تأثیر بیوچار 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: ۱۳۹٦/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰٦/۱۰)

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 بیوچار به خاک‌های آلوده یک روش مؤثر جهت غیر متحرک سازی و کاهش فراهمی زیستی فلزات سنگین است. هدف این پژوهش ارزیابی اثر بیوچار 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)، بیوچار پوست برنج (۰، ۲ و ٤ درصد وزنی) و قارچ (تلقیح و عدم تلقیح) انجام شد. نتایج نشان داد بیوچار 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 ٤ درصد وزنی بیوچار نسبت به عدم کاربرد بیوچار، به ترتیب ۱/۰۹ و ۲/٦٦ برابر افزایش یافت. اما در چنین شرایطی، افزایش غلظت آهن در ریشه به ترتیب ٤٤/٦۱ و ۷۰/۱۷ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ موجب شد که در سطوح ۲ و ٤ درصد وزنی بیوچار، غلظت آهن در اندام هوایی به میزان ۱/۰۷ و ۲/۷٤ درصد و در ریشه به میزان ٤٤/۲۲ و ۷۰/۰۱ درصد نسبت به عدم کاربرد بیوچار افزایش یابد.

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

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده درجوامع 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 می شود (Mauskar, 2007). این عناصر در غلظت‌های مشخصی 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 نمی‌یابند (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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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). بیوچار، 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. بیوچار 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 بیوچار 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 بازیدیومایست‌ها و دارای خصوصیاتی 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 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 بیوچار 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 جمع آوری شد. پس از هوا خشک کردن نمونه ها 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 استات آمونیوم مولار خنثی (Chapman and Pratt, 1961)) و عناصر کم مصرف (روش عصاره گیری 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)، بیوچارپوست برنج (صفر، ۲ و ٤

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده	واحد	مقدار/ تعریف
شن	(درصد)	٦٣/٣
سیلت	(درصد)	١٨/٣
رس	(درصد)	١٨/٤
بافت	------	Sandy loam
ماده آلی	(درصد)	٠/٦٨
کربنات کلسیم معادل	(درصد)	٤٧/٦١
قابلیت هدایت الکتریکی	(دسی‌زیمنزبرمتر)	٠/٥٢
پ‌هاش (خمیر اشباع)	------	٧/٧٤
ظرفیت تبادل کاتیونی	(سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	١١/٢
نیتروژن کل	(درصد)	٠/١٤
پتاسیم قابل استفاده	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	٣٧٦
فسفر محلول در بی‌کربنات سدیم	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	١٧
منگنز قابل استخراج با دی. تی. پی. ا	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	٥/٤١
مس قابل استخراج با دی. تی. پی. ا	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	١/١٥
آهن قابل استخراج با دی. تی. پی. ا	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	٢/٥٣
روی قابل استخراج با دی. تی. پی. ا	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	٠/٣٥

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 کیسه های پلاستیکی ریخته و بعد از اضافه کردن مقادیر مختلف بیوچار و عنصر روی، به مدت ۲ ماه در شرایط رطوبت مزرعه‌ای در دمای ۲۵ درجه سیلسیوس 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 ٢٤ درجه سلسیوس درون انکوباتور به مدت ٤ هفته جهت تکثیر قارچ و تولید مقدار 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 آن ها 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 ٧٠٤) و جوانه‌دار نمودن آنها، ریشه‌چه بذور جوانه‌دار شده با ١ میلی لیتر مایه تلقیح قارچی تلقیح گردید و در هر گلدان تعداد ٦ 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 ٣ بوته تقلیل داده شد. رطوبت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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	٦/۹۲
قابلیت هدایت الکتریکی	(دسی‌زیمنز بر متر)	۲/۸۵	۲/۰۵
نیتروژن کل	(درصد)	۱/٦۳	۰/۹۵
فسفر کل	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۲۲۵۰	۲۳۷۰
پتاسیم کل	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۱۰۰۰۰	٤۰۰۰
آهن کل	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۱۳۵/۰۵	۱۳۲/۸۵
روی کل	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۳/٦۵	۲/۹۲
مس کل	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۱/۹۵	۱/۷۳
منگنز کل	(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۹۰/۷۵	٦۲/۱۵

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 جمع آوری، هوا خشک شدن و آسیاب، در ورقه های 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 نیتروژن، 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 ویژگی های رشدی مانند وزن‌تر 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

اثرات اصلی و متقابل تیمارهای آزمایشی شامل بیوچار، روی و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در جدول تجزیه واریانس (جدول۳) نشان داده شده است.

غلظت آهن در اندام هوایی و ریشه ذرت: اطلاعات موجود در جدول ٤ 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 ٤ 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 ۲/٦٦ برابر و در ریشه ٤٤/٦۱ 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 ۲/۷٤ برابر و در ریشه به میزان ۲۲ /٤٤ 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 (۱۹۸٦) 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		مس دراندام هوایی	مس در ریشه	آهن دراندام هوایی	آهن در ریشه	منگنز دراندام هوایی	منگنز در ریشه	فسفر دراندام هوایی	فسفر در ریشه
قارچ	۱	٤/۰۲**	٤۳/۰٦**	۱۸٦۲/٦۸**	۲٦٦۰/٦۱**	۵۰٤/۵۳**	٦٤۲/۲٤**	۹۷۰۱/۷۷**	۱٦۸۱۲۱/۲٤**
بیوچار	۲	۳۰/۷۳**	۲۲/٦۱**	۲۰٤۹٤/۸۱**	۹٦۹۲۹/۹٤**	۷۹۵/٤٦**	۳۸۸۱/۲۲**	۲۰٤۰۲/۵۲**	۱۱۹۵٦/۷۳**
روی	٤	۲۸/۵٦**	۲۹۷/٦۲**	۷۸۵۰/۷٦**	۲۳۳۲٤/۲۵**	۸۵٦/۹۸**	۲۱۲۷/۰۸**	۱۵۵۱۱/۱۵**	٤۵٦۹۹/۳۹**
قارچ × بیوچار	۲	۰/۰۱**	۰/۱۲**	۱۲۰/۲۸**	۷۸/۹٤**	٤/٤۳**	٤٤/۵۲**	۳۹۲۳/٤۲**	۲۸۷/۵۰**
قارچ × روی	٤	۰/۱۱**	۱/۳۲**	۱۰/۱۲*	۵۸/٦۹**	۵٦/٦۹**	۱۷/۲٤**	۲۸۷٦/۳۵**	٤۰۹۸/۰۸**
بیوچار× روی	۸	۰/٤۳**	۰/٦۱**	۳۱۹/۳۱**	۱۷۸۷۷**	۱۵/۳۳**	۳۰/۰٦**	۵۰۰۱/۷۳**	۱۵۷/۷۳**
قارچ × بیوچار× روی	۸	۰/۰۳**	۰/۷۲**	۱۷/۷۱^{ns}	۳۱/۰۳**	٦/۱۹**	۲۸/۰٤**	۲۲٦۰/۰۲**	٦۵/٤۱**
خطا	٦۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۲۵/۰۸	۷٤/۵۵	۰/۹۳	۰/۰۳	۲٦/٤٦	۷۵/۰۸
ضریب تغییرات	–	۱/۷۳	۲/٤۷	۲/۱۹	۱/٤۱	۲/٦۵	۲/۱۵	۱/۵٤	۱/۱۷

**** و* به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ بر طبق آزمون F و ns به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.**

جدول ٤- اثر کاربرد بیوچار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت آهن دراندام هوایی (میکروگرم برگرم)

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۸۷/٦٦ (۲/۱)^{p}	۱۵۱/٤۱ (۳/۵)^{i}	۲۷۳/۵۰ (٤/۸)^{a}	۱۷۰/۸٦ (۹٤/٤)^{A}
	۵۰	۷۵/٤۵ (۱/۸)^{r}	۱٤۲/۲۷ (٤/۲)^{j}	۲٤۳/٦٦ (۲/۷)^{c}	۱۵۳/۷۹ (۸٤/٦)^{C}
	۱۰۰	۵۹/۲۸ (۱/٦)^{t}	۱۲۷/۸٤ (۳/٦)^{l}	۲۲۷/٤۵ (٤/۲)^{e}	۱۳۸/۱۹ (۸٤/۲)^{E}
	۲۰۰	۵۲/۳٦ (۳/۱)^{uv}	۱۲٦/۳٦ (٤/۷)^{l}	۲۱٤/۹۸ (۲/۸)^{f}	۱۳۱/۲۳ (۸۱/٤)^{F}
	۳۰۰	٤۱/۳۰ (۲/٦)^{w}	۱۱۱/۹۷ (۳/۹)^{n}	۱۹٦/٤٤ (۱/۱)^{g}	۱۱٦/۵۷ (۹۹/۱)^{H}
	میانگین	٦۳/۲۱ (۱۸/٤)^{E}	۱۳۱/۹۷ (۱۳/۷)^{C}	۲۳۱/۲۱ (۲۹/۳)^{A}	*۱٤۲/۱۳*(۸٤/۵)^{A}
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۸۱/٤٤ (۱/۸)^{q}	۱٤۳/٤۹ (۱/۱)^{j}	۲۵۸/۳۷ (٤/٤)^{b}	۱٦۱/۱۰ (۸۹/۸)^{B}
	۵۰	٦٦/۲٤ (۲/۸)^{s}	۱۳۳/۰۵ (۲/۱)^{k}	۲۳۵/٤۳ (۱/۱)^{d}	۱٤٤/۹۱ (۷۵/۸)^{D}
	۱۰۰	۵۷/۲۷ (۲/۱)^{tu}	۱۱۹/۳۱ (۱/۸)^{m}	۲۱۷/٤۷ (۱/۹)^{f}	۱۳۱/۳۵ (۸۰/۸)^{F}
	۲۰۰	٤۹/۰۸ (۱/٦)^{v}	۱۱۳/۱۷ (۱/۳)^{n}	۱۹۸/٦۰ (۳/۲)^{g}	۱۲۰/۲۸ (۷۵/۱)^{G}
	۳۰۰	۳۹/۲٦ (۱/۹)^{w}	۹۷/٦۵ (۱/۹)^{o}	۱۸۵/۳٤ (۲/۲)^{h}	۱۰۷/۵۱ (۷۳/۵)^{I}
	میانگین	۵۸/٦٦ (۱٦/۲)^{F}	۱۲۱/۳۳ (۱۷/۷)^{D}	۲۱۹/۱۰ (۲۹/۲)^{B}	*۱۳۳/۰۳*(۱۰۸/۵)^{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 معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

جدول۵- اثر کاربرد بیوچار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت آهن در ریشه ذرت (میکروگرم برگرم)

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٤٧٢/٤٨ (٢/٥)^{z}	٧٠١/٧٤ (٢/٥)^{r}	٨١٧/٩٣ (٢/٣)^{h}	٦٦٤/٠٥ (١٧٥/٨)^{I}
	٥٠	٤٩٢/٨٧ (٦/٩)^{y}	٧١٣/٨٥ (١/٣)^{p}	٨٣٢/٣٧ (٢/٧)^{g}	٦٧٩/٧٠ (١٧٢/٣)^{G}
	١٠٠	٥١٢/٨٣ (١/٨)^{w}	٧٤٠/٢٩ (٢/٦)^{n}	٨٥٧/١٨ (١/٢)^{e}	٧٠٣/٤٣ (١٧٥/١)^{E}
	٢٠٠	٥٣٣/٧٩ (١/٦)^{u}	٧٥٤/٢٠ (٢/١)^{l}	٨٩٦/١٢ (١/٩)^{c}	٧٢٨/٠٤ (١٨٢/٦)^{C}
	٣٠٠	٥٤٠/٩٥ (٣/٦)^{t}	٧٨١/٣٦ (٢/١)^{j}	٩٤٠/٧٢ (٢/٣)^{a}	٧٥٤/٣٤ (٢٠١/٢)^{A}
	میانگین	٥١٠/٥٨ (٢٨/٤)^{E}	٧٣٨/٢٩ (٣١/٨)^{C}	٨٦٨/٨٧ (٤٩/٩)^{A}	*٧٠٥/٩١* (٣٦/٦)^{A}
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٤٦٥/١٠ (٣/١)^{z}	٦٨١/١١ (٢/٥)^{s}	٨٠٧/٤٦ (٢/٩)^{i}	٦٥١/٢٢ (١٧٣/١)^{J}
	٥٠	٤٨٤/١٤ (٢/٣)^{z}	٧٠٨/٧١ (٣/٣)^{q}	٨١٨/٩٦ (٢/١)^{h}	٦٧٠/٦٠ (١٧٠/٦)^{H}
	١٠٠	٥٠٧/٥١ (٢/٢)^{x}	٧٢٧/١٨ (٣/٣)^{o}	٨٤٥/٢٠ (٢/٨)^{f}	٦٩٣/٣٠ (١٧١/٤)^{F}
	٢٠٠	٥٢٨/١٦ (٣/٢)^{v}	٧٤٧/٤١ (١/٦)^{m}	٨٨٩/٢٢ (٢/٥)^{d}	٧٢١/٦٠ (١٨١/٩)^{D}
	٣٠٠	٥٣٢/١٧ (٣/٣)^{uv}	٧٦٥/٦٩ (٢/١)^{k}	٩١٧/٥٤ (٢/١)^{b}	٧٣٨/٥٠ (١٩٤/١)^{B}
	میانگین	٥٠٣/٤٢ (٢٨/٧)^{F}	٧٢٦/٠٢ (٣٣/١)^{D}	٨٥٥/٦٨ (٤٦/٧)^{B}	*٦٩٥/٠٤* (٣٥/٨)^{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 معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

آلودگی خاک به سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم 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 ۲/۳٦، ۵/۹۳، ۹/٦٤ و ۱۳/٦۱ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت آهن اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۱۰/۰۵، ۱۸/٤۷، ۲۵/۳٤ 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، ٦/٤٦، ۱۰/۸۱ و ۱۳/٤۰ 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 می‌توان به توانایی قارچ در تجمع بیشتر فلز روی 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 (۲۰۰٦) 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 می‌باشد. 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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 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 بیوچار، میانگین غلظت مس در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد بیوچار 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 بیوچار 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 بیوچار) شد. دلیل این موضوع را می‌توان به نقش قارچ در افزایش فعالیت میکروبی که سبب آزاد سازی عناصر غذایی موجود در بیوچار گردیده است (Khodadad *et al.*, 2011). با توجه به مشاهدات Lehmann و همکاران (۲۰۰۳) افزایش بیوچار، غلظت و جذب مس اندام هوایی افزایش یافت. با توجه به مشاهدات Atkinson و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد بیوچار در خاک با تاثیر 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

جدول ٦- اثر کاربرد بیوچار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آهکی آلوده به روی برغلظت مس اندام هوایی (میکروگرم برگرم)

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٤/٤٥ (۰/۰۲)^{z}	٦/٥٥ (۰/۰۲)^{w}	۷/۱٥ (۰/۰۲)^{s}	٦/۰٥ (۱/٤)^{J}
	٥۰	٦/۳۱ (۰/۰٤)^{x}	۷/۷۸ (۰/۰۳)^{p}	۷/۸٦ (۰/۰۳)^{o}	۷/۳۲ (۰/۹)^{H}
	۱۰۰	٦/٦۸ (۰/۰۳)^{v}	۸/۷٥ (۰/۰۳)^{i}	۹/۰٥ (۰/۰۷)^{g}	۸/۱٦ (۱/۳)^{F}
	۲۰۰	۷/۹۷ (۰/۰٤)^{n}	۸/۹۸ (۰/۰٦)^{h}	۹/۲٦ (۰/۰٥)^{f}	۸/۷٤ (۰/۷)^{E}
	۳۰۰	۸/۲۸ (۰/۰۳)^{l}	۹/٥۷ (۰/۰٥)^{e}	۹/۹۱ (۰/۰٤)^{b}	۹/۲٥ (۰/۹)^{B}
	میانگین	٦/۷٤ (۱/٥)^{F}	۸/۳۳ (۱/۲)^{D}	۸/٦٥ (۱/۱)^{C}	*۷/۹۰ (۱/۳)^{B}*
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٤/۸٥ (۰/۰٤)^{y}	٦/۹٥ (۰/۰٤)^{t}	۷/۲۹ (۰/۰٥)^{r}	٦/۳٦ (۱/۳)^{I}
	٥۰	٦/۸۷ (۰/۰٥)^{u}	۸/۲٥ (۰/۰٥)^{l}	۸/۳۷ (۰/۰٥)^{k}	۷/۸۳ (۰/۸)^{G}
	۱۰۰	۷/٤۸ (۰/۰٤)^{q}	۹/۳۲ (۰/۰٥)^{f}	۹/٥۸ (۰/۰٥)^{e}	۸/۷۹ (۱/۱)^{D}
	۲۰۰	۸/۱۸ (۰/۰۳)^{m}	۹/٥۱ (۰/۰۳)^{e}	۹/۷٥ (۰/۰٤)^{d}	۹/۱٥ (۰/۸)^{C}
	۳۰۰	۸/٥۱ (۰/۰٥)^{j}	۹/۸۲ (۰/۰٤)^{c}	۱۰/۱۸ (۰/۰۳)^{a}	۹/٥۰ (۰/۹)^{A}
	میانگین	۷/۱۸ (۱/٤)^{E}	۸/۷۷ (۱/۲)^{B}	۹/۰۳ (۱/۲)^{A}	*۸/۳۳(۱/۳)^{A}*

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمارهای فاقد تلقیح گردید، بنابراین می‌توان 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 اندام‌هوایی گیاهان دارد ولی مقدار آن در اندام‌هوایی کمتر می‌باشد (Marschner, 2011). بیوچار با دارا بودن مقدار کربن بالا، تخلخل زیاد و سطح ویژه بالا و دارای گروه‌های عاملی که در طول زمان موجب افزایش اکسیداسیون در خاک می‌شود، سبب افزایش مکان‌های جذبی و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌گردد (Liang *et al.*, 2006). با تاثیر بر چرخه عناصر غذایی، از هدر روی کربن جلوگیری می‌کند، و بر حاصلخیزی خاک تاثیر می‌گذارد (Mukherjee and Zimmerman, 2014). طبق نتایج به دست آمده، غلظت مس اندام هوایی گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۸/۳۳ میکروگرم بر گرم) به مقدار حدود ٦٪ بیشتر از گیاهان تلقیح نشده با قارچ (۷/۹۰ میکروگرم بر گرم) بود. همچنین نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که غلظت مس ریشه در گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۲۱/۳۱ میکروگرم بر گرم) نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نیافته (۱۹/۹۳ میکروگرم بر گرم) حدوداً ۷٪ بیشتر بود. بنابراین می‌توان بیان کرد که گیاه تلقیح با قارچ موجب افزایش معنی‌دار مس در اندام گیاه ذرت شده است.

غلظت منگنز در اندام هوایی و ریشه ذرت: اطلاعات موجود در جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح بیوچار، میانگین غلظت منگنز در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است. کاربرد بیوچار در سطوح ۲ و ٤ درصد وزنی موجب افزایش مقدار منگنز موجود در اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح نیافته با قارچ) نسبت به عدم کاربرد بیوچار به ترتیب ۱۸/۷۸ و ۳۳/۸٥ درصد و در ریشه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۱٤/۲۸ (۰/۰٤)^{z}	۱۵/۹۱ (۰/۰۵)^{y}	۱٦/۹۹ (۰/۰۵)^{v}	۱۵/۷۳ (۱/٤)^{J}
	۵۰	۱٦/۲۷ (۰/۰۲)^{x}	۱٦/۷۹ (۰/۰۵)^{w}	۱۸/۱۸ (۰/۰۳)^{s}	۱۷/۰۸ (۱/۱)^{H}
	۱۰۰	۱۸/۷۹ (۰/۰۵)^{r}	۱۹/۵۵ (۰/۰٤)^{q}	۱۹/۸۱ (۰/۰۵)^{p}	۱۹/۳۸ (۰/۵)^{F}
	۲۰۰	۲۱/۳۸ (۰/۰٦)^{n}	۲۲/۱۹ (۰/۰٤)^{l}	۲۲/٦۸ (۰/۰٤)^{j}	۲۲/۰۸ (۰/۷)^{D}
	۳۰۰	۲٤/٦۱ (۰/۰۷)^{f}	۲۵/۵۱ (۰/۰۵)^{d}	۲۵/۹٦ (۰/۰۳)^{c}	۲۵/۳٦ (۰/۷)^{B}
	میانگین	۱۹/۰۷ (٤/۱)^{F}	۱۹/۹۹ (۳/۹)^{E}	۲۰/۷۲ (۳/٦)^{C}	*۱۹/۹۳ (۳/۹)^{B}*
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۱۵/۵٦ (۰/۰۵)^{y}	۱۵/۹۹ (۰/۰۵)^{y}	۱۷/٤۱ (۰/۰۵)^{u}	۱٦/۳۲ (۱/۱)^{I}
	۵۰	۱۷/٦۵ (۰/۰۳)^{t}	۱۸/۲٦ (۰/۰٦)^{s}	۱۸/۷۸ (۰/۰۵)^{r}	۱۸/۲۳ (۰/٦)^{G}
	۱۰۰	۱۹/۹۵ (۰/۰۳)^{o}	۲۱/۸۸ (۰/۰۵)^{m}	۲۲/۲۸ (۰/۰۸)^{k}	۲۱/۳۷ (۱/۲)^{E}
	۲۰۰	۲۳/۱۵ (۰/۰۳)^{i}	۲۳/۵۹ (۰/۰٦)^{h}	۲۳/۹۲ (۰/۰٦)^{g}	۲۳/۵۵ (۰/٤)^{C}
	۳۰۰	۲۵/۳۳ (۰/۰٦)^{e}	۲۷/٦۹ (۰/۰۷)^{b}	۲۸/۲۰ (۰/۰۵)^{a}	۲۷/۰۷ (۱/۵)^{A}
	میانگین	۲۰/۳۳ (٤/۱)^{D}	۲۱/٤۸ (٤/٦)^{B}	۲۲/۱۲ (٤/۳)^{A}	*۲۱/۳۱ (٤/۳)^{A}*

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 معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد

۱۸/۵۱ و ۳۸/٤۳ 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 ۳۲/٤۵ درصد و در ریشه به میزان ۹/۵۸ و ۳۰/۰۲ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار) شد. با افزایش سطوح بیوچار، غلظت منگنز در اندام هوایی و ریشه افزایش یافت که این افزایش احتمالا به دلیل منگنز موجود در بیوچار می‌باشد. با افزایش سطوح بیوچار، قابلیت جذب عناصر غذایی در گیاه افزایش یافته است که این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با قارچ بیشتر می‌باشد. 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 بیوچار لجن فاضلاب سبب افزایش غلظت منگنز در اندام هوایی گیاه ذرت گردید.

غلظت منگنز 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 ٦/٦۷، ۱۵/۰۵، ۲۲/٤٤ و ۳۲/۹٤ درصد کاهش یافت. اما مقادیر مربوط به افزایش غلظت این عنصر در ریشه به ترتیب ۱۸/٤۲، ۲۷/۹۳، ٤۱/۷٦ و ٤۹/٦۷ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت منگنز اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۱۳/٦۰، ۲۳/۹۳، ۳٤/۲۵ و ٤۳/۷۱ درصد کاهش یابد، اما مقدار منگنز در ریشه این گیاهان در سطوح مذکور روی به ترتیب ۱۰/۹۱، ۲۱/٤۱، ۲۸/۷٦ و ٤۰/۳۹ درصد نسبت به سطح صفر این عنصر افزایش یافت. با افزایش سطح روی، غلظت منگنز در اندام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۳٦/۳٦ (۰/۰٥)^{i}	۳۸/۷۳ (۰/۰۷)^{h}	٤٥/٤۸ (۰/۰۳)^{ef}	٤۰/۱۹ (٤/۷)^{C}
	٥۰	۳۲/٥٦ (۰/۰٥)^{kl}	۳٦/۳۹ (۰/۰٥)^{i}	٤۳/٥۷ (۰/۰٥)^{g}	۳۷/٥۱ (٥/٦)^{D}
	۱۰۰	۲۷/۸۷ (۰/۰٦)^{n}	۳٥/۸٥ (۰/۰۳)^{i}	۳۸/۷۰ (۰/۰٦)^{h}	۳٤/۱٤ (٥/۷)^{E}
	۲۰۰	۲٥/٤۳ (۰/۰٦)^{o}	۳۳/۹۹ (۰/۰٥)^{jk}	۳٤/۱۰ (۰/۰٥)^{jk}	۳۱/۱۷ (٥/۱)^{G}
	۳۰۰	۲۲/۳۷ (۰/۰٥)^{p}	۲٦/۷۹ (۰/۰۷)^{no}	۳۱/٦۸ (۰/۰٦)^{lm}	۲٦/۹٥ (٤/۷)^{I}
	میانگین	۲۸/۹۲ (٥/٦)^{F}	۳٤/۳٥ (٤/٦)^{D}	۳۸/۷۱ (٥/۹)^{C}	۳۳/۹۹ (٥/۲)^{B}
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٤۷/۱۷ (۰/۰٥)^{cd}	٤۹/۹۱ (۰/۰٥)^{b}	٥٤/۱۱ (۰/۰۹)^{a}	٥۰/۳٦ (۳/٥)^{A}
	٥۰	۳٥/۲۹ (۰/۰۷)^{ij}	٤٦/٥۷ (۰/۰٥)^{de}	٤۸/٦٦ (۰/۰۷)^{bc}	٤۳/٥۱ (۷/۲)^{B}
	۱۰۰	۳۰/۸۱ (۰/۰٦)^{m}	۳۹/۷۰ (۰/۰٦)^{h}	٤٤/٤۲ (۰/۰٦)^{fg}	۳۸/۳۱ (٦/۹)^{D}
	۲۰۰	۲۷/۱۹ (۰/۰۸)^{n}	۳٥/٥۲ (۰/۰۷)^{ij}	۳٦/٦۳ (۰/۰۸)^{i}	۳۳/۱۱ (٥/۲)^{F}
	۳۰۰	۲۳/۸۱ (۰/۰٥)^{p}	۲۷/۳۹ (۰/۰٦)n	۳۳/۸٤ (۰/۰۹)^{jk}	۲۸/۳٥ (٥/۱)^{H}
	میانگین	۳۲/۸٥ (۹/۱)^{E}	۳۹/۸۲ (۸/۹)^{B}	٤۳/٥۱ (۸/٤)^{A}	۳۸/۷۳ (۸/٦)^{A}

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

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 ٦٦/۰۸ و ۲۳/٦۲ درصد افزایش یافت و با کاربرد ٥۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت و جذب منگنز اندام هوایی ٥۱/۹۹ و ۳٥/۱٤ 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 ٥۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، جذب منگنز ریشه ۳۸/۱۲ درصد کاهش یافت. با توجه به مشاهدات Adiloglu (۲۰۰٦) 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 نعناع افزایش معنی‌داری 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 بیوچار 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 ۱٤٪ کمتر از گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۳۸/۷۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٤۲/۳٦ (۰/۰۸)^{z}	٥۸/٦٦ (۰/۰۳)^{x}	۷٤/۱۸ (۰/۰٤)^{r}	٥۸/٤۰ (۱٥/۹)^{J}
	٥۰	٥۹/۱۸ (۰/۰۳)^{w}	۷۰/۱۰ (۰/۰٥)^{t}	۷۸/۲۱ (۰/۰٥)^{m}	٦۹/۱٦ (۹/٥)^{H}
	۱۰۰	٦۲/۹۹ (۰/۰۷)^{z}	۷۳/۳۸ (۰/۰٤)^{s}	۸۷/۷۷ (۰/۰٥)^{g}	۷٤/۷۱ (۱۲/٤)^{F}
	۲۰۰	۷۱/٦۹ (۰/۰۳)^{s}	۸۲/۲٦ (۰/۰٦)^{j}	۹٤/٤۱ (۰/۰٤)^{d}	۸۲/۷۹ (۱۱/٤)^{D}
	۳۰۰	۷٦/۸۱ (۰/۰٦)^{o}	۸٦/٦۲ (۰/۰٥)^{h}	۹۸/۷۸ (۰/۰٤)^{b}	۸۷/٤۱ (۱۱/۱)^{B}
	میانگین	٦۲/٦۱ (۱۳/۳)^{F}	۷٤/۲۰ (۱۰/۹)^{D}	۸٦/٦۷ (۱۰/٤)^{B}	*۷٤/٥۰* (۱۱/٤)^{B}
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	٥۷/٤۸ (۰/۰٤)^{y}	٦٤/۳۰ (۰/۰۸)^{v}	۷۷/۳٤ (۰/۰۹)^{n}	٦٦/۳۷ (۱۰/۱)^{I}
	٥۰	٦۸/۳۲ (۰/۰٦)^{u}	۷۰/۸۱ (۰/۰٦)^{t}	۸۱/٦۸ (۰/۰٦)^{k}	۷۳/٦۱ (۷/۱)^{G}
	۱۰۰	۷۳/۷۲ (۰/۰۷)^{s}	۷٦/٦۲ (۰/۰۷)^{p}	۹۱/۳۹ (۰/۰۷)^{e}	۸۰/٥۸ (۹/٥)^{E}
	۲۰۰	۷٤/٤۲ (۰/۰۷)^{q}	۸٤/٤۹ (۰/۰۸)^{i}	۹۷/٤٦ (۰/۰٦)^{c}	۸٥/٤٦ (۱۱/٦)^{C}
	۳۰۰	۷۸/۷۲ (۰/۰۷)^{l}	۹۰/۲۰ (۰/۰٥)^{f}	۱۱۰/٦۱ (۰/۰۹)^{a}	۹۳/۱۸ (۱٦/۲)^{A}
	میانگین	۷۰/٥۳ (۸/۲)^{E}	۷۷/۲۹ (۱۰/٤)^{C}	۹۱/۷۰ (۱۳/۲)^{A}	*۷۹/۱٤* (۱۱/۱)^{A}

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

میکروگرم بر گرم) بود. همچنین نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد که غلظت منگنز ریشه در گیاهان تلقیح یافته با قارچ (۷۹/۸٤ میکروگرم بر گرم) نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نیافته (۷٤/٥۰ 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 می‌باشد و حضور قارچ به دلیل توسعه هیف در ریشه باعث تجمع بیشتر روی می‌گردد 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 می‌شود.

غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه ذرت: نتایج موجود در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح بیوچار، میانگین غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد بیوچار در سطوح ۲ و ٤ درصد وزنی موجب افزایش مقدار فسفر موجود در اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح نیافته با قارچ) نسبت به عدم کاربرد بیوچار به ترتیب ۲/۰٤، ۳/۳۹ درصد و در ریشه ۰/۹٤ و ۱/۹۳ درصد افزایش معنی‌داری یافت. اما در چنین شرایطی، تلقیح قارچ (*P. indica*) سبب افزایش مقدار فسفر در اندام هوایی به ترتیب به میزان ۲/٤۰، ۸/۹۲ درصد و در ریشه به میزان ۱/۱۸ و ۲/٤۷ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار) شد. این افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه در تیمار تلقیح یافته با قارچ نسبت به عدم تلقیح بیشتر می‌باشد. 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 بیوچار می‌باشد (Lehmann *et* ؛Liu *et al.*, 2014

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

جدول ۱۰- اثر کاربرد بیوچار و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در خاک آلوده به روی برغلظت فسفر اندام هوایی (میلی‌گرم برکیلوگرم)

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۹۰٦/۹۸ (۲/۸)^{s}	۹۲۱/۵۷ (۲/۱)$^{o-r}$	۹۲٦/۵۵ (۰/۹)$^{l-p}$	۹۱۸/۳۷ (۱۰/۲)^{G}
	۵۰	۹۲۱/۸۸ (۱/٤)$^{n-r}$	۹۳٦/۳٦ (۱/۳)$^{h-k}$	۹٤۹/۱۲ (۳/۲)$^{e-g}$	۹۳۵/۷۹ (۱۳/٦)^{D}
	۱۰۰	۹۲۷/۳۵ (۱/٦)$^{k-p}$	۹٦۷/۱۸ (۵/۷)^{d}	۹۹۵/٦۲ (۷/٦)^{b}	۹٦۳/۳۸ (۳٤/۳)^{B}
	۲۰۰	۹۱۸/۸۲ (۱/۳)$^{p-r}$	۹۳۱/٤۷ (۱/۷)$^{j-n}$	۹٤۰/۱۱ (۱/۲)$^{g-j}$	۹۳۰/۱۳ (۱۰/۷)^{E}
	۳۰۰	۹۱٤/۰٤ (۱/۲)^{rs}	۹۲۵/۸۷ (۱/۳)$^{l-q}$	۹۳۳/۳۹ (٤/۲)$^{i-m}$	۹۲٤/٤۳ (۹/۸)^{F}
	میانگین	۹۱۷/۸۱ (۷/۷)^{E}	۹۳٦/۵۰ (۱۸/۱)^{C}	۹٤۸/۹٦ (۲۷/٤)^{B}	۹۳/٤۲ (۱۷/٤)^{B}
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۹۱٦/۲۰ (۱/۳)^{qr}	۹۳۰/۲۰ (۱/٤)$^{k-o}$	۹٤٤/۹۱ (۲/۱)$^{e-h}$	۹۳۰/٤٤ (۱٤/٤)^{E}
	۵۰	۹۲٤/٤۹ (۰/۷)$^{m-q}$	۹٤۲/۱۷ (۲/۸)$^{f-i}$	۹٦۸/۵٤ (٦/۳)^{d}	۹٤۵/۰۷ (۲۲/۲)^{D}
	۱۰۰	۹۳٤/۵۳ (۳/۱)$^{i-l}$	۹۸۵/٤۰ (۵/۱)^{c}	۱۱٦۷/۸٦ (۸/۲)^{a}	۱۰۲۹/۲٦ (۱۲۲/۷)^{A}
	۲۰۰	۹۲۳/۲۸ (۰/٤)$^{n-r}$	۹۳٦/۹۵ (۰/۸)$^{h-k}$	۹٦۲/۵۷ (۰/۸)^{e}	۹٤۰/۹۳ (۱۹/۹)^{C}
	۳۰۰	۹۱۹/۷٤ (۰/۹)$^{p-r}$	۹۳٤/۵۵ (۰/۹)$^{i-l}$	۹٤۹/۵٦ (۱/۱)^{ef}	۹۳٤/٦۲ (۱٤/۹)^{E}
	میانگین	۹۲۳/٦۵ (٦/۹)^{D}	۹٤۵/۸۵ (۲۲/۵)^{B}	۹۹۸/٦۹ (۹۵/۱)^{A}	۹۵٦/۰٦ (٤۱/۳)^{A}

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 معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

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 میلی‌گرم بر کیلوگرم روی نسبت به خاک غیر آلوده، به ترتیب به مقدار ۱/۹۲، ٤/۹۰، ۱/۲۸ و ۰/٦٦ درصد افزایش یافت، در حالیکه مقادیر مربوط به افزایش غلظت این عنصر در ریشه به ترتیب ۲۰/۷۷، ۲۹/۲۳، ۱٦/۰۲ و ۹/۱٦ درصد گزارش شد. تلقیح قارچ به گیاه موجب شد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، غلظت فسفر اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد این عنصر، به ترتیب ۱/۵۷، ۱۰/٦۲، ۱/۱۳ و ۰/٤۵ درصد افزایش یابد، در چنین شرایطی، مقدار فسفر در ریشه این گیاهان در چهار سطح تیمار روی به ترتیب ۱٦/۵۷، ۲۲/۱۳، ۱۱/۳٦، ٤/۵٦ و ٤/۵٦ درصد نسبت به سطح صفر این عنصر افزایش یافت. بیشترین غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه ذرت در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی مشاهده گردید که این افزایش در تیمار تلقیح یافته با قارچ بیشترین مقدار می‌باشد. 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 می‌باشد.

با توجه به مشاهدات عسکری لجایر و همکاران (۱۳۹۳) افزایش غلظت روی در خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر جذب فسفر اندام هوایی گیاه مرزه داشت، و با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک جذب فسفر اندام هوایی به طور معنی‌دار و به مقدار ۲۸/٦۱ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در حالی که کاربرد ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک تاثیر معنی‌درای 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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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

		بیوچار (درصد وزنی)			
		۰	۲	٤	میانگین
		عدم تلقیح با قارچ (-) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۱۵۲۳/٤٦ (۲/۱)^{z}	۱۵۳۳/۸۱ (۱/۱)^{y}	۱۵٤۳/۲۱ (۱/۹)^{y}	۱۵۳۳/۵۰ (۹/۹)^{J}
	۵۰	۱۸٤۰/۲٦ (۱/۱)^{m}	۱۸٤۹/۳۷ (۲/۲)^{l}	۱۸٦٦/٤٤ (۱/۸)^{j}	۱۸۵۲/۰۲ (۱۳/۳)^{E}
	۱۰۰	۱۹۵۳/۹۸ (۱/۷)^{f}	۱۹۷۹/۱۳ (۲/۷)^{d}	۲۰۱۲/۱۸ (۲/۸)^{c}	۱۹۸۱/۷٦ (۲۹/۲)^{B}
	۲۰۰	۱۷٦۱/۱۵ (۳/۸)^{r}	۱۷۸۱/۹٦ (۲/۱)^{p}	۱۷۹۳/۸۱ (٤/۳)^{o}	۱۷۷۸/۹۲ (۱٦/۵)^{F}
	۳۰۰	۱٦۵۷/۸۹ (٤/٦)^{x}	۱٦۷٤/۵۰ (۱/۷)^{v}	۱٦۸۹/٦۹ (۷/۹)^{u}	۱٦۷٤/۰۲ (۱۵/۹)^{H}
	میانگین	۱۷٤۷/۳۲ (۱٦۵/٦)^{F}	۱۷٦۳/۷۵ (۱٦۹/۵)^{E}	۱۷۸۱/۰۷ (۱۷۷/۳)^{D}	*۱۷٦٤/۰۵* (۱۷۰/۷)^{B}
		تلقیح قارچ (+) *P. indica*			
روی (میلی‌گرم برکیلوگرم)	۰	۱٦۵۱/۸۷ (۲/۸)^{x}	۱٦٦۷/۸۲ (۱/۸)^{w}	۱٦۸۵/۰۹ (۲/۵)^{u}	۱٦٦۸/۲٦ (۱٦/٦)^{I}
	۵۰	۱۹۲۱/۸۱ (۳/۳)^{h}	۱۹٤۵/۲٦ (۳/٤)^{g}	۱۹٦٦/۹۲ (۱/۲)^{e}	۱۹٤٤/٦٦ (۲۲/٦)^{C}
	۱۰۰	۲۰۱۳/۷۳ (۱/۵)^{c}	۲۰۳۵/۰۵ (۳/۷)^{b}	۲۰٦۳/۲۵ (٤/۳)^{a}	۲۰۳۷/۳٤ (۲٤/۸)^{A}
	۲۰۰	۱۸۳۲/۰٦ (۱/۷)^{n}	۱۸۵۵/٤۸ (۲/۵)^{k}	۱۸۸۵/۸۷ (۱/۷)^{i}	۱۸۵۷/۸۰ (۲۷/۱)^{D}
	۳۰۰	۱۷۲۰/۰۹ (۳/۸)^{t}	۱۷٤٤/۱٤ (۲/٤)^{s}	۱۷٦۸/۵۳ (۲/۷)^{q}	۱۷٤٤/۳٦ (۲٤/۲)^{G}
	میانگین	۱۸۲۷/۹۱ (۱٤٦/٦)^{C}	۱۸٤۹/۵۵ (۱٤۸/۱)^{B}	۱۸۷۳/۱۰ (۱۵۱/۲)^{A}	*۱۸۵۰/٤۸* (۱٤۸/٦)^{A}

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 معنی‌داری نیستند، اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در داخل پرانتز نشان داده شده انحراف معیار میانگین می‌باشد.

با توجه به مشاهدات Singh و همکاران (۱۹۸٦) می‌توان 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 میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک غلظت فسفر ریشه به ترتیب ٦ و ۲٦ 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.

نتیجه‌گیری کلی

افزایش سطوح روی، سبب کاهش غلظت آهن و منگنز در 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 می‌رسد که قارچ (*P. indica*) با افزایش فعالیت میکروبی و آزاد سازی عناصر موجود در بیوچار موجب افزایش دسترسی یا جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده است. افزایش سطوح بیوچار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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 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.

منابع

احتشامی، م.، پور ابراهیمی، م . و خاوازی، 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 ٤: ٢٦-١٥.

عسگری لجایر، ح.، متشرع زاده، ب. ثواقبی 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: ۱۱۱- ۹۵.

فیضی اصل، و. و ولی‌زاده، غ. (۱۳۸۳) اثر کاربرد توام فسفر و روی در غلظت عناصر غذایی و عملکرد گندم دیم 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: ۱۱۰- ۹۷.

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 agricultureal 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, andyield. Agronomy Journal 102: 623-633.

Hall, G., Woodborne, S. and Scholes, M. (2008) Stable carbon isotope rations 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 Biochmistry, 43: 385-392.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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 ba sin: 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 Hampp, R. (2004) Axenic culture of symbiotic fungus piriforomospora indica. In: A. Varma, L. Abbott, D. Werner, R. Hampp (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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]

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, Mozhgan 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.15.3]