# کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به روی به وسیله گیاه ذرت

مهدی زارعی[۱*]، ناهید صالح راستین[۲] و غلامرضا ثواقبی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۸/۱۰)

**چکیده**

**در یک آزمایش گلخانه‌ای نقش سه گونه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی منشا گرفته از یک خاک آلوده در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به روی با استفاده از گیاه میزبان ذرت، بررسی شد. این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتورهای قارچ شامل ۴ سطح (شاهد، *گلوموس موسه‌ای* ، *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس ورسیفورم*) و روی در ۵ سطح (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی-گرم روی در کیلوگرم) در یک خاک غیر استریل با بافت لوم شنی و در سه تکرار انجام شد. گیاهان ذرت مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، در مقایسه با گیاهان شاهد مایه‌زنی نشده، جذب روی و فسفر و نیز عملکرد بیولوژیک بیشتری داشته و علائم سمیت روی در آنها دیده نشده است. کارایی جذب، انتقال و استخراج گیاهی در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم از سایر تیمارها بیشتر ولی در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، این مقادیر در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* بالاتر بوده است. بالاترین کارایی هر سه گونه قارچی در افزایش جذب روی اندام هوایی و ریشه گیاه در پایین‌ترین سطح روی دیده شد و در بالاترین سطح روی گونه *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس موسه‌ای* به ترتیب کارایی قابل توجهی در افزایش جذب روی ریشه و اندام هوایی گیاه داشته‌اند. گونه *گلوموس ورسیفورم* در اکثر موارد نسبت به دو گونه قارچی دیگر حالت بینابینی داشته است.**

**واژه‌های کلیدی: قارچ های میکوریز آربوسکولار، گیاه پالایی، روی، ذرت**

۱. استادیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. استاد و دانشیار علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehdizarei20@yahoo.ca



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

## مقدمه

خاک به عنوان جزئی از بیوسفر، نقش مهمی در تولید غذا و پایداری محیط زیست دارد. افزایش جمعیت و به همراه آن افزایش دانش علمی و فنی و گسترش صنایع بدون رعایت مسائل و استانداردهای زیست محیطی سبب آلودگی محیط و به هم خوردن تعادل اکوسیستم خاک شده است. بنابراین آگاهی در مورد آلاینده‌های خاک و توجه بیشتر به راه‌کاری مناسب برای کاهش آنها، ضرورتی انکارناپذیر است. روش‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به کار برده شده‌اند که اغلب آنها علاوه بر هزینه زیاد، سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک شده و کاربری اراضی برای تولید محصول را کاهش داده‌اند. بنابراین بهتر است تا حد ممکن از روش‌های بیولوژیک مناسب، طبیعی، مقرون به صرفه و در محل استفاده شود. گیاه‌پالایی (Phytoremediation) به عنوان یک روش مورد قبول برای جابه‌جایی و یا غیرفعال کردن فلزات در خاک‌های آلوده توصیه شده است(۱۱ و ۱۳). کارایی گیاهان استفاده شده در این روش در صورت هم‌زیستی آنها با میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی به ویژه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌تواند تشدید شود (۱۳ و ۲۶). مطالعات محققین، حضور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و کلنیزه شدن ریشه‌های گیاهان به وسیله آنها را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش داده‌اند (۱۱ و ۳۳). محققین زیادی گزارش داده‌اند که اکوتیپ‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار منشا گرفته از خاک‌های آلوده نسبت به سویه‌های قارچی بومی خاک‌های غیر آلوده، تحمل پذیری و مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی فلزات سنگین دارند (۹). گزارش شده است که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در آلی کردن فلزات در ریزوسفر گیاه موثر هستند و با تجمع فلزات به شکل غیر سمی در ریشه‌های گیاه و میسلیوم‌های برون ریشه‌ای به تثبیت گیاهی کمک می‌کنند(۱۳). هم‌چنین مشخص شده که کلنیزه شدن گیاه به وسیله برخی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌تواند جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه (استخراج گیاهی) را افزایش دهد (۲۹). ذرت یک گیاه زراعی با زیست توده بالاست که می‌تواند مقادیر قابل توجه فلزات سنگین شامل روی (۳۱) و مس (۲۹) را از خاک‌های آلوده استخراج کند. وابستگی شدید ذرت به هم‌زیستی میکوریز و توان تولید زیست توده بالا در صورت هم‌زیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، سبب شده که این گیاه بتواند نقش مهمی در گیاه‌پالایی فلزات سنگین ایفا کند. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با کاهش سمیت فلزات سنگین و بهبود شرایط رشد گیاه ذرت، کاربرد آن را در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده افزایش می‌دهند. در این زمینه پیدا کردن بهترین سویه‌های قارچی برای تولید زادمایه به منظور افزایش کارآیی ذرت در گیاه‌پالایی ضرورت دارد. مطالعات زیادی در مورد روابط بین ذرت، قارچ‌های میکوریزی و روی در شرایط کشت متفاوت انجام شده است که نتایج آنها متناقض بوده‌اند. قارچ‌های میکوریزی جذب روی در اندام هوایی را در شرایط کمبود روی تقویت می‌کند و در شرایط بالای روی کاهش می‌دهند (۶، ۷، ۲۷ و ۲۹). نتایج مطالعات نشان داده‌اند که نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاه‌پالایی، در صورت حضور چند فلز با هم، به طور دقیق مشخص نمی‌شود (۳۰). ویسن هورن و همکاران (۲۹) جذب فلزات سنگین به وسیله گیاه ذرت میکوریزی را در خاک‌های آلوده به کادمیوم، روی، سرب، مس و منگنز مطالعه کردند، ولی به دلیل این‌که فلزات با یکدیگر اثر متقابل دارند، نتایج آنها به طور دقیق نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را بر جذب هر یک از فلزات، مشخص نکرده است. با توجه به این‌که در اکثر تحقیقات انجام شده، نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار غیر بومی مناطق آلوده در گیاه پالایی بررسی شده و هم‌چنین خاک‌ها به چندین فلز سنگین آلوده شده بوده‌اند، بنابراین ما در این تحقیق نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار جدا شده از خاک‌های اطراف منطقه معدن روی و سرب انگوران را در گیاه پالایی خاک‌های آلوده شده با فلز سنگین روی در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار داده‌ایم.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

## مواد و روش‌ها

### زادمایه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

براساس نتایج شناسایی و تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در منطقه معدن روی و سرب انگوران، در محدوده آلودگی زیاد، اسپورهای *گلوموس موسه‌ای* و در محدوده آلودگی متوسط، اسپورهای *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس ورسیفورم* انتخاب و تکثیر شدند(۱). شناسایی گونه‌های قارچی با روش‌های موفولوژیک و مولکولی انجام شده است (۱ و ۳۲). در پایان مرحله تکثیر، در زادمایه *گلوموس اینترارادیسز*($G_1$)، متوسط کلنیزاسیون ریشه ۷۵ درصد و تعداد اسپور در هر گرم بستره ۸ اسپور بود. در زادمایه *گلوموس موسه‌ای*($G_2$) و *گلوموس ورسیفورم*($G_3$)، متوسط کلنیزاسیون ریشه ۶۵ درصد بوده و تعداد اسپور در هر گرم بستره ۱۱ اسپور برآورد گردید.

### تیمار روی

روی از منبع سولفات روی $ZnSO_4.7H_2O$ در ۵ سطح مورد استفاده قرار گرفت: $Z_0$: شاهد، $Z_1$ :مقدار ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، $Z_2$: مقدار ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، $Z_3$: مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک و $Z_4$: مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک.

### خاک بستر کشت

برای کشت گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، یک خاک لوم شنی با قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، پ هاش ۷/۸، کربنات کلسیم ۸/۵ درصد ، ماده آلی ۰/۱درصد، فسفر قابل جذب ۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، روی قابل استخراج با DTPA ۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و نیتروژن کل ۰/۰۳ درصد، پتاسیم ۱۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، آهن قابل استخراج با DTPA ۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم (۲۳، ۱۸) و جمعیت پایین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی در نظر گرفته شد.

### کشت گیاه و انجام تیمارها

برای کشت گیاه، مقدار ۴ کیلوگرم خاک هوا خشک غیر استریل با بافت لوم شنی در هر گلدان پلاستیکی ریخته شد. برای انجام تیمار روی، مقدار سولفات روی با توجه به سطوح مورد نیاز روی ۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، وزن و با خاک هر گلدان کاملاً مخلوط شد. هم‌زمان برای حفظ تعادل گوگرد در تمام گلدان‌ها و حذف تأثیر مقادیر سولفات اضافه شده بر عملکرد گیاه، مقادیر گوگرد معادل با سولفات روی از منبع سولفات پتاسیم به خاک گلدان‌های مربوط، اضافه و کاملاً با آن مخلوط شد (۳۳). برای انجام تیمارهای قارچ میکوریز آربوسکولار، حدود ۷-۵ سانتی‌متر از قسمت بالایی خاک هر گلدان برداشته شد و مقدار ۵۰ گرم زادمایه به صورت یک لایه نازک یک‌نواخت در سطح خاک پخش شد. برای تیمار شاهد، مقدار معادل از مخلوط دو بار سترون (اتوکلاو شده در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه) سه زادمایه به خاک هر گلدان اضافه شد. مقدار خاک برداشت شده از هر گلدان روی زادمایه برگردانده شد. بذرهای ضدعفونی سطحی شده ذرت به تعداد ۶ بذر در هر گلدان کشت شد. سوسپانسیون ۱:۱۰ از مخلوط اتوکلاو نشده سه زادمایه با آب مقطر تهیه گردید و از فیلتر عبور داده شد. مقدار ۵ میلی‌لیتر از مواد فیلتر شده به خاک تمام گلدان‌ها افزوده گردید تا ترکیب جامعه میکروبی خاک به جز قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در همه تیمارها یکسان گردد (۵). پس از ظهور گیاهچه‌ها، بذرهای ذرت به ۴ عدد در هر گلدان کاهش داده شد. آبیاری گلدان‌ها تا ۰/۷۵ رطوبت حد ظرفیت زراعی با آب مقطر انجام شد. مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم اوره در دو تقسیط و ۲۰ میلی‌گرم فسفر از منبع $Ca(H_2PO_4)_2$ به خاک هر گلدان اضافه شد. گیاهان در گلخانه با ۱۴ ساعت روشنایی، ۱۰ ساعت تاریکی و نور با شدت ۱۸۰۰۰ لوکس به مدت ۴ ماه نگهداری شدند. آزمایش گلخانه‌ای به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور ۱) قارچ میکوریز آربوسکولار در ۴ سطح ($G_0$، $G_1$، $G_2$ و $G_3$) و ۲) روی در ۵ سطح ($Z_0$، $Z_1$، $Z_2$، $Z_3$، $Z_4$ و $Z_5$) در سه تکرار انجام شد که در مجموع ۶۰ گلدان آماده گردید.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

**برداشت، تجزیه گیاه و آنالیزهای آماری**

برداشت گیاهان ۴ ماه بعد از کاشت آنها انجام شد. ریشه‌ها از خاک خارج، مقداری از آن برای رنگ‌آمیزی و تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه با روش کورمانیک و مک گرو به کار رفت و باقی‌مانده ریشه همراه با اندام هوایی پس از شستشو با آب مقطر به طور جداگانه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. پس از توزین، به وسیله آسیاب پودر گردید. ریشه و اندام هوایی خاکستر گردیده و پس از افزودن اسید کلریدریک ۲ نرمال و به حجم رساندن، غلظت روی در اندام هوایی و ریشه با دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu, Japan) A-670 و غلظت فسفر اندام هوایی با روش رنگ سنجی نیتروواناداومولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (Shimadzu,Japan)UV-3100 اندازه‌گیری شدند (۸). کارآیی استخراج (Phytoextraction efficiency)، انتقال (Translocation efficiency)، جذب گیاهی (Uptake efficiency) و کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در جذب روی ((AMF feedback on plant HM content (AMF Effectiveness)) با کمک فرمول‌های زیر محاسبه شد (۲ و ۲۸):

[۱] = (میکروگرم درگرم) کارآیی استخراج گیاهی
مقدار روی جذب شده در اندام هوایی / وزن خشک ریشه

[۲] = (میکروگرم درگرم) کارآیی جذب گیاهی
مقدار روی جذب شده در اندام گیاه / وزن خشک ریشه

[۳] = درصد کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در جذب روی
۱۰۰ * (مقدار روی جذب شده در تیمارهای غیر میکوریزی- مقدار روی جذب شده در تیمارهای میکوریزی) / مقدار روی جذب شده در تیمارهای غیر میکوریزی

کارهای آماری با نرم افزارهای MSTATC و SPSS و رسم نمودارها با Excel انجام گردید.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده به صورت زیر است:

**کلنیزاسیون ریشه**

اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و روی بر کلنیزاسیون ریشه معنی‌دار بوده ولی اثرات متقابل آنها معنی‌دار نشده است (جدول۱). در اثر مایه‌زنی ذرت با قارچ میکوریزی درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به شاهد به طور معنی‌دار($P<0/05$) افزایش یافته ولی گونه‌های قارچی از این لحاظ با یکدیگرتفاوت معنی‌داری نداشته‌اند (جدول ۲). درصد کلنیزاسیون ریشه تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم تفاوت معنی‌داری با سطوح پایین‌تر روی نداشته است، ولی در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کلنیزاسیون ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است(جدول ۲).

**زیست توده گیاه**

اثر مایه‌زنی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و سطوح روی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بوده ولی آثار متقابل آنها معنی‌دار نشده است (جدول ۱). تیمارهای مایه‌زنی نشده با قارچ‌های میکوریزی، در تمام سطوح روی کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه را نسبت به تیمارهای مایه‌زنی شده داشته‌اند ولی در هر یک از سطوح روی بین گونه‌های قارچ میکوریزی از نظر تأثیر بر زیست توده گیاه، اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است (شکل۱ A وB). تأثیر منفی کمبود روی (سطح صفر) و یا فراوانی و حالت سمی آن (سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم) بر زیست توده گیاهان میکوریزی گرچه مشهود است ولی به سطح معنی‌دار به لحاظ آماری نمی رسد، در حالی‌که در مورد تیمارهای مایه‌زنی نشده با قارچ‌های میکوریزی این آثار منفی کاملاً معنی‌دار شده است (شکل ۱).

**غلظت فسفر گیاه و مقدار جذب آن**

بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر مایه‌زنی با قارچ بر غلظت فسفر اندام هوایی معنی‌دار بوده ولی اثر سطوح روی و آثار متقابل قارچ و روی معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). قارچ‌های



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

**جدول ۱. تجزیه واریانس اثرات فاکتورهای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و روی و آثار متقابل آنها بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده گیاه ذرت**

| | منابع تغییرات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| میانگین مربعات شاخص‌های مورد بررسی | روی | قارچ‌های میکوریز آربوسکولار | قارچ‌های میکوریز آربوسکولار × روی | اشتباه آزمایش | ضریب تغییرات (%) |
| کلنیزاسیون ریشه | ۱۶۹/۶$^{***}$ | ۹۸۵۳/۶$^{***}$ | ۱۲/۳$^{ns}$ | ۱۹/۵ | ۹/۷ |
| وزن خشک اندام هوایی | ۶/۱$^{***}$ | ۲۵/۵$^{***}$ | ۰/۴$^{ns}$ | ۰/۷ | ۱۷/۲ |
| وزن خشک ریشه | ۰/۰۹۹$^{**}$ | ۰/۹۵۹$^{***}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۲ | ۱۳/۶ |
| غلظت فسفر در اندام هوایی | ۰/۰۰۸$^{ns}$ | ۰/۵$^{***}$ | ۰/۰۰۹$^{ns}$ | ۰/۰۱ | ۹/۷ |
| مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی | ۹/۴$^{**}$ | ۸۱/۰$^{***}$ | ۰/۷$^{ns}$ | ۱/۹ | |
| غلظت روی در اندام هوایی | ۱۹۹۷۷۲/۸$^{***}$ | ۳۰۵۳/۷$^{*}$ | ۵۹۱۶/۸$^{***}$ | ۱۰۱۴/۵ | ۱۲/۹ |
| غلظت روی در ریشه | ۱۳۱۰۶۵۰/۸$^{***}$ | ۲۸۵۰/۵$^{ns}$ | ۴۶۱۰/۳$^{ns}$ | ۳۹۴۳/۵۸۷ | ۱۴/۷ |
| مقدار روی جذب شده در اندام هوایی | ۳۸۴۴۱۲۲/۳$^{***}$ | ۲۳۱۶۰۰۹/۶$^{***}$ | ۱۷۲۱۹۴ /۶۳۹$^{**}$ | ۵۸۸۹۱/۲ | ۱۹/۶ |
| مقدار روی جذب شده در ریشه | ۱۱۶۶۹۷۸/۵$^{***}$ | ۲۱۱۷۴۹/۸$^{***}$ | ۴۱۲۳/۸$^{**}$ | ۱۲۴۹۲/۴ | ۲۴/۱ |
| کارآیی استخراج گیاهی روی | ۴۴۱۱۶۸۴/۵$^{***}$ | ۱۹۸۴۴۹/۰$^{ns}$ | ۲۱۳۴۶۸/۴$^{ns}$ | ۱۱۱۲۱۲/۴ | ۲۹/۵ |
| کارآیی انتقال روی | ۳/۴$^{**}$ | ۳/۰$^{*}$ | ۰/۷$^{ns}$ | ۰/۷ | ۲۸/۰ |
| کارآیی جذب روی | ۱۰۰۲۶۴۶۶/۲$^{***}$ | ۸۰۵۲۵۹/۹$^{***}$ | ۱۲۴۰۵۸/۲$^{ns}$ | ۸۲۹۵۴/۵ | ۱۸/۰ |
| درجه آزادی | ۴ | ۳ | ۱۲ | ۴۰ | - |

ns، $^{*}$، $^{**}$ و $^{***}$: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد

میکوریزی از نظر تأثیر بر غلظت فسفر اندام هوایی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند ولی نسبت به تیمارهای غیر میکوریزی به طور معنی‌داری غلظت فسفر اندام هوایی گیاه را افزایش داده‌اند (جدول ۲).در تیمارهای مایه‌زنی نشده با قارچ‌های میکوریزی، با افزایش مقدار روی، غلظت فسفر در اندام هوایی کاهش یافته و در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم این کاهش غلظت به سطح معنی‌دار رسیده است، در حالی‌که چنین کاهشی در تیمارهای معادل میکوریزی دیده نمی‌شود (جدول ۲). اثر کلی قارچ و روی بر مقدار جذب فسفر در اندام هوایی معنی‌دار بوده ولی آثار متقابل آنها معنی‌دار نبوده است. مقدار فسفر جذب شده در ریشه و اندام هوایی در تیمارهای میکوریزی نسبت به شاهد به طور معنی‌دار بالاتر بوده ولی در بین گونه‌های قارچی از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردیده است (جدول ۲)در تیمارهای میکوریزی، با افزایش سطح روی، اختلاف معنی‌دار در تیمارهای مختلف وجود نداشته است (جدول ۲). بیشترین مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی تیمارهای مایه‌زنی نشده با قارچ میکوریزی، در سطح ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم بوده است. با افزایش سطح روی مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی کاهش یافته و در بالاترین سطح روی (۵۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم) به حداقل رسیده است. در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریزی، کاهش جذب فسفر در ارتباط با افزایش سطح روی، کمتر است ولی به لحاظ آماری به سطح معنی‌دار نمی‌رسد (جدول۲).

**غلظت روی گیاه**

اثر قارچ، روی و آثار متقابل آنها بر غلظت روی اندام هوایی معنی‌دار بوده است (جدول ۱). غلظت روی در اندام هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، تفاوت قابل توجهی با سایر گونه‌های قارچی نداشته ولی در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی بر



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

**جدول۲. مقایسه میانگین آثار متقابل گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار و روی بر صفات اندازه‌گیری شده ذرت**

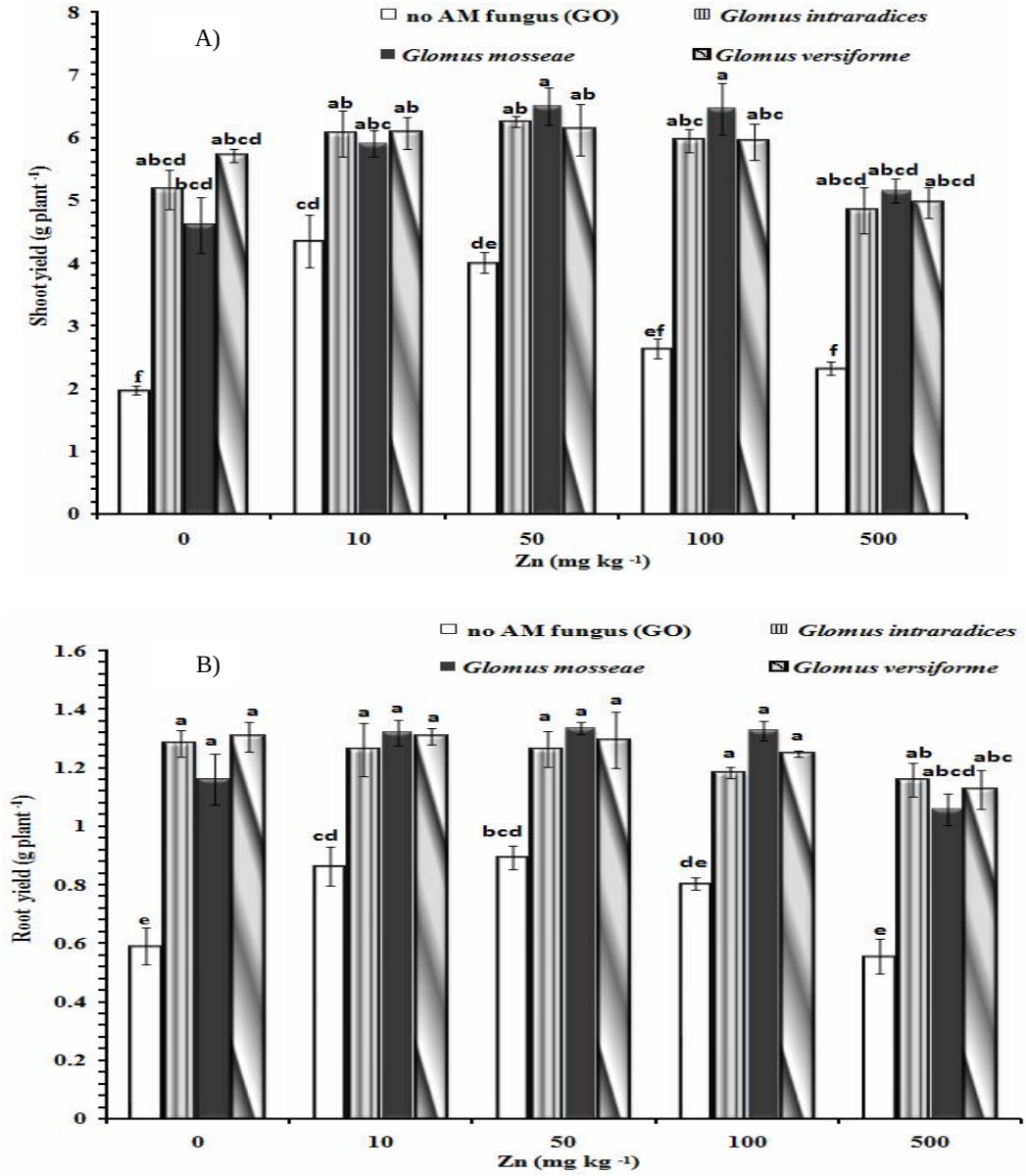
| روی × قارچ میکوریز آربوسکولار | کلنیزاسیون ریشه | غلظت فسفر در اندام هوایی | مقدار فسفر جذب شده در اندام‌هوایی |
|---|---|---|---|
| | % | mg $g^{-1}$ | mg $plant^{-1}$ |
| $G_OZ_O$ | ۱۰/۲$^{d}$ | ۱/۱$^{b}$ | ۲/۱$^{de}$ |
| $G_OZ_1$ | ۱۰/۱$^{d}$ | ۱/۱$^{b}$ | ۴/۵۴$^{bcd}$ |
| $G_OZ_2$ | ۵/۴$^{d}$ | ۱/۰$^{bc}$ | ۴/۰$^{cde}$ |
| $G_OZ_3$ | ۵/۱۰$^{d}$ | ۰/۹$^{bc}$ | ۲/۴$^{de}$ |
| $G_OZ_4$ | ۴/۱$^{d}$ | ۰/۸$^{c}$ | ۱/۹$^{e}$ |
| $G_1Z_O$ | ۶۲/۱$^{a}$ | ۱/۴$^{a}$ | ۷/۲$^{ab}$ |
| $G_1Z_1$ | ۶۲/۱$^{a}$ | ۱/۴$^{a}$ | ۸/۵$^{a}$ |
| $G_1Z_2$ | ۶۲/۱$^{a}$ | ۱/۴$^{a}$ | ۸/۸$^{a}$ |
| $G_1Z_3$ | ۶۲/۰$^{a}$ | ۱/۴$^{a}$ | ۸/۲$^{a}$ |
| $G_1Z_4$ | ۵۰/۱$^{c}$ | ۱/۴$^{a}$ | ۶/۷$^{ab}$ |
| $G_2Z_O$ | ۶۰/۲$^{a}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۶/۱$^{abc}$ |
| $G_2Z_1$ | ۶۰/۳$^{a}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۷/۸$^{a}$ |
| $G_2Z_2$ | ۵۹/۹$^{a}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۸/۳$^{a}$ |
| $G_2Z_3$ | ۵۹/۲$^{ab}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۸/۶$^{a}$ |
| $G_2Z_4$ | ۵۰/۸$^{c}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۶/۸$^{ab}$ |
| $G_3Z_O$ | ۶۰/۷$^{a}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۶/۸$^{ab}$ |
| $G_3Z_1$ | ۵۹/۵$^{ab}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۸/۱$^{a}$ |
| $G_3Z_2$ | ۵۹/۳$^{ab}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۷/۹$^{a}$ |
| $G_3Z_3$ | ۵۴/۳$^{abc}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۷/۸$^{a}$ |
| $G_3Z_4$ | ۵۱/۵$^{bc}$ | ۱/۳$^{a}$ | ۶/۵$^{ab}$ |
| LSD value α=۰/۰۵ | ۷/۳ | ۰/۲ | ۲/۳ |

میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن α=۰/۰۵).
حروف اختصاری: بدون قارچ ($G_0$)، گلوموس اینترارادیسز ($G_1$)، گلوموس موسه‌ای ($G_2$)، گلوموس ورسیفورم ($G_3$)، ($Z_0$) سطح صفر روی، ($Z_1$) سطح ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، ($Z_2$) سطح ۵۰ میلی گرم روی در کیلوگرم، ($Z_3$) سطح ۱۰۰ میلی گرم روی در کیلوگرم و ($Z_4$) سطح ۵۰۰ میلی گرم روی در کیلوگرم.

کیلوگرم نسبت به آنها افزایش معنی‌داری یافته است (شکل ۲A). در سطح صفر روی، اختلاف معنی‌داری از نظر غلظت روی در اندام هوایی، بین گونه‌های قارچی با یکدیگر و یا با شاهد وجود نداشته است، گرچه مقدار آن در تیمارهای میکوریزی بالاتر بوده است. در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، قارچ‌های میکوریزی نسبت به شاهد غلظت روی را افزایش داده‌اند و غلظت این عنصر در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* بالاترین بوده است. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، تیمارهای مایه‌زنی شده با یکدیگر و همین‌طور با شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت روی نداشته‌اند. در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، غلظت روی در اندام هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشته و به بالاترین مقدار رسیده است، در حالی‌که در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس ورسیفورم* و *گلوموس اینترارادیسز*، افزایش غلظت روی نسبت به مقدار آن در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم بسیار کمتر بوده و به لحاظ آماری معنی‌دار نشده است (شکل۲A). اثر افزودن روی بر غلظت روی ریشه معنی‌دار بوده (P<۰/۰۰۱) ولی اثر قارچ و آثار متقابل قارچ و روی معنی‌دار نبوده است (جدول۱). با افزایش سطح روی، غلظت روی در



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]




**شکل۱. وزن خشک اندام هوایی (A) و ریشه (B) (SE ± میانگین) گیاه ذرت مایه‌زنی شده با گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف روی**

ریشه‌ها به طور معنی‌دار افزایش یافته است (شکل B۲). در هر سطح روی، غلظت روی ریشه‌ها در تیمارهای میکوریزی با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشته است. با این حال، در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* بالاترین و گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* کمترین غلظت روی در ریشه‌ها را نشان داده‌اند (شکل B۲).

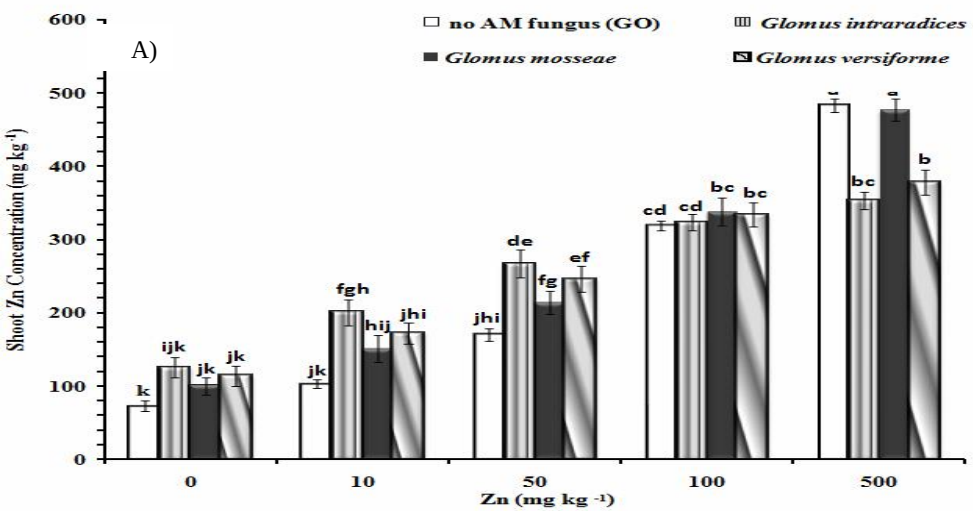
### مقدار روی جذب شده در گیاه

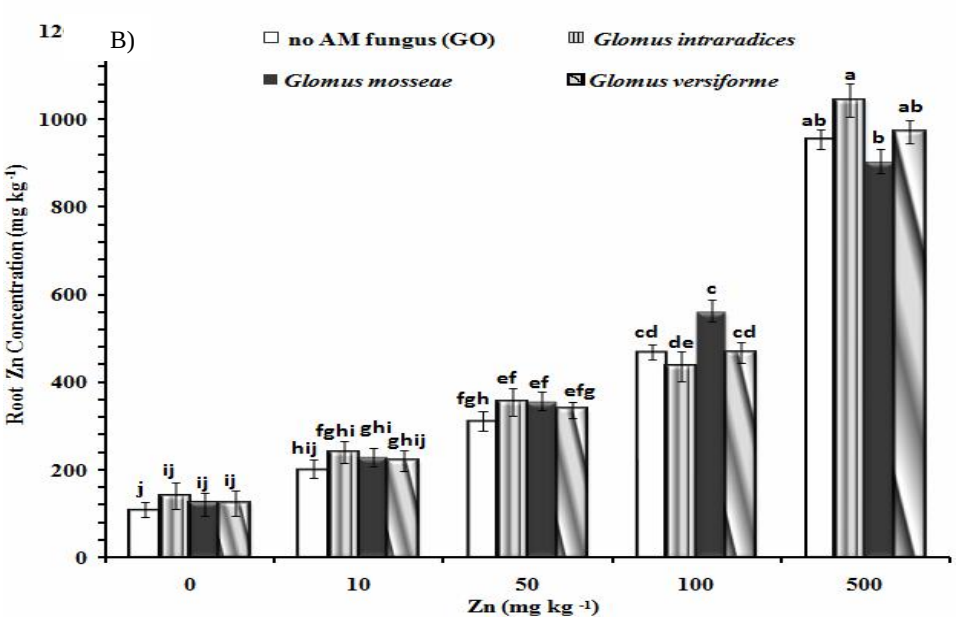
اثر قارچ، روی و اثر متقابل آنها بر مقدار روی جذب شده در اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بوده است (جدول ۱). مقدار روی جذب شده در اندام هوایی، به طور معنی‌داری در تیمارهای



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]



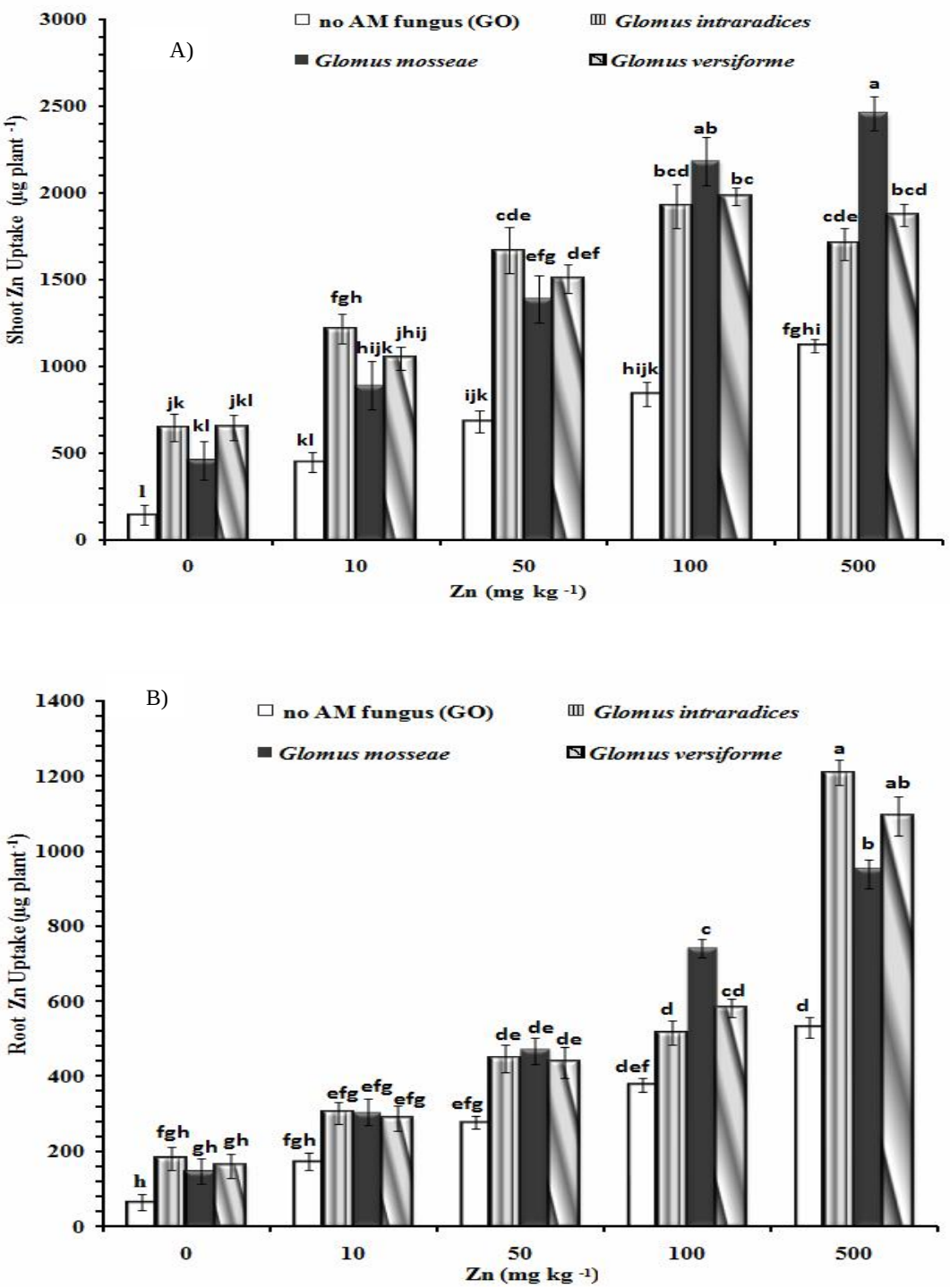

**شکل۲. غلظت روی در اندام هوایی (A) و ریشه (B) (SE ± میانگین) گیاه ذرت مایه‌زنی شده با گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف روی**

میکوریزی نسبت به شاهد بالاتر بوده است (شکل A۳). در سطح ۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، مقدار روی جذب شده در اندام هوایی گیاهان میکوریزی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشته است، با این وجود این مقدار تا ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* و در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* بالاتر بوده است (شکل A۳). در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، مقدار روی جذب شده در اندام هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* به طور معنی‌داری در مقایسه با دو گونه دیگر بالاتر بوده است (شکل A۳). مقدار جذب روی در ریشه گیاهان میکوریزی تا سطح ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم تفاوت معنی‌داری با



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

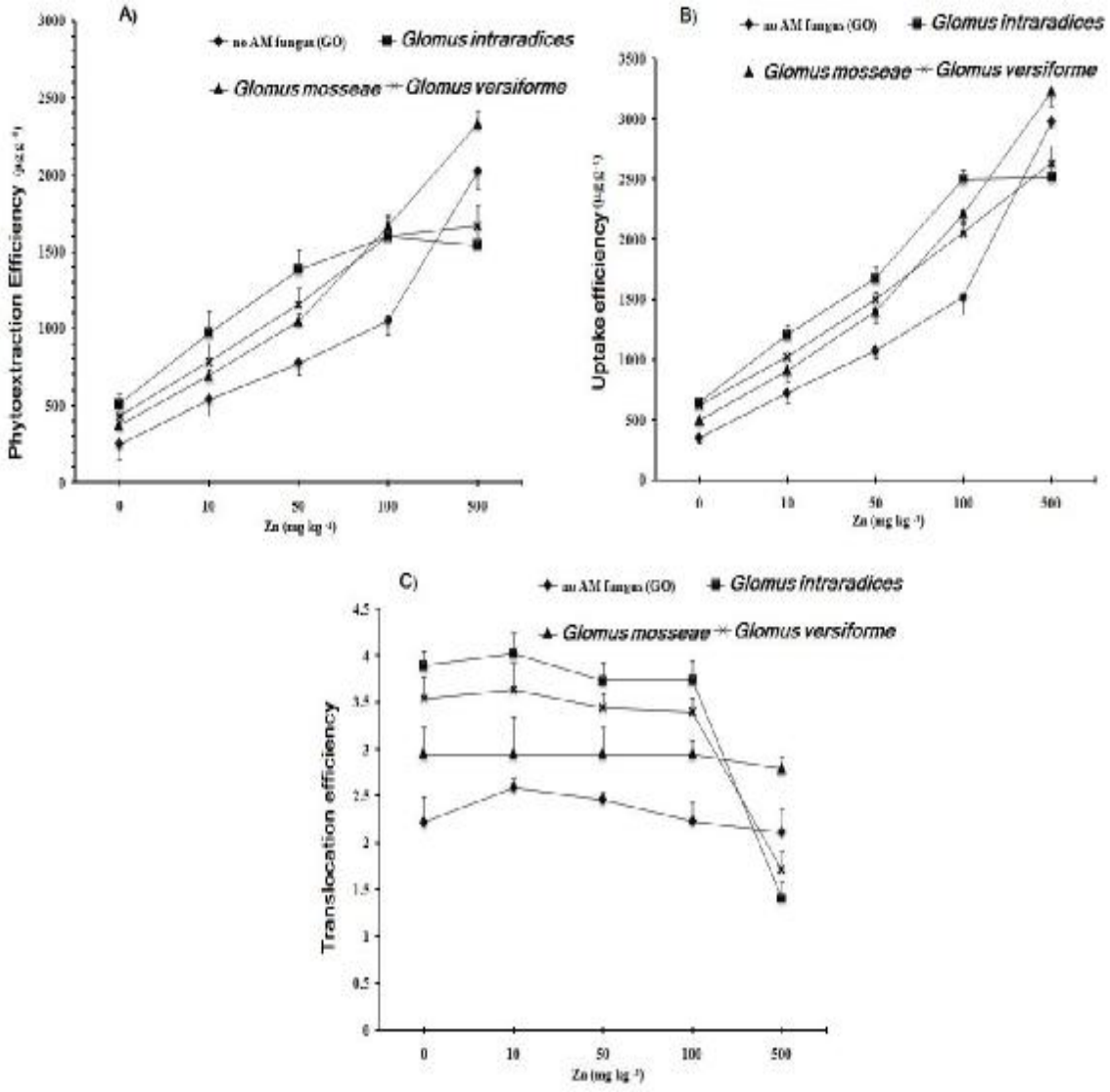



شکل۳. مقدارجذب روی در اندام هوایی (A) و ریشه (B) (SE ± میانگین) گیاه ذرت مایه‌زنی شده با گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف روی



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]




**شکل۴. کارآیی استخراج گیاهی (A)، جذب (B) و انتقال (C) روی در گیاه ذرت گیاه ذرت مایه‌زنی شده با گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف روی. خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد سه تکرار هستند.**

یکدیگر و با شاهد نداشته ولی این مقدار در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* و در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* بالاتر بوده است ( شکل B۳).

**کارآیی جذب، انتقال و استخراج گیاهی روی در گیاه ذرت**

اثر قارچ و آثار متقابل قارچ و روی بر کارآیی استخراج گیاهی معنی‌دار نشده ولی اثر سطوح روی بر کارآیی استخراج گیاهی معنی‌دار شده است. اثر قارچ و روی بر کارآیی انتقال و جذب این عنصر معنی‌دار بوده ولی آثار متقابل آنها معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). کارآیی استخراج و جذب گیاهی، با افزایش سطح روی به طور معنی‌دار، افزایش یافته است (شکل۴A و B). به طور کلی تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، میزان استخراج گیاهی در گیاهان مایه‌زنی شده به صورت *گلوموس*



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

*اینترارادیسز*> *گلوموس ورسیفورم*> *گلوموس موسه‌ای*> شاهد بوده است ولی در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم به صورت *گلوموس موسه‌ای*> شاهد> *گلوموس ورسیفورم*> *گلوموس اینترارادیسز* تغییر یافته است (شکل۴A). تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، میزان کارآیی جذب روی در *گلوموس اینترارادیسز* بیشتر از سایر تیمارها بوده ولی در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، *گلوموس موسه‌ای* بالاترین کارآیی جذب روی را نشان داده است (شکل۴B). اثر قارچ و روی بر کارآیی انتقال روی معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نشده است (جدول ۱). بر اساس شکل۴C، در گیاهان میکوریزی کارآیی انتقال تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، به صورت :*گلوموس اینترارادیسز*> *گلوموس ورسیفورم*> *گلوموس موسه‌ای*> شاهد بوده ولی در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، بالاترین کارآیی در تیمارهای مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* است (شکل۴ C).

**کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در جذب روی گیاه ذرت**

بالاترین میزان کارآیی هر سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار در افزایش جذب روی در اندام هوایی و همین‌طور در ریشه گیاه ذرت، در پایین ترین سطح روی قابل دسترس ($Z_0$) دیده می‌شود (شکل۵A و B). با افزایش سطح روی کارآیی هر سه گونه قارچی کاهش پیدا می‌کند. در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، گونه *گلوموس اینترارادیسز* کارآیی قابل توجهی در افزایش جذب روی در ریشه ذرت نشان داده است (شکل۵B).

## بحث

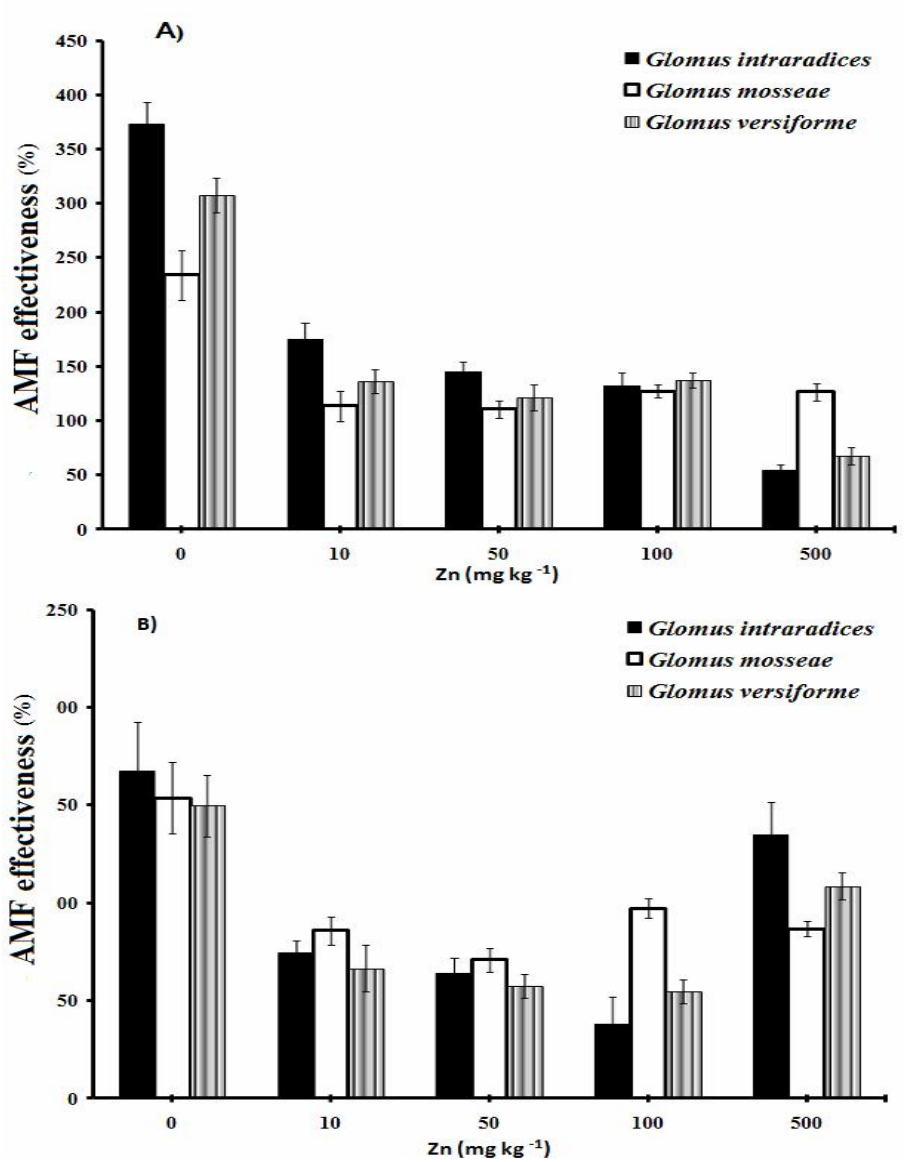
جمعیت بومی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای بسیار پایین بوده، به طوری‌که کلنیزاسیون ریشه گیاه ذرت در تیمارهای شاهد بسته به سطوح روی، بین ۴ تا ۱۰ درصد متغیر بوده است (جدول ۲). نتایج بررسی کلنیزاسیون ریشه گیاه ذرت در گیاهان مایه‌زنی نشده نشان داد که با افزایش سطح روی، درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه به شدت کاهش یافته است (جدول ۲). این کاهش حدود ۶۰ درصد، می‌تواند به دلیل حساسیت بسیار زیاد گونه‌های بومی قارچ میکوریز آربوسکولار به سمیت روی در خاک انتخاب شده برای بستر کشت باشد. درصد کلنیزاسیون ریشه گیاهان ذرت مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نسبت به تیمارهای مایه‌زنی نشده، به طور معنی‌داری افزایش یافته و در گیاهان میکوریزی با افزایش سطح روی تا ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر معنی‌داری نداشته است (جدول ۲). به طور کلی نتایج حاکی از این است که قارچ‌های انتخاب شده برای انجام این آزمون به خوبی قادر به کلنیزه کردن ریشه‌ها و ایجاد هم‌زیستی با گیاه ذرت بوده‌اند. این گونه‌های قارچی از سطوح آلودگی زیاد و متوسط فلزات سنگین روی و سرب جدا شده‌اند و از این رو ممکن است به عنوان سویه‌های قارچی سازگار و متحمل به تنش روی محسوب شوند. محققین گزارش داده‌اند که سویه‌های قارچی جدا شده از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در مقایسه با سویه‌های موجود در خاک‌های غیر آلوده، تحمل بیشتری نسبت به تنش فلزات سنگین دارند و با شرایط آلودگی خاک، سازگارترند (۱۹ و ۳۰).کاهش کلنیزاسیون ریشه گیاه ذرت در بالاترین سطح روی (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، می‌تواند به دلایل زیر باشد: ۱- گونه‌های قارچی از خاک‌هایی که در آنها غلظت روی قابل استخراج با DTPA حدود ۴۵ و ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده، منشأ گرفته‌اند، در حالی‌که در خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای، در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، مقدار روی قابل استخراج با DTPA بیشتر از خاک اولیه است(۳۱). ۲- کاهش کلنیزاسیون ریشه ممکن است یک مکانیسم برای محدود کردن جذب اضافی برخی از فلزات سنگین باشد(۲۲). در این مطالعه، در نتیجه کاهش کلنیزاسیون ریشه، غلظت و جذب فسفر و روی کاهش معنی‌دار پیدا نکرده است (جدول ۲). ۳- بعضی محققین کاهش کلنیزاسیون ریشه را، در نتیجه آثار سمی فلزات سنگین بر روی اندام‌های قارچ میکوریز آربوسکولار بیان نموده‌اند (۱۲).

در گیاهان مایه‌زنی نشده، با افزایش سطح روی، وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت در سطوح بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم روی بر



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]




**شکل۵. کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در افزایش جذب روی در اندام هوایی(A) و ریشه (B) گیاه ذرت در سطوح مختلف روی. خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد سه تکرار می‌باشند.**

کیلوگرم، کاهش معنی‌دار داشته (شکل۱) و علائم سمیت روی شامل کلروز بین رگبرگی و کوتلگی در سطوح ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کاملاً مشخص بوده‌اند. در صورتی‌که در گیاهان مایه‌زنی شده، وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت در تمام سطوح روی در مقایسه با گیاهان مایه‌زنی نشده افزایش داشته (شکل۱) و علائم سمیت روی در این گیاهان دیده نشده است. تداخل جذب روی با آهن، فسفر و عناصر دیگر ممکن است در بروز علائم سمیت روی و کاهش عملکرد گیاه ذرت مؤثر باشد (۳). مقادیر بالای روی در برگ‌ها، تولید کلروفیل را احتمالاً به دلیل تداخل با متابولیسم آهن کاهش می‌دهد که دلایل این کاهش طبق نظر روزن و همکاران (۲۴) عبارت‌اند از:

۱- در مسیر سنتز کلروفیل، روی ممکن است در رقابت با آهن،



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

مکان‌های خاص آنزیمی را اشغال کند ۲- ممکن است روی بر نسبت $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ گیاه اثر گذاشته و مانع از تبدیل $Fe^{3+}$ به $Fe^{2+}$ در ریشه‌ها شود ۳- روی ممکن است بر توزیع بین سلولی و سلولی و یا قابلیت دسترسی آهن در برگ‌ها اثر بگذارد. غلظت و جذب فسفر در اندام هوایی گیاهان ذرت مایه‌زنی نشده، با افزایش سطح روی به شدت کاهش یافته، در صورتی‌که در تیمارهای میکوریزی غلظت فسفر کاهشی نداشته و مقدار کلی فسفر جذب شده در اندام هوایی تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم به طور قابل توجه افزایش یافته است (جدول ۲). در رابطه با نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در بهبود تغذیه فسفر گیاه در شرایط سمیت روی گزارش‌های زیادی وجود دارد و این هم‌زیستی به عنوان مکانیسمی در افزایش تحمل‌پذیری گیاه معرفی شده است (۴، ۵، ۶ و ۷). در خاک‌های آلوده به روی، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با افزایش جذب فسفر، سبب متعادل شدن عناصر غذایی در گیاه شده و زیست‌توده گیاه و هم‌چنین تحمل‌پذیری آن را نسبت به سطوح بالای روی افزایش می‌دهند (اثر رقت). در خاک‌های غیر آلوده، روی بواسطه گرانول‌های پلی فسفات در هیف‌ها منتقل می‌شود، اما در خاک‌های آلوده مکانیسم‌های انتقال روی در هیف‌ها مشخص نیست. فسفر ممکن است روی را در هیف و ریشه‌ها رسوب دهد و به طور مستقیم بواسطه تشکیل ملکول‌های اسید فیتیک، سبب سکوستره شدن روی در گیاه و هم‌چنین کاهش سمیت آن شود (۷). نتایج این تحقیق نشان داد که در گیاه ذرت مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، غلظت و مقدار جذب روی، کارآیی استخراج گیاهی و انتقال روی به اندام هوایی گیاه، در ارتباط با گونه‌های قارچی متفاوت بوده است. مایه‌زنی گیاه با گونه‌های قارچی در مقایسه با گیاهان مایه‌زنی نشده، نقش مؤثری در افزایش مقدار روی اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت داشته است. به طور مشابهی، جونر و لوال (۲۰۰۱) با مقایسه تیمارهای غیر میکوریزی و میکوریزی شبدر و ذرت در یک خاک آلوده به روی، به این نتیجه رسیده‌اند که روی در گیاهان میکوریزی تجمع بیشتری داشته است. جمال و همکاران (۲۰۰۲) نیزگزارش کرده‌اند که در خاک آلوده به روی، مقدار روی در گیاهان سویا و عدس مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مقایسه با تیمارهای شاهد بالاتر بوده است. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و بالاتر، غلظت روی در بافت‌های گیاهی از سطح اعلام شده برای کمبود (۲۰-۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نرمال (۳۰۰-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) فراتر رفته و در محدوده سمی(۵۰۰ -۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) (۱۰، ۲۰ و ۲۲) قرار گرفته است. در این شرایط در گیاهان مایه‌زنی نشده با قارچ‌های میکوریزی علائم مسمویت به طور واضح نمایان شده و زیست توده گیاه به طور معنی‌دار کاهش یافته است. درهمین سطوح روی (۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، غلظت این عنصر در گیاهان مایه‌زنی شده نیز به شدت افزایش یافته و به محدوده سمی رسیده است. مقدار روی جذب شده در اندام هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با گلوموس موسه‌ای و در ریشه‌های گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* به بالاترین سطح رسیده و با گیاهان مایه‌زنی نشده تفاوت کاملاً معنی‌دار پیدا کرده است. با این وجود علائم مسمومیت در این گیاهان، مشاهده نشده و زیست توده گیاه، کاهش معنی‌داری نسبت به سطوح پایین‌تر روی نداشته است. بعضی محققین در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، افزایش غلظت فلزات سنگین تا سطح سمی را مشاهده کرده‌اند (۱۵). چن و همکاران (۶) در گیاهان ذرت (رقم ND 108) مایه‌زنی شده با *گلوموس کالدونیوم*، در خاکی با غلظت اولیه روی قابل استخراج با DTPA ۰/۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، غلظت روی در برگ، ساقه و ریشه‌های گیاه را به ترتیب ۲۵۰، ۴۰۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نشان داده‌اند. وانگ و همکاران (۲۷) در گیاهان ذرت (رقم Yeden-2) مایه‌زنی شده با مخلوطی از چندین گونه قارچ میکوریز آربوسکولار، در خاکی با غلظت روی کل و قابل استخراج با HCl به ترتیب ۴۴۶۶ و ۷۳۳/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم، غلظت روی



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

در انـدام هـوایی و ریـشه گیـاه را بـه ترتیـب ۸۴۶/۲ و ۱۵۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گـزارش داده‌انـد. بـه نظـر مـی‌رسـد کـه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، آستانه تحمـل‌پـذیری گیـاه بـه سمیت فلز سنگین روی را افزایش می‌دهند. این موضوع احتمالاً به دلیل واکنش‌های فیزیولوژیک در سطح تمـاس گیـاه- قـارچ، بیان ژن‌های خاص یا کاهش آنها، تغییر الگـوی توزیـع فلـزات سنگین در اندام‌های گیاه، مکانیسم‌های غیر مستقیم شامل جذب بیـشتر عناصـر فـسفر و آهـن، افـزایش عملکـرد گیـاه و یـا مکانیسم‌هـای مـستقیم، شـامل جـذب فلـز در سـطح یـا درون اندام‌های قارچی، کلاتـه شـدن فلـز در سیتوپلاسـم بـه وسـیله متالوتیونین‌هـا، سکوسـتره شـدن فلـزات در گرانـول‌هـای پلـی فسفات داخل واکوئل‌هاست (۱۳). مکانیسم مطرح دیگر در این زمینه، تحریـک سیـستم فنولیـک گیـاه بـه واسـطه کلنیزاسـیون میکوریزی است که در نتیجه، تیول‌هایی مثل گلوتاتیون تـشکیل می‌شوند. این ترکیب‌ها از نظر ساختاری با فیتوکلاتین‌ها ارتباط دارند و با تشکیل پیوند با فلز سنگین علاوه بر ممانعت از بروز مسمویت در گیاه، در سمیت زدایی خاک‌های آلوده نیز از طریق جذب و تجمع بالای فلزات سنگین در گیاه، نقـش مهمـی ایفـا می‌کنند (۱۹). توزیع روی در اندام‌های گیاه ذرت بسته به گونه قارچی متفاوت بوده است. مقـدار روی جـذب شـده در انـدام هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس ورسیفورم* در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم نـسبت بـه سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تفاوت معنی‌داری نداشته ولـی در ریشه‌های همین گیاهان مقدار روی به طور معنی‌دار افـزایش یافته و تجمع آن در ریشه‌ها کاملاً مـشهود اسـت (شـکل B۳). برعکس، در گیاهان مایه‌زنـی شـده بـا گلومـوس موسـه‌ای، در بالاترین سطح روی، مقدار این عنـصر در مقایـسه بـا دو گونـه قارچی دیگر، در اندام هـوایی بـه بـالاترین و در ریـشه‌هـا بـه پـایین‌تـرین سـطح رسـیده اسـت(شـکل B۳). کـارآیی جـذب، استخراج گیاهی و انتقال روی در گیاه ذرت مایه‌زنی شده با سه گونه قارچ ریشه آربوسکولار، تا سطح ۱۰۰ میلـی‌گـرم روی در کیلوگرم در مقایسه با تیمارهای شاهد بالاتر بوده ولی در سـطح روی ۵۰۰ میلی‌گـرم در کیلـوگرم ترتیـب کـارآیی بـه صـورت *گلوموس موسه‌ای*> شاهد> *گلوموس ورسـیفورم*> *گلومـوس اینترارادیسز* تغییر یافته است. برخی مطالعات نشان داده‌انـد کـه افزایش آلودگی روی، ممکن است بـرای گیـاه بـه یـک سـطح بحرانی برسد که در سطوح پایین‌تر از آن، جذب روی تقویت و درسطوح بالاتر انتقـال بـه انـدام هـوایی گیـاه میزبـان محـدود می‌گردد.چن و همکاران بـا اسـتفاده از منبـع سـولفات روی در خاک‌های آهکی، سطح بحرانی را برای گیاه شبدر ۵۰ میلی‌گـرم در کیلوگرم گزارش داده‌اند (۴ و ۵). در این تحقیق، در آزمـون گلخانه‌ای، سطح بحرانـی بـرای گیـاه ذرت مایـه‌زنـی شـده بـا گونه‌های *گلوموس اینترارادیـسز* و *گلومـوس ورسـیفورم*، ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم به دست آمده اسـت ولـی در مـورد *گلوموس موسه‌ای* وضعیت متفاوت بوده و بـرای تعیـین سـطح بحرانی نیاز به در نظر گرفتن سطوح بالاتر روی می‌باشد. چن و همکاران (۴، ۵ و ۶)، سـطح بحرانـی مـذکور را بـا اسـتفاده از سویه‌های معمولی قارچ میکوریز آربوسکولار که از حـاک‌هـای غیر آلوده جداسازی و تکثیر شده بودند، در آزمایش‌های گلدانی روی شبدر تعیین نمودند، در حالی‌که در این تحقیق، سویه‌های قارچی از خاک‌های آلوده به فلزات سـنگین منـشأ گرفتـه‌انـد و ممکن است سطح بحرانی متناسب گونه و رقـم گیـاه و جدایـه قارچ و نیز با شـرایط خـاک، تغییـر نـشان دهـد. در مـورد اثـر گونه‌های قارچی بر روی گیاه میزبان و واکنش آنهـا در سـطوح مختلف روی می‌توان نتیجه گیری کـرد کـه: در گیـاه ذرت، تـا سطح ۱۰۰ میلی‌گـرم روی در کیلـوگرم، سـه گونـه قـارچی در جذب، انتقال و استخراج روی به اندام‌های هـوایی گیـاه نقـش مهمی داشته‌اند و کارآیی آنهـا بـه صـورت"اسـتخراج گیـاهی" می‌باشد و در این میان، نقش *گلوموس اینترارادیسز* بیشتر بـوده است. در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم، این رویه برای تیمارهای ذرت مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه‌ای* تغییری نکرده ولی در تیمارهای مایه‌زنـی شـده بـا *گلومـوس اینترارادیـسز* و *گلوموس ورسیفورم* به صورت تجمع و تثبیت در ریشه‌ها تغییر کرده است و کارآیی آنها به صورت " تثبیت گیاهی" می‌باشد. به



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاه‌پالایی خاک‌های با آلودگی کم و متوسط، بیشتر به صورت استخراج گیاهی بوده است ولی در خاک‌های با آلودگی زیاد روی، *گلوموس اینترارادیسز* در تجمع روی در ریشه‌ها یا "تثبیت گیاهی" و *گلوموس موسه‌ای* در استخراج و انتقال این عنصر به اندام هوایی گیاه نقش موثرتری داشته‌اند. بنابراین با توجه به نوع کاربری زمین اگر هدف از کاشت گیاه، اصلاح خاک و زدودن آلودگی باشد، مایه‌زنی با *گلوموس موسه‌ای* مناسبتر به نظر می‌رسد، در حالیکه اگر برداشت محصول و ارزش تغذیه‌ای آن مورد نظر باشد، ترجیحاً استفاده از *گلوموس اینترارادیسز* پیشنهاد می‌شود. اثبات این نتایج، نیاز به ادامه پژوهش‌های گسترده‌تری دارد.

## منابع مورد استفاده


۱. زارعی، م. ۱۳۸۷. بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و کارآیی آنها در گیاه پالایی. رساله دکتری در گرایش بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

2. Audet, P. and C. Charest. 2007. Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: Meta-analytical and conceptual perspectives. Environ. Poll. 147:609-614.
3. Chaney, R.L. 1993. Zinc phytotoxicity. *In*: Robson, A. D. (Ed.), Zinc in Soil and Plants. Kluwer Academic Pub., Dordrecht, The Netherlands.
4. Chen, B., P. Christie and X. Li. 2001. A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza. Chemosphere 42:185–192.
5. Chen, B.D., X.L. Li, H.Q. Tao, P. Christie and M.H. Wong. 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere 50:839–846
6. Chen, B.D., H. Shen, X. Li, G. Feng and P. Christie. 2004. Effects of EDTA application and arbuscular mycorrhizal colonization on growth and zinc uptake by maize (*Zea mays* L.) in soil experimentally contaminated with zinc. Plant Soil 261:219-229.
7. Christie, P., X. Li and B.D. Chen. 2004. Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. Plant Soil 261:209-217.
8. Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. FAO Soils Bulletin, No. 38/2.
9. Díaz, G., C. Azcon-Aguilar and M. Hornubia. 1996. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake and growth of Lygeum spartum and Anthyllis cystoides. Plant Soil 180:241–249.
10. Frisberg, L., G.F. Nordberg, E. Kessler and V.B. Vouke. 1996. Handbook of the Toxicology of Metals. second ed., Elsevier Science Publication, Amesterdam.
11. Gaur, A. and A. Adholeya. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Current Sci. 86 528-534.
12. Gildon, A. and P.B. Tinker. 1983. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. The effects of heavy metals on the development of vesicular-arbuscular mycorrhizas. New Phytol., 95:247-261.
13. Gohre, V. and U. Paszkowski. 2006. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. Planta 223:1115–1122.
14. Jamal, A., N. Ayub, M. Usman and A.G. Khan. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance zinc and nickel uptake from contaminated soil by soybean and lentil. Intl. J. Phytorem. 4(3):205-221.
15. Joner, E.J. and C. Leyval. .1997. Uptake of 109Cd by roots and hyphae of a Glomus mosseae/Trifolim subterraneum mycorrhiza from soil amended with high and low concentration of cadmium. New Phytol. 135:353– 360.
16. Joner, E.J. and C. Leyval. 2001. Time-course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes. Biol. Fert. Soils 33: 351–357.
17. Kormanik, P.P. and A.C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots, PP: 37-45. *In*: Schenck N. C. (Ed.), Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathological Society, St. Paul.
18. Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42:421–428.
19. Marquez, A.P.G.C., R.S. Oliveira, K.A. Samardjieva, J. Pissarra, A.O.S.S. Rangel and P.M.L. Castro. 2007.




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]

Solanum nigrum grown in contaminated soils. Effects of AMF on zinc accumulation and histolocalisation. Environ. Poll. 145:691-699.
20. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Plants. 2nd ed., Academic Press., London.
21. Merryweather, J. 2002. Morphological Methods (Part1). In: Laboratory Manual, Techniques in Arbuscular Mycorrhizal Research. Below-Ground Research Team. Department of Biology. The University of York.
22. Oudeh, M., M. Khan and J. Scullion. 2002. Plant accumulation of potentially toxic elements in sewage sludge as affected by soil organic matter level and mycorrhizal fungi. Environ. Poll. 116:293-300.
23. Page, A.L., H.R. Miller and R.D. Keeney, (Eds.), 1982. Methods of soil analysis, Part. II, Chemical and Microbiological Properties. Monograph number 9, 2nd ed., ASA, Madison, WI.
24. Rosen, J. A., C.S. Pike and M. L. Golden. 1977. Zinc, Iron and Chlorophyll metabolism in zinc-toxic corn. Plant. Physiol. 59:1085-1087.
25. Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd ed., Academic Press, London.
26. Sudova, R. and M. Vosatka. 2007. Differences in the effects of three arbuscular mycorrhizal fungal strains on P and Pb accumulation by maize plants. Plant Soil 296:77-83.
27. Wang, F.Y., X.G. Lin and R. Yin. 2007a. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on heavy metal accumulation of maize grown in a naturally contaminated soil. Intl. J. Phytorem. 9(4):345-353.
28. Wang, F.Y., X.G. Lin and R. Yin. 2007b. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus Acaulospora mellea decrease Cu phytoextraction by maize from Cu-contaminated soil. Pedobiologia 51:99-109.
29. Weissenhorn, I., C. Leyval, G. Belgy and J. Berthelin. 1995. Arbuscular mycorrhizal contribution to heavy metal uptake by maize (*Zea mays* L.) in pot culture with contaminated soil. Mycorrhiza 5:245–252.
30. Wenger, K., S.K. Gupta, G. Furrer, and R. Schulin. 2002. Zinc extraction potential of two common crop plants, Nicotiana tabacum and *Zea mays*. Plant Soil 242: 217-225.
31. Yasrebi, J., N. Karimian, M. Maftoun, A. Abtahi and A.M. Sameni. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2133-2145
32. Zarei, M., S. König, S. Hempel, M. Khayam Nekouei, Gh. Savaghebi and F. Buscot. 2008. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi associated to Veronica rechingeri at the Anguran zinc and lead mining region. Environ. Poll. 156: 1277-1283.
33. Zhu, Y.G., P. Christie and A.S. Laidlaw. 2001. Uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal white clover from Zn-contaminated soil. Chemosphere 42:193–199.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.12.0 ]