

تأثیر بیوجار پوست برنج و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر غلظت برخی عناصر موجود در اندام هوایی و ریشه ذرت رشد یافته در خاک آلوده به روی

زهرا دیانت مهارلویی، مژگان سپهری*، جعفر یثربی و رضا قاسمی

بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰)

چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مسایل مهم زیست محیطی می‌باشد که همگام با پیشرفت‌های سریع صورت گرفته در صنعت و کشاورزی رو به افزایش است. از اینرو، مطالعات زیادی در جهت کنترل و پاکسازی فلزات سنگین موجود در خاک‌ها صورت گرفته است. افزودن بیوجار به خاک‌های آلوده یک روش مؤثر جهت غیر متحرک سازی و کاهش فراهمی زیستی فلزات سنگین است. هدف این پژوهش ارزیابی اثر بیوجار و قارچ *P. indica* بر غلظت برخی عناصر در اندام هوایی و ریشه ذرت رشد یافته در خاک آلوده به غلظت‌های مختلف روی بود. بنابراین، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار و شامل تیمارهای روی (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، بیوجار پوست برنج (۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) و قارچ (تلقیح و عدم تلقیح) انجام شد. نتایج نشان داد بیوجار و نیز تلقیح قارچ منجر به افزایش غلظت آهن، مس، منگنز و فسفر در اندام هوایی و ریشه در گیاه ذرت شد. غلظت آهن اندام هوایی در گیاهان تلقیح نشده، در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوجار نسبت به عدم کاربرد بیوجار، به ترتیب ۱/۰۹ و ۲/۶۶ برابر افزایش یافت. اما در چنین شرایطی، افزایش غلظت آهن در ریشه به ترتیب ۴۴/۶۱ و ۷۰/۱۷ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ موجب شد که در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوجار، غلظت آهن در اندام هوایی به میزان ۱/۰۷ و ۲/۷۴ درصد و در ریشه به میزان ۴۴/۲۲ و ۷۰/۰۱ درصد نسبت به عدم کاربرد بیوجار افزایش یابد.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک و عناصر غذایی کم مصرف، ذغال زیستی، قارچهای اندوفیت.

مقدمه

سمی و برای بسیاری از موجودات زنده از جمله انسان مضر می‌باشند (Blake et al., 2001). پویایی این فلزات در خاک کم است و به لایه‌های زیرین خاک انتقال نمی‌یابد (Wong et al., 2002) و برخلاف آلوده‌کننده‌های آلی، غیرقابل تجزیه و پایدار در خاک هستند. تغییرات مکانی این فلزات در خاک سطحی کشاورزی تحت تاثیر مواد مادری خاک و منابع انسانی است و علاوه بر حضور در خاک به صورت طبیعی، در اثر فعالیت‌های

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر اثرات زیان‌آور بر جوامع گیاهی و جانوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی، موجب کاهش رشد، عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت به خطر افتادن سلامتی افراد جامعه می‌شود (Mauskar, 2007). این عناصر در غلظت‌های مشخصی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.sepohri@shirazu.ac.ir

عملکرد آن و نیز افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های شوری، خشکی، آلودگی خاک و عوامل بیماریزای ریشه و برگ توسط گزارش شده است (Rai and Varma, 2005).

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر بیوجار پوست برنج و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر غلظت برخی عناصر در اندام هوایی و ریشه ذرت در خاک آلوده به غلظت‌های مختلف روی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این آزمایش، مقدار کافی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک سری کوی اساتید با اسم علمی (Loamy-skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents) از دانشکده کشاورزی واقع در منطقه باجگاه استان فارس جمع‌آوری شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بافت خاک (روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962))، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع (توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی (Roades, 1996))، pH در خمیر اشباع (توسط دستگاه pH متر (Thomas, 1996))، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (Sumner et al., 1996) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین، مقدار ماده آلی (روش اکسایش مرطوب (Nelson and Sommers, 1996))، کربنات کلسیم معادل (روش خنثی‌سازی به وسیله اسید کلریدریک (Loeppert and Suarez, 1996))، فسفر قابل استفاده (روش بی کربنات سدیم ۰/۵ مولار در پ هاش ۸/۵ (Olsen et al., 1954))، نیتروژن کل (روش کلدال (Bremner, 1996))، پتاسیم قابل استخراج (توسط اسنات آمونیوم مولار خنثی (Chapman and Pratt, 1961)) و عناصر کم مصرف (روش عصاره‌گیری با DTPA و تعیین غلظت با دستگاه جذب اتمی (Lindsay and Norvel, 1978)) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و شامل تیمارهای روی (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، بیوجارپوست برنج (صفر، ۲ و ۴

انسانی نیز به خاک افزوده می‌شوند (Adriano et al., 2004). ورود عناصر سنگین به خاک در اثر فعالیت‌های انسان در بسیاری از مناطق، بسیار بیشتر از مقدار طبیعی آن‌ها در خاک است (Liu et al., 2005). فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از کودهای شیمیایی، کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و فعالیت‌های شهری و صنعتی از مهمترین منابع غیرطبیعی ورود فلزات سنگین به خاک می‌باشند (Doelsch et al., 2006). با توجه به یافته‌های Shahbazi و همکاران (۲۰۱۲) فعالیت‌های کشاورزی و استفاده زیاد از کودهای شیمیایی در مزارع باعث افزایش غلظت عناصر سنگین می‌شود. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی منجر به ایجاد اختلال در عملکرد چندگانه خاک، کاهش رشد و عملکرد گیاهان و آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی گردد (Lee et al., 2006). بیوجار، نوعی زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که در شرایط حضور مقادیر کم اکسیژن و یا عدم حضور آن تولید می‌گردد. بیوجار نقش مهمی در کنترل آلودگی‌های زیست محیطی، جلوگیری از هدر رفت کربن و افزایش حاصلخیزی خاک با اثر بر چرخه عناصر غذایی دارد (Novak et al., 2009). در ضمن بیوجار سبب بهبود وضعیت آب گیاه، افزایش راندمان استفاده از مواد غذایی، حفظ مواد غذایی و افزایش فراهمی عناصر برای گیاه (McCormack et al., 2013) در خاک اثرات مثبتی بر بهبود وضعیت حاصلخیزی (Gaskin et al., 2010) دارد. جهت کاهش آلودگی خاک‌ها از فلزات سنگین Verma و همکاران (۱۹۹۸) یک نوع جدید از قارچ‌های اندوفیت ریشه بنام *P. indica* را معرفی کردند. *P. indica* متعلق به بازیدیومیست‌ها و دارای خصوصیات مشابه قارچ‌های آربوسکولار میکوریز است (Varma et al., 2001). اثرات مثبت ناشی از برقراری همزیستی قارچ اندوفیت *P. indica* بر بقا و افزایش رشد گیاهان میزبان در شرایط تنش‌های غیرزیستی (شوری، خشکی، آلودگی خاک و غیره) توجه پژوهشگران را به خود جلب نموده است. اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه و در نتیجه افزایش

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده	واحد	مقدار/ تعریف
شن	(درصد)	۶۳/۳
سیلت	(درصد)	۱۸/۳
رس	(درصد)	۱۸/۴
بافت	-----	Sandy loam
ماده آلی	(درصد)	۰/۶۸
کربنات کلسیم معادل	(درصد)	۴۷/۶۱
قابلیت هدایت الکتریکی	(دسی‌زیمنزبر متر)	۰/۵۲
پ‌هاس (خمیر اشباع)	-----	۷/۷۴
ظرفیت تبادل کاتیونی	(سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	۱۱/۲
نیتروژن کل	(درصد)	۰/۱۴
پتاسیم قابل استفاده	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۷۶
فسفر محلول در بی‌کربنات سدیم	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۷
منگنز قابل استخراج با دی. تی. پی. ا.	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۵/۴۱
مس قابل استخراج با دی. تی. پی. ا.	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۱۵
آهن قابل استخراج با دی. تی. پی. ا.	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲/۵۳
روی قابل استخراج با دی. تی. پی. ا.	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۳۵

کافی اسپور نگهداری شد. قارچ *P. indica* همزیست اجباری نبوده و می‌توان مایه تلقیح آن را بدون تکثیر در مجاورت یک گیاه میزبان تهیه کرد، لذا پس از سپری شدن مدت زمان لازم جهت تهیه اسپور، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر محلول استریل آب - توئین ۲۰ درصد به هر پتری‌دیش افزوده و پس از جمع‌آوری اسپورهای قارچی موجود در هر پتری‌دیش، اسپورها تحت شرایط استریل در محیط کشت مایع تکثیر و در انتها تعداد آن‌ها با استفاده از لام نئوبار شمارش شد (Pham et al., 2004). جهت تلقیح گیاهان با قارچ *P. indica*، پس از ضد عفونی کردن سطحی بذور ذرت (رقم هیبرید سینگل گراس ۷۰۴) و جوانه‌دار نمودن آنها، ریشه‌چه بذور جوانه‌دار شده با ۱ میلی‌لیتر مایه تلقیح قارچی تلقیح گردید و در هر گلدان تعداد ۶ گیاهچه تلقیح شده با قارچ کشت گردید. لازم به ذکر است که گیاهچه‌های شاهد فاقد آلودگی قارچی بدون اضافه شدن مایه تلقیح قارچ درون گلدان‌ها کاشته شدند. یک هفته پس از رشد گیاهچه در گلدان، تعداد آنها به ۳ بوته تقلیل داده شد. رطوبت

درصد وزنی) و قارچ *Piriformospora indica* (تلقیح و عدم تلقیح) در سه تکرار در گلخانه انجام شد. بدین منظور، قبل از کشت، ۳ کیلوگرم خاک در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و بعد از اضافه کردن مقادیر مختلف بیوجار و عنصر روی، به مدت ۲ ماه در شرایط رطوبت مزرعه‌ای در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شد. سپس، عناصر غذایی ضروری بر اساس نتایج آزمون خاک به گلدان‌ها اضافه گردید. همچنین، جهت فراهم نمودن مقدار نیتروژن کافی در خاک، کود نیتروژن (منبع اوره) یک مرتبه به صورت پیش کشت و طی دو مرتبه دیگر در طول فصل رشد به خاک اضافه شد. جهت کشت قارچ *P. indica* از محیط کشت کمپلکس (*complex medium*) استفاده خواهد شد. با توجه به این که تهیه مایه تلقیح جهت کلنیزاسیون ریشه گیاه، مستلزم وجود تعداد کافی اسپور قارچ است لذا با تهیه تعداد کافی پتری‌دیش محتوی محیط کشت پیچیده، جدایه‌های قارچ مذکور کشت و در دمای ۲۴ درجه سلسیوس درون انکوباتور به مدت ۴ هفته جهت تکثیر قارچ و تولید مقدار

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچار مورد استفاده

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده	واحد	بیوچار پوست برنج	بقایای پوست برنج
پ‌هاش (با نسبت ۱:۱۰)	-----	۸/۷۲	۶/۹۲
قابلیت هدایت الکتریکی	(دسی‌زیمنز بر متر)	۲/۸۵	۲/۰۵
نیترژن کل	(درصد)	۱/۶۳	۰/۹۵
فسفر کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۲۵۰	۲۳۷۰
پتاسیم کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰
آهن کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۳۵/۰۵	۱۳۲/۸۵
روی کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳/۶۵	۲/۹۲
مس کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۹۵	۱/۷۳
منگنز کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۹۰/۷۵	۶۲/۱۵

اثرات اصلی و متقابل تیمارهای آزمایشی شامل بیوچار، روی و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داده شده است.

غلظت آهن در اندام هوایی و ریشه ذرت: اطلاعات

موجود در جدول ۴ و ۵ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح بیوچار، میانگین غلظت آهن در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد بیوچار در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی موجب افزایش مقدار آهن موجود در اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح نیافته با قارچ) نسبت به عدم کاربرد بیوچار در اندام هوایی به ترتیب ۱/۰۹ و ۲/۶۶ برابر و در ریشه ۴۴/۶۱ و ۷۰/۱۷ درصد افزایش معنی‌داری یافت. اما در شرایط مشابه، تلقیح قارچ (*P. indica*) سبب افزایش مقدار آهن در اندام هوایی به ترتیب به میزان ۱/۰۷ و ۲/۷۴ برابر و در ریشه به میزان ۲۲/۴۴ و ۷۰/۰۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار) شد. افزایش کاربرد مقدار بیوچار، موجب افزایش غلظت عناصر غذایی در ذرت شد. بیوچار سبب جلوگیری از اتلاف کربن خاک، با دارا بودن عناصر غذایی مختلف و آزاد شدن آنها در طی تجزیه آن، بر حاصلخیزی خاک تاثیر می‌گذارد (Mukherjee et al., 2014). با توجه به مشاهدات Miller و همکاران (۱۹۸۶) کاربرد بیوچار کود دامی غلظت آهن اندام هوایی گیاه ذرت را افزایش داد. غلظت آهن اندام هوایی گیاهان شاهد تلقیح نشده با قارچ در شرایط

گلدان‌ها در طول فصل رشد با استفاده از آب مقطر و به روش توزین در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شد. بیوچار مورد استفاده در این پژوهش، از بقایای پوست برنج کارخانه برنج کوبی شهرستان کامفیروز (استان فارس) تهیه شد. بقایا پس از جمع‌آوری، هوا خشک شدن و آسیاب، در ورقه‌های آلومینیومی بسته بندی شدند تا فرایند اکسیژن رسانی به بقایا محدود گردد. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شدند تا زغالی که به آن بیوچار می‌گویند تولید شود (Hall et al., 2008). بیوچار تولید شده پس از آسیاب شدن مورد تجزیه قرار گرفت و برخی ویژگی‌های شیمیایی آن مانند pH، ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار عناصر نیترژن، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). پس از گذشت هشت هفته از کشت گیاهان، نمونه برداری از گیاه انجام و برخی ویژگی‌های رشدی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و نیز غلظت عناصر مس، آهن، منگنز و فسفر در ریشه و اندام هوایی گیاهان مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر روی، بیوجار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا بر غلظت برخی عناصر در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	مس در اندام هوایی	مس در ریشه	آهن در اندام هوایی	آهن در ریشه	منگنز در اندام هوایی	منگنز در ریشه	فسفر در اندام فاسفر در ریشه
قارچ	۱	۴/۰۲**	۴۳/۰۶**	۱۸۶۲/۶۸**	۲۶۶۰/۶۱**	۵۰۴/۵۳**	۶۴۲/۲۴**	۹۷۰/۱۷۷**
بیوجار	۲	۳۰/۷۳**	۲۲/۶۱**	۲۰۴۹۴/۸۱**	۹۶۹۲۹/۹۴**	۷۹۵/۴۶**	۳۸۸۱/۲۲**	۲۰۴۰۲/۵۲**
روی	۴	۲۸/۵۶**	۲۹۷/۶۲**	۷۸۵۰/۷۶**	۲۳۳۲۴/۲۵**	۸۵۶/۹۸**	۲۱۲۷/۰۸**	۱۵۵۱۱/۱۵**
قارچ × بیوجار	۲	۰/۰۱**	۰/۱۲**	۱۲۰/۲۸**	۷۸/۹۴**	۴/۴۳**	۴۴/۵۲**	۳۹۲۳/۴۲**
قارچ × روی	۴	۰/۱۱**	۱/۳۲**	۱۰/۱۲*	۵۸/۶۹**	۵۶/۶۹**	۱۷/۲۴**	۲۸۷۶/۳۵**
بیوجار × روی	۸	۰/۴۳**	۰/۶۱**	۳۱۹/۳۱**	۱۷۸۷۷**	۱۵/۳۳**	۳۰/۰۶**	۵۰۰/۱۷۳**
قارچ × بیوجار × روی	۸	۰/۰۳**	۰/۷۲**	۱۷/۷۱ ^{ns}	۳۱/۰۳**	۶/۱۹**	۲۸/۰۴**	۲۲۶۰/۰۲**
خطا	۶۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۲۵/۰۸	۷۴/۵۵	۰/۹۳	۰/۰۳	۲۶/۴۶
ضریب تغییرات	-	۱/۷۳	۲/۴۷	۲/۱۹	۱/۴۱	۲/۶۵	۲/۱۵	۱/۵۴

** و * به ترتیب معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ بر طبق آزمون F و ns به لحاظ آماری معنی دار نمی باشد.

جدول ۴- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی بر غلظت آهن در اندام هوایی (میکروگرم بر گرم)

میانگین	بیوجار (درصد وزنی)		
	۰	۲	۴
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ			
۰	۸۷/۶۶ (۲/۱) ^p	۱۵۱/۴۱ (۳/۵) ⁱ	۲۷۳/۵۰ (۴/۸) ^a
۵۰	۷۵/۴۵ (۱/۸) ^f	۱۴۲/۲۷ (۴/۲) ^j	۲۴۳/۶۶ (۲/۷) ^c
روی (میلی گرم)	۵۹/۲۸ (۱/۶) ^t	۱۲۷/۸۴ (۳/۶) ^l	۲۲۷/۴۵ (۴/۲) ^e
۲۰۰ (بر کیلوگرم)	۵۲/۳۶ (۳/۱) ^{uv}	۱۲۶/۳۶ (۴/۷) ^l	۲۱۴/۹۸ (۲/۸) ^f
۳۰۰	۴۱/۳۰ (۲/۶) ^w	۱۱۱/۹۷ (۳/۹) ⁿ	۱۹۶/۴۴ (۱/۱) ^g
میانگین	۶۳/۲۱ (۱/۸/۴) ^E	۱۳۱/۹۷ (۱۳/۷) ^C	۲۳۱/۲۱ (۲۹/۳) ^A
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ			
۰	۸۱/۴۴ (۱/۸) ^q	۱۴۳/۴۹ (۱/۱) ^j	۲۵۸/۳۷ (۴/۴) ^b
۵۰	۶۶/۲۴ (۲/۸) ^s	۱۳۳/۰۵ (۲/۱) ^k	۲۳۵/۴۳ (۱/۱) ^d
روی (میلی گرم)	۵۷/۲۷ (۲/۱) ^{tu}	۱۱۹/۳۱ (۱/۸) ^m	۲۱۷/۴۷ (۱/۹) ^f
۲۰۰ (بر کیلوگرم)	۴۹/۰۸ (۱/۶) ^v	۱۱۳/۱۷ (۱/۳) ⁿ	۱۹۸/۶۰ (۳/۲) ^g
۳۰۰	۳۹/۲۶ (۱/۹) ^w	۹۷/۶۵ (۱/۹) ^p	۱۸۵/۳۴ (۲/۲) ^h
میانگین	۵۸/۶۶ (۱/۶/۲) ^F	۱۲۱/۳۳ (۱۷/۷) ^D	۲۱۹/۱۰ (۲۹/۲) ^B

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

جدول ۵- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت آهن در ریشه ذرت (میکروگرم برگرم)

بیوجار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۶۶۴/۰۵ (۱۷۵/۸) ^l	۸۱۷/۹۳ (۲/۳) ^h	۷۰۱/۷۴ (۲/۵) ^f	۴۷۲/۴۸ (۲/۵) ^z	۰
۶۷۹/۷۰ (۱۷۲/۳) ^G	۸۳۲/۳۷ (۲/۷) ^g	۷۱۳/۸۵ (۱/۳) ^p	۴۹۲/۸۷ (۶/۹) ^y	۵۰
۷۰۳/۴۳ (۱۷۵/۱) ^E	۸۵۷/۱۸ (۱/۲) ^e	۷۴۰/۲۹ (۲/۶) ^m	۵۱۲/۸۳ (۱/۸) ^w	۱۰۰
۷۲۸/۰۴ (۱۸۲/۶) ^C	۸۹۶/۱۲ (۱/۹) ^c	۷۵۴/۲۰ (۲/۱) ^l	۵۳۳/۷۹ (۱/۶) ^u	۲۰۰
۷۵۴/۳۴ (۲۰۱/۲) ^A	۹۴۰/۷۲ (۲/۳) ^a	۷۸۱/۳۶ (۲/۱) ^j	۵۴۰/۹۵ (۳/۶) ^t	۳۰۰
۷۰۵/۹۱ (۳۶/۶) ^A	۸۶۸/۸۷ (۴۹/۹) ^A	۷۳۸/۲۹ (۳۱/۸) ^C	۵۱۰/۵۸ (۲۸/۴) ^E	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۶۵۱/۲۲ (۱۷۳/۱) ^l	۸۰۷/۴۶ (۲/۹) ⁱ	۶۸۱/۱۱ (۲/۵) ^e	۴۶۵/۱۰ (۳/۱) ^z	۰
۶۷۰/۶۰ (۱۷۰/۶) ^H	۸۱۸/۹۶ (۲/۱) ^h	۷۰۸/۷۱ (۳/۳) ^q	۴۸۴/۱۴ (۲/۳) ^z	۵۰
۶۹۳/۳۰ (۱۷۱/۴) ^F	۸۴۵/۲۰ (۲/۸) ^f	۷۲۷/۱۸ (۳/۳) ^o	۵۰۷/۵۱ (۲/۲) ^x	۱۰۰
۷۲۱/۶۰ (۱۸۱/۹) ^D	۸۸۹/۲۲ (۲/۵) ^d	۷۴۷/۴۱ (۱/۶) ^m	۵۲۸/۱۶ (۳/۲) ^v	۲۰۰
۷۳۸/۵۰ (۱۹۴/۱) ^B	۹۱۷/۵۴ (۲/۱) ^b	۷۶۵/۶۹ (۲/۱) ^k	۵۳۲/۱۷ (۳/۳) ^{uv}	۳۰۰
۶۹۵/۰۴ (۳۵/۸) ^B	۸۵۵/۶۸ (۴۶/۷) ^B	۷۲۶/۰۲ (۳۳/۱) ^D	۵۰۳/۴۲ (۲۸/۷) ^F	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

در اندام هوایی و ریشه گیاه و در نتیجه ایجاد رقابت بین عناصر روی و آهن در جذب توسط گیاه مربوط دانست. احتشامی و همکاران (۱۳۹۲) در رابطه با تاثیر تیمارهای قارچی بیان کردند که این تیمارهای قارچی سبب توسعه سطح ریشه و جذب بیشتر روی از خاک شده که موجب زیاد شدن مقدار این عنصر در ریشه و اندام هوایی شده و بنابراین جذب آهن کاهش یافته است. با توجه به مشاهدات Adiloglu (۲۰۰۶) کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت رشد یافته در یک خاک آهکی آلوده به روی، به دلیل وجود رابطه ضدیتی بین عنصر روی و آهن می باشد. با توجه به مشاهدات Pande و همکاران (۲۰۰۷) با افزایش مقدار روی در خاک، غلظت و مقدار جذب آهن در اندام هوایی گیاه دارویی نعناع (*Mentha*) نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج عسکری لجایر و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که با افزایش سطوح روی در گیاه دارویی

آلودگی خاک به سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی نسبت به خاک غیر آلوده، به ترتیب به مقدار ۱۰/۰۲، ۱۹/۱۲، ۲۳/۱۹ و ۳۱/۷۷ درصد کاهش یافت، در حالیکه مقادیر مربوط به افزایش غلظت این عنصر در ریشه به ترتیب ۲/۳۶، ۵/۹۳، ۹/۶۴ و ۱۳/۶۱ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی، غلظت آهن اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۱۰/۰۵، ۱۸/۴۷، ۲۵/۳۴ و ۳۳/۲۷ درصد کاهش یابد، اما در چنین شرایطی، مقدار آهن در ریشه این گیاهان در چهار سطح تیمار روی به ترتیب ۲/۹۸، ۶/۴۶، ۱۰/۸۱ و ۱۳/۴۰ درصد نسبت به سطح صفر این عنصر افزایش یافت. مقادیر کمتر آهن در اندام هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ، نسبت به گیاهان فاقد تلقیح را می توان به توانایی قارچ در تجمع بیشتر فلز روی

آهن در جذب توسط گیاه، سبب شد غلظت کمتری از آهن در ریشه و اندام هوایی گیاه را به خود اختصاص دهد.

غلظت مس در اندام هوایی و ریشه ذرت: اطلاعات

موجود در جدول ۶ و ۷ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح بیوجار، میانگین غلظت مس در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد بیوجار در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی موجب افزایش مقدار مس موجود در اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح نیافته با قارچ) نسبت به عدم کاربرد بیوجار به میزان ۲۴/۰۲ و ۲۸/۴ درصد و در ریشه ۴/۶۱۸۲ و ۸/۶۵ درصد افزایش شد. اما در شرایط مشابه، تلقیح قارچ (*P. indica*) سبب افزایش مقدار مس در اندام هوایی به ترتیب به میزان ۲۲/۱ و ۲۵/۷۷ درصد و در ریشه به میزان ۵/۶۶ و ۸/۸۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوجار) شد. دلیل این موضوع را می‌توان به نقش قارچ در افزایش فعالیت میکروبی که سبب آزاد سازی عناصر غذایی موجود در بیوجار گردیده است (Khodadad et al., 2011). با توجه به مشاهدات Lehmann و همکاران (۲۰۰۳) افزایش بیوجار، غلظت و جذب مس اندام هوایی افزایش یافت. با توجه به مشاهدات Atkinson و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد بیوجار در خاک با تأثیر بر ظرفیت تبادل یونی و فعالیت میکروبی باعث افزایش قابلیت استفاده یون‌های غذایی می‌گردد.

غلظت مس در اندام هوایی گیاهان شاهد تلقیح نشده با قارچ در شرایط آلودگی خاک به سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی نسبت به خاک غیر آلوده، به ترتیب به مقدار ۲۱/۰۳، ۳۴/۸۸، ۴۴/۴۶ و ۵۲/۹۱ درصد افزایش یافت، در حالیکه مقادیر مربوط به افزایش غلظت این عنصر در ریشه به ترتیب ۸/۵۸، ۲۳/۲۰، ۴۰/۳۷ و ۶۱/۲۲ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ (*P. indica*) به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت مس اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۲۳/۱۱، ۳۸/۲۱، ۴۳/۸۷ و ۴۹/۳۷ درصد در اندام هوایی و ۱۱/۷۰، ۳۰/۹۴، ۴۴/۳۰ و ۶۵/۸۷ درصدی در ریشه افزایش داشته باشد. این قارچ سبب افزایش غلظت مس در

مرزه (*satureja hortensis L.*)، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین، آنها بیان کردند که روند تغییرات غلظت و جذب آهن در ریشه بر خلاف اندام هوایی می‌باشد، زیرا اعمال تیمارهای روی به مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش غلظت و جذب آهن به میزان ۱۳/۹۸ و ۵۷/۵۶ درصد در اندام هوایی و ۱۶/۲۳ و ۴۸/۳۰ درصد در ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد روی) شد. با توجه به مشاهدات *Cumbus* و همکاران (۱۹۷۷) فلز روی به عنوان یک کاتیون رقیب با جلوگیری از انتقال متابولیک فعال آهن به مکان‌های جذبی موجود در اندام هوایی موجب افزایش غلظت آهن در ریشه می‌گردد. نتایج عسکری لجایر و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که با افزایش سطوح روی در گیاه دارویی مرزه (*satureja hortensis L.*)، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین، آنها بیان کردند که روند تغییرات غلظت و جذب آهن در ریشه بر خلاف اندام هوایی می‌باشد، زیرا اعمال تیمارهای روی به مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش غلظت و جذب آهن به میزان ۱۳/۹۸ و ۵۷/۵۶ درصد در اندام هوایی و ۱۶/۲۳ و ۴۸/۳۰ درصد در ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد روی) شد. با توجه به مشاهدات *Cumbus* و همکاران (۱۹۷۷) فلز روی به عنوان یک کاتیون رقیب با جلوگیری از انتقال متابولیک فعال آهن به مکان‌های جذبی موجود در اندام هوایی موجب افزایش غلظت آهن در ریشه می‌گردد. طبق نتایج به دست آمده، غلظت آهن اندام هوایی گیاهان تلقیح نشده با قارچ (۱۴۲/۱۳ میکروگرم بر گرم) به مقدار حدود ۷٪ بیشتر از گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۱۳۳/۰۳ میکروگرم بر گرم) بود. همچنین نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که غلظت آهن ریشه در گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۶۹۵/۰۴ میکروگرم بر گرم) نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نیافته (۷۰۵/۹۱ میکروگرم بر گرم) حدوداً ۲٪ کمتر بود. بنابراین، بطور کلی تلقیح قارچ (*P. indica*) به دلیل تأثیر بر افزایش انتقال فلز روی از خاک به سمت ریشه و اندام هوایی و وجود اثر ضدینی عناصر روی و

جدول ۶- اثر کاربرد بیوچار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت مس اندام هوایی (میکروگرم بر گرم)

بیوچار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۶/۰۵ (۱/۴) ^J	۷/۱۵ (۰/۰۲) ^s	۶/۵۵ (۰/۰۲) ^w	۴/۴۵ (۰/۰۲) ^z	۰
۷/۳۲ (۰/۹) ^H	۷/۸۶ (۰/۰۳) ^o	۷/۷۸ (۰/۰۳) ^p	۶/۳۱ (۰/۰۴) ^x	۵۰
۸/۱۶ (۱/۳) ^F	۹/۰۵ (۰/۰۷) ^g	۸/۷۵ (۰/۰۳) ⁿ	۶/۶۸ (۰/۰۳) ^v	۱۰۰
۸/۷۴ (۰/۷) ^E	۹/۲۶ (۰/۰۵) ^f	۸/۹۸ (۰/۰۶) ^h	۷/۹۷ (۰/۰۴) ^m	۲۰۰
۹/۲۵ (۰/۹) ^B	۹/۹۱ (۰/۰۴) ^b	۹/۵۷ (۰/۰۵) ^e	۸/۲۸ (۰/۰۳) ^l	۳۰۰
۱/۹۰ (۱/۳) ^B	۸/۶۵ (۱/۱) ^C	۸/۳۳ (۱/۲) ^D	۶/۷۴ (۱/۵) ^F	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۶/۳۶ (۱/۳) ^I	۷/۲۹ (۰/۰۵) ^f	۶/۹۵ (۰/۰۴) ^t	۴/۸۵ (۰/۰۴) ^y	۰
۷/۸۳ (۰/۸) ^G	۸/۳۷ (۰/۰۵) ^k	۸/۲۵ (۰/۰۵) ^l	۶/۸۷ (۰/۰۵) ^u	۵۰
۸/۷۹ (۱/۱) ^D	۹/۵۸ (۰/۰۵) ^e	۹/۳۲ (۰/۰۵) ^f	۷/۴۸ (۰/۰۴) ^q	۱۰۰
۹/۱۵ (۰/۸) ^C	۹/۷۵ (۰/۰۴) ^d	۹/۵۱ (۰/۰۳) ^e	۸/۱۸ (۰/۰۳) ^m	۲۰۰
۹/۵۰ (۰/۹) ^A	۱۰/۱۸ (۰/۰۳) ^a	۹/۸۲ (۰/۰۴) ^c	۸/۵۱ (۰/۰۵) ⁿ	۳۰۰
۸/۳۳ (۱/۳) ^A	۹/۰۳ (۱/۲) ^A	۸/۷۷ (۱/۲) ^B	۷/۱۸ (۱/۴) ^E	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمارهای فاقد تلقیح گردید، بنابراین می توان گفت قارچ با افزایش فعالیت میکروبی سبب آزادسازی عناصر غذایی موجود در بیوچار گردیده است. نتایج تحقیقات متعدد حاکی از آن است که مس تمایل زیادی به تجمع در ریشه و اندام هوایی گیاهان دارد ولی مقدار آن در اندام هوایی کمتر می باشد (Marschner, 2011). بیوچار با دارا بودن مقدار کربن بالا، تخلخل زیاد و سطح ویژه بالا و دارای گروه های عاملی که در طول زمان موجب افزایش اکسیداسیون در خاک می شود، سبب افزایش مکان های جذبی و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می گردد (Liang et al., 2006). با تاثیر بر چرخه عناصر غذایی، از هدر روی کربن جلوگیری می کند، و بر حاصلخیزی خاک تاثیر می گذارد (Mukherjee and Zimmerman, 2014). طبق نتایج به دست آمده، غلظت مس اندام هوایی گیاهان تلقیح یافته با قارچ

اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمارهای فاقد تلقیح گردید، بنابراین می توان گفت قارچ با افزایش فعالیت میکروبی سبب آزادسازی عناصر غذایی موجود در بیوچار گردیده است. نتایج تحقیقات متعدد حاکی از آن است که مس تمایل زیادی به تجمع در ریشه و اندام هوایی گیاهان دارد ولی مقدار آن در اندام هوایی کمتر می باشد (Marschner, 2011). بیوچار با دارا بودن مقدار کربن بالا، تخلخل زیاد و سطح ویژه بالا و دارای گروه های عاملی که در طول زمان موجب افزایش اکسیداسیون در خاک می شود، سبب افزایش مکان های جذبی و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می گردد (Liang et al., 2006). با تاثیر بر چرخه عناصر غذایی، از هدر روی کربن جلوگیری می کند، و بر حاصلخیزی خاک تاثیر می گذارد (Mukherjee and Zimmerman, 2014). طبق نتایج به دست آمده، غلظت مس اندام هوایی گیاهان تلقیح یافته با قارچ

اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمارهای فاقد تلقیح گردید، بنابراین می توان گفت قارچ با افزایش فعالیت میکروبی سبب آزادسازی عناصر غذایی موجود در بیوچار گردیده است. نتایج تحقیقات متعدد حاکی از آن است که مس تمایل زیادی به تجمع در ریشه و اندام هوایی گیاهان دارد ولی مقدار آن در اندام هوایی کمتر می باشد (Marschner, 2011). بیوچار با دارا بودن مقدار کربن بالا، تخلخل زیاد و سطح ویژه بالا و دارای گروه های عاملی که در طول زمان موجب افزایش اکسیداسیون در خاک می شود، سبب افزایش مکان های جذبی و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می گردد (Liang et al., 2006). با تاثیر بر چرخه عناصر غذایی، از هدر روی کربن جلوگیری می کند، و بر حاصلخیزی خاک تاثیر می گذارد (Mukherjee and Zimmerman, 2014). طبق نتایج به دست آمده، غلظت مس اندام هوایی گیاهان تلقیح یافته با قارچ

اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمارهای فاقد تلقیح گردید، بنابراین می توان گفت قارچ با افزایش فعالیت میکروبی سبب آزادسازی عناصر غذایی موجود در بیوچار گردیده است. نتایج تحقیقات متعدد حاکی از آن است که مس تمایل زیادی به تجمع در ریشه و اندام هوایی گیاهان دارد ولی مقدار آن در اندام هوایی کمتر می باشد (Marschner, 2011). بیوچار با دارا بودن مقدار کربن بالا، تخلخل زیاد و سطح ویژه بالا و دارای گروه های عاملی که در طول زمان موجب افزایش اکسیداسیون در خاک می شود، سبب افزایش مکان های جذبی و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می گردد (Liang et al., 2006). با تاثیر بر چرخه عناصر غذایی، از هدر روی کربن جلوگیری می کند، و بر حاصلخیزی خاک تاثیر می گذارد (Mukherjee and Zimmerman, 2014). طبق نتایج به دست آمده، غلظت مس اندام هوایی گیاهان تلقیح یافته با قارچ

جدول ۷- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیرفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت مس در ریشه ذرت (میکرو گرم برگرم)

بیوجار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۱۵/۷۳ (۱/۴) ^J	۱۶/۹۹ (۰/۰۵) ^V	۱۵/۹۱ (۰/۰۵) ^Y	۱۴/۲۸ (۰/۰۴) ^Z	۰
۱۷/۰۸ (۱/۱) ^H	۱۸/۱۸ (۰/۰۳) ^S	۱۶/۷۹ (۰/۰۵) ^W	۱۶/۲۷ (۰/۰۲) ^X	۵۰
۱۹/۳۸ (۰/۵) ^F	۱۹/۸۱ (۰/۰۵) ^P	۱۹/۵۵ (۰/۰۴) ^Q	۱۸/۷۹ (۰/۰۵) ^T	۱۰۰
۲۲/۰۸ (۰/۷) ^D	۲۲/۶۸ (۰/۰۴) ^N	۲۲/۱۹ (۰/۰۴) ^L	۲۱/۳۸ (۰/۰۶) ^M	۲۰۰
۲۵/۳۶ (۰/۷) ^B	۲۵/۹۶ (۰/۰۳) ^C	۲۵/۵۱ (۰/۰۵) ^D	۲۴/۶۱ (۰/۰۷) ^F	۳۰۰
۱۹/۹۳ (۳/۹) ^B	۲۰/۷۲ (۳/۶) ^C	۱۹/۹۹ (۳/۹) ^E	۱۹/۰۷ (۴/۱) ^F	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۱۶/۳۲ (۱/۱) ^I	۱۷/۴۱ (۰/۰۵) ^U	۱۵/۹۹ (۰/۰۵) ^Y	۱۵/۵۶ (۰/۰۵) ^Y	۰
۱۸/۲۳ (۰/۶) ^G	۱۸/۷۸ (۰/۰۵) ^T	۱۸/۲۶ (۰/۰۶) ^S	۱۷/۶۵ (۰/۰۳) ^J	۵۰
۲۱/۳۷ (۱/۲) ^E	۲۲/۲۸ (۰/۰۸) ^K	۲۱/۸۸ (۰/۰۵) ^M	۱۹/۹۵ (۰/۰۳) ^O	۱۰۰
۲۳/۵۵ (۰/۴) ^C	۲۳/۹۲ (۰/۰۶) ^E	۲۳/۵۹ (۰/۰۶) ^H	۲۳/۱۵ (۰/۰۳) ^I	۲۰۰
۲۷/۰۷ (۱/۵) ^A	۲۸/۲۰ (۰/۰۵) ^A	۲۷/۶۹ (۰/۰۷) ^B	۲۵/۳۳ (۰/۰۶) ^E	۳۰۰
۲۱/۳۱ (۴/۳) ^A	۲۲/۱۲ (۴/۳) ^A	۲۱/۴۸ (۴/۶) ^B	۲۰/۳۳ (۴/۱) ^D	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد

گردید.

غلظت منگنز اندام هوایی گیاهان شاهد تلقیح نشده با قارچ در شرایط آلودگی خاک به سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی نسبت به خاک غیر آلوده، به ترتیب به مقدار ۶/۶۷، ۱۵/۰۵، ۲۲/۴۴ و ۳۲/۹۴ درصد کاهش یافت. اما مقادیر مربوط به افزایش غلظت این عنصر در ریشه به ترتیب ۱۸/۴۲، ۲۷/۹۳، ۴۱/۷۶ و ۴۹/۶۷ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی، غلظت منگنز اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۱۳/۶۰، ۲۳/۹۳، ۳۴/۲۵ و ۴۳/۷۱ درصد کاهش یابد، اما مقدار منگنز در ریشه این گیاهان در سطوح مذکور روی به ترتیب ۱۰/۹۱، ۲۱/۴۱، ۲۸/۷۶ و ۴۰/۳۹ درصد نسبت به سطح صفر این عنصر افزایش یافت. با افزایش سطح روی، غلظت منگنز در اندام

۱۸/۵۱ و ۳۸/۴۳ درصد شده است. اما در چنین شرایطی، تلقیح قارچ (*P. indica*) سبب افزایش مقدار منگنز در اندام هوایی به ترتیب به میزان ۲۱/۲۳ و ۳۲/۴۵ درصد و در ریشه به میزان ۹/۵۸ و ۳۰/۰۲ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوجار) شد. با افزایش سطوح بیوجار، غلظت منگنز در اندام هوایی و ریشه افزایش یافت که این افزایش احتمالاً به دلیل منگنز موجود در بیوجار می باشد. با افزایش سطوح بیوجار، قابلیت جذب عناصر غذایی در گیاه افزایش یافته است که این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با قارچ بیشتر می باشد. احتمالاً قارچ (*P. indica*) با ایجاد برقراری رابطه همزیستی با گیاه ذرت سبب تولید مواد محرک رشد و همچنین افزایش قابلیت فراهمی عناصر غذایی برای گیاه گردیده است. با توجه به مشاهدات نظری و همکاران (۱۳۸۵) استفاده از بیوجار لجن فاضلاب سبب افزایش غلظت منگنز در اندام هوایی گیاه ذرت

جدول ۸- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت منگنز اندام هوایی (میکروگرم بر گرم)

بیوجار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۴۰/۱۹ (۴/۷) ^C	۴۵/۴۸ (۰/۰۳) ^{ef}	۳۸/۷۳ (۰/۰۷) ^h	۳۶/۳۶ (۰/۰۵) ⁱ	۰
۳۷/۵۱ (۵/۶) ^D	۴۳/۵۷ (۰/۰۵) ^{ef}	۳۶/۳۹ (۰/۰۵) ⁱ	۳۲/۵۶ (۰/۰۵) ^{kl}	۵۰
۳۴/۱۴ (۵/۷) ^E	۳۸/۷۰ (۰/۰۶) ^h	۳۵/۸۵ (۰/۰۳) ⁱ	۲۷/۸۷ (۰/۰۶) ⁿ	۱۰۰
۳۱/۱۷ (۵/۱) ^G	۳۴/۱۰ (۰/۰۵) ^{jk}	۳۳/۹۹ (۰/۰۵) ^{jk}	۲۵/۴۳ (۰/۰۶) ^o	۲۰۰
۲۶/۹۵ (۴/۷) ^I	۳۱/۶۸ (۰/۰۶) ^{lm}	۲۶/۷۹ (۰/۰۷) ^{no}	۲۲/۳۷ (۰/۰۵) ^p	۳۰۰
۳۳/۹۹ (۵/۲) ^B	۳۸/۷۱ (۵/۹) ^C	۳۴/۳۵ (۴/۶) ^D	۲۸/۹۲ (۵/۶) ^F	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۵۰/۳۶ (۳/۵) ^A	۵۴/۱۱ (۰/۰۹) ^a	۴۹/۹۱ (۰/۰۵) ^b	۴۷/۱۷ (۰/۰۵) ^{cd}	۰
۴۳/۵۱ (۷/۲) ^B	۴۸/۶۶ (۰/۰۷) ^{bc}	۴۶/۵۷ (۰/۰۵) ^{de}	۳۵/۲۹ (۰/۰۷) ^{ij}	۵۰
۳۸/۳۱ (۶/۹) ^D	۴۴/۴۲ (۰/۰۶) ^{fg}	۳۹/۷۰ (۰/۰۶) ^h	۳۰/۸۱ (۰/۰۶) ^m	۱۰۰
۳۳/۱۱ (۵/۲) ^F	۳۶/۶۳ (۰/۰۸) ⁱ	۳۵/۵۲ (۰/۰۷) ^{ij}	۲۷/۱۹ (۰/۰۸) ⁿ	۲۰۰
۲۸/۳۵ (۵/۱) ^H	۳۳/۸۴ (۰/۰۹) ^{jk}	۲۷/۳۹ (۰/۰۶) ⁿ	۲۳/۸۱ (۰/۰۵) ^p	۳۰۰
۳۸/۱۳ (۸/۶) ^A	۴۳/۵۱ (۸/۴) ^A	۳۹/۸۲ (۸/۹) ^B	۳۲/۸۵ (۹/۱) ^E	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

بر کیلوگرم روی، جذب منگنز ریشه ۳۸/۱۲ درصد کاهش یافت. با توجه به مشاهدات Adiloglu (۲۰۰۶) اظهار داشت از آنجا که عناصر روی و منگنز توسط ناقل‌های مشابهی جذب و انتقال می‌یابند، تحت شرایط زیادی روی، تجمع منگنز در بخش هوایی کاهش می‌یابد. با توجه به مشاهدات Pande و همکاران (۲۰۰۷) با افزایش روی قابل جذب خاک، غلظت منگنز ریشه گیاه نفع افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان داد. با توجه به مشاهدات فیضی اصل و ولی‌زاده (۱۳۸۳) وجود رابطه ضدیتی (رقابتی) بین روی و منگنز را گزارش کردند. با افزایش مقدار بیوجار و تلقیح قارچ غلظت، منگنز در اندام هوایی و ریشه نسبت به شرایط عدم تلقیح آلودگی با قارچ افزایش یافت. طبق نتایج به دست آمده، غلظت منگنز اندام هوایی گیاهان تلقیح نشده با مقدار ۳۳/۹۹ میکروگرم بر گرم، حدود ۱۴٪ کمتر از گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۳۸/۷۳)

هوایی در گیاهان شاهد فاقد تلقیح قارچ کاهش بیشتری نشان داد، در حالیکه با افزایش سطوح روی، غلظت منگنز در ریشه در گیاهان تلقیح یافته با قارچ افزایش بیشتری نشان داد. با توجه به مشاهدات عسگری لجایر و همکاران (۱۳۹۳) کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت و جذب منگنز اندام هوایی ۶۶/۰۸ و ۲۳/۶۲ درصد افزایش یافت و با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت و جذب منگنز اندام هوایی ۵۱/۹۹ و ۳۵/۱۴ درصد کاهش یافت. نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که با افزایش غلظت روی، غلظت منگنز در ریشه افزایش و در اندام هوایی کاهش می‌یابد (Marschner, 2002; Kabata- Pendias, 2001; Michaud et al., 2008; Ke et al., 2007).

با توجه به مشاهدات عسگری لجایر (۱۳۹۳) کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت و جذب منگنز ریشه ۱۲۸/۷۲ و ۱۱/۱۲ درصد افزایش یافت و با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم

جدول ۹- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت منگنز در ریشه ذرت (میکروگرم بر گرم)

بیوجار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۵۸/۴۰ (۱۵/۹) ^J	۷۴/۱۸ (۰/۰۴) ^F	۵۸/۶۶ (۰/۰۳) ^X	۴۲/۳۶ (۰/۰۸) ^Z	۰
۶۹/۱۶ (۹/۵) ^H	۷۸/۲۱ (۰/۰۵) ^M	۷۰/۱۰ (۰/۰۵) ^T	۵۹/۱۸ (۰/۰۳) ^W	۵۰
۷۴/۷۱ (۱۲/۴) ^F	۸۷/۷۷ (۰/۰۵) ^S	۷۳/۳۸ (۰/۰۴) ^S	۶۲/۹۹ (۰/۰۷) ^Z	۱۰۰
۸۲/۷۹ (۱۱/۴) ^D	۹۴/۴۱ (۰/۰۴) ^D	۸۲/۲۶ (۰/۰۶) ^N	۷۱/۶۹ (۰/۰۳) ^S	۲۰۰
۸۷/۴۱ (۱۱/۱) ^B	۹۸/۷۸ (۰/۰۴) ^B	۸۶/۶۲ (۰/۰۵) ^H	۷۶/۸۱ (۰/۰۶) ^O	۳۰۰
۷۴/۵۰ (۱۱/۴) ^B	۸۶/۶۷ (۱۰/۴) ^B	۷۴/۲۰ (۱۰/۹) ^D	۶۲/۶۱ (۱۳/۳) ^F	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۶۶/۳۷ (۱۰/۱) ^I	۷۷/۳۴ (۰/۰۹) ^N	۶۴/۳۰ (۰/۰۸) ^V	۵۷/۴۸ (۰/۰۴) ^Y	۰
۷۳/۶۱ (۷/۱) ^G	۸۱/۶۸ (۰/۰۶) ^K	۷۰/۸۱ (۰/۰۶) ^T	۶۸/۳۲ (۰/۰۶) ^U	۵۰
۸۰/۵۸ (۹/۵) ^E	۹۱/۳۹ (۰/۰۷) ^C	۷۶/۶۲ (۰/۰۷) ^P	۷۳/۷۲ (۰/۰۷) ^S	۱۰۰
۸۵/۴۶ (۱۱/۶) ^C	۹۷/۴۶ (۰/۰۶) ^C	۸۴/۴۹ (۰/۰۸) ^J	۷۴/۴۲ (۰/۰۷) ^Q	۲۰۰
۹۳/۱۸ (۱۶/۲) ^A	۱۱۰/۶۱ (۰/۰۹) ^A	۹۰/۲۰ (۰/۰۵) ^F	۷۸/۷۲ (۰/۰۷) ^L	۳۰۰
۷۹/۸۴ (۱۱/۱) ^A	۹۱/۷۰ (۱۳/۲) ^A	۷۷/۲۹ (۱۰/۴) ^C	۷۰/۵۳ (۸/۲) ^E	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

وزنی موجب افزایش مقدار فسفر موجود در اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح نیافته با قارچ) نسبت به عدم کاربرد بیوجار به ترتیب ۲/۰۴، ۳/۳۹ درصد و در ریشه ۰/۹۴ و ۱/۹۳ درصد افزایش معنی داری یافت. اما در چنین شرایطی، تلقیح قارچ (*P. indica*) سبب افزایش مقدار فسفر در اندام هوایی به ترتیب به میزان ۲/۴۰، ۸/۹۲ درصد و در ریشه به میزان ۱/۱۸ و ۲/۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوجار) شد. این افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه در تیمار تلقیح یافته با قارچ نسبت به عدم تلقیح بیشتر می باشد. احتمالاً قارچ (*P. indica*) با ایجاد برقراری رابطه همزیستی با گیاه ذرت سبب تولید مواد محرک رشد و همچنین افزایش قابلیت فراهمی عناصر غذایی برای گیاه گردیده است. نتایج تحقیقات متعدد بیانگر افزایش غلظت فسفر اندام هوایی گیاهان مختلف در اثر کاربرد بیوجار می باشد (Liu et al., 2014؛ Lehmann et

میکروگرم بر گرم) بود. همچنین نتایج جدول ۹ نشان می دهد که غلظت منگنز ریشه در گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۷۹/۸۴ میکروگرم بر گرم) نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نیافته (۷۴/۵۰ میکروگرم بر گرم) حدوداً ۸٪ بیشتر بود، Ke و همکاران (۲۰۰۷) در واقع ریشه اولین بخشی است که با عناصر غذایی و فلزات سنگین در تماس است و تجمع فلزات سنگین در ریشه بیشتر از اندام هوایی می باشد و حضور قارچ به دلیل توسعه هیف در ریشه باعث تجمع بیشتر روی می گردد و به سبب رابطه رقابتی بین عناصر روی و منگنز در گیاه میتوان اشاره کرد که کاربرد روی سبب کاهش انتقال منگنز به اندام هوایی می شود.

غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه ذرت: نتایج موجود در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان می دهد که با افزایش سطوح بیوجار، میانگین غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد بیوجار در سطوح ۲ و ۴ درصد

جدول ۱۰- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آلوده به روی برغلظت فسفر اندام هوایی (میلی گرم بر کیلوگرم)

بیوجار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۹۱۸/۳۷ (۱۰/۲) ^G	۹۲۶/۵۵ (۰/۹) ^{t-p}	۹۲۱/۵۷ (۲/۱) ^{o-r}	۹۰۶/۹۸ (۲/۸) ^s	۰
۹۳۵/۷۹ (۱۳/۶) ^D	۹۴۹/۱۲ (۳/۲) ^{e-g}	۹۳۶/۳۶ (۱/۳) ^{h-k}	۹۲۱/۸۸ (۱/۴) ^{n-r}	۵۰
۹۶۳/۳۸ (۳۴/۳) ^B	۹۹۵/۶۲ (۷/۶) ^b	۹۶۷/۱۸ (۵/۷) ^d	۹۲۷/۳۵ (۱/۶) ^{k-p}	۱۰۰
۹۳۰/۱۳ (۱۰/۷) ^E	۹۴۰/۱۱ (۱/۲) ^{g-i}	۹۳۱/۴۷ (۱/۷) ^{j-n}	۹۱۸/۸۲ (۱/۳) ^{p-r}	۲۰۰
۹۲۴/۴۳ (۹/۸) ^F	۹۳۳/۳۹ (۴/۲) ^{i-m}	۹۲۵/۸۷ (۱/۳) ^{l-q}	۹۱۴/۰۴ (۱/۲) ^s	۳۰۰
۹۳/۴۲ (۱۷/۴) ^B	۹۴۸/۹۶ (۲۷/۴) ^B	۹۳۶/۵۰ (۱۸/۱) ^C	۹۱۷/۸۱ (۷/۷) ^E	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۹۳۰/۴۴ (۱۴/۴) ^E	۹۴۴/۹۱ (۲/۱) ^{e-h}	۹۳۰/۲۰ (۱/۴) ^{k-o}	۹۱۶/۲۰ (۱/۳) ^{q-r}	۰
۹۴۵/۰۷ (۲۲/۲) ^D	۹۶۸/۵۴ (۶/۳) ^d	۹۴۲/۱۷ (۲/۸) ^{f-i}	۹۲۴/۴۹ (۰/۷) ^{m-q}	۵۰
۱۰۲۹/۲۶ (۱۲۲/۷) ^A	۱۱۶۷/۸۶ (۸/۲) ^a	۹۸۵/۴۰ (۵/۱) ^c	۹۳۴/۵۳ (۳/۱) ^{j-l}	۱۰۰
۹۴۰/۹۳ (۱۹/۹) ^C	۹۶۲/۵۷ (۰/۸) ^e	۹۳۶/۹۵ (۰/۸) ^{h-k}	۹۲۳/۲۸ (۰/۴) ^{n-r}	۲۰۰
۹۳۴/۶۲ (۱۴/۹) ^E	۹۴۹/۵۶ (۱/۱) ^{ef}	۹۳۴/۵۵ (۰/۹) ^{i-l}	۹۱۹/۷۴ (۰/۹) ^{p-r}	۳۰۰
۹۵۶/۰۶ (۴۱/۳) ^A	۹۹۸/۶۹ (۹۵/۱) ^A	۹۴۵/۸۵ (۲۲/۵) ^B	۹۲۳/۶۵ (۶/۹) ^D	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم روی مشاهده گردید که این افزایش در تیمار تلقیح یافته با قارچ بیشترین مقدار می باشد. قابل ذکر است که غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه ذرت در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ نسبت به سطوح ۵۰ و ۱۰۰ با اضافه شدن روی، کاهش یافته است و Ke و همکاران (۲۰۰۷) احتمالاً این کاهش به دلیل رابطه ناسازگاری بین فسفر و روی می باشد.

با توجه به مشاهدات عسکری لجایر و همکاران (۱۳۹۳) افزایش غلظت روی در خاک، اثر معنی داری در سطح یک درصد بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه مرزه داشت، و با کاربرد ۵۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک جذب فسفر اندام هوایی به طور معنی دار و به مقدار ۲۸/۶۱ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در حالی که کاربرد ۱۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک تاثیر معنی داری بر جذب فسفر اندام هوایی نداشت. همچنین آنها نشان دادند که کاربرد سطوح بیشتر روی، موجب کاهش فسفر اندام هوایی به مقدار ۲۲/۹۸ درصد شد.

Thies؛ Chen *et al.*, 2007؛ Nigussie *et al.*, 2012؛ *al.*, 2003 (and Rillig, 2009). غلظت فسفر اندام هوایی گیاهان شاهد تلقیح نشده با قارچ در شرایط آلودگی خاک به سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی نسبت به خاک غیر آلوده، به ترتیب به مقدار ۱/۹۲، ۴/۹۰، ۱/۲۸ و ۰/۶۶ درصد افزایش یافت، در حالیکه مقادیر مربوط به افزایش غلظت این عنصر در ریشه به ترتیب ۲۰/۷۷، ۲۹/۲۳، ۱۶/۰۲ و ۹/۱۶ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی، غلظت فسفر اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۱/۵۷، ۱۰/۶۲، ۱/۱۳ و ۰/۴۵ درصد افزایش یابد، در چنین شرایطی، مقدار فسفر در ریشه این گیاهان در چهار سطح تیمار روی به ترتیب ۱۶/۵۷، ۲۲/۱۳، ۱۱/۳۶، ۴/۵۶ و ۴/۵۶ درصد نسبت به سطح صفر این عنصر افزایش یافت. بیشترین غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه ذرت در سطح

جدول ۱۱- اثر کاربرد بیوجار و قارچ پیرفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت فسفر در ریشه (میکرو گرم برگرم)

بیوجار (درصد وزنی)				
میانگین	۴	۲	۰	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
۱۵۳۳/۵۰ (۹/۹) ^J	۱۵۴۳/۲۱ (۱/۹) ^Y	۱۵۳۳/۸۱ (۱/۱) ^Y	۱۵۲۳/۴۶ (۲/۱) ^Z	۰
۱۸۵۲/۰۲ (۱۳/۳) ^E	۱۸۶۶/۴۴ (۱/۸) ^J	۱۸۴۹/۳۷ (۲/۲) ^L	۱۸۴۰/۲۶ (۱/۱) ^M	۵۰
۱۹۸۱/۷۶ (۲۹/۲) ^B	۲۰۱۲/۱۸ (۲/۸) ^C	۱۹۷۹/۱۳ (۲/۷) ^D	۱۹۵۳/۹۸ (۱/۷) ^F	۱۰۰
۱۷۷۸/۹۲ (۱۶/۵) ^F	۱۷۹۳/۸۱ (۴/۳) ^O	۱۷۸۱/۹۶ (۲/۱) ^P	۱۷۶۱/۱۵ (۳/۸) ^T	۲۰۰
۱۶۷۴/۰۲ (۱۵/۹) ^H	۱۶۸۹/۶۹ (۷/۹) ^U	۱۶۷۴/۵۰ (۱/۷) ^V	۱۶۵۷/۸۹ (۴/۶) ^X	۳۰۰
۱۷۶۴/۰۵ (۱۷۰/۷) ^B	۱۷۸۱/۰۷ (۱۷۷/۳) ^D	۱۷۶۳/۷۵ (۱۶۹/۵) ^E	۱۷۴۷/۳۲ (۱۶۵/۶) ^F	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
۱۶۶۸/۲۶ (۱۶/۶) ^I	۱۶۸۵/۰۹ (۲/۵) ^U	۱۶۶۷/۸۲ (۱/۸) ^W	۱۶۵۱/۸۷ (۲/۸) ^X	۰
۱۹۴۴/۶۶ (۲۲/۶) ^C	۱۹۶۶/۹۲ (۱/۲) ^C	۱۹۴۵/۲۶ (۳/۴) ^E	۱۹۲۱/۸۱ (۳/۳) ^H	۵۰
۲۰۳۷/۳۴ (۲۴/۸) ^A	۲۰۶۳/۲۵ (۴/۳) ^A	۲۰۳۵/۰۵ (۳/۷) ^B	۲۰۱۳/۷۳ (۱/۵) ^C	۱۰۰
۱۸۵۷/۸۰ (۲۷/۱) ^D	۱۸۸۵/۸۷ (۱/۷) ^J	۱۸۵۵/۴۸ (۲/۵) ^K	۱۸۳۲/۰۶ (۱/۷) ^M	۲۰۰
۱۷۴۴/۳۶ (۲۴/۲) ^G	۱۷۶۸/۵۳ (۲/۷) ^Q	۱۷۴۴/۱۴ (۲/۴) ^S	۱۷۲۰/۰۹ (۳/۸) ^T	۳۰۰
۱۸۵۰/۴۱ (۱۴۸/۶) ^A	۱۸۷۳/۱۰ (۱۵۱/۲) ^A	۱۸۴۹/۵۵ (۱۴۸/۱) ^B	۱۸۲۷/۹۱ (۱۴۶/۶) ^C	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می باشد.

اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید در ضمن قارچ (*P. indica*) سبب تشدید کاهش غلظت منگنز در اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد فاقد آلودگی قارچ گردید، در حالیکه افزایش سطوح روی، سبب افزایش غلظت آهن و منگنز در ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در ضمن قارچ (*P. indica*) سبب تشدید افزایش غلظت منگنز در ریشه ذرت نسبت به گیاهان شاهد فاقد آلودگی قارچ شد. همچنین با افزایش سطوح روی، غلظت مس و فسفر در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و این افزایش در تیمار تلقیح یافته با قارچ بیشتر از گیاهان شاهد بود. بنابراین به نظر می رسد که قارچ (*P. indica*) با افزایش فعالیت میکروبی و آزاد سازی عناصر موجود در بیوجار موجب افزایش دسترسی یا جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده است. افزایش سطوح بیوجار

با توجه به مشاهدات Singh و همکاران (۱۹۸۶) می توان به رابطه ضدیتی بین عناصر فسفر و روی اشاره کردند. با توجه به مشاهدات Schwartz و همکاران (۱۹۸۷) روی باعث افزایش غلظت روی و کاهش مقدار فسفر در گیاه جو گردید. با توجه به مشاهدات عسگری لجایر و همکاران (۱۳۹۳) کاربرد سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی گرم روی بر کیلوگرم خاک غلظت فسفر ریشه به ترتیب ۶ و ۲۶ درصد و افزایش جذب فسفر ریشه به ترتیب ۸/۳۳ و ۱۹ درصد گردید. با توجه به مشاهدات Marschner (۲۰۰۲) گزارش کرد که بین جذب روی و فسفر رابطه ضدیتی وجود دارد.

نتیجه گیری کلی

افزایش سطوح روی، سبب کاهش غلظت آهن و منگنز در

به روی، در مناطقی که آلودگی روی مساله ساز می‌باشد (نزدیک معادن روی) می‌تواند به عنوان یک راهکار اصلاحی مناسب جهت بهبود رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

موجب افزایش غلظت عناصر فسفر، منگنز، مس و آهن در اندام هوایی و ریشه نسبت به سطح صفر بیوچار شد. به طور کلی و بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار پوست برنج در خاک‌های آلوده

منابع

احتشامی، م.، پور ابراهیمی، م. و خوازازی، ک. (۱۳۹۲) تأثیر باکتری *Pseudomonas fluorescens* strain 130 به همراه کود فسفر بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد زیستی در دو رقم جو در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۴: ۲۶-۱۵.

عسگری لجایر، ح.، متشع زاده، ب. ثوابی فیروز آبادی، غ. ر. و هادیان، ج. (۱۳۹۳) تاثیر کاربرد مس و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پر مصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه (*satureja hortensis* L.) در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۹: ۹۵-۱۱۱.

فیضی اصل، و. و ولی‌زاده، غ. (۱۳۸۳) اثر کاربرد توام فسفر و روی در غلظت عناصر غذایی و عملکرد گندم رقم سرداری. مجله علوم زراعی ایران ۳: ۲۳۸-۲۲۳.

نظری، م. ع.، شریعتمداری، ح. افیونی، م. مبلی، م. و رحیلی، ش. (۱۳۸۵) اثر کاربرد پسماند و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۳: ۹۷-۱۱۰.

- Adiloglu, S. (2006) The effect of increasing nitrogen and zinc doses on the iron, copper and manganese contents of maize plant in calcareous and zinc deficient soils. *Asian Journal Plant Science* 5: 504-507.
- Adriano, D. C., Wenzel, W. W., Vangronsveld, J. and Bolan, N. S. (2004) Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma* 122: 121-142.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D. and Hopps, N. A. (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate Soil: a review. *Plant and Soil* 337: 1-18.
- Blake, A. D., Jones, R. M., Blake, R. C., Pavalov, A. R., Darwish, I. A. and Yu, H. (2001) Antibody-based sensors for heavy metal ions. *Biosensors and Bioelectronics* 16: 799-809.
- Bouyoucos, G. J. (1962) Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
- Bremner, J.M. (1996) Nitrogen Total. In: D.L. Sparks *et al.*, (eds) *Methods of Soil Analysis*. part 3-American. Society. Pp. 1085 – 1122. Agronomy, Madison. WI
- Chapman, H. D., and Pratt, P. F. (1961). *Method of analysis for soils, plants and waters*. University of California. Division of agricultural Sciences 60- 68.
- Chapman, H. D. and Pratt, P. E. (1982) *Methods of analysis for soil plants and waters*, University of California Publication. no. 4034. Berkely, California.
- Chen, J., Zhu, D. and Sun, c. (2007) Effect of heavy metals on the sorption of hydrophobic organic compoundsto wood charcoal. *Environmental Science and Technology* 41: 2536- 2541.
- Cumbus, I. P., Hornsey D. J. and Robinson, L. W. (1977) The influence of phosphorus, zinc and manganese on absorption and translocation of iron in watercress. *Plant and Soil* 78: 651-660.
- Doelsch, E., Deroche, B. and Van de Kerchove, V. (2006) Impact of sewage sludge spreading on heavy metal speciation in tropical soils (Reunion, Indian Ocean). *Chemosphere* 65: 286-293.
- Gaskin, J. W., Speir, R. A. Harris, K. Das, K. Lee, R. D. Morris, L. A. and Fisher, D. S. (2010) Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102: 623-633.
- Hall, G., Woodborne, S. and Scholes, M. (2008) Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. *Chemical Geology* 247: 384-400.
- Kabata-Pendias, A. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*. Pp 365. CRC Press, New York.
- Ke, W., Xiong, Z. T., Chen S. and Chen, J. (2007). Effect of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicas* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. *Environmental Experimental Botany* 59: 59-67.
- Khodadad, C. L., Zimmerman, A. R. Green, S. J. Uthandi, S. and Foster, J. S. (2011) Specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 385-392.

- Lee, C.S., Li, X. and Shi, W. (2006) Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment* 356: 45–61.
- Lehmann, J., Dasilvajr, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343- 357.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1719-1730.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
- Liu, W., Zhao, J., Ouyang, Z., Soderlund, L. and Liu, G. (2005) Impact of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International* 31: 805-812.
- Liu, T., Liu, B. and Zhang, W. (2014) Nutrients and Heavy Metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: Its application in soil amendment. *Polish Journal of Environmental studies* 23: 271- 275.
- Loeppert, R. H. and Suarez, D. L. (1996) Carbonate and gypsum. In: Sparks, D. L. (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 3. 3rd ed.* Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin 437- 474.
- McCormack, S.A., Ostle, N. Bardgett, R. D. Hopkins D. W. and Vanbergen, A. J. (2013) Biochar in bioenergy cropping systems: impacts on soil faunal communities and linked ecosystem processes. *GCB Bioenergy* 5: 81-95.
- Mauskar J. M. (2007) Cadmium-An Environment Toxicant central pollution control Board, Ministry of Environment and Forests, Govt of India, parivesh Bhawan, East Arjun Nagar. Delhi.
- Marschner, H. (2002) Mineral nutrition of higher plants. Elsevier Science Ltd.
- Marschner, H. (2011) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. New York.
- Michaud, A.M., Chappellaz C. and Hinsinger, P. (2008) Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). *Plant Soil* 310: 151-165.
- Miller, W. P., Martens D. C. and zelazny, L. W. (1986) Effect of sequence in extraction of trace metals from soils. *Soil Science Society of America Journal* 50: 598- 601.
- Mukherjee, A., Lal, R. and Zimmerman, A. R. (2014) Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment* 487: 26 – 36.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996) Total carbon, organic carbon, and organic matter. 3rd Ed. In: Sparks, D. L., *et al.*, (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3- chemical methods and microbiological properties.* Soil Science of America and American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M. and Ambaw, G. (2012) Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 12: 369-376.
- Novak, J.M., Lima, I, Xing, B, Gaskin, J.W. Steiner, C. and Das, K. (2009) Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3: 205-220.
- Olsen, S.R.C., Cole, V., Watanabe, F.S., and Dean, L. A. (1954) Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA.Cir. 939, US Govern printing office, Washing ton, DC.
- Pande, P., Anwar, M., Chand, S., Yadav, V. K. and Patra, D. D. (2007) Optimal level of iron and zinc in relation to its influence on herb yield and production of essential oil in menthol mint. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 561-578.
- Pham, G. H., Kumari, R. Singh, A. Malla, R. Prasad, R. Sachdev, M. Kaldorf, M. Buscot, F. Oelmuller R. and Hampf, R. (2004) Axenic culture of symbiotic fungus *piriformospora indica*. In: A. Varma, L. Abbott, D. Werner, R. Hampf (Eds.). *Plant Surface Microbiology.* Springer – Verlag. Germany.
- Rai, M., and Varma, A. (2005) Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of *Piriformospora indica*, which promotes the growth of *Adhatoda vasica* Nees. *Electronic Journal of Biotechnology* 8: 1-6.
- Rhoades, J.D. (1996) Salinity: Electrical Conductivity and total dissolved solids. In: *Methods of Soil Analysis* (eds. D.L. Sparks *et al.*), Pp. 417- 436. part 3 part 3-American Society of Agronomy. Madison. WI.
- Schwartz, S. M., Welch, R. M., Grunes, D. L., Cary, E. E., Norvell, W. A., Gilbert, M. D., Meredith, M.P. and Sanchirico, C. A. (1987) Effect of zinc, phosphorus, and root-zone temperature on nutrient uptake by barley. *Soil Science Society of America Journal* 51: 371-375.
- Shahbazi, A., Soffianian, A.R., Mirghaffari, N. and Einghalaei, M.R. (2012) Contamination factor and comprehensive pollution index (A case study in Nahavand city). *Environment and Development Journal* 3: 31-38.
- Singh, J., Karamanos, R. and Stewart, J. (1986) Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus plots. *Agronomy journal* 78: 668-675.
- Sumner, M. E., Miller, W. P., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H. and Johnston, C. T. (1996) Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods* 1201-1229.

- Thies, J. E. and Rillig, M. C. (2009) Characteristics of biochar: biological properties. *Biochar for environmental management. Science and Technology* 85-105.
- Thomas, G.W. (1996) Soil pH and soil acidity. p. 475- 490. In D.L. Sparks *et al.*, (eds) *Methods of Soil Analysis. part 3*-American Society of Agronomy., Madison. WI.
- Varma, A. Singh, A. Sahay, N. S. Sharma, J. Roy, A. Kumari, M. and Hurek, T. (2001) *Piriformospora indica*: an axenically culturable mycorrhiza-like endosymbiotic fungus. In *Fungal Associations*, Springer Berlin Heidelberg.
- Verma, S. Varma, A. Rexer, K. H. Hassel, A. Kost, G. Sarbhoy, A. and Franken, P. (1998) *Piriformospora indica*, gen. et sp. Nov., A new root-colonizing fungus. *Mycologia* 90: 896-903.
- Wong, S.C., Li, X.D., Zhang, G., Qi, S.H. and Min, Y.S. (2002) Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution* 119: 33-44.

Effect of rice husk biochar and endophytic fungus *Piriformospora Indica* on concentrations of some nutrients in shoots and roots of corn grown in zinc-contaminated soil

Zahra Dianat Maharluei, Mozghan Sepehri*, Jafar Yasrebi, Reza Ghasemi

Soil Science, School of Agriculture, Shiraz University

(Received: 01/01/2018 Accepted: 01/09/2018)

Abstract

Heavy metal contamination of soils represents a serious environmental issue which is dramatically increasing with rapid developments in industry and agriculture. Therefore, a number of studies have focused on heavy metal control and purification in soils. The addition of biochar to contaminated soils is an effective method to immobilize heavy metals and reduce bioavailability. The objective of this study was to investigate the effect of rice husk biochar and *Piriformospora indica* as an endophytic fungus on concentration of some nutrients in shoots and roots of corn grown in polluted soil with different Zn concentrations. So, a factorial greenhouse experiment with three treatment factors including Zn (0, 50, 100, 200 and 300 mg kg⁻¹ soil), rice husk biochar (0, 2 and 4 weight percent) and *P. indica* (inoculation and non-inoculation) was performed in a completely randomized design with three replications. The results showed that biochar application as well as *P. indica* increased the concentration of Fe, Cu, Mn and P in the shoot and root of corn plant. The concentration of Fe in the shoot of non-inoculated plants at 2% and 4% wt/wt of biochar increased 1.09 and 2.66 compared with the control (i.e., no biochar). However, under such conditions, the increase of Fe concentration in the root was recorded by the amounts of 44.61% and 70.17%, respectively. *P. indica* inoculation resulted in a significant increase of Fe concentration in the shoot by 1.07% and 2.74% and 44.22% and 70.01% in the root compared with non-biochar controls.

Key words: Soil contamination & Micronutrients, Biochar, Endophytic fungi.

corresponding author, Email: m.sepehri@shirazu.ac.ir