولوژیک و زراعی. مجله دانش زراعت. سال ششم. شماره ۹. صفحه ۲۵- ۳۶.

۹. داعی ع. و سرداری م. (۱۳۸۹). نقش مواد آلی خاک وکودهای شیمیایی در سلامت و بیماری انسان. پزشک و محقق علوم زیستی. کارشناسی ارشد منابع طبیعی- مدیریت بیابان.

۱۰. دبیری م. (۱۳۷۵). آلودگی محیط زیست (هوا، آب، خاک، صوت)، انتشارات اتحاد. صفحه ۰۳۸-۳۳۱

۱۱. خداوردیلو ح،( ۱۳۸۵) . مدل سازی پالایش سبز خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب .رساله دوره دکتری تخصصی فیزیک و حفاظت خاک .دانشگاه تربیت مدرس .تهران، ایران .۱۳۱ صفحه.

۱۲. راشد محصل م. ح. حسینی م. عبدی م. و ملافیلابی ع. ( ۱۳۷۶). زراعت غلات (ترجمه و تدوین). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۶ صفحه.

۱۳. سعادت لاجوردی ن. (۱۳۷۹). دانه‌های روغنی. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۴. سلیمان زاده ح ، حبیبی د ، اردکانی م ، پاک نژاد ف ، رجالی ف ،۱۳۸۸، کارآیی میکوریز در سطوح مختلف فسفر و تاثیر آن بر عملکرد افتابگردان ، یازدهمین کنگره علوم خاک ایران

۱۵. شاه حسینی، ز.، غلامی، ا. و اصغری، ح. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر قارچ های میکوریزای آرباسکولار (AM) و اسید هیومیک بر روی عملکرد و راندمان مصرف آب (WUE) در ذرت تحت تأثیر شرایط کم آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۶. صفری سنجانی ع ا . احمدی پ. (۱۳۹۰). پیامدکاربردکود مرغی و عصاره آن درخاک برگیاه بهسازی سرب یک خاک آلوده ، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران.

۱۷. علیزاده ا. مجیدی ا. و نادیان ح. (۱۳۸۸). بررسی اثرات تلقیح میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن برخصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت. یافته‌های نوین کشاورزی. سال اول. ش ۴. ص ۱-۱۲.

۱۸. عموئی ع. محوی ا. ح. و ندافی ک. (۱۳۹۱). نقش ترکیبات شیمیایی بر میزان حذف و تثبیت فلزات سنگین در خاک و آلودگی منابع آب. دو ماهنامه علمی– پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۵، صفحات ۴۲۰- ۴۲۵ .

۱۹. قول لرعطا م. رئیسی ف. و نادیان ح. ا. (۱۳۸۷). اثرات متقابل شوری و فسفر بر رشد، عملکرد و جذب عناصر در شبدر برسیم (*Trifoliumalexandrinum L.*). مجله پژوهشهای زراعی ایران، شماره ۱، جلد ۶، ص ۱۱۷.

۲۰. گلچین ا. (۱۳۸۲). فعالیت های صنعتی و آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین، هشتمین کنگره علوم خاک ایران، رشت, ۷۷۶-۷۷۹.

۲۱. محمدی ثانی م. آستارایی ع. فتوت ا. لکزیان ا و طاهری م .(۱۳۹۰). بررسی تاثیر زئولیت و سوپر فسفات تریپل بر توزیع سرب ،روی و کادمیوم در ضایعات معدن. نشریه آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۲۵، شماره ۱، فروردین –اردیبهشت ۱۳۹۰، ص۵۰.

۲۲. محمدی ثانی م. آستارایی ع. فتوت ا. لکزیان ا و طاهری م. (۱۳۸۹). غیر پویا سازی سـرب و روی در ضایعات معدن به وسیله زئولیت وسوپر فسفات تریپل و تأثیر آن بر رشد گندم. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. جلد۸، شماره۶، ص۹۶۴ - ۹۵۶.

23. Abbaspour A. Golchin A**. ( 2010)**, Immobilization of heavy metals in a contaminated soil in Iran using di-ammonium phosphate, vermicompost and zeolite. **Environ Earth Sci**. 63:935-943.
24. Al-karaki GN and Hammad R. (**2001**), Mycorrhiza influence on fruit yield and mineral content of tomato frown under salt stress. **Journal of Plant Nutrition,** 24: 1311– 1323.
25. Al-Karaki G. McMichael B. and Zak J. **(2004),** Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. **Mycorrhiza**. 14(4): 263-269.
26. Alloway B. J. (**1990**), *Heavy metals in soils,* John Wiley & Sons. Inc. New York.
27. Alloway B. J. **(1995), Heavy metals in soils**, 2nd Ed; Blackie Academic and Professional: London, England
28. Amini M. M. Afyuni H. Khademi K.C. Abbaspour and Schulin R. ( **2005**), Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Sci.* **Total Environ**., 347: 64- 77.
29. Andersson S. S.I. Nilsson and Saetre. P. (**2000**), Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in more humus as affected by temperature and pH. **Soil Biol. Biochem**.32:1-10.
30. Ansari Mohamadi A. Hajabbasi. M. A. Khademi. H. and Kazemian H. **(2007)**, Soil cadmium stabilization using an Iranian natural Zeolite. **Geoderma**, 137: 388-393.
31. Auge R. M. Duan X. Ebel R.C. Azcon-Guilar C. and Azcon R. (**2005**), Intractions of arbascular mycorrhizal and nitrogen fixing symbiosis in sustainable agriculture. In : D. Werner and W. E. Newton. (Eds). Nitrogen fixation in agriculture ,forestly, ecology and the environment. **Springer**.
32. Barker A. J. M. (**1987). Metal tolerance**. New phytologyst. 106 :93-11
33. Basta N.T.and McGowen S.L.(**2004**), Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter-contaminated soil, **Environmental Pollution** , 127 , 73–82.
34. Bauske B. and D. Goetz. (**1993**), Effects of deicing salts on heavy metal mobility. *ActaHydrochimHydrobial.*21:38-42.
35. Beaton J. **(1985)**, Efficient fertilizer use – Fertilizer use … A historical perspective.

36. Berta, G. Fusconi, A. and Hooker, J. E. (**2002**). Arbuscular mycorrhizal modifications to plant root systems: scale, mechanisms and consequences. pp 71-85 In: "**Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts**" Gianinazzi, S. Schuepp, H. Barea, J. M. and Haselwandter, K. Basel, Switzerland, Birkhauser Verlag.
37. Bhargava A. Carmona F. F. Bhargava M. and Srivastava S. **(2012),** Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals.**Journal of environmental management**. 105: 103-120.
38. Bigham J. M. **(1996),** Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods, **American Society of Agronomy**, Inc, Madison.
39. Biro I. and Takacs T. **(2007)**, Effects of *Glomus mossea* strains of different origin on plant macro and micronutrient uptake in Cd polluted and unpolluted soils. **Acta Agronomica Hungarica,** 55(2):1- 10.
40. Bower N.J**. (1983),** A mechanistic model for describing the sorption and desorption phosphate by soil. **Journal of Soil Science** 34:733-750.
41. Brooks R. (**1998**), **Plants thathyperaccumulate heavy metals**. CAB International, New York. 320p.
42. Brown S. Chaney R. Hallfrisch J. Ryan J. Berti W. **(2004)**, In situ soil treatments to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc and cadmium. **J Environ Qual** 33:522–531.
43. Brown S.Christensen B. Lombi E. Mclaughlin M. Mcgrath S. Copier J. and Vangrosveld J. **(2005)**, An inter-laboratory study to test the ability of amendments to reduce the availability of Cd, Pb and Zn**. In SituEnvironmental Pollution**, 138: 34-45.
44. Brundett M. C. and Kendrick W. B. (**1988**), The mycorrhizal status, root anatomy, phenology of plant in a sugarmaple forest. **Canadian Journal of Botany**. 66:1153-1173.
45. Brundrett, M. C. **(2002),** Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New phytologist**.154(2): 275-304.
46. Buscot, F. (**2005**). What are soils?, pp 3–17, In: "**Microorganisms in soils: Roles in genesis and functions**" Buscot F. and Varma A. Vol 3, Soil Biology, Springer-Verlag, Heidelberg.
47. Byers H. G. (**1935**), Selenium occurrence in certain soils in the united states, with a discussion of the related topics.US.**Department Agriculture Technology bull**.482 : 1-47.
48. Cavagnaro T. R. Smith F. A. Smith S. E. and Jakobsen I. (**2005**), Functional diversity in arbuscular mycorrhizas: exploitation of soil patches with different phosphate enrichment differs among fungal species, **Plant Cell Environ.**, **28**, pp **642**.
49. Charlatchka R. and Cambier P. (**2000**), Influence of reducing conditions on solubility of trace metals in contaminated soils. **Water Air and Soil Pollu**. 118:143-167.

50. Chen S. Xu M. Ma Y. Yang J. (**2007**), Evaluation of different phosphate amendments on availability of metals in contaminated soil. **Ecotoxicol Environ Saf**. 67:278–285.
51. Chen X. Wu C. Tang J. and Hu S. **(2005)**, Arbuscular mycorrhizae enhance metal lead uptake and growth of host plants under a sandculture experiment. **Chemosphere**. 60: 665-671.
52. Cholpecka A. and D.C. Adriano. **(1996)**, Influence of Zeolite, apatite, and Fe-oxide on Cd and Pb uptake by crops. Sci. **Total Environ**. 207, 195-–206.
53. Clark R. B. and Zeto S. K. **(2000)**, Mineral acquisition by arbuscularmycorrhizal plants.J. **Plant Nutr**., 23, pp 867.
54. Clemens, S. **(2006).** Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. **Biochimie**. 88(11): 1707-1719.
55. Del Río-Celestino M. Font R. Moreno-Rojas R. and De Haro-Bailón A. **(2006),** Uptake of lead and zinc by wild plants growing on contaminated soils. **Industrial Crops and Products**. 24(3): 230-237.
56. de Souza L. A. de Andrade S. A. L. de Souza S. C. R. and Schiavinato M. A**. (2012),** Arbuscular mycorrhiza confers Pb tolerance in *Calopogonium mucunoides*. **Acta Physiologiae Plantarum**. 34(2): 523-531.
57. Dudka S. and D. C. Adriano. **(1997)**, Environmental impacts of metal ore mining and processing: A review. J. **Environ**. Qual. 26:590-602
58. Duponnois R. Colombet A. Hien V. and Thioulouse J. **(2005)**, The mycorrhizal fungus *Glomusintraradices*and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. **Soil Biol. Biochem**. 37:1460-1468.
59. EEA **(2010),** Europe’s environment: the fourth assessment. Environmental Assessment Reports, **European Environmental Agency**. Copenhagen. P44.
60. Eghball B. Wienhold B. J. Woodbury B. L. and Eigenberg R. A. **(2005)**, Plant availability of phosphorus in swine slurry and cattle feedlot manure. **Agron**. J. 97:542-548.
61. Entry J.A. Cromack K. Jr. Stanford S.G. and Castellano M. A. **(1987)**,The effect of pH and aluminium concentration on ectomycorrhizal formation of Abiesbalsamea.**Canadian Journal of forestry Research**. 17: 865-871.
62. Evangelou, M. W. Daghan, H. and Schaeffer, A. **(2004).** The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. **Chemosphere**. 57(3): 207-213.
63. Feng G. Zhang F. S. Li X. L.Tian C. and Rengel C. **(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.

64. Gaur A. and Adholey A. **(2000),** Mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. **Biological Fertilizer Soils**, 35: 214-218.
65. Ghasemi-Fasaei R. (**2012**), Effects of EDTA and Phosphorus Levels on Lead Phytoremediation by Maize, **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**. IJACS/ 4-23/ 1786-1790.
66. Giovannetti M. and Mosse B. (**1980**), An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots, **New Phytol**., 84, pp 489.
67. Gryndler, M. **(2000)**. Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms, pp 239–262, In: "**Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function**". Kapulnik Y. and Douds D. D. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
68. Gupta M. L. Prasad A. Ram M and Kumar S. **(2002)**, Effect of the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomusfasiculatum*) on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Menthaarvensis*) under field conditions. **Bioresource Technology.** 81: 77– 79.
69. Hanson w.c. (**1950**), J. Sci. **Food Agric**.: I, 172-173.
70. He Z. L. and Yang X. E. **(2007)**, Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. **Journal of Zhejiang University Science B**, 8(3), 192-207.
71. He Z. L. and Yang X. E. **(2007)**, Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils**. Journal of Zhejiang University Science B**, 8(3), 192-207.
72. Hernández-Allica J. Garbisu C. Becerril J. M. Barrutia O. García-Plazaola J. I. Zhao F. J. and McGrath S. P. **(2006),** Synthesis of low molecular weight thiols in response to Cd exposure in *Thlaspicaerulescens*.Plant, **cell and environment**. 29(7): 1422-1429.
73. Holden T. (**1989**), How to select hazardous waste treatment technologies for soils and sludges: Alternative, innovative, and emerging technologies. **Noyes data corporation**, Park Ridge, NJ.
74. Holleman A. F. Wiberg E. and Wiberg N. (Eds.). (**1995**), Lehrbuch der anorganischen Chemie. Walter de Gruyter.
75. Hue N.V. Ikawa H. and Huang X**. (1994)**, Predicting phosphorus requirements of some Hawaii soils. **Fact Sheet**, No:2. CTAHR.
76. Jakobsen I. Chen B. D. Munkvold L. Lundsgaard T. and Zhu Y. G. **(2005)**, Contrasting phosphate acquisition of mycorrhizal fungi with that of root hairs using the root hairless barley mutant. **Plant Cell Environ**., 28, pp 928.
77. Joner E.J. and Leyval C. **(1997),** Uptake of Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae* / *Trifolium subterraneum* mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium. **New Phytol**. 135: 353-360.

78. Joner E. J. and Johansen A. **(2000)**, Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscularmycorrhizal fungi, **Mycol. Res**., 104, pp 81.
79. Jones M.D. and Hutchinson T.C. **(1988)**, Nickel toxicity in mycorrhizal birch seedlings infected with Lactuarisrufus or Scleroderma flavidum. II. Uptake of nickel, calcium, magnesium, phosphorus and iron. **New Phytologist**. 108: 461-470.
80. Khan AG (**2005**), Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace element contaminated soils inphytoremediation. **J Trace Elem Med Biol**. 18: 355-364.
81. Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. B. **(2007),** Trace elements from soil to human. **Springer.**
82. Khan A. G. **(2006),** Mycorrhizoremediation—an enhanced form of phytoremediation. **Journal of Zhejiang University Science B**. 7(7): 503-514.
83. Khan M. S. and Zaidi A. **(2007)**, Synergistic effects of the inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. Turk J. **Agric**. For., 31, pp 355.
84. Kiston R. S .and Mellon M. G. (**1944**), Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.16, 379-381.
85. Koide R. T. and Kabir Z. **(2000)**, Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomusintraradices* can hydrolyse organic phosphate, **New Phytol**., 148, pp 511.
86. Kumpiene J. Lagerkvis A. T. and Maurice C. H. **(2007)**, Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments: A review. **Waste Management**.
87. Laperche V. J. Logan J. Gaddham P. and Traina S.J. (**1997**), Effect of apatite amendments on plant uptake of lead from contaminated soil. **Environ. Sci. Technol**. 31:2745- 2751.
88. Lesmana S. O. Febriana N. Soetaredjo F. E. Sunarso J. and Ismadji S. **(2009),** Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater.**Biochemical Engineering Journal**. 44(1): 19-41.
89. Leung H. M. Leung A. O. W. Ye Z. H. Cheung K. C. and Yung K. K. L. **(2013),** Mixed arbuscular mycorrhizal (AM) fungal application to improve growth and arsenic accumulation of *Pteris vittata* (As hyperaccumulator) grown in As-contaminated soil. **Chemosphere**. 92(10):1367-74.
90. Liu A. Hamel C. and Marchner B. **(2000)**, Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. **Mycorrhiza**, 9: 331-336.
91. Liu D. C**. ( 2002)**, Better utilization of by-products from the meat industry. Department of
92. Animal Science National Chung-Hsing University Taichung, Taiwan.

93. Liu Y. G. Wang X. H. Zeng G. M. Li X. Zhou C. H. Fan T. and Yuan X. Z. **(2006),** Redistribution of Pb, Zn and Cu fractions in tailing soils treated with different extractants. **Pedosphere**. 16(3): 312-318.
94. Lobartini J.C. Tan K. H. and Pape C. **(1998)**, Dissolution of aluminum and iron phosphate byhumic acids. . v. 29 (5/6) **Commun. soil sci**. plant anal. p. 535-544.
95. Ma L.Q. and Rao G.N.(**1997**), Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zink in contaminated soils. **J Environ Qual**, 26:259-264
96. Marques A. P. Oliveira R. S. Samardjieva K. A. Pissarra J. Rangel A. O. and Castro P. M**. (2007)**, *Solanumnigrum* grown in contaminated soil: Effect of arbuscularmycorrhizal fungi on zinc accumulation and histolocalisation**. Environmental Pollution**.145(3): 691-699.
97. McGrath S. P. Lombi E. Gray C. W. Caille N. Dunham S. J. and Zhao F. J. **(2006),** Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri*. **Environmental Pollution.** 141(1): 115-125.
98. McIntyre T. **(2003)**, Phytoremediation of heavy metals from soils. Adv Biochem Eng **Biotechnol**. 78: 97–123.
99. McLaughlin M. J. Tiller K. G. Beech T.A. and Smart M. K. (**1994**), Soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. *J.* **Environ**. *Qual*. **23**:1013-1018.
100. Miransari, M. **(2011).** Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. **Applied microbiology and biotechnology**. 89(4): 917-930.
101. Mignardi S. Corami A. Ferrini V. (**2013**), Immobilization of Co and Ni in mining-impacted soils using phosphate amendments. **Water Air Soil Pollut**. 224, 1447-1456 .
102. Naidu, R. and P.A. Helmke. (**1999**). The speciation of cadmium , copper and zinc in soil solution using Donan equilibrium. **Geoderma** 85: 231-243.
103. Nielsen P. H. **(1999-2000)**, **Bone- blood- and meat meal production**. Version No:1.
104. 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, U. S. Government Printing Office, **Washington D. C**. 939**.**
105. Ortus I. and Harris P. J. **(1996)**, Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. **Plant and Soil.** 184: 225-264.
106. Ortas I. **(2010)**, Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. **Spanish Journal of Agricultural Research 8,** S116–S122.
107. Park J. bolan N. mallavarapu M. and naidu R. (**2010**), Effect of phosphate-induced immobilization of lead on its mobility and bioavailability, **World Congress of Soil Science**, Brisbane, Australia.

108. Peterso R. L. and H. B. Massicotte.**(2004)**, Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. **Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique,** 82 (8): 1074-1088.

109. Pharudi J. A**. (2010)**, PhD. Thesis, "Effect of mycorhizal inoculation and phosphorus levels on growth and yield of wheat and maize crops grown on a phosphorus deficient sandy soil" Agri. depart. **Stellenbosch University**.

110. 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.

111. Pulford I. D. and Watson C. **(2003),** Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees-a review. **Environment international**. 29(4): 529-540.

112. Punamiya P. Datta R. Sarkar D. Barber S. Patel M. and Da P**.( 2010),** Symbiotic role of Glomusmosseae in phytoextraction of lead in vetiver grass [Chrysopogon zizanioides (L. )]. J. **Hazard. Mater**. 177: 465-474.

113. Quevauviller P. M. Lachica E. Barahona A. Gomez G. Rauret A. Ure and Muntau H. (**1998**), Certified reference material for the quality control of EDTA- and DTPA- extractable trace metal contents in calcalreous soil (CRM 600). **Fresenis J. Anal. Chem**. 360:505- 511.

114. Raicevic S. Kaludjerovic-Radoicic T. Zouboulis A.I. **(2004)**, In situ stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates: Theoretical prediction and experimental erification. **Journal of Hazardous Materials**, B117 :41 -53.

115. Read D. J. Duckett J. G. Francis R. Ligrone R. and Russell A. **(2000),** Symbiotic fungal associations in 'lower'land plants.Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: **Biological Sciences**. 355(1398): 815-831.

116. salt D. E. Smith R. D. Raskin I. **(1998)**, Phytoremediation. Annual Review of plant physiology and molecular Biology,49 : 643-668

117. Sauve S. C. Martinez E. Mc Bride M. and Hendershot W.( **2000**), Adsorption of free lead by pedogenic oxides, ferrihydrite and leaf compost. **Soil Sci. Soc. Am**. *J*. 64:595-599.

118. Schnepf A. Roose T. and Schweiger P. (**2008**), Impact of growth and uptake patterns of arbuscular mycorrhizal fungi on plant phosphorus uptake a modelling study, **Plant Soil**., **312**, pp **85**.

119. Sharma, A. K. and Johri, B. N. (**2002**) "Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils" **Science Publisher**. INC, ENFILD, NH, USA.

120. Sharma P. and Dubey R.S. **(2005)**, Lead Toxicity in plants. **Plant Physiol**.17: 35-52.

121. Shenoy V. V. and Kalagudi G. M. **(2005)**, Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping**, Biotechnol.Adv**., 23, pp 501.

122. Shetty K.G. Hetrick B.A.D. Figge D.A.H. and Schwab A.P. **(1994**), Effects of mycorrhizae and other soil microbes on revegetation of heavy metal contaminated mine spoil**. Environ. Pollut**. 86: 181-188.
123. Shibao C. Li C. Yibing MA. and Yizong h. (**2009**), Can phosphate compounds be used to reduce the plant uptake of Pb and resist the Pb stress in Pb-contaminated soils**?, Journal of Environmental Sciences**. 21/ 360–365.
124. Sieverding E. (**1991**),Vesicular arbuscularmycorrhiza management in tropical agrosystem. Technical cooperation, **Federal Republic of Germany. Eschborn** 370p.
125. Silviera D.J. and Sommers L.E. (**1977**), Extractability of copper, zinc, cadmium and lead in soils incubated with sewage sludge. **J. Environ. Qual**. 6:47-52.
126. Soleimani M. Hajabbasi M. A. Afyuni M. Charkhabi A. H. and Shariatmadari H. **(2009),** Bioaccumulation of nickel and lead by Bermuda grass (*Cynodondactylon*) and tall fescue (*Festucaarundinacea*) from two contaminated soils. Caspian J. **Env. Sci**. 7(2): 59-70.
127. Smith S. E. and Read D. J. **(2010),** Mycorrhizal symbiosis.Access Online via Elsevier.
128. Sparks, D. L **Environmental Soil Chemistry**, CRC Boca Raton USA (1995).
129. Stevenson F. J. (**1982**), Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions; Wiley-Interscience: **New york**, 496pp.

130. Tarafdar J. C. and Marschner, H. **(1994)**, Phosphorus activity in the rhizosphere and hyphosphere of VM mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. **Soil Biol. Biochem**. 26:387-395.
131. Tawaraya K. Naito M. and Wagatsuma T. **(2006)**, Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscularmycorrhizal fungi, J. **Plant Nutr**., 29, pp 657.
132. Tessier A. Campbell P. Bisson M. **(1979)**, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. ***Analytical Chemistry***, 51(7): 844–851.
133. Tibbett M. and Sanders F. E. (**2002**), Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality. **Ann. Bot. (London).**, **89**, pp **783**.
134. Theodoratos P. Papassiopi N. Xenidis A. (**2002**), Evaluation of monobasic calcium phosphate for the immobilization of heavy metals in contaminated soils from Larvon. **J Hazard Mater** 94:135–146.
135. Vamerali T. M. Saccomani S. Bona G. Mosca M. and Ganis A. **(2003),** A comparison ofroot characteristics in relation to nutrient and water stress in tow maize hybrids. **Plant and Soil**, 255: 157-167.
136. Vishnu P. K. Gadepalle S. Ouki R. Van Herwijnen R. and Hutchings T **.( 2007),** Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for vegetation establishment on contaminated sites. **Soil and Sediment Contamination**, 16:233–251 .

137. Vivas A. Azcon R. Biro B. Barea J.M. and Ruiz-Lozano J.M. **(2003),** Influence of bacterial strains isolated from lead-polluted oil and their interactions with arbuscular mycorrhizae on the growth of *Trifolium pratense* L. **under lead toxicity**. Microbiol. 49: 577-588.
138. Wang K. R. Xia Y. and Selim H. M.(**2003**), Dynamic changes of cadmium fractionations in different soils after waterlogged incubation.Symposium no. 41.
139. Wang X. Q. Pan F. Chen X. Yan and H. Liao.**(2011)**, Effects of co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungiand rizobia on soybean growth as related to root architecture and availability of N and P. **Mycorrhiza**. 21: 173-181.
140. Weissenhorn L .Leyval C. and Berthelin J.**(1995b)**, Bioavailability of heavy metals and abundance of arbuscularmycorrhiza in soil polluted by atmospheric deposition from a smelter.**BiolFertil Soils**, 19: 22–28.
141. Widada J. Damarjaya D. I. and Kabirun S. **(2007)**, The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil pp 173–177. First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Vela zquez E. and Rodriguez-Barrueco C**. Springer**.
142. Wong M.H. **(2003)**, Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils**. Chemosphere**. 50: 775–780.
143. Yan F. and Schubert S. (**2000**), Soil pH changes after application of plant shoot materials of faba bean and wheat .**Plant and Soil** 220:279-287.
144. Yancheshmeh J.B. Khavazi K. Pazira E. and Solhi M. (**2011**), Evaluation of inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria on cadmium and lead uptake by canola and barley, **African Journal of Microbiology Research**, 5(14): 1747-1754.
145. Yang X. Feng Y. He Z. and Stoffella P. J. **(2005),** Molecular mechanisms of heavy metal hyper-accumulation and phytoremediation. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**. 18(4): 339-353.
146. Zhao Z. Jiang G. and Mao R.(**2014**), Effects of particle sizes of rock phosphate on immobilizing heavy metals in lead zinc mine soils, **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 14 (2), 258-266.
147. 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.
148. Zhu Y. S Chen. and J. Yang.( **2003**), Effect of soil amendment on lead uptake by two vegetable crops from a leadcontaminated soil from Anhui, China. **Environmental International**, 30: 351-356.
149. Zimdal R.L. and Koeppe D.E. (**1977**), Uptake by plants, PP. 93-134. In: W.R. Boggess, B.G. Wixson, (Eds.), **Lead in the environment**, National Science Foundation, Washington, DC.

150. Zorpas A .A. Constantinides T. Vlyssides A.G. Haralambous I. Loizidou M. (**2000**), Heavy metal uptake bynatural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost, Biores. **Technol**. 72 :113–119.
151. Zwonitzer J. Pierzynski G. Hettiarachchi G. (**2003**), Phosphorus source and rate effects on lead, cadmium and zinc bioavailability in a metal contaminated soil. **Water Air Soil Pollut** 143:193–209.

## Abstract

Along with the occurrence of population growth, industrial and mining activities development have been happened. The consequence of these activities is environmental pollution, especially with heavy metals. One of the most important elements, is lead, because it is highly toxic in soluble ionic forms, and can reduce the quality and yield of crops that have grown in contaminated soils by this element. Root symbiosis with mycorrhizal fungi can increase plant resistance against heavy metals; also the availability of this Element for plant roots can reduce by compounds with low solubility and their sedimentation by phosphorous amendments. Therefore, this study was carried out as a factorial experiment in a randomized complete block design in Shahrood university research greenhouse. Treatments included mycorrhizal fungi with two levels inoculation and without inoculation and organic and inorganic phosphorous fertilizers such as the control ,humic acid, diammoniumphosphate, bone meal and bone meal+humic acid on maize and sunflower. The results showed that inoculation with mycorrhizal fungi has caused a significant increase in percentage of mycorrhizal colonization and root dry weight in both plants. Phosphate fertilizers significantly increased the available and soluble soil phosphorus, shoots and roots dry weight in both plants. Concentration and uptake of phosphorus in shoots and roots were significant with separate applications of mycorrhizal fungi and phosphate fertilizers in sunflower, while the interaction effects on these characteristics were significant in maize. The interaction effects of mycorrhiza and phosphorous fertilizers were significant on the decrease of soil exchangeable Pb in both plants. Treatment with di-ammonium phosphate in maize and humic acid and di-ammonium phosphate treatments with mycorrhiza in sunflower were caused the significant decrease of soil exchangeable lead.

The main effects of phosphate fertilizers and mycorrhiza treatments were significant on decrease of lead concentration in shoots of both plants, while the interaction effects of phosphorus and mycorrhiza were significant on decrease of pb uptake in shoots of maize and in sunflower. The main effect of phosphorus fertilizer treatments was significant. Lead concentration in shoots of plant had the most decrease by the application of ammonium phosphate treatment, while in sunflower, di-ammonium phosphate, humic acid and bone meal treatments and the combined application of humic acid and bone meal have caused to decreased Pb concentration in shoots. Generally, in this study di-ammonium phosphate fertilizer treatment has caused the positive effect and increase of shoot and root dry weight, soil available P and decrease of soil exchangeable Pb. Lead concentration in plant and plant roots in both plants results show the use of a phosphorus amendment to reduce the amount of lead available and decreased uptake by the plant can be effective.

**Key words**: Mycorrhiza, Phosphorous, lead, maize, sunflower

**Shahrood University**

**Faculty of Agricultural**

# Effects of Phosphorous Fertilizers and Arbuscular mycorrhiza fungi on Pb Availability in Maize and Sunflower in a Pb Contaminated Soil

**Mahdiyeh Amouzegar**

Supervisors:

Dr. Ali Abbaspour
Dr. Shahin Shahsavani

Advisors:

Dr. Hamid Reza Asghari
Dr. Mahdiyeh Parsaieyan

February 2015