نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

اثر قارچ میکوریز آربسکولار و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و میزان گلومالین خاک تحت کشت ارزن مرتعی

آزاده فرهادی[۱]، *نعیمه عنایتی‌ضمیر[۲]، احمد فرخیان‌فیروزی[۲] و حمید هویزه[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۲]دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز،
[۳]پژوهشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۰/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: تپه‌های شنی بخش زیادی از بیابان‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک را در بر می‌گیرند و مشکلات عمده در این خاک‌های درشت‌بافت از جمله کمی مواد آلی، شن زیاد و ناپایدار بودن خاکدانه‌ها باعث گردیده تا استفاده از این خاک‌ها با محدودیت روبرو شود. قارچ‌های میکوریز آربسکولار با ترشح ماده گلیکوپروتئینی به‌نام گلومالین نقش به‌سزایی در بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها دارند. این قارچ‌ها با افزایش مقاومت گیاه در اراضی بیابانی، باعث پایداری گیاهان به تنش‌های محیطی و در نتیجه استقرار بهتر گیاه در این اراضی می‌شوند. هدف این مطالعه تأثیر همزیستی قارچ میکوریز آربسکولار بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و محتوی گلومالین خاک شنی‌لومی تحت کشت گیاه ارزن مرتعی در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف رطوبتی [۸۰ (شاهد، S_1)، ۵۰ (S_2) و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (S_3)] و مایه‌تلقیح قارچ میکوریز آربسکولار [شاهد (NM)، *گلوموس موسه*(GM)، *گلوموس اینترارادیسز* (GI) و تلقیح هم‌زمان دو قارچ (MI)] آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مایه تلقیح در عمق ۵ سانتی‌متری خاک اعمال و به‌مدت سه ماه گیاهان تحت شرایط کنترل نسبی رشد داده شدند. سپس گیاهان از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک بریده شدند و تنش خشکی به‌مدت ۳ ماه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌وسیله تتاپراب اعمال شد. در پایان آزمایش درصد کلنیزاسیون ریشه، گلومالین خاک به روش کمی و کیفی، جرم مخصوص ظاهری، تنش برشی، مقاومت فروروی و پایداری خاکدانه به روش الک خشک اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: همزیستی میکوریزی و تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار گلومالین خاک گردید، باندهای پروتئینی بر روی ژل پلی‌اکریل آمید نشان‌دهنده بیان بیش‌تر این گلیکوپروتئین تحت تنش به‌عنوان مکانیسم دفاعی است. کلنیزاسیون ریشه تحت تنش کاهش پیدا کرد و مایه‌زنی با قارچ میکوریز سبب افزایش معنی‌دار کلنیزاسیون ریشه شد. اثر متقابل تیمارها بر مقاومت برشی معنی‌دار گردید. با افزایش سطح رطوبتی خاک، مقاومت برشی کاهش یافت، همچنین در تیمارهای میکوریزی مقاومت برشی در تمام سطوح رطوبتی بالاتر از تیمارهای غیرمیکوریزی بود. با کاربرد قارچ

* مسئول مکاتبه: n.enayatzamir@scu.ac.ir

میکوریز آربسکولار و افزایش سطوح رطوبتی، پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافت اما اثر متقابل قارچ و سطوح رطوبتی بر جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی معنی‌دار نبود. در تیمارهای حاوی قارچ میکوریز آربسکولار جرم مخصوص ظاهری کاهش و مقاومت فروروی افزایش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: همزیستی میکوریزی باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی در خاک گردید. نتایج بیانگر کارایی بالاتر قارچ *گلوموس اینترارادیسز* نسبت به *گلوموس موسه* در خاک تحت کشت ارزن مرتعی بود. قارچ میکوریز آربسکولار با بهبود شرایط رشد گیاه، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک و افزایش ترشح گلومالین می‌تواند به کاهش فرسایش خاک کمک کند.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، خاکدانه، فرسایش، کلنیزاسیون، مقاومت فروروی

مقدمه

تپه‌های شنی بخش زیادی از بیابان‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک را دربرمی‌گیرند و مشکلات عمده در این خاک‌های درشت‌بافت از جمله کمی مواد آلی، شن زیاد، ناپایدار بودن خاکدانه‌ها، باعث گردیده تا استفاده از این خاک‌ها با محدودیت روبرو شود (٤). هی و همکاران (۲۰۰۸)، مناسب‌ترین روش در کاهش سرعت باد و تثبیت ماسه‌های روان را ایجاد پوشش گیاهی بر روی تپه‌های ماسه‌ای عنوان کردند (۱۲).

ارزن پادزهری با نام علمی *Panicum antidotale* گیاهی سریع‌الرشد با قدرت جوانه‌زنی زیاد است. حفاظت خاک، به‌ویژه تثبیت شن‌های روان، مقاومت زیاد به خشکی و فصل رشد طولانی از ویژگی‌های بارز ارزن مرتعی می‌باشد (٢٦). این گیاه در ایران و در مناطق گرمسیر به مقدار زیاد کشت و در مقابل خشکی بسیار مقاوم است.

طبق بررسی برخی از پژوهشگران، گیاهان از طریق مکانیسم‌های زیرسطحی از جمله ایجاد ثبات در ساختمان خاک و تأثیر بر خاک سطحی و رطوبت هوا، خاک را حفاظت می‌کنند. ریشه‌های گیاهان ساختمان خاک را از طریق به دام انداختن ذرات انفرادی خاک و رهاسازی ترشحات چسب‌مانند تثبیت می‌کنند و در نتیجه به تشکیل خاکدانه‌های پایدار خاک کمک می‌کنند (۷).

تأثیر ریزجانداران مختلف مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌ها که در خاک به‌وفور یافت می‌شوند در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها متفاوت است، قارچ‌ها بیش‌ترین، باکتری‌ها کم‌ترین و اکتینومیسیت‌ها نقش حدواسط در پایداری خاکدانه‌ها دارند (۸).

قارچ میکوریز از طریق دو مکانیسم اصلی تثبیت فیزیکی با به دام انداختن ذرات انفرادی خاک به‌وسیله شبکه‌های گسترده هیف و تثبیت شیمیایی توسط ترشحات چسب‌مانند به پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند (۵، ۲۵). قارچ‌های میکوریز آربسکولار علاوه بر افزایش رشد گیاه از طریق جذب عناصر غذایی، با ترشح ماده گلیکوپروتئینی به‌نام گلومالین نقش به‌سزایی در بهبود ساختمان خاک و مقاومت خاکدانه‌ها دارند (۲). این گلیکوپروتئین از جنس گلوموس ترشح می‌شود، اولین مطالعات در ارتباط با ترشح گلومالین از قارچ *Glomus intraradices* انجام شد (۲۸). این قارچ، گلومالین را در داخل دیواره هیفی تولید می‌کند، وقتی‌که ساختار هیف پوسیده و متلاشی شود، این پروتئین‌ها در خاک آزاد شده و پیوند قوی با ذرات خاک تشکیل می‌دهند. با افزایش مقدار گلومالین پایداری خاکدانه‌ها و مقاومت به فرسایش افزایش پیدا

می‌کند (۲٤). مقدار گلومالین در خاک می‌تواند به‌عنوان شاخصی از فعالیت قارچ میکوریز و سلامت خاک باشد (۱۹). گونه‌های مختلف قارچ میکوریز توانایی متفاوتی در تولید گلومالین دارند. ذکر شده است *G. intraradices* توانایی تولید گلومالین بیش‌تری نسبیت به *G. mosseae* دارد (۱۹).

هیف‌های میکوریزی مشابه ریشه، خاک را به‌طور فیزیکی تثبیت می‌کنند، اما در یک مقیاس کوچک‌تر مواد آلی و خاکدانه‌های کوچک را به دام انداخته و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ را تسهیل می‌کنند (۲٤، ۲۵).

نتایج پژوهش‌های نشان داده است که این قارچ‌ها با افزایش مقاومت گیاه در اراضی بیابانی، باعث پایداری گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شوند و نقش کلیدی در پایداری خاک‌های شنی ایفا می‌کنند در نتیجه باعث استقرار بهتر در این اراضی می‌شوند (۱٤). سمائی و همکاران (۲۰۱۳) طی آزمایشی در زمینه تأثیر قارچ میکوریز *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس اتونیکاتوم* بر ویژگی‌های خاک نشان دادند، همزیستی میکوریزی موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD[1]) و کاهش جرم مخصوص ظاهری ناشی از افزایش تخلخل کل به‌علت تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک می‌شود (۲۷).

مارتین و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر قارچ‌های *گلوموس موسه*، *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس جئووسپورم* را بر تخلخل یک خاک لوم شنی بررسی نموده و نتیجه گرفتند تخلخل خاک از ۹/۷۷ درصد در تیمار شاهد به ۱٤/۸۱ درصد در تیمار تلقیح‌شده با قارچ *گلوموس موسه* افزایش یافت. این پژوهشگران دلیل این افزایش را تشکیل خاکدانه‌های پایدار در اثر فعالیت‌های قارچی بیان داشتند (۲۰). رزول و همکاران (۲۰۱۲) اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را بر ساختمان خاک بررسی نموده و نتیجه گرفتند پایداری خاکدانه‌ها ۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (۲۲).

بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تأثیر همزیستی قارچ میکوریز آربسکولار در شرایط تنش خشکی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و محتوی گلومالین خاک شنی تحت کشت گیاه ارزن مرتعی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در پاییز ۱۳۹۳ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل، سطوح مختلف رطوبتی [آبیاری درحد ۸۰ (شاهد، S_1)، ۵۰ (S_2) و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (S_3)] و تلقیح قارچ میکوریز آربسکولار [شاهد (NM)، *گلوموس موسه* (GM)، *گلوموس اینترارادیسز* (GI) و تلقیح هم‌زمان دو قارچ (MI)] بود. نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تپه‌های شنی الباجی تهیه شد. نمونه خاک بعد از سترون‌کردن در گلدان‌های پلاستیکی استریل با قطر ۲۵ سانتی‌متر بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک پر گردید. به هر گلدان حدود ۸ کیلوگرم خاک اضافه و تعداد ۳ ریزوم گیاه ارزن مرتعی در گلدان‌ها کشت و آبیاری گردید. به گلدان‌ها (به‌استثنای تیمار شاهد) مقدار ۱۲۰ گرم مایه تلقیح قارچی در عمق پنج سانتی‌متری اضافه شد.

گیاهان به‌مدت سه ماه تحت شرایط کنترل نسبی رشد کرده و بعد از این مدت، ساقه‌ها از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک بریده شدند و تنش خشکی

1- Mean weight diameter

در به‌مدت سه ماه اعمال شد. افزایش آب مقطر به گلدان‌ها زمانی بود که ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده گیاه در خاک تخلیه شده بود. میزان افزایش آب مقطر به گلدان‌ها به‌وسیله تتاپراب و اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک بود.

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری (روش استوانه)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (روش الک خشک) در سری الک با قطر منافذ ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر (٦)، مقاومت برشی لایه رویین خاک با استفاده از پره برشی در شرایط اشباع و مقاومت فروروی با استفاده از فروسنج دستی در لایه‌های بالایی خاک اندازه‌گیری شد.

برای استخراج گلومالین کل از خاک، ۲ گرم خاک ریزوسفری نمونه‌ها، با هشت میلی‌لیتر سدیم سیترات ۵۰ میلی‌مولار، به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس، اتوکلاو شد. بعد از این مدت لوله‌ها بلافاصله درون سانتریفیوژ با سرعت ۵۰۰۰rpm به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند (۲۸). محلول رویی به‌دست آمده از سانتریفیوژ جمع‌آوری و در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شد (مراحل تا رسیدن به عصاره شفاف تکرار شد). برای کمی‌سازی گلومالین استخراج شده، از روش برادفورد و به‌منظور مطالعه الگوی باندهای پروتئین با استفاده از سیستم SDS-PAGE از روش لاملی (۱۹۷۵) و رنگ‌آمیزی به روش نیترات نقره با اندکی تغییرات استفاده شد (۱۷).

برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه از روش کورمانیک و مک‌گرو (۱۹۸۲) با استفاده از فوشین اسیدی استفاده شد (١٦). اندام‌های قارچی شامل آربسکول، هیف و وزیکول‌ها با استریوسکوپ مشاهده شدند و درصد کلونیزاسیون به روش تقاطع خطوط شبکه تعیین گردید (۱۰).

نتایج و بحث

براساس جدول ۱، خاک مورد بررسی دارای کلاس بافت شنی و خاکی درشت بافت است. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. اثر متقابل خشکی و همزیستی میکوریزی بر کلنیزاسیون ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). درصد کلنیزاسیون ریشه با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

کم‌ترین کلنیزاسیون ریشه، بدون در نظر گرفتن شاهد در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس موسه* در سطح رطوبتی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی و بیش‌ترین درصد کلنیزاسیون ریشه در گیاهان مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* در سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۱).

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

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of studied soil.

بافت خاک Soil texture	شن Sand	رس Clay	کربن آلی Organic carbon	pH	EC dS/m
	%				
شنی (Sandy)	91.8	8.2	0.2	8.76	2.07

جدول ۲- میانگین مربعات اثر خشکی و قارچ میکوریز بر برخی ویژگی‌های خاک.

Table 2. The mean squares of drought and mycorrhizal fungi effect on some soil properties.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	کلنیزاسیون ریشه Root Colonization	گلومالین Glomalin	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	مقاومت نفوذسنجی Penetration resistance	تنش برشی Shear stress	میانگین وزنی قطر خاکدانه Mean weight diameter
خشکی Drought	2	574.84**	141348.09**	0.644**	45.09**	0.22**	0.2**
قارچ Fungi	3	2493.81**	250618.58**	0.246**	2329.79**	0.04**	0.13**
خشکی×قارچ Drought×Fungi	6	18.11**	3645.7**	0.005^{ns}	1.71^{ns}	0.006**	0.017**
خطا Error	24	2.12	8.9	0.11	26.52	0.03	0.0001
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	4.85	8.08	4.29	10.09	9.7	0.45

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns},* ,** None significant, significant at P<0.01 and P<0.05, respectively.

وو و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند تنش خشکی موجب کاهش کلنیزاسیون ریشه می‌گردد (۲۹). در مطالعه‌ای دیگر افزایش ۲۰ درصدی کلونیزاسیون ریشه با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (۱).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان دهنده اثر معنی‌دار قارچ و خشکی بر میزان گلومالین خاک بود (شکل ۲). به‌طورکلی با افزایش سطح خشکی میزان گلومالین خاک افزایش یافت. در حضور قارچ میکوریز آربسکولار میزان گلومالین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از نمونه‌های غیرمیکوریزی بود. کم‌ترین میزان گلومالین در نمونه‌های بدون قارچ در سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و بیش‌ترین میزان در نمونه‌های مایه‌زنی‌شده با قارچ گلوموس اینترارادیسز در سطح رطوبتی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۲).

بین دو گونه قارچی از نظر تولید گلومالین اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و گونه *گلوموس اینترارادیسز* توانایی بیش‌تری در تولید گلومالین داشت. مدنی و همکاران ذکر کردند *G. intraradices* توانایی تولید گلومالین بیش‌تری نسبیت به *G. mosseae* دارد (۱۹).

در مطالعه انجام شده توسط وو و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده شد کلونیزاسیون ریشه‌های گیاهان میکوریزی همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان گلومالین براحتی قابل استخراج[1] و گلومالین کل[2] دارد (۳۰). گزارش شده است گلومالین تنها در سطح ریشه‌هایی حضور دارد که به‌وسیله قارچ میکوریز آربوسکولار کلونیزه شده باشند (۲۱).

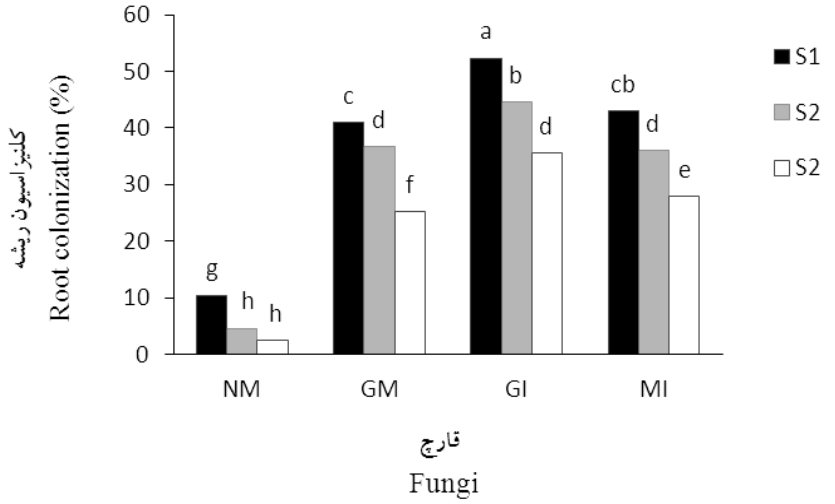
مطالعات نشان می‌دهند گلومالین مشابهت زیادی به پروتئین شوک حراراتی ۶۰ دارد. بر این اساس ذکر شده است که شاید تولید گلومالین پاسخی به شرایط تنش محیط باشد (۹، ۱۸).

طی بررسی تولید گلومالین توسط قارچ *گلوموس اینترارادیسز* تحت تنش شوری گزارش شده است، تولید گلومالین در برابر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم و تنش اسمزی ناشی از گلیسرول متفاوت است

1- Easy extractable glomalin
2- Total glomalin

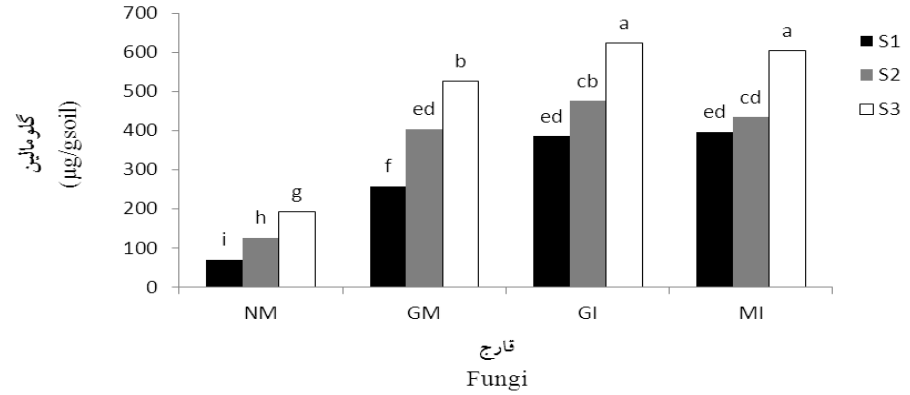
و در حضور نمک تولید گلومالین به‌شدت افزایش می‌یابد (۱۱). به‌عبارتی زمانی که خشکی مانع گسترش قارچ میکوریز می‌شود، تولید گلومالین به‌عنوان پروتئین شوک حرارتی افزایش می‌یابد. این افزایش احتمالاً به‌عنوان یک مکانسیم دفاعی برای قارچ است، به‌گونه‌ای که این پوشش گلیکوپروتئینی، قارچ را از اثرات منفی تنش حفظ می‌کند.

نتایج به‌دست آمده از الکتروفورز عمودی گلومالین استخراج شده به روش سیترات سدیم، همسو با داده‌های کمی به‌دست آمده از روش برادفود، بیانگر افزایش میزان گلومالین خاک با افزایش سطوح خشکی بود (شکل ۳). تصویر بیانگر اختلاف بین بیان گلومالین در هر سه سطح رطوبتی در تیمار مایه‌زنی‌شده گونه *گلوموس اینترارادیسز* بود.



شکل ۱- اثر متقابل قارچ و سطح رطوبتی خاک بر درصد کلنیزاسیون ریشه. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن).

Figure 1. The interaction effect of fungi and moisture levels of soil on root colonization. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.

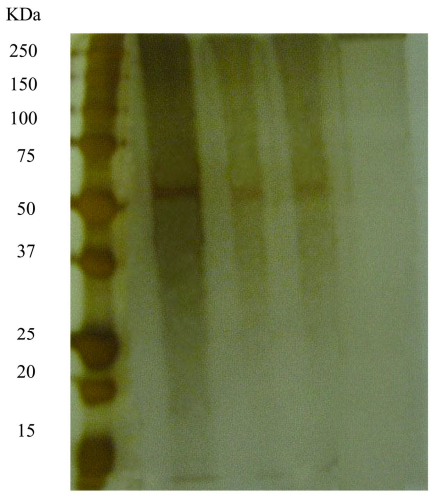


شکل ۲- اثر متقابل قارچ و سطح رطوبتی خاک بر گلومالین. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن).

Figure 2. The interaction effect of fungi and moisture levels of soil on glomalin. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.

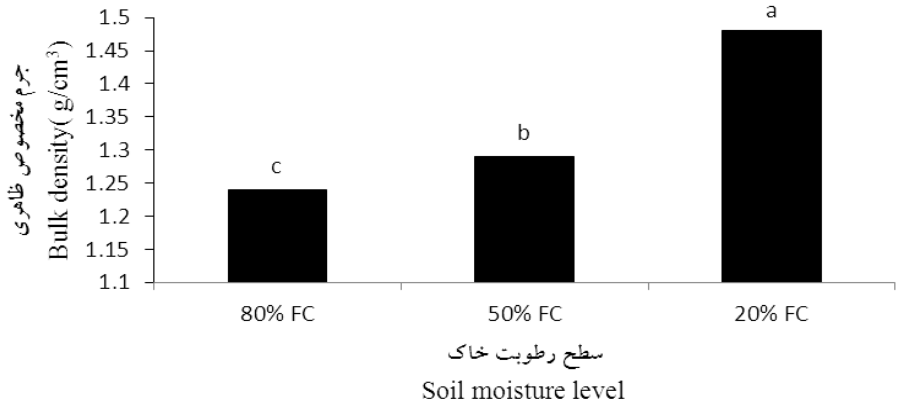
نتایج تجزیه آماری داده‌ها (جدول ۲) نشان داد تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک بر جرم مخصوص ظاهری خاک شنی مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار است. به‌طوری‌که جرم مخصوص از ۱/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب در آبیاری در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ۱/۷۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب در سطح رطوبتی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش پیدا کرد (شکل ٤).

اعمال تنش خشکی، سبب کاهش رشد ریشه و در نتیجه ترشحات ریشه‌ای می‌گردد. چنین به‌نظر می‌رسد که علت اصلی افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای تنش رطوبتی نسبت به آبیاری در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، کاهش رشد ریشه گیاه و در نتیجه کاهش تخلخل باشد. استفاده از قارچ میکوریز باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای قارچی نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). اما بین تیمارهای حاوی هر یک از قارچ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵).



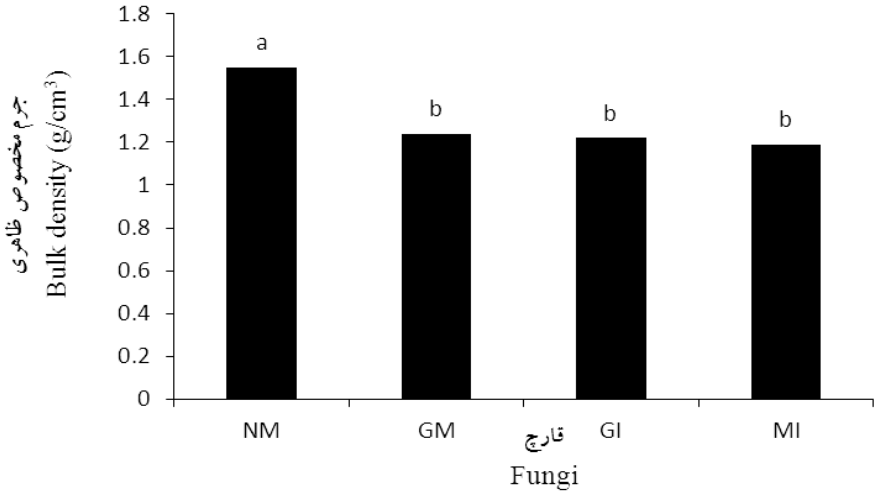
شکل ۳- تولید گلومالین توسط *G. intrardices* در سطوح مختلف رطوبت خاک به روش ژل پلی‌اکریل‌آمید.

Figure 3. Glomalin production by *G. intrardices* at different soil moisture levels by polyacrylamide gel method. Wells from left to right: Ladder (10-250KDa), S_1 (80% of FC), S_2 (50% of FC), S_3 (20% of FC), and Control (80% of FC and without inoculation).



شکل ٤- اثر سطوح مختلف رطوبتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن).

Figure 4. The effect of soil moisture levels on bulk density. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.



شکل ۵- اثر همزیستی میکوریزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن).

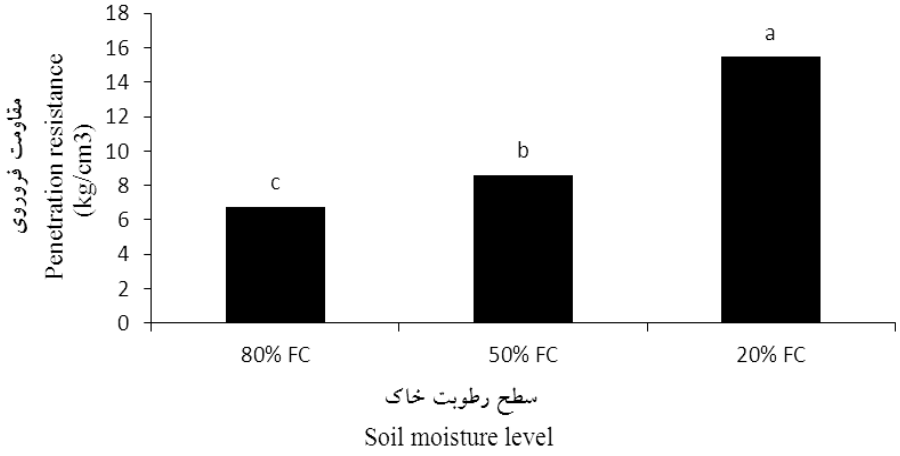
Figure 5. Mycorrhizal symbiosis effect on soil bulk density. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.

کاهش جرم مخصوص ظاهری را می‌توان به دلایل متعددی از جمله افزایش درصد کلنیزاسیون، رشد ریشه و ترشح گلومالین به‌وسیله قارچ‌های میکوریز آربسکولار در خاک حاوی میکوریز نسبت به تیمارهای غیرمیکوریزی نسبت داد. کوهلر- میلرت و همکاران (۲۰۰۹) اثر قارچ *گلوموس اینترارادیسز* و کرم خاکی را روی خصوصیات فیزیکی یک خاک لوم آهکی زیر کشت تره‌فرنگی بررسی نموده و نتیجه گرفتند جرم مخصوص ظاهری از ۱/۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب به ۰/۸۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب در تیمارهای قارچی کاهش یافت (۱۵). سمائی و همکاران (۲۰۱۳) کاهش جرم مخصوص ظاهری ناشی از افزایش تخلخل کل را به‌علت تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک، تحت‌تأثیر *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس اتونیکاتوم* گزارش کردند (۲۷).

سطوح رطوبتی متفاوت اثر معنی‌داری بر مقاومت فروروی خاک داشت (جدول ۲). کاهش سطح رطوبت خاک باعث افزایش مقاومت فروروی خاک شد، به‌طوری‌که با افزایش تنش خشکی از ۸۰ درصد به ۲۰ درصد ظرفیت زراعی، مقاومت فروروی ٤٤ درصد افزایش یافت (شکل ٦).

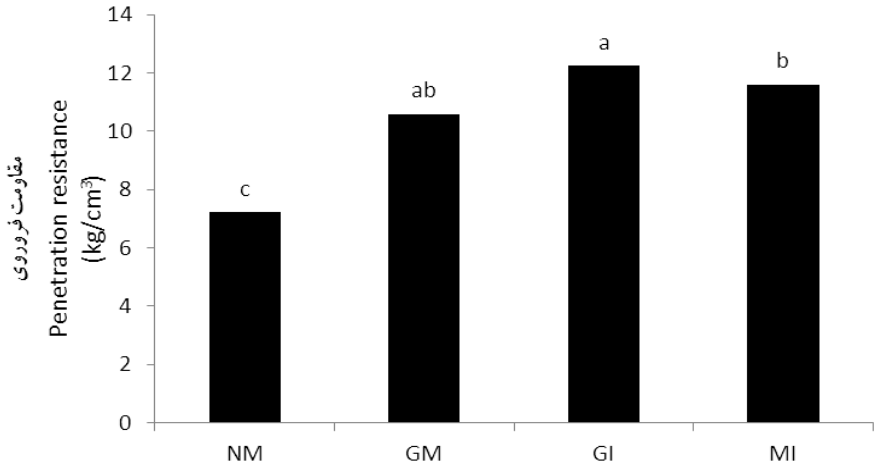
حضور قارچ میکوریز آربسکولار باعث افزایش معنی‌دار مقاومت فروروی خاک گردید (شکل ۷). بین خاک‌های تیمارشده با قارچ میکوریز و خاک‌های بدون میکوریز اختلاف معنی‌داری از نظر مقاومت فروروی خاک وجود داشت. کم‌ترین میزان مقاومت فروری در خاک بدون میکوریز (۷/۲۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) و بیش‌ترین مقدار در خاک مایه‌زنی‌شده با *گلوموس اینترارادیسز* (۱۲/۲٤ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) برآورد شد. افزایش مقاومت فروروی در تیمارهای میکوریزی را می‌توان به بهبود ساختمان خاک از طریق اتصال فیزیکی ذرات توسط ریشه گیاه و سیمانی‌شدن خاک در اثر ترشحات ریشه‌ای و ترشحات قارچ همچون گلومالین، که باعث هماوری ذرات می‌شوند، نسبت داد (۲۳). کوهلر- میلرت و همکاران (۲۰۰۹) دلیل افزایش مقاومت فروروی در تیمارهای میکوریزی

را تغییر توزیع اندازه ذرات خاک، کاهش منافذ درشت و افزایش منافذ ریز در خاک دانستند. همچنین بیان کردند میکروفلور خاک توانایی افزایش ثبات خاکدانه‌ها را از طریق ترشحات خود در نتیجه ایجاد خاکدانه‌های کوچک و افزایش مقاومت فروروی خاک دارند (۱۵).



شکل ٦- اثر سطوح مختلف رطوبتی بر مقاومت فروروی خاک.

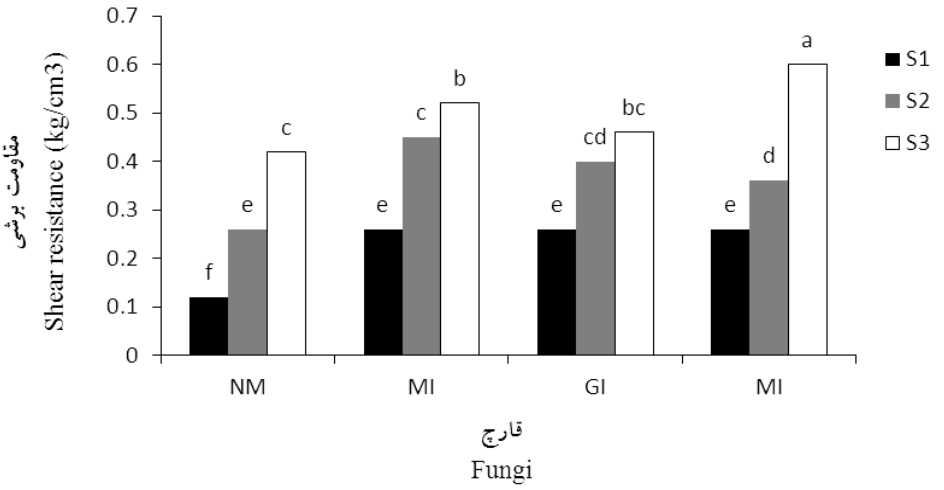
Figure 6. Effect of moisture level on soil penetration resistance. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.



شکل ۷- اثر همزیستی میکوریزی بر مقاومت فروروی خاک.

Figure 7. Effect of mycorrhizal symbiosis on soil penetration resistance. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.

در پژوهش حاضر اثر توأم خشکی و همزیستی میکوریزی بر مقاومت برشی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). با افزایش رطوبت خاک مقاومت برشی در تمام سطوح مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (شکل ۸).

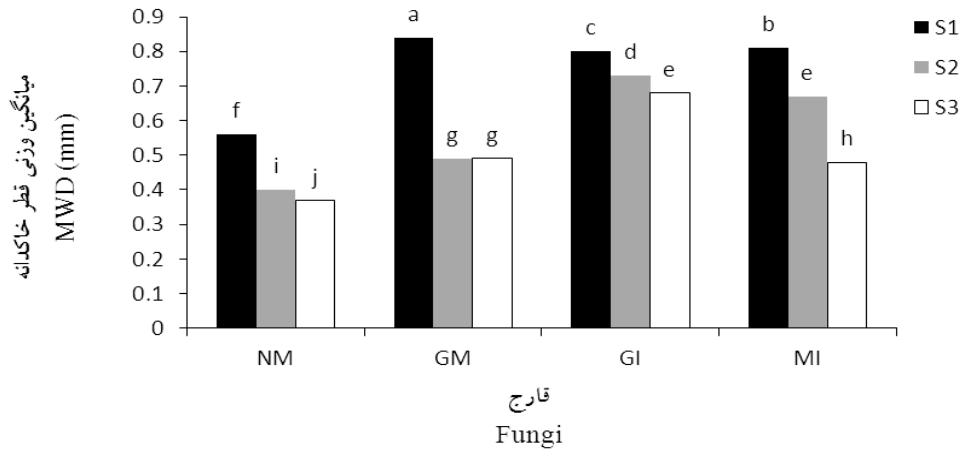


شکل ۸- اثر متقابل خشکی و قارچ بر مقاومت برشی خاک. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن).

Figure 8. The interaction effect of drought and fungi on shear strength. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.

در هر سطح رطوبتی تفاوت معنی‌داری بین خاک‌های تیمار شده با قارچ میکوریز و خاک‌های بدون میکوریز وجود داشت. مایه‌زنی خاک‌ها با قارچ میکوریز سبب افزایش مقاومت برشی گردید. کم‌ترین مقاومت برشی در تیمار بدون میکوریز در سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/۱۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) و بیش‌ترین در خاک مایه‌زنی‌شده با دو قارچ میکوریز در سطح رطوبتی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/٦ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) مشاهده گردید. نیروهای چسبندگی سطحی بین ذرات آب و خاک ضعیف‌تر از نیروهای چسبندگی بین ذرات خاک می‌باشند. بنابراین آماس ذرات رس با افزایش رطوبت، نیروهای چسبندگی داخلی ذرات را کاهش می‌دهد که این امر موجب کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. کاهش مقاومت اصطکاکی بین ذرات خاک نیز موجب کاهش مقاومت برشی خاک می‌گردد (۳۱). باچمن و همکاران (۲۰۰٦) بیان کردند تنش برشی معمولاً با افزایش جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد (۳)، که در پژوهش حاضر نیز با افزایش سطوح تنش و کاهش آبیاری جرم مخصوص ظاهری خاک و تنش برشی افزایش یافت.

افزایش مقاومت سطحی خاک در کشت گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی احتمالاً به‌دلیل افزایش اصطکاک بین ذرات خاک و چسبندگی توسط ترشحات قارچ- ریشه به‌ویژه گلومالین می‌باشد. همچنین به‌نظر می‌رسد همزیستی میکوریزی با افزایش زیست‌توده گیاه و به‌دنبال آن بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌تواند مقاومت لایه‌های سطحی خاک را افزایش داده و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش دهد. اثر توأم خشکی و همزیستی میکوریزی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). با افزایش سطح رطوبت خاک میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تمام سطوح مایه‌زنی‌شده با قارچ میکوریز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۹).



شکل ۹- اثر متقابل قارچ و سطوح رطوبتی خاک بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن).

Figure 9.The interaction effect of fungi and soil moisture levels on mean weight diameter of aggregates. Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01.

بین تیمارهای قارچ میکوریز در افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. سمایی و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را در تیمارهای حاوی قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به تیمارهای غیرمیکوریزی گزارش کردند (۲۷) بیش‌ترین میزان MWD در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ *گلوموس موسه* و سطح آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین میزان در تیمار بدون میکوریز و سطح رطوبتی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. نتایج نشان داد در سطح آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی قارچ *گلوموس اینترارادیسز* بیش‌ترین میزان MWD را داشت که نسبت به تیمار شاهد ٤٥/٥٨ درصد افزایش پیدا کرد. نتایج به‌دست آمده از استخراج گلومالین نیز نشان می‌دهد احتمالاً یکی از دلایل بهبود دانه‌بندی خاک در تیمارهای قارچی مربوط به افزایش ترشح این ماده است. هونتوریا و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان کردند افزایش MWD و پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای قارچی می‌تواند در اثر ترشحات گلیکوپروتئینی به‌نام گلومالین باشد که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه می‌گردد (۱۳).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از همزیستی میکوریزی به‌عنوان یک روش بیولوژیک در کشاورزی پایدار از طریق تشکیل خاکدانه‌های پایدار و تغییر در توزیع اندازه منافذ، افزایش منافذ میکرو و کاهش منافذ ماکرو باعث افزایش نگهداری آب قابل‌استفاده گیاه در شرایط تنش خشکی و بهبود رشد گیاه می‌شود. قارچ میکوریز با ایجاد بستر مناسب برای رشد و استقرار گیاه، بهبود شرایط فیزیکی خاک با افزایش مقاومت برشی، مقاومت فروروی و تشکیل خاکدانه‌های پایدار می‌تواند به کاهش فرسایش بادی کمک کند. همچنین عملکرد بهتر *گلوموس اینترارادیسز* در بهبود ویژگی‌های خاک زیر کشت بیانگر کارایی بالاتر این قارچ در همزیستی با ارزن مرتعی است.

منابع

1.Aroca, R., Vernieri, P., and Ruiz-Lozano, J.M. 2008. Mycorrhizal and non-mycorrhizal *Lactuca sativa* plants exhibit contrasting responses to exogenous ABA during drought stress and recovery. J. Exp. Bot. 59: 2029-2041.

2.Aumtong, S., Sirinikorn, P., Susingsa, P., and Maungjai, N. 2010. Glomalin-related soil protein influence on soil aggregate stability in soils of cultivated areas and secondary forests from Northern Thailand. P 21-24, In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.

3.Bachmann, J., Contreras, K., Hartage, K.H., and MacDonald, R. 2006. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. Soil. Till. Res. 87: 112-118.

4.Baybourdi, M. 2000. Soil physics. Sixth edition, Tehran University Press. (In Persian)

5.Bearden, B.N., and Peterson, L. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. Plant Soil. 218: 173-183.

6.Besalatpour, A.A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M.A., Mosaddeghi, M.R., and Schulin, R. 2103. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. Catena. 111: 72-79.

7.Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil. Till. Res. 78: 59-67.

8.Fokom, R., Teugwa mofor, C., Nana Wakam, L., Ngonkeu Megapche, E.L., Tchameni, S., Nwaga, D., Rillig, C.M., and Amvam Zollo, P.H. 2013. Glomalin, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use changes in the humid forest zone in south Cameroon. Appl. Ecol. Environ. Res. 11: 4. 581-592.

9.Gadkar, V., and Rillig, M.C. 2006. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin is a putative homolog of heat shock protein 60. FEMS Microbiol. Lett. 263: 1. 93-101.

10.Giovannettti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.

11.Hammer, E.C., and Rillig, M.C. 2011. The influence of different stresses on glomalin levels in an arbuscular mycorrhizal fungus-salinity increases glomalin content. PloS one. 6: 12. 1-5.

12.He, J.J., Cai, Q.G., and Tang, Z.J. 2008. Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control. Environ. Monit Assess. 145: 4. 185-193.

13.Hontoria, C., Vela´squez, R., Benito, M., Almorox, J., and Moliner, A. 2009. Bradford reactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. Soil Biol. Biochem. 41: 1583-1585.

14.Jeffries, P., and Barea, J.M. 2001. Arbuscular mycorrhiza-a key component of sustainable plant–soil ecosystems. P 95-113, In: K. Esser and B. Hock (Eds.), The Mycota. IX Fungal Associations. Springer-Verlag, Berlin.

15.Kohler-Milleret, R., Le Bayon, R.C., Lamy, F., Gobat, J.M., and Boivin, P. 2009. Impact of roots, mycorrhizae and earthworms on soil physical properties assessed by shrinkage analysis. J. Hydro. 373: 499-507.

16.Kormanik, P.P., and McGraw, A.C. 1982. Quantification of vesicular arbuscular mycorrhizae in plant roots. P 37-45, In: N.C. Schenck (Ed.), Methods and Principles of Mycorrhizal Research. The American Phytopathological Society, St. Paul.

17.Laemmli, U.K. 1975. Characterization of DNA condensates induced by poly (ethylene oxide) and poly l'lysine. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. 72: 11. 4288-4292.

18.Lovelock, C.E., Wright, S.F., and Nichols, K.A. 2004. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. Soil Biol. Biochem. 36: 1009-1012.

19.Madani, A., Lakzian, A., Haghnia, G.H., and Khorasani, R. 2012. The effect of cadmium, zinc and phosphorus on glomalin production by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in symbiosis with white clover. Mashhad, J. Water Soil (Agricultural Science and Technology). 26: 4. 864-872. (In Persian)

20. Martin, S.L., Mooney, S.J., Dickinson, M.J., and West, H.M. 2012. The effects of simultaneous root colonization by three *Glomus* species on soil pore characteristics. Soil. Biol. Biochem. 49: 167-173.
21. Morton, J.B., and Benny, G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, glomales, two new suborders, glomineae and gigasporineae, and two new families, acaulosporaceae and gigasporaceae, with an emendation of glomaceae. Mycotaxon. 37: 471-491.
22. Rezaul Karim Siddiky, M.D., Kohler, J., Cosme, M., and Rillig, C. 2012. Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan. Soil. Biol. Biochem. 50: 33-39.
23. Rillig, M.C., Wright, S.F., and Eviner, V.T. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. Plant Soil. 238: 325-333.
24. Rillig, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. Can. J. Soil Sci. 84: 355-363.
25. Rillig, M.C., and Mummey, D.L. 2006. Mycorrhizae and soil structure. New Phytol. 171: 41-53.
26. Robinett, D. 2004. Management and uses of blue panic. U.S. Department of Agriculture and Natural Resources Service, Tucson, Arizona.
27. Samaei, F., Asghari, S.H., Alasgharzad, N., and Sarikhani, M.R. 2013. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on some physical properties and nutrient uptake in a sandy loam soil under growth of tomato. Tabriz, J. Water Soil Sci. 23: 3. 33-44. (In Persian)
28. Wright, S.F., and Upadhyaya, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil. 198: 97-107.
29. Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006. Effects of water stress and arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tanjerine*) roots. Eur. J. Soil Biol. 42: 3. 166-172.
30. Wu, Q.S., and Zou, Y.N. 2010. Beneficial roles of arbuscular mycorrhizas in citrus seedlings at temperature stress. Sci. Hort. 125: 289-293.
31. Zhao, X., Zhou, G., and Tian, Q. 2009. Study on the shear strength of deep reconstituted soils. China, J. Mining Sci. Technol. 19: 405-408.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Drought Stress on Glomalin Content and Some Physical and Mechanical properties of Soil under Blue Panic Grass Cultivation (*Panicum antidotal*)

A. Farhadi[1], *N. Enayatizamir[2], A. Farrokhian Firouzi[2] and H. Howeizeh[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[3]Researcher at Research Center of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan Province, Ahvaz
Received: 01/19/2016; Accepted: 05/16/2016

Abstract

Background and Objectives: A lot of arid and semi-arid deserts are comprised of sandy hills. The major problems in these coarse-textured soils including low organic matter, high percentage of sand and unstable aggregates have led to restricted use of these soils. Arbuscular mycorrhizal fungi by exudation of a glycoprotein called glomalin has a considerable role in improving soil structure and aggregate stability. These fungi enhance tolerance of plants to environmental stresses by increasing plant resistance in desert lands which leads to a better establishment in this area. The aim of the present study was to investigate the impact of arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to improve the physical and mechanical properties and glomalin content of sandy soil under cultivation of blue panic grass and drought stress.

Materials and Methods: In order to study the effect of different contents of soil moisture [80% (Control, S_1), 50% (S_2) and 20% of field capacity (S_3)] and arbuscular mycorrhizal fungi inoculants [Control (NM), *Glomus mosseae* (GM), *Glomus intraradices* (GI) and simultaneous inoculation of both fungi (MI)] an experiment as factorial in completely randomized design was conducted. The rhizomes has been cultivated in pot contains 8 Kg of soil after adding inoculant at depth of 5 cm of soil, thereafter the pots kept for 3 months at relatively controlled condition. At the end of the experiment root colonization percentage and quality and quantity of glomalin, bulk density, shear strength, pentration resistance and aggregate stability by dry sieving method were measured.

Results: Mycorrhizal symbiosis and drought stress significantly increased glomalin content of the soil. Protein bands on polyacrylamide gel reflect the more expression of the glycoprotein under stress as a defense mechanism to drought. Root colonization was significantly reduced under drought stress and significantly increased by mycorrhizal symbiosis. The effect of simultaneous treatments proved to be efficient on shear strength of soil. The aggregate stability increased by increasing moisture content of soil and application arboscular mycorrhiza fungi, but interaction effect of fungi and moisture content was not significant on bulk density and penetration resistance of soil. In the mycorrhizal treatments bulk density decreased and penetration resistance increased.

Conclusion: Mycorrhizal symbiosis reduced the negative effects of drought stress in the soil. The results showed more efficiency of *Glomus intraradices* than *Glomus mosseae* to decrease negative effect of drought on soil. Arboscular Mycorrhizal fungi can help to reduce soil erosion by improving plant growth, soil physical and mechanical properties by glomalin exudation increment.

Keywords: Aggregate, Bulk density, Colonization, Erosion, Penetration resistance

* Corresponding Author; Email: n.enayatzamir@scu.ac.ir