تغییرات رس قابل پراکنش خاک در حضور دو گونه قارچ رشته‌ای *Macrophomina phaseolina*، *Fusarium graminearum*

وجیهه درستکار [۱]، شیده موجرلو [۲]، آمنه محمدی [۱]
[۱] گروه آب و خاک دانشگاه صنعتی شاهرود، [۲] گروه باغبانی و گیاه پزشکی دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده
قارچ‌های رشته‌ای از عوامل مهم زیستی مؤثر در افزایش پایداری ساختمان خاک می‌باشند. با این وجود عملکرد این قارچ‌ها به نوع و میزان سوبسترای مورد نیاز برای رشد آن‌ها نیز بستگی دارد. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات رس قابل پراکنش خاک در حضور دو گونه قارچ رشته‌ای *Macrophomina phaseolina*، *Fusarium graminearum* در حضور بقایای آفتابگردان انجام شده است. تیمارهای قارچی شامل سه تیمار *M. phaseolina*، *F. graminearum* و تیمار شاهد (بدون قارچ) و تیمار بقایای آفتابگردان در سه سطح صفر، ۲ و ۵ درصد بوده است.نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی و کم‌ترین میزان ماده آلی در هر دو تیمار مورد بررسی در تیمار قارچ *M. Phaseolina* مشاهده شد. حضور دو گونه قارچ مورد مطالعه سبب افزایش پایداری ساختمان خاک و کاهش میزان رس قابل پراکنش خاک نسبت به تیمار شاهد شد. این بهبود پایداری ساختمان خاک در تیمار قارچ *M. phaseolina* در مقایسه با قارچ *F. Graminearum* بیش‌تر بوده است.

واژه های کلیدی: قارچ های رشته‌ای، پایداری ساختمان خاک، بقایای گیاهی

مقدمه
ساختمان خاک یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک بوده که اهمیت آن بیش از ۱۵۰ سال پیش شناخته شده است. تشکیل ساختمان خاک ناشی از برهمکنش پیچیده‌ای از عامل‌های فیزیکی، زیستی و شیمیایی در خاک می‌باشد. عامل‌های مؤثر بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها به دو دسته عامل‌های درونی (ویژگی‌های ذاتی خاک) و عامل‌های بیرونی (ویژگی‌های محیطی و جانداران خاک) تقسیم می‌شوند (Bronick and Lal, 2005). رس قابل پراکنش در آب یکی از شاخص‌های نشان-دهنده پایداری ساختمان خاک می‌باشد. هر عاملی که سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در خاک شود، می‌تواند مقدار رس قابل پراکنش در آب را کاهش دهد (Hosseini et al., 2015).

عامل‌های زیستی بسیاری نیز در تشکیل ساختمان خاک مؤثر می‌باشند. جمعیت‌های میکروبی در ارتباط با ریشه گیاه نیز در تشکیل خاکدانه‌ها دخالت دارند. عموماً در تشکیل خاکدانه‌های کوچک باکتری‌ها مهم‌تر بوده و در تشکیل خاکدانه‌های بزرگ نقش قارچ‌ها از جمله قارچ آربوسکولار میکوریزا پررنگ‌تر می‌باشد (Schutter and Dick, 2002). مجموع این واکنش‌ها باعث تشکیل خاکدانه‌های با اندازه‌های متفاوت شده که در دو گروه کلی خاکدانه‌های ریز (<۲۵۰ میکرون) و خاکدانه‌های درشت (> ۲۵۰ میکرون) طبقه‌بندی می‌شوند(Bronick and Lal, 2005).

قارچ‌ها به صورت مستقیم و غیر مستقیم و در طی فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی و بیوفیزیکی ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اهمیت هیف‌های قارچی در تشکیل واحدهای ساختمانی در خاک در دو مقیاس ریز و درشت قابل بررسی می‌باشد. در مقیاس کوچک رشد هیف‌های قارچی در خاک سبب تخریب مکانیکی و آرایش مجدد ذرات خاک در کنار یکدیگر می‌شود. از سوی دیگر در مقیاس درشت‌تر شبکه ایجاد شده توسط هیف‌های قارچی خاکدانه‌های خاک را در بر گرفته و سبب افزایش اتصال آن‌ها به یکدیگر و پایداری ساختمانی در خاک می‌شود (Ritz and Young, 2004). تاکنون مطالعات بسیاری بر

روی اثر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر پایداری ساختمان خاک صورت گرفته است (Bronick and Lal, 2005). در حالی که مطالعات انجام شده بر روی تأثیرات احتمالی سایر قارچ‌های رشته ای بر مقاومت خاکدانه‌ها ناچیز می‌باشد.

مقدار و ترکیب بقایای گیاهی اضافه‌شده توسط گونه‌های گیاهی نیز می‌تواند پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهد (Bronick and Lal, 2005). به ویژه این که این بقایا میزبان اختصاصی برخی قارچ‌های رشته ای در خاک هستند و از این طریق می‌توانند عملکرد قارچ‌ها و سهم آن‌ها در پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهند (Ijaz et al., 2013). یکی از راه‌های بهبود کیفیت خاک در مناطق خشک و نیمه خشک، افزودن مواد آلی از منابع گوناگون به خاک می‌باشد. از سوی دیگر هر سال حجم وسیعی از پسماندهای گیاهی تولید می‌گردد که مدیریت آن‌ها به عنوان نوعی زباله با دشواری‌هایی همراه می-باشد. با این حال، این پسماندها دارای مقدار زیادی مواد آلی و عناصر غذایی بوده که افزودن آن‌ها به خاک از جنبه‌های مختلف تغذیه‌ای و فیزیکی می‌تواند برای خاک‌ها سودمند باشد (رییسی و اقابابایی، ۱۳۹۰). اثرات مثبت بازگرداندن بقایای گیاهی به خاک بر ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله کاهش چگالی ظاهری خاک، بهبود ساختمان خاک و افزایش تخلخل در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است (Blanco and La,l 2009;Shaver et al., 2003). با این وجود عملکرد قارچ‌های خاک در پایداری ساختمان خاک در حضور این بقایا کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

با توجه به مطالب گفته شده این پژوهش با هدف بررسی اثرات متقابل دو گونه قارچ رشته ای *Macrophomina phaseolina*، *Fusarium graminearum* و بقایای گیاه آفتابگردان بر میزان رس قابل پراکنش خاک انجام پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار گونه قارچ شامل *Macrophomina phaseolina*، *Fusarium graminearum* و تیمار شاهد (فاقد قارچ) و مقدار بقایای آفتابگردان در سه سطح صفر، ۲ و ۵ گرم در ۱۰۰ گرم خاک در سه تکرار انجام شد.

آماده سازی خاک و انجام آزمایش گلخانه‌ای

خاک مورد نیاز با بافت شنی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری باغ‌های منطقه ابرسج واقع در شهرستان شاهرود جمع‌آوری و پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر و pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع خاک به وسیله پ-هاش متر مدل ۶۲۰ و هدایت سنج مدل ۶۴۴ اندازه‌گیری شد. همچنین ماده آلی در خاک به روش سوزاندن تر، آهک خاک با روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسیدسدیم اندازه‌گیری شد (برت، ۲۰۰۴). برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

pH	هدایت الکتریکی (دسیزیمنس بر متر)	کربن آلی (٪)	آهک (٪)	نیتروژن کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	بافت خاک
۷/۲	۱/۲	۰/۵۳	۳۰	۰/۴۲	۱۲/۳	۱۵۱	شنی

اندام هوایی بقایای گیاهی آفتابگردان پس از برداشت محصول از سطح مزارع شاهرود جمع آوری و پس از خشک شدن در آون در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت، خرد شده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. سپس بقایا به میزان صفر، ۲ و ۵ گرم در ۱۰۰ گرمخاک در هر تیمار با خاک مورد استفاده (کوچکتر از ۴ میلی‌متر) مخلوط شد.

تهیه زادمایه قارچی

از حاشیه فعال پرگنه کشت های سه روزه هر یک از جدایه های قارچی *Fusarium graminearum* و*Macrophomina phaseolina* بطور جداگانه یک قرص آگار به ارلن‌های حاوی ۱۰۰ میلی لیتر محیط کشت مایع عصاره سیب زمینی- دکستروز (PDB) منتقل شد. کشت ها به مدت ۷ روز در شرایط تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد روی شیکر با دور ۲۰۰ دور در دقیقه نگهداری شدند. سپس سوسپانسیون قارچی فیلتر و محیط مایع باقیمانده حذف شد. توده میسلیومی وزن گردید و ۱/۶ گرم از بیوماس قارچی به فالکون استریل ۵۰ میلی لیتری منتقل شد و مقداری محیط تازه PDB به آن اضافه گردید. تیوب‌ها به شدت تکان داده شدند و ورتکس شدند تا سوسپانسیون یکنواختی از میسلیوم قارچ بدست آید. در پایان حجم نهایی توسط محیط PDB به ۸۰ میلی لیتر رسانده شد و ۵ میلی لیتر از سوسپانسیون نهایی قارچ- PDB (۱/۶میلی گرم در ۸۰ میلی لیتر) به خاک سترون اضافه گردید (Chau et al.,2012). پس از اعمال تیمارها، واحدهای آزمایشی به مدت دو ماه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد نگهداری شد و پس از طی زمان مذکور میزان رس قابل پراکنش در خاک، ماده آلی و تنفس میکروبی در خاک اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

مواد آلی و تنفس میکروبی پایه خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده اثر معنی‌دار قارچ، مقدار بقایا و اثر متقابل آن‌ها (در سطح ۱ درصد) بر میزان کربن آلی خاک بوده است (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار کربن آلی در تیمار شاهد (بدون قارچ) مشاهده شد (جدول ۳) که به دلیل توان تجزیه بقایای گیاهی توسط قارچ‌های مذکور می‌باشد (Yuste et al., 2010). بیش‌ترین مقدار کربن آلیمربوط به تیمار ۵ درصد بقایا بوده است (جدول ۴).به طور میانگین افزودن دو درصد بقایای آفتابگردان باعث افزایش بیش از صد درصد کربن آلی خاک در مقایسه با تیمار صفر بقایای گیاهی شد و افزودن ۵ درصد بقایای آفتابگردان، میزان کربن خاک را تقریباچهار برابر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرهای اصلی و متقابل قارچ و مقدار بقایا بر کربن آلی ، تنفس میکروبی و رس قابل پراکنش در آب.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کربن آلی	تنفس میکروبی خاک	رس قابل پراکنش در آب
قارچ	۲	۰/۱۲۵*	۶۱۰۳۷**	۸۴۱**
مقدار بقایا	۲	۰/۸۲۵**	۸۴۲۰۵**	۱۰۰۲**
قارچ × مقدار بقایا	۴	۰/۱۳۵**	۳۱۰۴۷*	۹۶۳**
خطای آزمایش	۱۸	۰/۰۲۵	۶۷۱	۵۲

*و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آزمون LSDمی‌باشد.^{ns}بیانگرعدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر قارچ بر میزان کربن آلی، تنفس میکروبی و رس قابل پراکنش در خاک (p<۰/۰۵)

قارچ	کربن آلی	تنفس میکروبی پایه	رس قابل پراکنش در خاک
	درصد	(میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در یک روز)	گرم در کیلوگرم خاک
M. phaseolina	۰/۶۳^{b}	۴۵۲^{a}	۳۳^{c}
F.graminearum	۰/۹۱ ^{a}	۳۹۱^{b}	۵۳ ^{b}
شاهد (بدون قارچ)	۱/۰۵^{a}	۳۶۴^{c}	۶۱^{a}

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده اثر معنی‌دار قارچ، مقدار بقایا (سطح ۱ درصد) و اثر متقابل آن‌ها (سطح ۵ درصد) بر میزان تنفس میکروبی پایه بوده است (جدول ۱). بیشترین میزان تنفس میکروبی پایه خاک در تیمار قارچ *M. phaseolina* در هر دو تیمار مشاهده شد. به نظر می‌رسدکه این امر به دلیل میزبانی آفتابگردان برای این قارچ و تأمین سوبسترای لازم برای فعالیت آن می‌باشد (Ijaz et al.,2013). افزایش مقدار بقایای گیاهی به میزان ۲ و ۵ درصد به ترتیب سبب افزایش ۲۱ و ۹۴ درصدی تنفس میکروبی پایه خاک در مقایسه با سطح صفر بقایای گیاهی شد و تفاوت این شاخص بین دو سطح مورد مطالعه نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). شاخص تنفس میکروبی پایه خاک تحت تأثیر میزان کربن آلی خاک بوده و هر عاملی که باعث افزایش کربن آلی خاک شود، سبب افزایش این شاخص می‌شود. مواد آلی منبع مواد غذایی ریزجانداران خاک بوده و افزایش مقدار بقایای اضافه شده به خاک سبب تحریک فعالیت میکروبی خاک شده و این موضوع تنفس میکروبی پایه خاک را به عنوان شاخص مناسبی از این فعالیت افزایش می‌دهد (رییسی و آقابابایی، ۱۳۹۰).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مقدار بقایا بر میزان کربن آلی، تنفس میکروبی و رس قابل پراکنش در خاک (p< ۰/۰۵)

مقدار بقایا (گرم در ۱۰۰ گرم خاک)	کربن آلی	تنفس میکروبی پایه	رس قابل پراکنش در خاک
	درصد	(میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در یک روز)	گرم در کیلوگرم خاک
۰	۰/۵۱^{c}	۲۹۵ ^{c}	۵۷ ^{a}
۲	۱/۲۲^{b}	۳۵۷^{b}	۵۳^{a}
۵	۱/۹۷^{a}	۵۷۴ ^{a}	۱۹^{b}

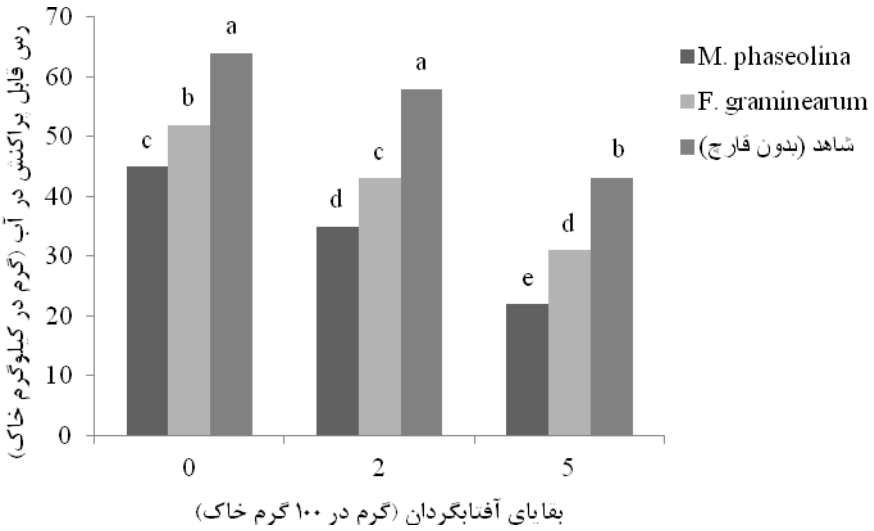
رس قابل پراکنش خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده اثر معنی‌دار قارچ، مقدار بقایا و اثر متقابل آن‌ها (در سطح ۱ درصد) بر میزان رس قابل پراکنش خاک بوده است (جدول ۲). حضور دو گونه قارچ رشته‌ای مورد مطالعه سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش در خاک شد. تیمار قارچ *M. phaseolina* سبب کاهش ۴۵ درصدی و تیمار قارچ *graminearumF.* سبب کاهش ۱۳ درصدی رس قابل پراکنش در خاک نسبت به تیمار شاهد (بدون قارچ) شد (جدول ۳). این امر نشانه اثر مثبت این قارچ‌ها در افزایش پایداری ساختمان خاک می‌باشد. رس قابل پراکنش در آب یکی از شاخص‌های نشان‌دهنده پایداری ساختمان خاک می‌باشد. هر عاملی که سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در خاک شود، می‌تواند مقدار رس قابل پراکنش در آب را کاهش دهد (Hosseini et al., 2015).

عامل‌های مؤثر بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها به دو دسته عامل‌های درونی (ویژگی‌های ذاتی خاک) و عامل‌های بیرونی (ویژگی‌های محیطی و جانداران خاک) تقسیم می‌شوند. میسلیوم‌های قارچی به صورت یک شبکه هیفی در اطراف خاکدانه-های خاک قرار گرفته و سبب اتصال بیش‌تر ذرات و پایداری خاکدانه‌ها در اثر نیروهای وارده می‌شود. اثرات مثبت هیف‌های قارچی در افزایش پایداری شن‌های بیابانی و همچنین شیب تپه های شنی شناخته شده است (Ritz and Young, 2004).

افزودن ۲ و ۵ درصد بقایای گیاهی به خاک سبب کاهش ۷ و ۶۶ درصدی رس قابل پراکنش نسبت به تیمار شاهد شد. با این وجود تفاوت بین تیمار شاهد و تیمار دارای ۲ درصد بقایای آفتابگردان معنی‌دار نبوده است (جدول ۴). اثرات مثبت افزودن مواد آلی به خاک بر افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک به خوبی شناخته شده است. مقدار و ترکیب پسماندهای گیاهی اضافه‌شده به خاک می‌تواند پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهد. مواد آلی از طریق ایجاد پیوندهای استری و الکترواستاتیکی باعث اتصال ذرات کلوئیدی خاک به یکدیگر شده و از تخریب خاکدانه‌ها جلوگیری می-نماید (Bronick and Lal, 2005). بنابراین کاهش رس قابل پراکنش در آب در اثر افزایش مقدار بقایای گیاهی اضافه شده به خاک در این پژوهش احتمالاً به دلیل افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌باشد.

با افزایش بقایای گیاهی میزان رس قابل پراکنش در هر دو تیمار دارای قارچ کاهش یافته است (شکل ۱). مطالعات نشان داده است که هرچه تراکم هیف‌های قارچی افزایش می‌یابد توانایی آن‌ها در اتصال خاکدانه‌ها به یکدیگر نیز افزایش می‌یابد. همچنین کاهش رس قابل پراکنش در خاک با افزایش بقایای گیاه آفتابگردان در تیمار دارای قارچ *M. phaseolina* بیشتر از تیمار دارای قارچ *F. graminearum* بوده است. به گونه ای که با افزایش بقایا از صفر به ۵ درصد میزان کاهش رس قابل پراکنش در تیمار قارچ *M. phaseolina* ۵۱ درصد و در تیمار قارچ *F. graminearum* در حدود ۴۰ درصد بوده است. روابط مثبت بین تراکم هیف‌های قارچی و وضعیت تغذیه‌ای خاک گزارش شده است. به نظر می‌رسد که با بهبود وضعیت تغذیه‌ای قارچ‌ها، سوبسترای کافی برای تولید هیف‌های قارچی و فعالیت قارچ‌ها فراهم می‌شود. در نتیجه به نظر می‌رسد کاهش قابل توجه رس قابل پراکنش و افزایش پایداری ساختمان خاک در حضور قارچ *M. phaseolina* در تیمارهای دارای بقایای آفتابگردان در مقایسه با سایر تیمارها به دلیل این بوده که آفتابگردان میزبان تخصصی این قارچ بوده و شرایط برای رشد این قارچ در حضور بقایای گیاه آفتابگردان بسیار مساعد بوده است (Ijaz et al., 2013).



شکل ۱- اثر متقابل قارچ و بقایای گیاه آفتابگردان بر رس قابل پراکنش در آب

با توجه به مطالب گفته شده می‌توان نتیجه گیری کرد که افزودن بقایای گیاه آفتابگردان و دو گونه قارچ رشته ای *M. phaseolina*، *F. graminearum* سبب بهبود ساختمان خاک و کاهش رس قابل پراکنش در خاک شده است. به علاوه افزودن بقایای گیاه آفتابگردان به عنوان میزبان قارچ *M. phaseolina* عملکرد این قارچ در افزایش پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داده است. با این وجود مطالعات بیش‌تر در جهت شناخت مکانیسم‌های دخیل در بهبود وضعیت ساختمانی خاک توسط این قارچ‌ها توصیه می‌شود.

منابع

رئیسی، ف. و آقابابایی، ف. ۱۳۹۰.تجزیه پذیری برخی پسماندهای گیاهی و پیامد کاربرد آن‌ها برتنفس و زیست توده میکروبی، و فعالیت آنزیمی خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره‌ی ۴، صفحه‌های ۸۶۳ تا ۸۷۳.

Blanco-CanquiH., and Lal R. 2009. Extent of soil water repellency under long-term no-till soils.Geoderma, 149:171–180.

Bronick C. J., and Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124: 3–22.

Burt R. 2004. Soil survey laboratory methods manual: Soil survey investigations. Natural Resources Conservation Service, Nebraska, United States.

Chau H.W., Goh Y.K., Vujanovic V. and Si B.C. 2012. Wetting properties of fungi mycelium alter soil infiltration and soil water repellency in a γ-sterilized wettable and repellent soil. Fungal biology, 116: 1212-1218.

Hosseini F., Mosaddeghi M.R., Hajabbasi M.A., and Sabzalian M.R. 2015. Aboveground fungal endophyte infection in tall fescue alters rhizosphere chemical, biological, and hydraulic properties in texture-dependent ways. Plant and Soil, 388:351–366.

Ijaz S., Sadaqat H.A. and Khan M.N. 2013.A review of the impact of charcoal rot (*Macrophominaphaseolina*) on sunflower. The Journal of Agricultural Science, 151: 222-227.

Ritz K. and Young I.M.. 2004. Interactions between soil structure and fungi. Mycologist, 18: 52-59.

Schutter M. E. and Dick R.P. 2002.Microbial community profiles and activities among aggregates of winter fallow and cover-cropped soil. Soil Science Society of American Journal, 66: 142–153.

Shaver T.M., Peterson G.A., and Sherrod L.A. 2003. Cropping intensification in dryland systems improves soil physical properties: regression relations. Geoderma, 116:149–164.

Yuste J.C., Penuelas J., Estiarte, M., GarciaMas J., Mattana S., Ogaya R., Pujol M. and Sardans J. 2011. Drought-resistant fungi control soil organic matter decomposition and its response to temperature. Global Change Biology, 17: 1475-1486.

Soil dispersible clay content variations in the presence of two filamentous fungi (*Macrophomina phaseolina* ،*Fusarium graminearum*)

V. Dorostkar[1], Sh. Mojerlou[2], A. Mohammadi[1]
[1] Water and Soil Department, Shahrood University of Technology
[2] Department of Horticulture and Plant Protection, Shahrood University of Technology

Abstract

Filamentous fungi are one of the important biological factors in soil structural stability. The efficiency of these fungi greatly depends to the substrate availability for growth. This study was conducted to investigate the change of soil dispersible clay in response to two filamentous fungi including *Macrophomina phaseolina* ، *Fusarium graminearum* and three sunflower residue levels (0, 2 and 5%). Results showed that the greatest soil microbial respiration and the lowest soil organic carbon content were observed in *M. phaseolina* treatment. Two studied fungi improved the soil structural stability and reduced the water dispersible clay content compared to control treatment (No fungi). In addition, in presence of sunflower residues *M.phaseolina* has more efficiency than *F. graminearum* in soil aggregate stability.

Keywords: Filamentous fungi, soil structural stability, plant residues.