# اثر سطوح روی، همزیستی میکوریز آربوسکولار و دو نوع ماده آلی بر رشد و جذب عناصر غذایی کم‌مصرف گیاه ذرت در یک خاک آهکی

لیلا غلامی [1*]، جعفر یثربی[1]، نجفعلی کریمیان[1]، مهدی زارعی[1] و عبدالمجید رونقی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۲/۳۰)

## چکیده

**به منظور مطالعه اثر سطوح روی، همزیستی میکوریز آربوسکولار و ماده آلی بر رشد و جذب عناصر غذایی کم‌مصرف گیاه ذرت در یک خاک آهکی، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش، روی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک)، دو نوع ماده آلی (کود گوسفندی و کمپوست زباله شهری، هر یک در دو سطح صفر و ۱٪ وزنی) و قارچ در دو سطح (بدون قارچ و مایه‌زنی با قارچ *Glomus intraradices*) به خاک افزوده شدند. پس از گذشت ۸ هفته، گیاهان برداشت شده و جهت انجام تجزیه شیمیایی به‌کار رفتند. ریشه‌ها جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح روی مصرفی، میزان ماده خشک، درصد کلونیزاسیون ریشه، جذب کل روی و مس افزایش، و جذب کل آهن و منگنز گیاه ذرت کاهش یافت. همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با گیاه ذرت سبب افزایش ماده خشک، درصد کلونیزاسیون ریشه و جذب کل روی، آهن، منگنز و مس گردید. کاربرد هر دو نوع ماده آلی سبب افزایش میزان ماده خشک، درصد کلونیزاسیون ریشه و جذب کل روی، آهن، منگنز و مس گیاه ذرت گردید.**

**واژه‌های کلیدی: عناصر کم‌مصرف، میکوریز آربوسکولار، ماده آلی، ذرت**

## مقدمه

یکی از راه‌های دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از ریزجاندارانی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی بشر دارند (۱۵). میکوریز یک رابطه متقابل بین قارچ و ریشه گیاه می‌باشد (۴۰). در اکثر موارد، تلقیح ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریزی منجر به افزایش رشد گیاه می‌گردد (۳۶). گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزی می‌باشند به دلیل آنکه عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌نمایند دارای رشد بهتر و عملکرد بیشتری بوده و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیر زنده (خشکی، سرما و شوری) از خود نشان می‌دهند (۳۸).

در شرایطی که غلظت عناصر قابل دسترس گیاه کم باشد ریشه‌های دارای همزیستی میکوریزی ممکن است میزان بیشتری از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف نسبتاً کم‌تحرک را جذب نمایند (۳۷). کلارک و زتو (۱۰) در بررسی همزیستی میکوریزی (Mycorrizae) با گیاه ذرت در یک خاک آهکی نشان دادند که همزیستی میکوریزی سبب افزایش جذب آهن شده است. رایان و انگوس (۲۹) در یک آزمایش صحرایی نشان دادند که مایه‌زنی ریشه گندم با قارچ *Glomus intraradices* موجب افزایش جذب روی توسط گندم شده

۱. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Leila.gholami63@gmail.com

است. میرانصاری مهابادی و همکاران (۴) نشان دادند که همزیستی میکوریز آربوسکولار سبب افزایش روی در گیاه ذرت گردیده و یافته‌های آنان با پژوهش‌های چن و همکاران (۹) هماهنگ می‌باشد. روی یک عنصرضروری کم‌مصرف برای انسان، حیوان و گیاهان عالی می‌باشد (۱۷). کمبود روی در خاک‌های آهکی گزارش شده است. روی بر خلاف سایر عناصر غذایی کم‌مصرف که دارای بیش از یک ظرفیت هستند، فقط به صورت دو ظرفیتی ($Zn^{2+}$) وجود داشته و عمدتاً به این صورت توسط گیاه جذب می‌شود. ولی در پ‌هاش قلیایی، احتمالاً به صورت $Zn(OH)^{+}$ نیز جذب می‌شود (۲۲). کمبود روی یکی از معمول‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم‌مصرف در گیاه است (۲۸). برخی گیاهان، ازجمله ذرت (*Zea mays* L.) به کمبود روی حساس هستند (۳۹). بنابراین، کاربرد روی می‌تواند در افزایش عملکرد آن مؤثر باشد (۱۳، ۳۲ و ۳۵).

روی با مواد آلی خاک ترکیب می‌شود و کمپلکس‌های آلی روی را که ممکن است محلول و یا غیرمحلول باشند تشکیل می‌دهد (۲۱). یکی از مهم‌ترین مشکلات در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود مواد آلی خاک است (۱۴). برای حفظ سطح حاصل‌خیزی و قدرت تولید یک خاک، میزان ماده آلی آن باید در سطح مناسبی حفظ شود (۵).

تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان با استفاده از کودهای آلی نقش کلیدی در حاصل‌خیزی خاک و تولید گیاهان زراعی دارد (۶). ارزش کودی پسماندهای مواد آلی مانند کودهای حیوانی، کمپوست و لجن فاضلاب در تحقیقات مختلف در بسیاری از کشورها نشان داده شده است. (۳، ۲۵ و ۴۱). در سال‌های اخیر، به منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، توجه زیادی به بازیافت زباله و به‌کارگیری کمپوست حاصل از آن در اراضی کشاورزی شده است (۱۸). روزانه هزاران تن زباله شهری و ضایعات کشاورزی در ایران تولید می‌شود و اگر این مواد به حال خود رها گردند سبب آلودگی محیط‌زیست می‌شوند. با تبدیل ضایعات آلی به کمپوست، ضمن جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست، می‌توان ماده آلی را در خاک‌های کشور افزایش داد (۱۶). کمپوست ضایعات شهری دارای عناصر کم‌مصرف هستند که می‌توانند مورد استفاده گیاه قرار گیرند (۱). رحیمی (۲) نشان داد که کاربرد کمپوست زباله اصفهان سبب افزایش قابلیت جذب عناصر روی، مس، آهن و منگنز در خاک شده و غلظت عناصر مذکور در گیاه ذرت را نیز افزایش می‌دهد. مصرف کودهای دامی علاوه بر این که باعث بهبود وضعیت فیزیکی خاک می‌شود دارای عناصر غذایی کم‌مصرف نظیر آهن، روی و مس می‌باشد که در نتیجه تجزیه میکروبی کود حیوانی این عناصر غذایی به صورت معدنی و قابل جذب در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (۸ و ۳۳). شارما و ساکسنا (۳۱) بیان کردند که تجزیه میکروبی کودهای دامی باعث افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف، مانند روی و آهن، می‌شود. با توجه به مطالب یاد شده، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح روی، همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار و ماده آلی بر رشد و جذب روی، آهن، منگنز و مس در گیاه ذرت انجام شد.

## مواد و روش‌ها

جهت انجام این آزمایش، مقدار مناسبی خاک از افق سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) سری چیتگر، که در ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای نظر آباد شهرستان سروستان استان فارس واقع است، جمع‌آوری گردید. این خاک از نوع Calcic brown soil بوده و نام آن طبق سیستم جدید طبقه بندی خاک Fine loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerepts می‌باشد (۳۴). پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

نمونه‌های ماده آلی از دو منبع مختلف، شامل کمپوست زباله اصفهان و کود گوسفندی، انتخاب شدند. برخی ویژگی‌های مواد آلی مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی

**جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش**

| | |
|---|---|
| بافت | لوم |
| پ‌هاش (خمیر اشباع) | ۷/۹ |
| ماده آلی (٪) | ۱/۲ |
| کربنات کلسیم معادل (٪) | ۴۵/۲ |
| قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) | ۰/۵ |
| ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک) | ۱۰/۲ |
| فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | ۵/۴ |
| مس قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | ۱/۰۶ |
| روی قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | ۰/۷۱ |
| منگنز قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | ۴/۳۰ |
| آهن قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | ۶/۴۹ |

**جدول ۲. برخی ویژگی‌های مواد آلی مورد استفاده**

| ویژگی‌های اندازه‌گیری شده | مواد آلی مورد استفاده | |
|---|---|---|
| | کمپوست زباله اصفهان | کود گوسفندی |
| پ هاش (عصاره ۱:۵ ماده آلی به آب) | ۷/۳ | ۷/۵ |
| قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) | ۶/۱ | ۱۷ |
| آهن کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) | ۱۱۳۷ | ۲۰۳۴ |
| منگنز کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) | ۱۷۱ | ۲۶۱ |
| مس کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) | ۱۶/۲ | ۲۷ |
| روی کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) | ۷۱۶ | ۱۲۲ |

با سه سطح روی (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) از منبع سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$)، دو نوع ماده آلی (کود گوسفندی و کمپوست زباله اصفهان) هر یک در دو سطح صفر و ۱٪ وزنی و قارچ در دو سطح (بدون قارچ و با قارچ *Glomus intraradices*) در سه تکرار اجرا شد.

در آغاز، نمونه‌های دو کیلوگرمی از خاک هواخشک که از الک دو میلی‌متری عبور داده شده درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و سپس ماده آلی (کود گوسفندی و کمپوست زباله اصفهان) در دو سطح صفر و ۱٪ وزنی به گلدان‌ها اضافه شد. بعد از این مرحله، روی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و سایر عناصر غذایی، بجز نیتروژن، بر اساس نتایج آزمون خاک به گلدان‌ها افزوده شد. پس از خشک شدن، خاک درون کیسه‌های پلاستیکی کاملاً مخلوط و به گلدان‌های دو کیلوگرمی انتقال داده شد. رطوبت خاک با آب مقطر به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. برای انجام واکنش‌های لازم، نمونه‌های خاک تیمار شده به مدت ۳۰ روز در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. محلول نیتروژن از منبع اوره، $CO(NH_2)_2$، در سه مرحله، هر مرحله به میزان ۵۰ mg/kg به گلدان‌ها افزوده شد.

در هر گلدان، مقداری از خاک سطحی (۵-۱ سانتی‌متری) برداشته شد. در تیمارهای قارچ، ۵۰ گرم از زادمایه (مایه تلقیح)

**جدول ۳. اثر سطوح روی، قارچ میکوریز آربوسکولار و مواد آلی بر میانگین ماده خشک گیاه ذرت (گرم در گلدان)**

| مواد آلی | روی کاربردی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۵ | ۱۰ | |
| | بدون قارچ | | | |
| شاهد | ۱۹/۲۲n* | ۲۳/۱۸l | ۲۵/۶۸ghi | ۲۲/۷۰E |
| کمپوست زباله شهری | ۲۴/۸۳ij | ۲۷/۳۳de | ۳۱/۶۷b | ۲۷/۹۴B |
| کود گوسفندی | ۲۳/۵۱l | ۲۶/۳۲fgh | ۲۹/۱۸c | ۲۶/۳۴C |
| میانگین | ۲۲/۵۲F | ۲۵/۶۱D | ۲۸/۸۴B | ۲۵/۶۶B |
| | با قارچ | | | |
| شاهد | ۲۱/۳۳m | ۲۴/۴۳jk | ۲۶/۶۸ef | ۲۴/۱۴D |
| کمپوست زباله شهری | ۲۶/۴۱fg | ۲۹/۲۴c | ۳۳/۱۴a | ۲۹/۶۰A |
| کود گوسفندی | ۲۵/۰۶ij | ۲۸/۰۵d | ۳۱/۱۶b | ۲۸/۰۹B |
| میانگین | ۲۴/۲۶E | ۲۷/۲۴C | ۳۰/۳۲A | ۲۷/۲۸A |

*اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

قارچ *Glomus intraradices* (۱۲گرم اسپور در هر گرم بستره و کلونیزاسیون ریشه ۸۰٪) افزوده و با خاک مخلوط شد. در تیمارهای شاهد نیز به مقدار مساوی از بسترهای بدون قارچ تهیه شده استفاده گردید. مقداری از خاک برداشته شده بر سطح زادمایه افزوده و سپس در هر گلدان ۸ عدد بذر گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم Maxima قرار داده شد. در ادامه، ۱/۵-۱ سانتی‌متر از خاک باقی مانده روی بذرهای ذرت ریخته شد. بعد از جوانه‌زنی و استقرار گیاهان، تعداد آنها در هرگلدان به ۳ بوته کاهش یافت و در طول دوره رشد، گلدان‌ها با آب مقطر در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شدند.

بعد از طی دوره رشد گیاه به مدت ۸ هفته، اندام هوایی گیاه از محل طوقه بریده و با آب مقطر شستشو داده شد تا عاری از آلودگی شود. نمونه‌ها در آون و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک، توزین، و در آسیاب برقی پودر شد. سپس یک گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر و بعد از حل در اسید کلریدریک ۲ نرمال غلظت عناصر کم مصرف آن به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل شیمادزو AA۶۷۰- اندازه گیری شد. همچنین، ریشه‌ها از گلدان‌ها جدا شدند و بعد از شستشو جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه با روش کورومانیک و مک‌گراو (۱۹) مورد آزمایش قرار گرفتند. میانگین‌های مربوط به اثرهای اصلی هر یک از عامل‌ها با آزمون دانکن مقایسه گردید.

## نتایج و بحث

### ماده خشک

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ در هر سه تیمار صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک میانگین ماده خشک به ترتیب ۱/۷۴، ۱/۶۳ و ۱/۴۸ گرم در گلدان معادل ۷/۷۲، ۶/۳۶ و ۵/۱۳ درصد نسبت به تیمار مایه‌زنی نشده با قارچ افزایش یافت. دلیل افزایش ماده خشک در سطح صفر روی با کاربرد قارچ را

**جدول ۴. اثر سطوح روی، قارچ میکوریز آربوسکولار و مواد آلی بر جذب کل روی گیاه ذرت (میکروگرم در گلدان)**

| مواد آلی | سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۵ | ۱۰ | |
| | بدون قارچ | | | |
| شاهد | ۳۲۸/۸o* | ۶۰۸m | ۱۰۲۷g | ۶۵۴/۶F |
| کمپوست زباله شهری | ۵۸۸/۲m | ۹۶۹/۷h | ۱۵۴۵c | ۱۰۳۴C |
| کود گوسفندی | ۴۹۰n | ۷۶۳/۸k | ۱۲۵۴e | ۸۳۵/۹E |
| میانگین | ۴۶۹F | ۷۸۰/۵D | ۱۲۷۵B | ۸۴۱/۵B |
| | با قارچ | | | |
| شاهد | ۴۷۵/۸n | ۸۷۲/۸i | ۱۲۳۶e | ۸۶۱/۵D |
| کمپوست زباله شهری | ۸۲۶/۶j | ۱۳۱۰d | ۱۸۸۲a | ۱۳۳۹A |
| کود گوسفندی | ۶۵۰/۷l | ۱۱۴۷f | ۱۶۳۲b | ۱۱۴۳B |
| میانگین | ۶۵۱/۱E | ۱۱۱۰C | ۱۵۸۳A | ۱۱۱۵A |

*اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

می‌توان به نقش قارچ نسبت داد که در سطح کم روی بهتر عمل کرده و در سطوح بالاتر روی، اثر قارچ کمتر بوده است.

افزایش ماده خشک بر اثر کاربرد روی در ذرت توسط رشید و فاکس (۲۷) گزارش شده است. فبر و همکاران (۱۲) در آزمایشی گلخانه‌ای، به منظور تأثیر رابطه همزیستی میکوریزی بر جذب روی به وسیله گیاه ذرت، نشان دادند که در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ در مقایسه با تیمار شاهد، وزن خشک ساقه در گیاه ذرت افزایش پیدا کرده است. در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین ماده خشک در تیمار کمپوست زباله شهری در نمونه حاوی قارچ نسبت به همین تیمار بدون قارچ، افزایش معنی‌داری برابر ۱/۶۶ گرم در گلدان، معادل ۵/۹ درصد، را نشان می‌دهد.

کاربرد قارچ در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش ماده خشک به میزان ۱/۷۵ گرم درگلدان معادل ۶/۶ درصد نسبت به تیمار بدون قارچ شده است. دلیل این موضوع می تواند بهبود دسترسی و جذب بهتر عناصر غذایی باشد که این امر در نهایت باعث افزایش ماده خشک شده است.

## جذب کل روی

مقایسه میانگین‌ها در جدول۴ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین جذب کل روی در تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به ترتیب ۴۵۸/۹ و۹۳۱/۹ میکروگرم در گلدان، معادل ۷۰/۴۸ و ۱۴۳/۱۲ درصد، نسبت به سطح صفر روی افزایش یافت. همانگونه که مشاهده می‌شود، میانگین جذب کل روی در هر سه سطح روی در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ به ترتیب ۱۸۲/۱، ۳۲۹/۵ و ۳۰۸ میکروگرم در گلدان، معادل ۳۸/۸۲، ۴۲/۲۱ و ۲۴/۱۵ درصد، افزایش معنی‌دار یافت. محمد و همکاران (۲۳) نتیجه گرفتند که مایه‌زنی ریشه گندم با قارچ *Glomus intraradices* باعث افزایش جذب روی در این گیاه گردیده است. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش جذب کل روی به میزان ۳۰۵ میکروگرم در گلدان معادل ۲۹/۴۹ درصد نسبت به

**جدول ۵. اثر سطوح روی، قارچ میکوریز آربوسکولار و مواد آلی بر میانگین جذب کل آهن گیاه ذرت ( میکروگرم درگلدان)**

| مواد آلی | روی کاربردی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۵ | ۱۰ | |
| | بدون قارچ | | | |
| شاهد | ۶۱۸/۵ij* | ۴۷۹/۳l | ۴۲۴/۷m | ۵۰۷/۵F |
| کمپوست زباله شهری | ۹۰۳/۶e | ۷۳۶/۹h | ۶۵۴/۴i | ۷۶۵D |
| کود گوسفندی | ۹۶۱/۷d | ۸۶۶/۴f | ۷۴۸/۷h | ۸۵۸/۹C |
| میانگین | ۸۲۷/۹C | ۶۹۴/۲E | ۶۰۹/۳F | ۷۱۰/۵B |
| | با قارچ | | | |
| شاهد | ۷۸۷/۸g | ۶۲۷/۲ij | ۵۷۰/۰۱k | ۶۶۱/۷E |
| کمپوست زباله شهری | ۱۱۳۷b | ۹۳۶/۷de | ۹۱۸/۴e | ۹۹۷/۳B |
| کود گوسفندی | ۱۲۰۵a | ۱۰۹۹c | ۹۲۰/۹e | ۱۰۷۵A |
| میانگین | ۱۰۴۳A | ۸۸۷/۶B | ۸۰۳/۱D | ۹۱۱/۳A |

*اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

تیمار بدون قارچ شده است که می‌توان بیان کرد جذب روی بر اثر توانایی قارچ در تولید انبوه هیف و گسترش مناسب آن در خاک افزایش یافته است. همانگونه که مشاهده می‌شود، کاربرد قارچ در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش جذب کل روی به میزان ۳۰۷/۱ میکروگرم در گلدان، معادل ۳۶/۷۳ درصد نسبت به تیمار بدون قارچ، شده است. مقایسه میانگین‌ها در تمام تیمارها نشان می‌دهد که جذب کل روی از ۸۴۱/۵ میکروگرم در نمونه بدون قارچ به ۱۱۱۵ میکروگرم در گلدان در نمونه حاوی قارچ رسیده، که افزایش معنی‌دار ۳۲/۵ درصدی را به همراه داشته است.

## جذب کل آهن

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۵ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین جذب کل آهن گیاه ذرت درتیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به ترتیب ۱۵۵/۴ و ۲۳۹/۹ میکروگرم در گلدان، معادل ۱۴/۹ و ۲۳ درصد نسبت به سطح صفر روی مصرفی کاهش یافت. کاهش جذب آهن می‌تواند بر اثر برهمکنش روی با آهن باشد. کاهش غلظت آهن با کاربرد روی، به‌ویژه در سطوح زیاد، توسط گندم گزارش شده است (۳۰).

در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ در هر سه تیمار روی مصرفی، میانگین جذب کل آهن به ترتیب ۲۱۵/۱، ۱۹۳/۴ و ۱۹۳/۸ میکروگرم در گلدان، معادل ۲۶، ۲۷/۹ و ۳۱/۸ درصد نسبت به تیمار مایه‌زنی نشده با قارچ افزایش یافت. کریس و همکاران (۷) دریافتند که قارچ‌های میکوریزی *Glomus mosseae* از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن آهن توانسته‌اند جذب و انتقال آهن در گیاهان بادام زمینی و سورگوم را افزایش دهند.

کاربرد میکوریز در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش معنی‌دار ۲۳۲/۳ میکروگرم در گلدان، معادل ۳۰/۴ درصد جذب کل آهن نسبت به تیمار بدون قارچ شده است. کاربرد میکوریز در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش معنی‌دار ۲۱۶/۱ میکروگرم در گلدان جذب کل آهن، معادل ۲۵/۲ درصد جذب کل آهن نسبت به تیمار بدون قارچ، شده است. با مقایسه

**جدول ۶. اثر سطوح روی، قارچ میکوریز آربوسکولار و مواد آلی بر میانگین جذب کل منگنز گیاه ذرت ( میکروگرم در گلدان)**

| مواد آلی | روی کاربردی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۵ | ۱۰ | |
| | بدون قارچ | | | |
| شاهد | ۵۲۲/۶i* | ۵۴۰/۱i | ۴۸۵/۹j | ۵۱۶/۲F |
| کمپوست زباله شهری | ۷۶۷/۴e | ۷۰۳/۸fg | ۶۶۷/۲g | ۷۱۲/۸D |
| کود گوسفندی | ۸۱۶/۸d | ۷۷۹/۱e | ۷۳۲/۷f | ۷۷۶/۲C |
| میانگین | ۷۰۲/۲C | ۶۷۴/۳D | ۶۲۸/۶E | ۶۶۸/۴B |
| | با قارچ | | | |
| شاهد | ۶۸۹/۹g | ۶۸۷/۷g | ۶۲۳/۴h | ۶۶۷E |
| کمپوست زباله شهری | ۹۶۶/۳b | ۹۳۹/۹bc | ۸۴۰/۹d | ۹۱۵/۷B |
| کود گوسفندی | ۱۰۴۲a | ۱۰۲۳a | ۹۲۵/۹c | ۹۹۶/۹A |
| میانگین | ۸۹۹/۴A | ۸۸۳/۵A | ۷۹۶/۷B | ۸۵۹/۹A |

*اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

میانگین جذب کل آهن در تمام تیمارها مشاهده می‌شود که کاربرد میکوریز، جذب کل آهن را از ۷۱۰/۵ به ۹۱۱/۳ میکروگرم در گلدان رسانده است که افزایش معنی‌دار ۲۸/۳ درصد را نشان می‌دهد.

## جذب کل منگنز

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین جذب کل منگنز گیاه ذرت در تیمارهای ۵ و۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به ترتیب ۹/ ۱۵ و ۱۰۲/۷ میکروگرم در گلدان، معادل ۱/۸ و ۱۱/۴۱ درصد نسبت به سطح صفر روی مصرفی کاهش یافت. کاهش جذب منگنز می‌تواند بر اثر برهمکنش روی با منگنز باشد. کاهش غلظت منگنز در سطوح زیاد روی در ذرت، گندم و برنج توسط نایار و بنسال (۲۴) گزارش شده است. پاتیل و دانگاروالا (۲۶) نشان داد که جذب منگنز به وسیله برنج تحت تأثیر مصرف ۵ میلی‌گرم روی قرار نگرفت. ولی وقتی که ۱۰میلی‌گرم روی به کار برده شد به طور معنی‌داری کاهش یافت. در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ، در هر سه تیمار روی مصرفی افزایش معنی‌داری در میانگین جذب کل منگنز نسبت به خاک مایه‌زنی نشده با قارچ به ترتیب برابر ۱۹۷/۲، ۲۰۹/۲ و ۱۶۸/۱میکروگرم در گلدان، معادل۲۸/۱، ۳۱ و ۲۶/۸ درصد، مشاهده شد. کلارک و زتو (۱۱) بیان کردند که همزیستی میکوریز آربوسکولار باعث افزایش جذب منگنز در گیاهان میزبان شده است. علت افزایش جذب منگنز ممکن است هیف‌های میکوریز باشد که در حجم بیشتری از خاک رشد می‌نمایند و در نتیجه به منابع بیشتری از عنصر غذایی در خاک دسترسی می‌یابند. در اثر کاربرد میکوریز در تیمار کمپوست زباله شهری، دیده می‌شود که وجود قارچ سبب افزایش معنی‌داری برابر ۲۰۲/۹ میکروگرم در گلدان در جذب کل منگنز، معادل ۲۸/۵ درصد نسبت به تیمار بدون قارچ شده است.کاربرد میکوریز در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش جذب کل منگنز از ۷۷۶/۲

**جدول ۷. اثر قارچ میکوریز آربوسکولار، مواد آلی مختلف و سطوح روی مصرفی بر میانگین جذب کل مس گیاه ذرت (میکروگرم در گرم ماده خشک)**

| مواد آلی | روی کاربردی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۵ | ۱۰ | |
| | بدون قارچ | | | |
| شاهد | ۲۷۷/۱۱l* | ۲۵۸/۹m | ۲۳۲n | ۲۵۶F |
| کمپوست زباله شهری | ۴۲۱/۵g | ۳۸۸h | ۳۴۹/۹j | ۳۸۶/۵D |
| کود گوسفندی | ۴۷۶/۲f | ۴۷۹/۲f | ۴۰۶/۹g | ۴۵۴/۱C |
| میانگین | ۳۹۱/۶D | ۳۷۵/۴E | ۳۲۹/۶F | ۳۶۵/۶B |
| | با قارچ | | | |
| شاهد | ۳۷۰/۵i | ۳۴۸/۱j | ۳۱۸k | ۳۴۵/۵E |
| کمپوست زباله شهری | ۵۰۷/۵e | ۶۸۹/۳bc | ۶۷۶/۷c | ۶۲۴/۵B |
| کود گوسفندی | ۵۳۳/۸d | ۶۹۸/۱b | ۸۳۸/۲a | ۶۹۰A |
| میانگین | ۴۷۰/۶C | ۵۷۸/۵B | ۶۱۰/۹A | ۵۵۳/۳A |

*اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

به ۹۹۶/۹ میکروگرم در گلدان، معادل ۲۸/۴ درصد، نسبت به تیمار بدون قارچ شده است. به طور کلی، با مقایسه میانگین جذب کل منگنز در تمام تیمارها دیده می‌شود که کاربرد میکوریز سبب افزایش جذب کل منگنز از ۶۶۸/۴ میکروگرم در گلدان در نمونه بدون قارچ به ۸۵۹/۹ میکروگرم درگلدان در نمونه حاوی قارچ شده که افزایش معنی‌دار ۲۸/۶ درصدی را نشان می‌دهد.

## جذب کل مس

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۷ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین جذب کل مس گیاه ذرت در تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به ترتیب ۱۰۷/۹ و ۱۴۰/۳ میکروگرم در گلدان، معادل ۲۲/۹ و ۲۹/۸ درصد، نسبت به سطح صفر روی مصرفی افزایش یافت. مانکیوسو و ریناندلی (۲۰) نشان دادند که تأثیر قارچ‌های میکوریزی روی رشد گیاه از طریق افزایش جذب مواد معدنی، مخصوصاً مواد معدنی کم تحرک (مس و فسفر)، است. این موضوع می‌تواند نتیجه افزایش قابلیت دسترسی به یون‌ها یا افزایش انتقال آن به گیاه به وسیله هیف قارچی باشد.

در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ در هر سه تیمار روی مصرفی، افزایش معنی‌داری در میانگین جذب کل مس نسبت به خاک مایه‌زنی نشده با قارچ به ترتیب برابر ۷۹، ۲۰۳/۱ و ۲۸۱/۳ میکروگرم در گلدان، معادل ۲۰/۱، ۵۴/۱ و ۸۵/۳ درصد مشاهده شد.

کاربرد میکوریز در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش معنی‌داری برابر با ۲۳۸ میکروگرم در گلدان جذب کل مس، معادل ۶۱/۶ درصد نسبت به تیمار بدون قارچ، شده است. کاربرد میکوریز در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش معنی‌دار جذب کل مس برابر با ۲۳۵/۹ میکروگرم در گلدان، معادل ۵۱/۹ درصد نسبت به تیمار بدون قارچ، شده است. با مقایسه میانگین جذب کل مس در تمام تیمارها دیده می‌شود که کاربرد میکوریز

**جدول ۸. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه ذرت**

| مواد آلی | روی کاربردی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۵ | ۱۰ | |
| | بدون قارچ | | | |
| شاهد | ۷/۲۲n* | ۷/۷۷klm | ۸/۰۴jkl | ۷/۶۸F |
| کمپوست زباله شهری | ۷/۷۲lmn | ۸/۲۸jk | ۸/۵۴ij | ۸/۱۸E |
| کود گوسفندی | ۸/۹۲i | ۹/۴۷h | ۹/۶۶h | ۹/۳۵D |
| میانگین | ۷/۹۵E | ۸/۵۰D | ۸/۷۴D | ۸/۴۰B |
| | با قارچ | | | |
| شاهد | ۶۷/۶۰g | ۷۰/۶۸f | ۷۳/۱۹d | ۷۰/۵۰C |
| کمپوست زباله شهری | ۷۱/۸۹e | ۷۵/۸۴c | ۷۹/۵۷b | ۷۵/۷۷B |
| کود گوسفندی | ۷۵/۴۱c | ۷۹/۵۴b | ۸۴/۰۷a | ۷۹/۶۷A |
| میانگین | ۷۱/۶۳C | ۷۵/۳۶B | ۷۸/۹۴A | ۷۵/۳۱A |

*اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

سبب افزایش جذب کل منگنز از ۳۶۵/۶ میکروگرم در گلدان در نمونه بدون قارچ به ۵۵۳/۳ میکروگرم در گلدان در نمونه حاوی قارچ شده که افزایش معنی‌دار ۵۱/۳ درصدی را نشان می‌دهد

## درصد کلونیزاسیون ریشه

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۸ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، درصد کلونیزاسیون ریشه در هر سه سطح روی در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ به ترتیب ۶۳/۶۸، ۶۶/۸۶ و ۷۰/۲ درصد افزایش معنی‌دار یافت. همانگونه که مشاهده می‌شود، کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان ۹/۳ برابر نسبت به تیمار بدون قارچ شده است. کاربرد قارچ در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان ۸/۵۲ برابر نسبت به تیمار بدون قارچ شده است. مقایسه میانگین‌ها در تمام تیمارها نشان می‌دهد که میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه از ۸/۴۰ درصد در نمونه بدون قارچ به ۷۵/۳۱ درصد در نمونه حاوی قارچ رسیده که افزایش معنی‌دار ۹ برابری را نشان می‌دهد. اثر همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با گیاه ذرت در افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به خوبی مشاهده می‌شود.

## نتیجه‌گیری

همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با گیاه ذرت سبب افزایش ماده خشک، درصد کلونیزاسیون ریشه و جذب کل عناصر (روی، آهن ، منگنز و مس) گردید.

با افزایش سطح روی مصرفی تا سطح ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک در تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ *Glomus intraradices*، جذب عناصر آهن و منگنز کاهش، اما جذب عناصر روی، مس و درصد کلونیزاسیون ریشه افزایش یافت. کاهش عناصر ذکر شده می‌تواند بر اثر برهمکنش روی با عناصر آهن و منگنز باشد.

کاربرد هر دو نوع ماده آلی (کمپوست زباله شهری و کود گوسفندی) سبب افزایش میزان ماده خشک، درصد کلونیزاسیون ریشه و جذب عناصر (روی، آهن، منگنز و مس) گردید.

## سپاسگزاری

از اساتید گرانقدرم در بخش علوم خاک دانشگاه شیراز که در طول مدت انجام این تحقیق از ایشان بسیار آموختم و کمک‌های بی‌دریغ و دلسوزانه ایشان نقش به‌سزایی در ارائه این تحقیق داشته سپاسگزاری می‌نمایم.

## منابع مورد استفاده

۱. رضایی نژاد، ی. و م. افیونی. ۱۳۷۹. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، جذب عناصر به وسیله ذرت و عملکرد آن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۴): ۱۹-۲۹.

۲. رحیمی، ق. ۱۳۷۱. مطالعه اثرات کود کمپوست بر شوری و آلودگی خاک و مقدار جذب عناصر سنگین توسط گیاه ذرت از خاک‌های حاوی کود کمپوست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. گلچین، ا.، م. اسماعیلی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. تأثیر مواد آلی، منگنز و مس بر عملکرد و کیفیت گندم آبی در استان‌های سردسیر کشور. مجموعه مقالات تغذیه متعادل گندم، نشر آموزش کشاورزی، کرج، صفحات ۲۸۷-۳۰۱.

۴. میر انصاری مهابادی، م. ر.، ح. بهرامی، ف. رجالی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تراکم خاک. مجله علوم خاک و آب ۲۰(۱): ۱۰۶-۱۲۱.

5. Baruzzini, L. and F. Delzan. 1992. Soil fertility improvement and pollution risks from the use of compost referred to N, P, K and C balance. Soil International Symposium on Compost Recycling of Wastes, Athens, Greece, 4-7 October 1989, Acta Hort. 302: 51-62.
6. Brouwer, J. and J.M. Poewll. 1998. Increasing nutrient use efficiency in west African agriculture: The impact of micro-topography on nutrient leaching from cattle and sheep manure. Agric. Ecosys. Environ. 71: 229-239.
7. Caris, C., W. Hordt, H.J. Hawkins, V. Romhel and G. Eckhard. 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhiza hyphe from soil to peanut and sorghum plants. Mycorrhiza 8: 35-39.
8. Chen, J.H. and A. Stanley. 1999. Effects of liming and adding phosphate on predicted phosphorous uptake by maize on acid soil of three soil orders. Soil Sci. 150: 844-850.
9. Chen, B., P. Chrisite 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.
10. Clark, R.B. and S.K. Zeto. 1996. Mineral acquisition by mycorrhiza maize grown on acid and alkaline soil. Soil Biol. Biochem. 28: 1495-1503.
11. Clark, R.B. and S.K. Zeto. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. J. Plant Nutr. 23: 902-867.
12. Faber, B.A., R.J. Zasoski, R.G. Burau and K. Uriu. 1990. Zinc uptake by corn affected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. Plant Soil 129: 121-130.
13. Gupta, V.K. and B.S. Patalia. 1993. Nutrition of maize as influenced by zinc and nitrogen carries. J. Indian Soc. Soil Sci. 41: 190-191.
14. Hangin, J. and B. Tuker. 1982. Fertilization of Dryland and Irrigated Soils. Springer Verlag, New York, 186 p.
15. Ishizuka, J. 1992. Trends in biological nitrogen fixation research and application. Plant Soil 141: 197-209.
16. Jeyabal, A. and G. Kuppuswamy. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. Eur. J. Agron. 15: 153-170.
17. Kabata-pendias, A. 2006. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
18. Khoshgoftarmanesh, A.H. and M. Kalbasi. 2000. Effect of municipal waste leachate on soil properties and growth and yield of rice. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 2011-2020.
19. Koromanik, P.P. and A.C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. PP. 36-37. *In:* Schenck, N.C. (Ed.). Methods and Principles of Mycorrhizal Research, Amrican Phyto Pathological Society.
20. Mancuso, S. and E. Rinaldelli. 1996. Response of young mycorrhizal and non- mycorrhizal plants of olive tree (*Olea europaea* L.) to saline conditions. II. Dynamics of electrical impedance parameters of shoots and leaves. Adv. Hort. Sci. 10: 135-145.
21. Mangel, K. and E.A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Ed., International Potash Institute, Bern, Switzerland.

22. Marshner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, Inc., New York, 674 p.
23. Mohammad, M.J., W.L. Pan and A.C. Kennedy. 2005. Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal-colonized wheat root. Mycorrhiza 15: 259-266.
24. Nayyar, V.K. and R.L. Bansal. 1988. Chemical pools of Zn, Pb and Cd in a polluted soil. ILZIC Silver Jubilee Conf., New Delhi, pp. 561-566.
25. Pavlikova, D., M. Pavlic, J. Szakova, S. Vasickova, P. Tlustos and J. Balik. 2002. The effect of Cd and Zn contents in plants on Fe binding into organic substances of spinach biomass. Rostlinna Vyroba 48(12): 531-535.
26. Patel, G.R., and R.T. Dangarwalo. 1983. Effect of varying Zn and Fe status on the utilization of Fe, Mn and Zn by rice. Indian J. Agric. Chem. 16: 139-145.
27. Rashid, A. and R.L. Fox. 1992. Evaluating internal zinc requirements of grain crops by seed analysis. Agron. J. 84: 469-474.
28. Romheld, V. and H. Marschner. 1991. Function of micronutrients in plants. PP. 297-328. *In:* Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Schuman and R.M. Welch. (Eds.), Micronutrients in Agriculture, Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, WI.
29. Ryan, M.H. and J.F. Angus. 2003. Arbuscular mycorrhizae in wheat and field pea crops on a low P soil: Increased Zn-uptake but no increase in P-uptake or yield. Plant Soil 250: 225-239.
30. Sakal, R., H. Sinha, A.P. Singh and K.N. Thakur. 1981. Response of wheat to zinc, copper and manganese in calcareous soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 29: 385-387.
31. Sharma, J.P. and S.N. Sexena. 1985. Utilization of phosphorus by maize as influenced by various sources of organic matter and applied phosphorus. Indian Soc. Soil Sci. 33: 561-567.
32. Sharma, B.D. and S.P. Singh. 1990. Critical zinc levels in relation to growth and development of winter maize in Aridisoils. J. Indian Soc. Soil Sci. 38: 89-92.
33. Singh, J.P., R.E. Karamanos and W.B. Stewart. 1986. Phosphorous induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorous plots. Agron. J. 78: 668-675.
34. Soil Survey Staff. 2003. Keys to Soil Taxonomy. 9th ed., U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
35. Srinivasan, K. 1992. Effect of amendment and zinc level on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). Indian J. Agron. 37: 246-249.
36. Subramanian, K.S. and C. Charest. 1997. Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasseling. Mycorrhiza 7(1): 25-32.
37. Subramanian, K.S. and C. Charest. 1999. Acquisition of N by external hyphae an arbuscular mycorrhizal fungus and impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. Mycorrhiza 9: 69-75.
38. Sylvia, D.M. and S.E. Williams. 1992. Vesicula-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. PP. 101-124. *In:* Bethlenfalvay, G.J. and R.G. Linderman (Eds), Mycorrhizae in Sustainable Agriculture, ASA Special Publication, No. 54, Madison, WI.
39. Tisdale, S.L., W.L. Nelson and J.D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th ed., Macmillan Publishing, New York, 754 p.
40. Turk, M.A., T.A. Assaf, K.M. Hameed and A.M. Al-Tawaha. 2006. Significance of mycorrhizae.World J. Agric. Sci. 2(1): 16-20.
41. Zheljazkov, V.D. and P.R. Warman. 2004. Source-separated municipal solid waste compost application to Swiss chard and basil. J. Environ. Qual. 33: 542-552.