

اثر همزیستی قارچ میکوریز با تاغ سیاه و آتریپلکس بر آب قابل استفاده خاک و غلظت گلومالین در شرایط تنش شوری و خشکی

محمدحسین نوشاد^۱، الهام چاوشی^{۱*}، محمدرضا مصدقی^۲، وجیهه درستکار^۳ و فاطمه حسینی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تلقیح دو گونه قارچی میکوریز آربوسکولار (AMF) بر آب قابل استفاده خاک و غلظت گلومالین در شرایط خشکی و شوری به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل دو گونه گیاهی (تاغ سیاه (*Haloxylon ammodendron*) و آتریپلکس کانسس (*Atriplex canescens*))، با تلقیح دو گونه قارچی (گلوبوس موسه^آ، گلوبوس جیسپورم)، دو سطح شوری (۷ و ۱۴ میلی موس بر سانتی متر) و دو سطح خشکی شامل ۵۰ و ۸۰ درصد پیشینه تخلیه مجاز (MAD) بود. پس از گذشت یک سال از اعمال تیمارها، مقادیر آب قابل استفاده گیاه (PAW)، آب قابل استفاده با حداقل محدودیت (LLWR)، گنجایش آب انتگرالی (IWC) و غلظت گلومالین کل و آزاد و کربن آلی خاک اندازه گیری شد. نتایج نشان دهنده افزایش معنی دار درصد کربن آلی خاک، غلظت گلومالین کل و آزاد، PAW، LLWR و IWC با افزایش تنش شوری، در تیمارهای تلقیح شده با قارچ های گلوبوس جیسپورم و گلوبوس موسه^آ بود. بیش ترین درصد افزایش PAW (۱۴۷ درصد)، LLWR (۱۴۰ درصد) و IWC (۸۵ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد، در تیمار ترکیبی شوری ۱۴ میلی موس بر سانتی متر و خشکی کم (MAD برابر ۵۰ درصد)، در تیمار تلقیح قارچ گلوبوس جیسپورم با آتریپلکس مشاهده شد. بیش ترین غلظت گلومالین کل و آزاد نیز در تیمار ترکیبی شوری ۱۴ میلی موس بر سانتی متر و خشکی شدید (MAD برابر ۸۰ درصد) در تیمارهای تلقیح شده با قارچ های گلوبوس جیسپورم و گلوبوس موسه^آ در هر دو گیاه مشاهده شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان دهنده کاهش پیامدهای منفی تنش خشکی و شوری در خاک تحت کشت تاغ سیاه و آتریپلکس، با کاربرد قارچ میکوریز بود.

واژه های کلیدی: گلوبوس موسه^آ، گلوبوس جیسپورم، تنش، آب قابل استفاده خاک، گلومالین

مقدمه

تاغ گیاهی از تیره اسفنجیان (*Chenopodeaceae*) و دارای دو گونه به نام های تاغ سیاه (*H. aphyllum*) و تاغ سفید (*H. persicum*) است. وجود تاغ در ایران سابقه ای طولانی دارد

تاغ و آتریپلکس از جمله گونه های مقاوم به خشکی و شوری هستند که در برخی از مناطق خشک و بیابانی دیده می شوند.

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: chavoshie@yahoo.com

داینویز (۴۲) گزارش کردند که وجود وزیکول‌ها و هیف‌های میکوریز حتی بدون وجود آربسکول، باعث افزایش رشد و بقای آتریپلکس کانسس شده است. پژوهش‌های دیگری در این زمینه نیز، برقراری رابطه همزیستی قارچ میکوریز با برخی گیاهان تیره اسفناجیان از جمله آتریپلکس را تأیید کردند (۴، ۵، ۱۹، ۲۰ و ۴۸).

قارچ میکوریز دارای دامنه وسیعی از گیاهان میزبان بوده و همزیستی آن با گیاه برای تحمل و غلبه بر آثار سوء تنش‌های خشکی و شوری در گونه‌های مختلف گیاهان مؤثر است (۲۵). همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار پیامدهای تنش خشکی را از طریق جذب مستقیم آب و انتقال آن توسط هیف‌های قارچ به گیاه میزبان (۹)، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه (۱۲) و فعالیت‌های آن‌تی‌اکسیدانی (۱۵) کاهش می‌دهد. همچنین در جذب عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم و عناصر کم مصرف به گیاه کمک می‌کند (۲۳ و ۴۳). ترشحات قارچ‌های میکوریز از جمله گلومالین بر مقدار آب قابل استفاده خاک مؤثر است. گلومالین به صورت پوششی روی هیف‌های قارچی قرار گرفته و باعث جلوگیری از هدررفت آب و عناصر غذایی پیش از رسیدن به گیاه می‌شود (۳۵). مقدار گلومالین در خاک می‌تواند به عنوان شاخصی از فعالیت قارچ میکوریز و سلامت خاک باشد (۳۸). افزایش غلظت گلومالین در حضور قارچ‌های میکوریز در پژوهش‌های انجام شده در این زمینه توسط درستکار و همکاران (۲۱)، علی‌آبادی و همکاران (۳)، لطف‌اللهی و همکاران (۳۷) و مدنی و همکاران (۳۸) گزارش شده است.

آب قابل استفاده گیاه (PAW) یکی از ویژگی‌های فیزیکی خاک است که تحت تأثیر قارچ‌های میکوریز قرار می‌گیرد. اما این شاخص تنها بر اساس انرژی آب خاک تعریف شده و کمبود اکسیژن در خاک، توانایی ریشه گیاه برای رسوخ در خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی با خشک شدن خاک و قدرت تبخیرکنندگی جو که بر مقدار آب قابل استفاده برای گیاه مؤثر است، را در نظر نمی‌گیرد. کمیت‌های جایگزین برای PAW، دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR) و گنجایش آب

ولی عملاً در چند دهه اخیر از این گیاه به عنوان گیاه استراتژیک در مناطق بیابانی استفاده شده است (۲۳). تاغ سیاه گیاهی است که به صورت طبیعی در کویرها، استپ‌های شنی و شوره‌زارهای خراسان و کویرهای مرکزی روئیده و تا ترکستان روسیه پیشروی کرده است (۴۷). این گیاه ضمن پراکنش گسترده در عرصه‌های کویری و بیابانی، گونه غالب عرصه‌های دست‌کاشت نیز است. تاغ سیاه خاک‌های لوم سیلت را می‌پسندد و در برابر شوری زیاد خاک مقاومت خوبی نشان می‌دهد (۵۲).

یکی دیگر از گیاهانی که به منظور احیای پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود، آتریپلکس کانسس است. آتریپلکس نیز از تیره اسفناجیان است و دارای گونه‌ها و واریته‌های متنوع یکساله و چندساله است. تاکنون در این جنس حدود ۲۵ گونه شناسایی شده که ۱۶ گونه آن در سراسر ایران پراکنده است (۳۱). آتریپلکس بومی ایران نیست و به طور گسترده در مناطق آمریکا دیده می‌شود. اما به واسطه سازگاری زیاد و سایر ارزش‌ها، به بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران وارد و کشت شده است (۴۷).

تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس در سخت‌ترین شرایط بیابانی مستقر شده و سازگاری مناسبی با تنش خشکی و شوری در این مناطق یافته‌اند. از مهم‌ترین دلایل این سازگاری می‌توان به ویژگی‌های مرفولوژیک این گیاهان مانند وضعیت برگ و ریشه و همزیستی آن‌ها با قارچ‌های میکوریزی اشاره کرد (۲۳). بر اساس پژوهش‌های اولیه، تیره اسفناجیان قادر به تشکیل همزیستی با قارچ میکوریز نبودند و این فرضیه تا سالیان متممادی ادامه داشت (۶). اما بعدها وجود ساختارهای میکوریزی در چند گونه از این تیره گزارش شد (۲۹). شواهد متناقضی در رابطه با برقراری همزیستی میکوریز با گیاهان تیره اسفناجیان وجود دارد. در مواردی، ساختارهای قارچ میکوریز آربسکولار در گیاهان این تیره در اثر همزیستی با قارچ میکوریز مشاهده شد (۲۹). اما به خاطر عدم وجود آربسکول به عنوان مکان تبادل بین قارچ و گیاه، اشاره شد که این رابطه دوطرفه نبوده است. با وجود این، ویلیام و همکاران (۵۳) و پلنچت و

سطح گونه گیاهی آتریپلکس کانسس (*Atriplex canescens*) و تاغ سیاه (*Haloxylon ammodendron*)، با تلقیح سه سطح گونه قارچی شامل قارچ گلوموس موسه/آ، گلوموس جیسپورم و شاهد، تنش شوری در دو سطح ۷ و ۱۴ میلی موس بر سانتی متر و دو سطح تنش خشکی ۵۰ و ۸۰ درصد بیشینه تخلیه مجاز (MAD) بود. لازم به توضیح است که اثر شوری بر پتانسیل آب و توابع وزنی آب قابل استفاده در IWC لحاظ نشد.

آماده سازی قارچ میکوریزا و بستر کاشت

گونه های قارچ میکوریز به کار رفته در این پژوهش از شرکت زیست فناوری توران شاهرود تهیه شد. این قارچ ها به صورت خالص نبوده و به همراه خاک به بازار مصرف عرضه می شوند. براساس اعلام شرکت مذکور، خاک حاوی هیف های قارچ میکوریز (۲۰ تا ۵۰ متر در هر گرم خاک) بود. همچنین، تعداد تقریبی اسپور قارچ در هر گرم خاک بین ۵۰ تا ۱۵۰ اسپور بود.

رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک منطقه برابر ۷ میلی موس بر سانتی متر بود. برای افزایش رسانایی الکتریکی خاک به ۱۴ میلی-موس بر سانتی متر، از نمک کلرید سدیم استفاده شد. حدود ۱۰ کیلوگرم از خاک در گلدان هایی به حجم ۸۰۰۰ سانتی متر مکعب ریخته شد به گونه ای که چگالی ظاهری خاک در گلدان ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب شود. سپس در هر گلدان، سه نشاء دو ماهه گیاه (تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس) به همراه قارچ میکوریزا در اطراف ریشه آن ها، درون هر گلدان کشت شد.

برای تلقیح قارچ میکوریز با گیاهان مذکور، ۱۰۰ گرم از کود زیستی میکوریز در اطراف ریشه گیاه ریخته شد. برای استقرار کامل گیاه، همه تیمارها به مدت یک هفته به طور یکسان آبیاری شده و پس از این مرحله سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شد. برای اعمال تنش خشکی، آبیاری زمانی انجام می شد که ۵۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده خاک تخلیه شده بود. مقدار آب آبیاری بر اساس مقدار تبخیر و تعرق گیاه، برآورد شده و آب مورد نیاز به گلدان ها افزوده می شد. برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق از داده های ایستگاه هواشناسی کرج به عنوان داده-

انتگرالی (IWC) هستند که این محدودیت ها را در نظر می گیرند تا آب قابل استفاده دقیق تری برآورد شود (۷).

نتایج پژوهش ها نشان می دهد قارچ های میکوریز با افزایش مقاومت گیاه در زمین های بیابانی، باعث پایداری گیاهان در برابر تنش های محیطی شده و نقش کلیدی در پایداری خاک-های شنی ایفا می کنند که در نتیجه باعث استقرار بهتر در این زمین ها می شوند (۳۳). با این وجود دانسته های اندکی در مورد توانایی همزیستی قارچ میکوریز با گیاهان تاغ و آتریپلکس و کارایی این قارچ برای افزایش مقاومت این گیاهان در شرایط تنش خشکی و شوری و همچنین پیامدهای آن بر آب قابل استفاده گیاه وجود دارد. بدین منظور در این پژوهش مقدار کارایی دو گونه قارچ گلوموس موسه/آ و گلوموس جیسپورم در تلقیح با گونه گیاهی تاغ سیاه (*Haloxylon ammodendron*) و آتریپلکس کانسس (*Atriplex canescens*) بر آب قابل استفاده خاک و غلظت گلو مالین مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مطالعاتی

این پژوهش در ایستگاه بیابان زدایی پلنگ آباد واقع در دشت رودخانه شور استان البرز در طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ۴ ثانیه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه و ۳۴ ثانیه عرض شمالی انجام شد. رده بندی خاک منطقه مورد بررسی Typical Haplocalcid و ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی، میانگین دمای منطقه ۱۵/۵ درجه سلسیوس است. میانگین بارش سالیانه در منطقه مورد بررسی برابر ۱۶۸ میلی متر است (۳۲). خاک مورد استفاده در این آزمایش از لایه ۰-۶۰ سانتی متری خاک برداشت شد.

طرح آزمایشی

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو

خاک، ابتدا با استفاده از سیلندر، نمونه‌های دست‌نخورده از ناحیه ریزوسفر برداشته شد. سیلندرها به مدت ۲۴ ساعت از قسمت زیر اشباع شدند. سپس مقدار رطوبت در مکش‌های ماتریک ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر با دستگاه جعبه شن (۱۷) و مقدار رطوبت در مکش‌های ماتریک ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۸۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد (۳۴). مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از معادله ون‌گنوختن-معلم و به کمک ابزار Excel Solver صورت گرفت (۴۱):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s + \theta_r) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-\left(\frac{1}{n} - 1 \right)} \quad (2)$$

در این رابطه، θ رطوبت حجمی خاک ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)، h مکش ماتریک (cm)، θ_s و θ_r به‌ترتیب رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)، α مرتبط با عکس مکش ماتریک در نقطه عطف (cm^{-1}) و n شاخص توزیع اندازه منافذ خاک (-) است.

مقاومت فروروی خاک در نمونه‌های دست‌نخورده در مکش‌های ماتریک ۴۰ سانتی‌متر و بیشتر پس از تعادل، با استفاده از دستگاه تک‌محوری و با ریزفروسنجی با قطر قاعده مخروط برابر ۲/۵ میلی‌متر و زاویه مخروط برابر ۳۰ درجه اندازه‌گیری شد (۱۴). چگالی ظاهری خاک نیز برای هر سیلندر اندازه‌گیری شد. مقادیر مقاومت فروروی در برابر رطوبت و چگالی ظاهری با استفاده از مدل بوسچر (۱۶) مدل‌سازی شد (معادله‌های ۳ و ۴):

$$\theta = \exp(\alpha + \beta D_b) h^\delta \quad (3)$$

$$SR = D\theta^e D_b^f \quad (4)$$

در این رابطه θ رطوبت حجمی ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)، h مکش ماتریک خاک (cm)، D_b چگالی ظاهری (g cm^{-3})، α ، β و δ پارامترهای مدل داسیلو و همکاران (۱۵)، SR مقاومت فروروی خاک (MPa)، e ، d و f ضرایب مدل بوسچر (۱۶) هستند. آب قابل دسترس گیاه (PAW) از تفاضل مقدار آب در نقطه FC (مکش ماتریک ۳۳۰ سانتی‌متر) و نقطه PWP (مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد (۷).

های مشاهداتی و روش غیرمستقیم با استفاده از رابطه زیر استفاده شد:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (1)$$

ET_c تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر (mm)، K_c ضریب گیاهی ($0.32 - 0.34$) و ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm) است. برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع از معادله فائو-پنمن-مانتیث استفاده شد (۲).

تجزیه‌های آزمایشگاهی

پس از گذشت یک سال از اعمال تیمارها، گیاهان برداشت شدند. سپس درصد کلونیزاسیون قارچ با ریشه گیاه، ماده آلی، گلومالین کل و آزاد، و مقادیر PAW و LLWR با استفاده از روش‌های زیر اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

درصد ماده آلی خاک به روش والکی-بلک (۵۱) اندازه‌گیری شد. غلظت گلومالین آزاد و کل به روش راییت و آپداهایا (۵۴) اندازه‌گیری شد. در این روش برای اندازه‌گیری گلومالین آزاد، ابتدا خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متری خاک جدا شد. سپس عصاره‌گیری از آن‌ها به کمک محلول سیترات سدیم ۲۰ میلی‌مولار در pH برابر ۷ به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو و در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس صورت گرفت. برای اندازه‌گیری گلومالین کل نیز، ابتدا خاکدانه‌های ۱-۵ میلی‌متری خاک جدا شد. سپس عصاره‌گیری از خاک به وسیله محلول سیترات ۵۰ میلی‌مولار در pH برابر ۸ به مدت ۶۰ دقیقه در اتوکلاو و در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس انجام شد. عصاره‌گیری از گلومالین کل به روش فوق تا حذف شاخص رنگی مربوط به گلومالین تکرار شد. سپس غلظت پروتئین در هر دو عصاره تهیه شده، با استفاده از روش بردفورد اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه از روش کورمانیک و مک گرو (۳۶) با استفاده از فوشین اسیدی استفاده شد. اندام‌های قارچی با استریوسکوپ مشاهده شدند و درصد کلونیزاسیون به روش تقاطع خطوط شبکه تعیین شد (۲۶). برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی و مقاومت فروروی

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soil.

بافت	رطوبت اشباع	رسانایی الکتریکی	واکنش	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	گچ
Texture	Saturated water content (%v/v)	EC _e عصاره اشباع (dS m ⁻¹)	pH	Calcium carbonate equivalent (%)	Organic carbon (%)	N (%)	P (mg l ⁻¹)	K (mg l ⁻¹)	Gypsum (%)
Loam	38	7	8.2	16	0.04	0.004	3.5	188	1.5

کربن آلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر قارچ میکوریز، خشکی و برهم‌کنش قارچ و تنش خشکی و شوری و گونه گیاهی بر مقدار کربن آلی خاک (در سطح یک و پنج درصد) است. با مقایسه میانگین آثار برهم‌کنش، مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک (۰/۲۹ درصد) در تیمار همزیستی قارچ گلوموس جاسپوروم با آتریپلکس کانسس در سطوح مختلف شوری و خشکی حاصل شد (شکل ۱). بیش‌ترین افزایش کربن آلی خاک تحت کشت آتریپلکس، مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر و خشکی کم (MAD برابر ۵۰ درصد) و برابر ۶۵/۷ درصد (در مقایسه با تیمار شاهد) بود. در تیمار ترکیبی شوری ۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر و خشکی زیاد (MAD برابر ۸۰ درصد) نیز میزان افزایش کربن آلی در مقایسه با تیمار شاهد برابر ۳۱/۸ درصد بود (شکل ۱). در تاغ سیاه نیز بیش‌ترین افزایش میزان کربن آلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب برابر ۵۶ و ۴۸ درصد در همزیستی قارچ گلوموس موسه‌آ و گلوموس جاسپوروم در تیمار ترکیبی شوری ۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر و خشکی زیاد (MAD برابر ۸۰ درصد) مشاهده شد (شکل ۱).

در شوری ۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر، با افزایش تنش خشکی از ۵۰ به MAD ۸۰ درصد، درصد کربن آلی خاک در همزیستی هر دو قارچ (گلوموس موسه‌آ و گلوموس جاسپوروم) با هر دو گیاه (تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس) افزایش یافت. اما در شوری ۱۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر، این روند افزایش تنها در همزیستی قارچ گلوموس موسه‌آ با گیاهان مشاهده شد (شکل ۱). ژانگ و همکاران (۵۷) نشان دادند که تلقیح قارچ میکوریز باعث افزایش کربن آلی خاک در ناحیه رویزوسفر می‌شود.

برای تعیین آب قابل استفاده با روش حداقل محدودیت (LLWR)، حد بالایی LLWR، رطوبت در نقطه FC یا رطوبت نظیر تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد، هر کدام که کم‌تر باشد و حد پایینی LLWR، رطوبت در نقطه PWP یا رطوبت نظیر مقاومت فروری ۲ مگاپاسکال هر کدام که بیش‌تر باشد، در نظر گرفته شد (۱۸). مقدار گنجایش آب انتگرالی (IWC) نیز بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (۲۷):

$$IWC = \int_0^{\infty} (\prod_{i=1}^m w_i(h)) C(h) dh \quad (5)$$

که در آن $C(h)$ قدر مطلق شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک (cm^{-1})، و $w_i(h)$ توابع وزنی هستند که اثر محدودیت‌های فیزیکی مختلف را بر آب قابل استفاده به‌عنوان تابعی از مکش ماتریک خاک در نظر می‌گیرند. مقدار تابع وزنی هنگامی که محدودیت کامل در برابر جذب آب توسط گیاه وجود داشته باشد، برابر صفر و هنگامی که هیچ‌گونه محدودیتی برای جذب آب توسط گیاه وجود نداشته باشد، به یک می‌رسد. چگونگی محاسبه توابع وزنی توسط گرانولت و همکاران (۲۷) و عسگرزاده و همکاران (۷) ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به وسیله نرم‌افزار آماری SAS ۹.۲ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای قارچ، شوری، خشکی، گونه گیاهی و آثار برهم‌کنش آن‌ها بر درصد کربن آلی (SOC)، درصد کلونیزاسیون، گلومالین کل و آزاد و کمیت‌های آب قابل استفاده خاک (PAW، LLWR و IWC).

Table 2. Results of variance analysis of the effect of fungus, salinity, drought, plant species and their interactions on soil organic carbon (SOC) content, percentage of colonization, total and easily extractable glomalin and soil available water (PAW, LLWR and IWC).

IWC (cm ³ cm ⁻³)	LLWR (cm ³ cm ⁻³)	PAW (cm ³ cm ⁻³)	Easily extractable glomalin (μg g ⁻¹ soil)	Total glomalin (μg g ⁻¹ soil)	Percentage of colonization (%)	SOC (%)	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
2×10 ^{-3**}	2×10 ^{-3**}	0.003**	220.85**	505.9**	920.28**	1.3×10 ^{-3**}	2	F
3×10 ^{-3**}	2×10 ^{-3**}	0.006**	178.77**	1261.69**	16.53 ns	4×10 ^{-4ns}	1	S
5×10 ^{-3**}	2×10 ^{-4*}	1×10 ^{-5ns}	407.94**	1526.28**	413.28**	0.011**	1	D
7×10 ^{-3**}	2×10 ^{-3**}	0.002**	2.76ns	31.07ns	348.92 **	3×10 ^{-3ns}	1	P
3×10 ^{-3**}	2×10 ^{-3**}	0.002**	8.60**	5.27ns	41.072**	4.9×10 ^{-5ns}	2	F×S
2×10 ^{-4ns}	6×10 ^{-5ns}	1×10 ^{-4ns}	7.08**	95.18**	63.41 **	1×10 ^{-2**}	2	F×D
2×10 ^{-3**}	1×10 ^{-3**}	2×10 ^{-3**}	14.80**	34.27ns	157.53 **	2×10 ^{-3ns}	2	F×P
9×10 ^{-4**}	2×10 ^{-5ns}	4×10 ^{-4**}	0.32ns	47.69*	11.28 ns	5.9×10 ^{-3**}	1	S×D
2×10 ^{-3**}	4×10 ^{-3**}	6×10 ^{-4**}	7.14*	5.01ns	7.03 ns	1×10 ^{-4ns}	1	S×P
2×10 ^{-3**}	1×10 ^{-3**}	1.4×10 ^{-3**}	0.04ns	134.75**	92.28**	6×10 ^{-3*}	1	D×P
2×10 ^{-3**}	9×10 ^{-3**}	9×10 ^{-4**}	79.93**	182.94**	41.57**	7×10 ^{-3**}	2	F×D×S
9×10 ^{-4**}	1×10 ^{-3**}	2×10 ^{-3**}	0.51ns	50.07*	11.625 ns	6×10 ^{-3**}	2	F×S×P
2×10 ^{-3**}	2×10 ^{-4**}	4×10 ^{-4**}	3.29ns	69.08**	123.82 **	1×10 ^{-3**}	2	F×D×P
5×10 ^{-4*}	1×10 ^{-4*}	2×10 ^{-4*}	8.96*	96.61**	21.67 ns	5.3×10 ^{-7ns}	1	S×D×P
4×10 ^{-3**}	4×10 ^{-4**}	4×10 ^{-4**}	12.81*	33.59ns	52.50ns	4×10 ^{-3**}	2	F×D×S×P
1×10 ⁻⁴	3.5×10 ⁻⁵	4.26×10 ⁻⁵	1.17	12.10	15.38	1×10 ⁻³	48	Error
10.36	11.25	11.87	14.05	11.28	22.40	13.68		(%) CV

F (Fungus)، قارچ، S (Salinity)، شوری، D (Drought)، خشکی، P (Plant species) گونه گیاهی، Error: خطا، CV: ضریب تغییرات

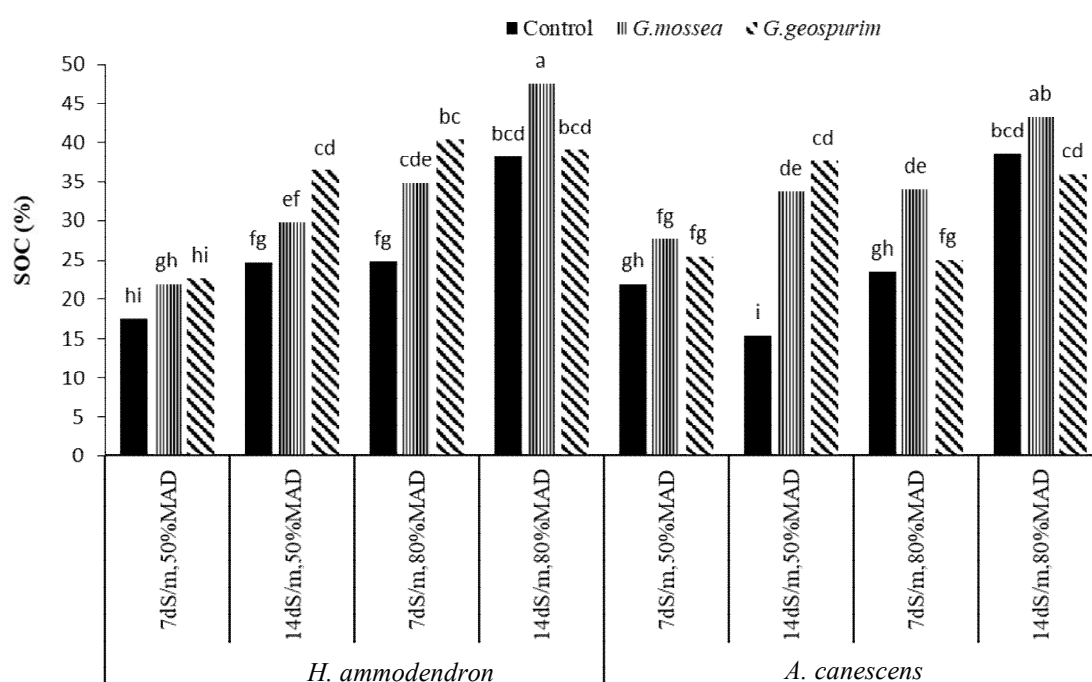
تیمارها بود (شکل ۲). به‌طور کلی درصد کلونیزاسیون به ۵ کلاس تقسیم می‌شود: خیلی زیاد (بیش‌تر از ۸۰ درصد)، زیاد (۶۰-۷۹ درصد)، متوسط (۴۰-۵۹ درصد)، کم (۲۰-۳۹ درصد) و خیلی کم (۱-۱۹ درصد) (۱۰). بنابراین براساس این طبقه بندی درصد کلونیزاسیون در تیمارهای مورد بررسی خیلی کم است.

بررسی اثر برهم‌کنش تیمارها نشان‌دهنده پاسخ متفاوت گونه‌های قارچ در سطوح مختلف خشکی و شوری است. در هر دو گیاه تاغ سیاه و آتریپلکس، در شوری ۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر، با افزایش تنش خشکی (از MAD ۵۰ به ۸۰ درصد) درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ گلوموس جیسپوروم افزایش یافت. این افزایش برای تاغ سیاه حدود ۳ برابر و برای آتریپلکس حدود ۲ برابر بود. در شوری ۱۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر با افزایش تنش خشکی، درصد کلونیزاسیون ریشه تاغ سیاه با قارچ گلوموس جیسپوروم تغییر چندانی نداشت اما در آتریپلکس ۲/۸ برابر کاهش یافت. بنابراین به‌نظر می‌رسد در

پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز نشان‌دهنده افزایش کربن آلی خاک در اثر تلقیح قارچ میکوریز بود. به‌عنوان مثال رن و همکاران (۴۵) در پژوهشی در زمینه اثر تلقیح قارچ میکوریز با گیاه ذرت در مناطق نیمه‌خشک، نشان دادند که تلقیح قارچ میکوریز باعث افزایش معنی‌دار درصد کربن آلی خاک به‌علت افزایش طول و مقدار هیف‌های تشکیل‌شده، مقدار گلومالین و زیئوده ریشه شد. در این پژوهش نیز وجود همبستگی مثبت بین درصد کربن آلی با درصد کلونیزاسیون، گلومالین کل و آزاد می‌تواند از دلایل افزایش درصد کربن آلی خاک باشد (جدول ۳).

درصد کلونیزاسیون

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر قارچ، خشکی، گونه گیاهی و اثر برهم‌کنش قارچ و خشکی و شوری و گونه گیاهی بر درصد کلونیزاسیون در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده درصد کلونیزاسیون صفر در تیمار شاهد (بدون قارچ) و ۲/۷ تا ۱۸ درصد در سایر



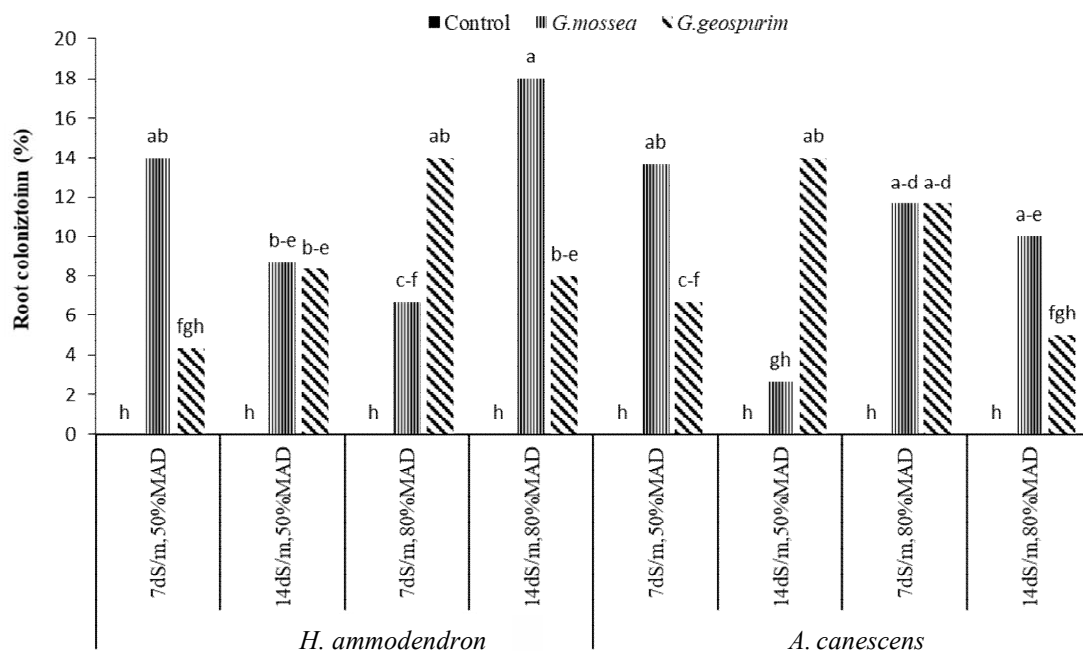
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای قارچ، شوری، خشکی و گونه گیاهی بر درصد کربن آلی خاک (SOC); میانگین های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند؛ *A. canescens* و *H. ammodendron* به ترتیب تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس را نشان می دهند.

Fig. 1. Mean comparisons of the effect of fungus, salinity, drought and plant species on soil organic carbon (SOC) content; Numbers with similar letters are not significantly different ($p < 0.05$).

جدول ۳. ماتریس همبستگی بین ویژگی های مورد اندازه گیری.

Table 3. Correlation matrix between the measured properties.

IWC	LLWR	PAW	Easily extractable glomalin	Total glomalin	Colonization	Soil organic carbon	
						1	کربن آلی Soil organic carbon
					1	-0.093	درصد کلونیزاسیون Colonization
				1	0.381*	0.301*	گلومالین کل Total glomalin
			1	0.765**	0.433**	0.412**	گلومالین آزاد Easily extractable glomalin
		1	0.487**	0.436**	0.219	0.244**	PAW
	1	0.984**	0.413**	0.362**	0.195	0.245*	LLWR
1	0.820**	0.756**	0.180	0.087	0.049	0.049	IWC



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای قارچ، شوری، خشکی و گونه گیاهی بر درصد کلونیزاسیون؛ میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند؛ *A. canescens* و *H. ammodendron* به ترتیب تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس را نشان می‌دهند.

Fig. 2. Mean comparisons of the effect of fungus, salinity, drought and plant species on colonization percentage; Numbers with similar letters are not significantly different ($p < 0.05$).

درستکار و همکاران (۲۱) کاهش تشکیل کلونی با افزایش شوری در ریشه تلقیح‌شده با گونه گلوموس موسه/آ را گزارش کردند. تدین و سلطانیان (۵۰) نیز کاهش معنی‌دار مقدار کلونیزاسیون ریشه با قارچ میکوریز آریسکولار را با افزایش تنش شوری گزارش کردند و آن را به کاهش در رشد هیف نسبت دادند زیرا رشد هیف تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد. بینگ-نینگ و همکاران (۵۶) گزارش کردند که با افزایش طول دوره خشک‌شدن خاک از صفر به ۴، ۸ و ۱۲ روز، درصد کلونیزاسیون قارچ گلوموس موسه/آ از ۵۰/۱ به ۴/۵ درصد کاهش یافته است. اما شاه‌حسینی و همکاران (۴۹) و علی‌آبادی فراهانی و ولدآبادی (۳) مشاهده کردند که تنش خشکی سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه در ذرت و گشنیز می‌شود.

به‌طور کلی درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریز بستگی به گیاه میزبان (صفات ریختی، ژنتیکی و

سطوح کم‌تر شوری، افزایش تنش خشکی باعث افزایش درصد کلونیزاسیون گلوموس جیسپوروم می‌شود. این نتیجه برای قارچ گلوموس موسه/آ کاملاً عکس است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در شوری ۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر، با افزایش تنش خشکی (از MAD ۵۰ به ۸۰ درصد) درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ گلوموس موسه/آ در هر دو گیاه تاغ سیاه و آتریپلکس کاهش معنی‌دار یافت. اما در شوری ۱۴ میلی-موس بر سانتی‌متر با افزایش تنش خشکی، درصد کلونیزاسیون در هر دو گیاه به بیش‌تر از دو برابر افزایش یافت (شکل ۲). بنابراین به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، در سطوح کم شوری استفاده از قارچ گلوموس جیسپوروم و در سطوح زیاد شوری استفاده از قارچ گلوموس موسه/آ به افزایش درصد کلونیزاسیون کمک می‌کند.

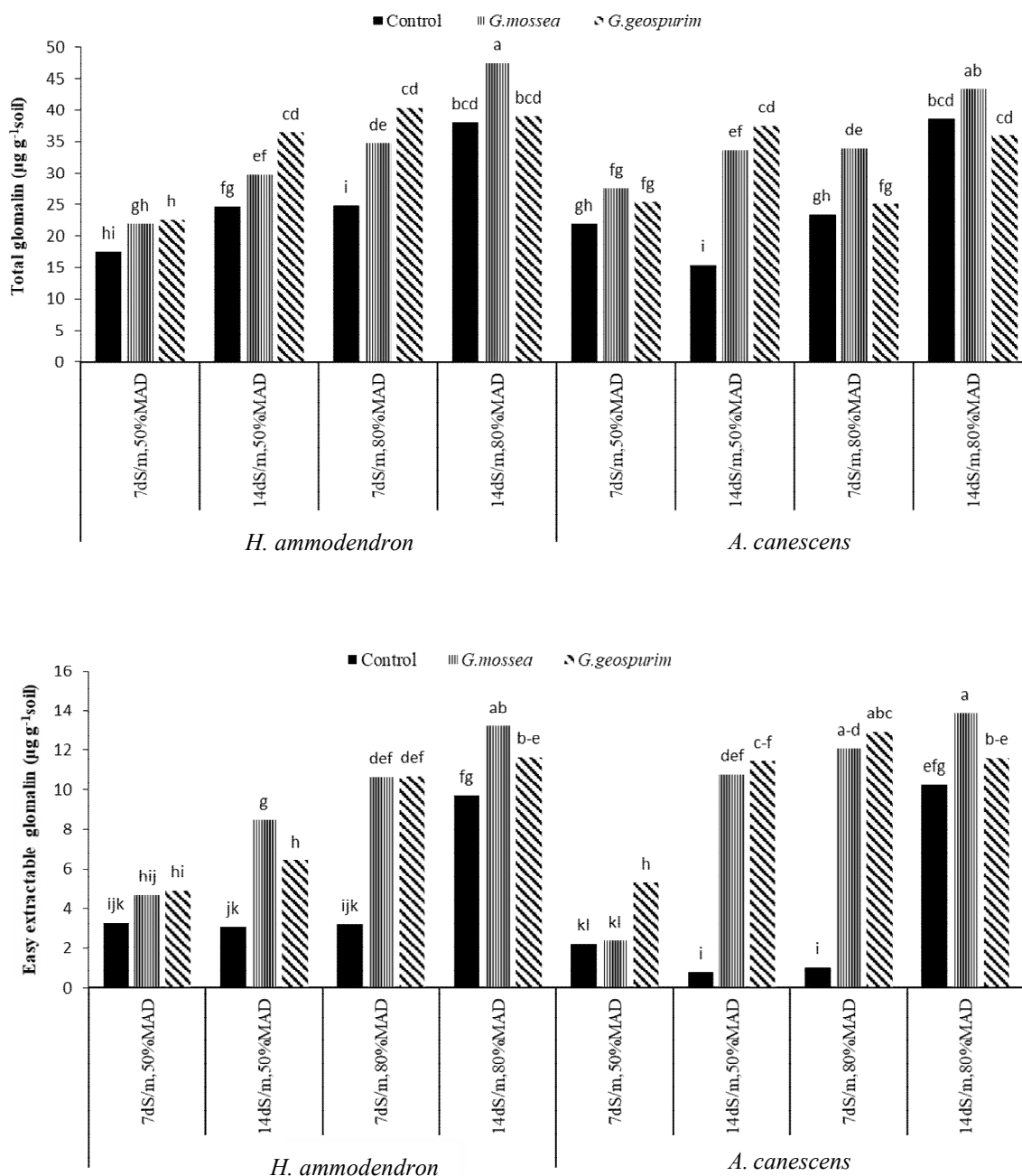
نتایج سایر پژوهشگران نیز نشان‌دهنده پاسخ‌های متفاوت قارچ به تنش‌های خشکی و شوری است. به‌عنوان مثال

درصدهای کلونیزاسیون مختلفی در این گونه‌ها گزارش شد. درصد کلونیزاسیون در گونه‌های *A. patagonica* و *S. divaricata* خیلی کم تا کم (به ترتیب ۳۱-۵ و ۳۷-۲ درصد) و در گونه‌های *H. ritteriana* و *A. argentina* خیلی کم تا متوسط (به ترتیب ۴۵-۰ و ۵۰-۴ درصد) گزارش شد.

گلومالین کل و آزاد

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار قارچ، شوری، خشکی و آثار برهم‌کنش آن‌ها بر گلومالین کل و آزاد است (جدول ۲). بررسی اثر برهم‌کنش تیمارها نشان داد که با افزایش تنش شوری و خشکی، مقدار گلومالین کل و آزاد در اثر همزیستی هر دو قارچ با هر دو گیاه افزایش یافت (شکل ۳). احتمالاً انتقال بیش‌تر کربن در شرایط شور به ریشه در حضور قارچ‌ها به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های سازگاری در این شرایط، سبب تولید بیش‌تر گلومالین به‌عنوان یک گلیکوپروتئین در سطوح بالای شوری می‌شود (۳۹). علت دیگر افزایش غلظت گلومالین با افزایش سطح شوری، این‌گونه بیان شده است که در شوری‌های بالا، سلول‌ها نیاز به جذب انتخابی برای محافظت در برابر یون سدیم دارند؛ قارچ میکوریز نیز به کمک گلومالین دارای توانایی جذب انتخابی می‌شود (۲۸). احمدی قشلاقی و همکاران (۱) با بررسی تأثیر تنش شوری بر تولید گلومالین، افزایش معنی‌دار تولید گلومالین در دو سطح شوری ۴ و ۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر در سه گونه قارچی *G. versiforme*، *G. intraradices* و *Glomus etunicatum* را در مقایسه با تیمار شاهد گزارش کردند. بینگ-نینگ و همکاران (۵۶) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر تولید گلومالین، نشان دادند که طول دوره تنش خشکی مستقیماً بر غلظت گلومالین کل اثر گذاشت. به‌طوری که با افزایش طول دوره خشک‌شدن خاک از صفر به ۴، ۸ و ۱۲ روز، غلظت گلومالین کل در اثر همزیستی قارچ موسه‌آ افزایش یافت، درحالی که غلظت گلومالین آزاد تنها تا روز هشتم از تنش خشکی افزایش یافته و پس از آن روند کاهشی داشته است.

فنولوژیک گونه گیاهی، وابستگی میکوریزایی و گونه‌های قارچ دارد و حتی جدایه‌های یک گونه که از مناطق مختلف جمع‌آوری شده باشند، از نظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند (۱۱ و ۲۲). میزان کلونیزاسیون ریشه و تراکم اسپورهای قارچ‌های میکوریز در میان خانواده‌های مختلف گیاهی متفاوت است. با توجه به اینکه درختچه‌های تاغ و آتریپلکس کانسس دارای ریشه‌های موئین دائمی مناسب کمی بوده و از آنجا که آلودگی میکوریزی با استفاده از همین ریشه‌های موئین انجام می‌شود، بنابراین درصد کلونیزاسیون کمی در این گیاهان مشاهده شد. اصغری و همکاران (۸) در پژوهشی در استرالیا اثر تلقیح قارچ میکوریز با ریشه گیاه آتریپلکس را در شرایط گلخانه و مزرعه بررسی کردند. نتایج این پژوهش‌گران نشان داد که درصد کلونیزاسیون در گیاهان آتریپلکس کشت‌شده در گلدان کم بوده اما در آتریپلکس‌های کشت‌شده در شرایط مزرعه بیش‌تر (۳۰-۱۰ درصد) است. این پژوهشگران علت درصد کم کلونیزاسیون در آتریپلکس کشت‌شده در گلدان را به سن کم گیاه نسبت دادند. به نظر می‌رسد کلونیزاسیون آتریپلکس با میکوریز بسیار آهسته انجام می‌شود؛ بنابراین سن گیاه نقش مهمی در درصد کلونیزاسیون دارد. در آزمایش‌های گلدانی چون معمولاً از نهال استفاده شده و طول دوره آزمایش کوتاه است، درصد کلونیزاسیون کم است. اما در پژوهش‌های مزرعه‌ای، گیاهان چندساله وجود دارد که فرصت زیادی برای تشکیل کلونی داشته‌اند و به همین درصد کلونیزاسیون در آنها زیاد است. نتایج این پژوهشگران نشان داد با وجود درصد کلونیزاسیون کم در آتریپلکس‌های کشت‌شده در گلدان، افزایش معنی‌داری در رشد آتریپلکس و جذب عناصر غذایی توسط گیاه وجود دارد که نشان‌دهنده اثر مثبت تلقیح قارچ میکوریز با گیاه آتریپلکس است. بسرا و همکاران (۱۳) نیز برای نخستین بار همزیستی قارچ میکوریز با چهار گونه آتریپلکس (*A. patagonica*، *A. argentina*، *H. ritteriana* و *S. divaricata*) را در دو خاک شور در مرکز آرژانتین گزارش کردند. در هر چهار گونه، هیف‌ها و وزیکول‌های درون سلولی میکوریز مشاهده شد و



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای قارچ، شوری، خشکی و گونه گیاهی بر غلظت گلومالین کل و آزاد؛ میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند؛ *A. canescens* و *H. ammodendron* به ترتیب تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس را نشان می‌دهند.

Fig. 3. Mean comparisons of the effect of fungus, salinity, drought and plant species on total and easily extractable glomalin concentration; Numbers with similar letters are not significantly different ($p < 0.05$).

درصد) مشاهده شد. غلظت گلومالین کل در تیمار تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۲۴/۷ و ۱۲/۲ درصد و غلظت گلومالین آزاد در تیمار تاغ سیاه و

بیشترین غلظت گلومالین کل و آزاد در تیمار همزیستی قارچ گلوموس موسه/آ با تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس در شوری ۱۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر و خشکی شدید (MAD برابر ۸۰

آتریپلکس کانسس در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۳۵/۴ و ۳۶ درصد افزایش یافت (شکل ۳). وجود همبستگی مثبت معنی دار بین درصد کلونیزاسیون و غلظت گلومالین کل و آزاد نشان دهنده تأثیر قارچ در تولید گلومالین است (جدول ۳). نتایج ژانگ و همکاران (۵۷) نیز نشان دهنده وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین گلومالین کل و آزاد با درصد کلونیزاسیون و ماده آلی خاک است.

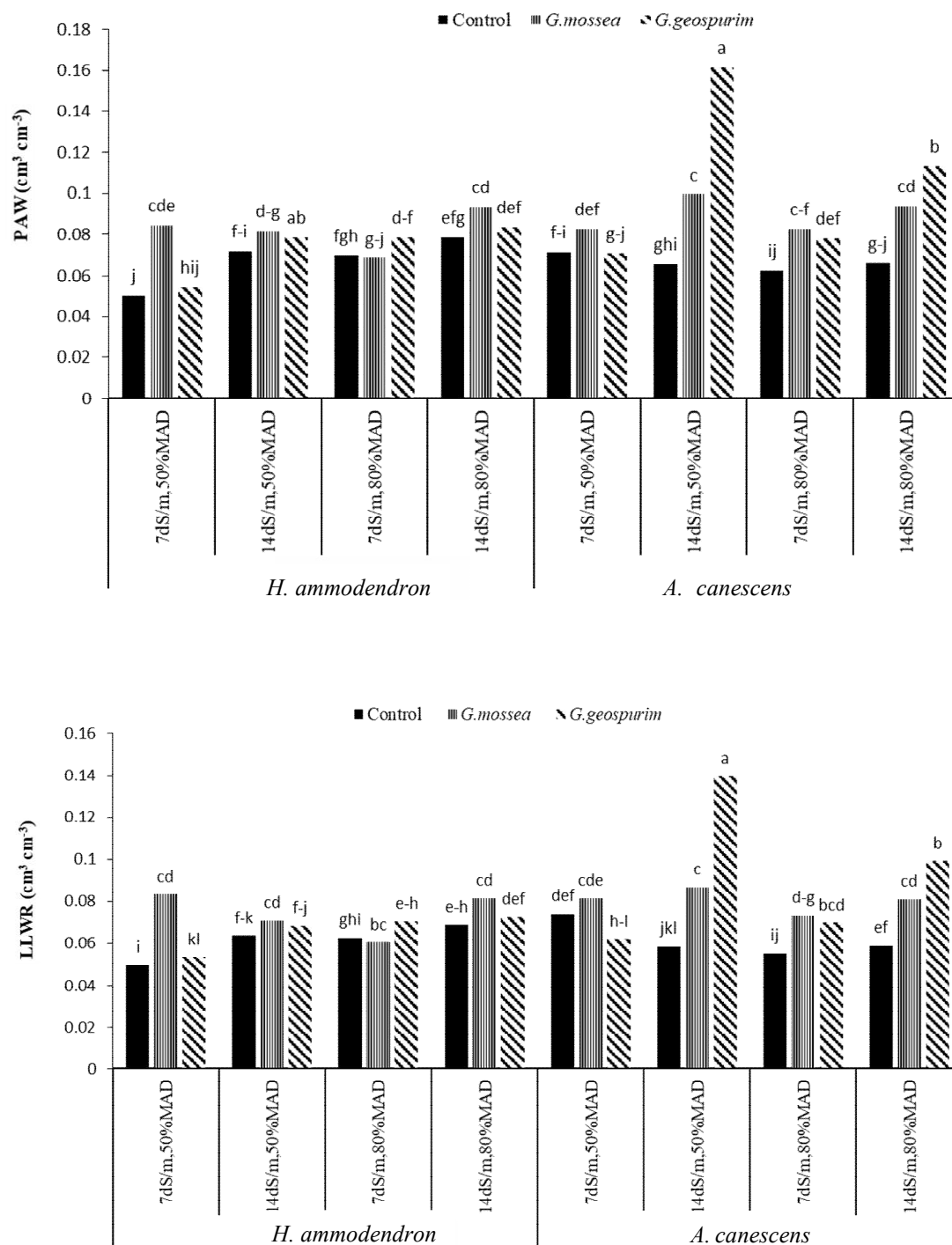
آب قابل دسترس گیاه (PAW)، دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR) و گنجایش آب انتگرالی (IWC)

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده اثر معنی دار قارچ، شوری، گونه گیاهی و آثار برهم کنش آن‌ها (سطح ۵ درصد) بر کمیت‌های آب قابل استفاده خاک (یعنی PAW، LLWR و IWC) است (جدول ۲). مقادیر میانگین PAW، LLWR و IWC در تیمارهای همزیستی دو قارچ (گلموس موسه/ و گلموس جسیپوروم) با هر دو گیاه (تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس) در مقایسه با تیمار شاهد (بدون قارچ) و در همه سطوح خشکی و شوری افزایش معنی داری نشان دادند (شکل ۴). بررسی اثر برهم کنش همه تیمارها نشان داد که بیش‌ترین افزایش مقادیر PAW و LLWR در تیمار همزیستی قارچ گلموس جسیپوروم با آتریپلکس کانسس در شوری ۱۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر و دو سطح خشکی ایجاد شده است (شکل ۴). مقدار افزایش PAW در سطح MAD برابر ۵۰٪، ۱۴۷ درصد و در سطح MAD برابر ۸۰٪، ۷۳/۸ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد (بدون قارچ) است. همچنین مقدار این افزایش برای LLWR در سطح MAD برابر ۵۰٪، ۱۴۱/۳ درصد و در سطح MAD برابر ۸۰٪، ۶۸/۳ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد (بدون قارچ) است. بیش‌ترین افزایش در مقدار IWC نیز در تیمار همزیستی قارچ گلموس جسیپوروم با آتریپلکس کانسس در تیمار ترکیبی شوری ۱۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر و سطح خشکی MAD برابر ۵۰٪، مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۸۵/۲ درصد بود (شکل ۴).

نتایج همبستگی، وجود رابطه مثبت و معنی دار (سطح یک

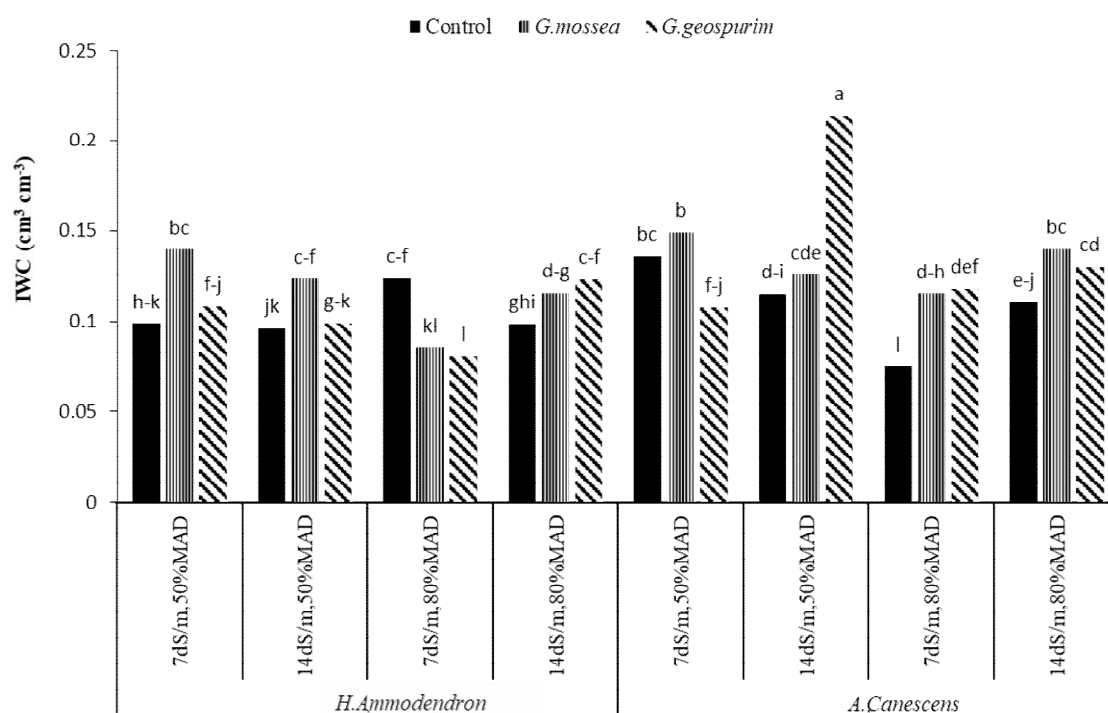
درصد) بین PAW با کربن آلی، گلومالین کل و آزاد را نشان داد (جدول ۳). این نتیجه با نتایج هادسون (۳۰) مبنی بر وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین PAW و کربن آلی در بافت‌های خاک لوم سیلت و شنی، همخوانی دارد. افزایش ماده آلی خاک به‌طور مستقیم با افزایش توانایی خاک در جذب و نگهداشت آب در خاک (۳۰) و به‌طور غیرمستقیم با تأثیر بر خاکدانه‌سازی (ساختمان) و توزیع اندازه منافذ خاک موجب افزایش گنجایش نگهداری آب در خاک و PAW می‌شود (۴۰). ریلیگ (۴۵) نیز وجود رابطه مثبت و معنی دار بین مقدار پروتئین خاک و خاکدانه‌سازی و PAW را گزارش کرده و بیان کرد درون خاکدانه‌ها منافذی با اندازه‌های مشخص وجود دارد که مانع از خروج آب در اثر نیروی ثقل می‌شوند اما آب موجود در این منافذ، توسط گیاهان قابل استفاده است. قارچ میکوریز آربسکولار با افزایش خاکدانه‌سازی باعث افزایش این منافذ و در نتیجه افزایش مقدار رطوبت در محدوده FC و PWP می‌شود.

از طرف دیگر نتایج همبستگی، وجود رابطه مثبت و معنی‌داری (سطح یک درصد) بین LLWR با کربن آلی، گلومالینکل و آزاد را نشان داد (جدول ۳). گلومالین توسط قارچ میکوریز آربسکولار در درون دیواره هیف تولید شده و زمانی که هیف پوسیده و متلاشی شد، گلومالین در خاک آزاد می‌شود. این ماده با ذرات خاک تشکیل پیوند داده، خاکدانه‌سازی را افزایش می‌دهد و بر ساختمان خاک، بهبود وضعیت تخلخل و گنجایش نگهداشت آب در خاک اثر می‌گذارد (۴۶). گلومالین از طریق چسباندن ذرات به هم و تشکیل و پایداری خاکدانه‌های درشت^۱ ($> 0.25 \text{ mm}$)، نقش مهمی در بهبود ساختمان خاک دارد. نقش گلومالین در شرایط تنش خشکی (۵۵) مؤثرتر از تنش شوری (۳۵) است. نتایج پژوهش گلازکا و همکاران (۲۴) نیز نشان داد که کیفیت فیزیکی خاک‌ها رابطه نزدیکی با مقدار گلومالین کل و آزاد خاک دارد.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای قارچ، شوری، خشکی و گونه گیاهی بر PAW، LLWR و IWC؛ میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند؛ *A. canescens* و *H. ammodendron* به ترتیب تاغ سیاه و آترپیکس کانسس را نشان می‌دهند.

Fig. 4. Mean comparisons of the effect of fungus, salinity, drought and plant species on PAW, LLWR and IWC; Numbers with similar letters are not significantly different ($p < 0.05$).



ادامه شکل ۴.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان دهنده افزایش مقدار کربن آلی خاک، تولید گلومالین و مقادیر آب قابل استفاده خاک به هر سه روش (PAW، LLWR و IWC) در تیمارهای تلقیح قارچ‌های گلوموس موسه‌آ و گلوموس جیسپوروم با ریشه گیاهان تاغ سیاه و آتریپلکس کانسس در شرایط تنش خشکی و شوری است. اما با توجه به درصد کم کلونیزاسیون ریشه این گیاهان با قارچ میکوریز، نمی‌توان با قطعیت علت افزایش این ویژگی‌ها را به کاربرد قارچ میکوریز نسبت داد. لذا پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بیش‌تری برای تأیید همزیستی میکوریز با گونه‌های مختلف آتریپلکس کانسس و تاغ سیاه در شرایط مزرعه و در درازمدت انجام شود و وابستگی گونه‌های مختلف آتریپلکس و تاغ به همزیستی میکوریز بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود برای شناسایی قارچ‌های میکوریز، علاوه بر روش‌های ریخت-شناسی مانند شناسایی ساختارهای میکوریزی و بررسی ساختار سلولی اسپور، از روش‌های مولکولی و مارکرهای بیوشیمیایی

همان‌طور که انتظار می‌رود، نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌داری (سطح یک درصد) بین IWC، LLWR و PAW است (جدول ۳). مقدار این همبستگی بین IWC و LLWR (۰/۸۲) بیش‌تر از همبستگی بین IWC و PAW (۰/۷۵۶) بود. این یافته با نتایج عسگرزاده و همکاران (۷) هماهنگی دارد. نکته دیگر این است که در این پژوهش مقادیر آب قابل استفاده تعیین شده به روش IWC در تیمارهای مختلف ۲-۱/۱ برابر بیش‌تر از مقادیر LLWR بود. اما مقادیر LLWR همخوانی بیش‌تری با PAW داشت و مقدار آن در تیمارهای مختلف ۱/۰۳-۰/۸۶ برابر مقادیر PAW بود. نتایج باپیری و همکاران (۱۰) نیز نشان‌دهنده دو برابر بودن تقریبی مقادیر آب قابل استفاده تعیین شده به روش IWC در مقایسه با مقادیر LLWR بود. IWC و LLWR در مقایسه با PAW، حساسیت بیش‌تری به تغییرات ساختمان خاک دارند و اعتقاد بر این است که IWC بهتر رفتار پدیده‌های طبیعی در خاک را منعکس می‌کند؛ اما دانش ما از عوامل محدودکننده آن هنوز کامل نیست (۱۸).

استفاده شود. با توجه به مشکل کمبود مقدار ماده آلی و آب قابل استفاده خاک در مناطق خشک و نیمه خشک، انجام چنین پژوهش‌هایی می‌تواند ارائه‌دهنده راهکاری برای بهبود ویژگی‌های محیط رشد گیاهان در این مناطق باشد.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi Ghashlaghi, A., Aliasgharzadeh, N., Tavasoli, A., 2014. Effects of NaCl salinity levels on the glomalin produced by glomerales in symbiosis with corn plant. *Journal of Water and Soil* 28(1): 92–100. (in Persian with English abstract)
2. Alaei, J., Kouchakzade, M., Sharifi, F., 2019. Estimation water requirement and irrigation scheduling of the tree *Elaeagnus angustifolia* L. as urban green space. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6(13): 1869–1878. (in Persian with English abstract)
3. Aliabadi Farahani, R., Valadabadi, S.A.R., 2016. The role of arbuscular mycorrhizal fungus on coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)* 1: 80–69. (in Persian with English abstract)
4. Allen, M.F., 1983. Formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Atriplex gardneri* (*Chenopodiaceae*): seasonal response in a cold desert. *Mycologia* 75: 773–776.
5. Allen, M.F., Allen, E.B., 1990. Carbon source of VA mycorrhizal fungi associated with *Chenopodiaceae* from a semiarid shrub steppe. *Ecology* 71: 2019–2021.
6. Asai, T., 1934. Über das vorkommen und die bedeutung der wurzelpize in den Landpflanzen. *Journal of Japanese Botany* 5: 107–150.
7. Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A., Dexter, A.R., 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and Soil* 335: 229–244.
8. Asghari, H.R., Marschner, P., Smith, S.E., Smith, F.A., 2005. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. *Plant and Soil* 273: 245–256.
9. Avis, T.J., Gravel, V., Antoun, H., Tweddell, R.J., 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology and Biochemistry* 40(7): 1733–1740.
10. Bapiri, D., Khodaverdiloo, H., Barin, M., Ghoosta, Y., 2020. Changes in quality of soils with different moisture regimes as affected by cultivation: with an emphasis on soil physical quality. *Journal of Water and Soil Resource Conservation* 9(2): 49–69. (in Persian with English abstract)
11. Barin, M., Aliasgharzadeh, N., Samadi, V., 2006. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the yield and absorption of nutrients in tomato under salinity from NaCl and mixtures of salts. *Journal of Soil and Water Sciences* 20(1): 94–120. (in Persian with English abstract)
12. Bárzana, G., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2015. Localized and non-localized effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on accumulation of osmolytes and aquaporins and on antioxidant systems in maize plants subjected to total or partial root drying. *Plant, Cell and Environment* 38: 1613–1627.
13. Becerra, A., Bartoloni, N., Cofré, N., Soteras, F., Cabello, M., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils: vertical distribution at different soil depth. *Brazilian Journal of Microbiology* 45(2): 585–594.
14. Bengough, A.G., Campbell, D.J., O'Sullivan, M.F., 2001. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: Smith, K.A., Mullins, C.E. (Eds.), *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. Marcel Dekker Inc, New York, pp. 377–405.
15. Bompadre, M.J., Silvani, V.A., Bidondo, L.F., de Molina, M.D.C.R., Colombo, R.P., Pardo, A.G., Godeasa, A.M., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate oxidative stress in pomegranate plants growing under different irrigation conditions. *Botany* 92: 187–193.
16. Busscher, W., 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 33: 519–524.
17. Clement, C., 1966. A simple and reliable tension table. *Journal of Soil Science* 17(1): 133–135.
18. da Silva, A.P., Kay, B.D., Perfect, E., 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal* 58(6): 1775–1781.
19. De Barros Silva Leite, M.C., Dos Santos Freire, M.B.G., De Queiroz, J.V.J., Maia, L.C., Duda, G.P., De Medeiros, E.V., 2020. Mycorrhizal *Atriplex nummularia* promote revegetation and shifts in microbial properties in saline Brazilian soil. *Applied Soil Ecology* 153: 35–74.

20. Dhillon, S.S., Vidiella, P.E., Aguilera, L.E., Friesse, S.E., De Leon, E., Zak, J.C., 1995. Mycorrhizal plant and fungi in the fog free Pacific coastal desert of Chile. *Mycorrhiza* 5: 381–386.
21. Dorostkar, V., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Mosaddeghi, M. R., Rejali, F., 2015. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on soil glomalin and carbohydrate concentration at different salinity levels. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 19(73): 11–22. (in Persian with English abstract)
22. Eom, A.H., David, C., Hartnett, A., Gail, W.T., Wilson, C., 2000. Host plant species effects on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tall grass prairie. *Oecologia* 122: 435–444.
23. Farzaneh, H., Ali Ahmad Karvi, S., Jalili, A., Matiniazadeh, M., Teymouri, M., 2007. Coexistence study of mycorrhizal fungi with *Haloxylon sp.* in Sabzevar plantation forests. *Research and Construction in Natural Resources* 76: 121–113. (in Persian with English abstract)
24. Gałazka, A., Niedzwiecki, J., Grzadziel, J., Gawryjolek, K., 2020. Evaluation of changes in glomalin-related soil proteins (GRSP) content, microbial diversity and physical properties depending on the type of soil as the important biotic determinants of soil quality. *Agronomy* 10: 1–26.
25. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., Khodaei-Joghan, A., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management* 117: 106–114.
26. Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytology* 84: 489–500.
27. Groenevelt, P.H., Grant, C.D., Semetsa, S., 2001. A new procedure to determine soil water availability. *Australian Journal of Soil Research* 39: 577–598.
28. Hammer, E.C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P.A., Wallander, H., 2011. Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity. *Mycorrhiza* 21: 117–129.
29. Hirrel, M.C., Mehravaran, H., Gerdemann, J.W., 1978. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in the *Chenopodiaceae* and *Cruciferae*: do they occur? *Canadian Journal of Botany* 56: 2813–2817.
30. Hudson, B.D., 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49: 189–194.
31. Jafari, M., Tavili, A., 2013. Revitalize the Dry and Desert Environment. Second ed., Tehran University press, Tehran.
32. Javadi, SH., Zehtabian, GH., Khosravi, H., Abolhasani, A., 2020. Assessing the impact of land use change on soil physical and chemical characteristics (case study: Eshtehard, Alborz Province). *Journal of Rangeland* 14(2): 208–220.
33. Jeffries, P., Barea, J.M., 2001. Arbuscular mycorrhiza-a key component of sustainable plant–soil ecosystems. In: Esser, K., Hock, B. (Eds.), *The Mycota. IX Fungal Associations*, Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin, pp. 95–113.
34. Klute, A., 1986. Water retention: laboratory methods. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agron Monogr. 9*, ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 635–662.
35. Kohler, J., Caravaca, F., Roldan, A., 2009. Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa* grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. *Applied Soil Ecology* 42: 160–165.
36. Kormanic, P.P., McGraw, A.C., 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenck, N.C. (Ed.), *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, pp. 37–45.
37. Lotfollahi, A.S., Bolandnazar, P., Asgharzade, A., Khoshrou, B., Siami, A., 2021. The effect of inoculation of arbuscular and mycorrhizal mycorrhizal fungi on growth and phosphorus uptake of coriander. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 31(1): 101–87. (in Persian with English abstract)
38. Madani, A., Lakzian, A., Haghnia, G.H., Khorasani, R., 2012. The effect of cadmium, zinc and phosphorus on glomalin production by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in symbiosis with white clover. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)* 26(4): 864–872. (in Persian with English abstract)
39. Miransari, M., Bahrami, H. A., Rejali, F., Malakouti, M.J., 2008. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 1197–1206.
40. Olness, A., Archer, D., 2005. Effect of organic carbon on available water in soil. *Soil Science* 170: 90–101.
41. Pierson, F.B., Mulla, D.J., 1989. An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. *Soil Science Society of America Journal* 53: 1825–1831.
42. Plenchettea, C., Duponnois, R., 2005. Growth response of the saltbush *Atriplex nummularia* L. to inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Journal of Arid Environments* 61: 535–540.
43. Rad, M., 2000. Identification and classification of mycorrhizal fungi coexisting with hawthorn in Yazd province. Forest and Rangeland Research Institute, 43 pages.

44. Regelink, I.C., Stoof, C.R., Rousseva, S., Weng, L., Lair, G.J., Kram, P., Nikolaidis, N.P., Kercheva, M., Banwart, S., Comans, R.N.J., 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma* 247: 24–37.
45. Ren, A.T., Bede, S.M., Li, J.Y., Zhou, R., Zhang, X.Ch., Ma, M.Sh., Xiong, Y.C., 2020. Soil labile organic carbon sequestration is tightly correlated with the abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in semiarid maize fields. *Land Degradation and Development* 32(3): 1224–1236.
46. Rillig, M.C., 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 355–363.
47. Sabeti, H., 1976. Trees and Shrubs of Iran. Agricultural and Natural Resources Organization Publication. 810 pages.
48. Sengupta, A., Chaudhuri, S., 1990. Vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) in pioneer salt marsh plants of the Ganges River delta in West Bengal (India). *Plant and Soil* 122: 111–113.
49. Shah Hosseini, Z., Gholami, A., Asghari, H.R., 2013. The effect of mycorrhizal symbiosis on reducing the effects of dehydration stress, growth indices and corn yield (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Science* 2: 260–249.
50. Tadayyon, A., Soltanian, M., 2016. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on root colonization and phosphorus uptake of linseed (*Linum usitatissimum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Process and Function* 5 (9): 147–156.
51. Walkley, A., Black I. A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Science* 37(1): 29–38.
52. Wickens, G.E., Goodin, J.R., Field, D.V., 1989. Plant for Arid Lands. Second ed., Academic Division of Unwin Hyman Ltd, Deutsch.
53. Williams, S.E., Wollum, A.G., Aldon, F.E., 1974. Growth of *Atriplex canescens* (Pursh.) Nutt. improved by formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Soil Science Society of America Proceedings* 38: 962–965.
54. Wright, S.F., Upadhyaya, A., 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by haphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198(1): 97–107.
55. Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N., 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology* 44: 122–128.
56. Ying-Ning, Z., Srivastava, A.K., Qiang-Sheng, W., Yong-Ming, H., 2014. Glomalin-related soil protein and water relations in mycorrhizal citrus (*Citrus tangerina*) during soil water deficit. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(8): 1103–1114.
57. Zhang, H., Liu, T., Wang, Y., Tang, M., 2019. Exogenous arbuscular mycorrhizal fungi increase soil organic carbon and change microbial community in poplar rhizosphere. *Plant, Soil and Environment* 65(3): 152–158.



Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Symbiosis with *Haloxylon ammodendron* and *Atriplex canescens* on Soil Available Water and Glomalin Concentration under Drought and Salinity Stresses

M.H. Noshad¹, E. Chavoshi^{*1}, M.R. Mosaddeghi², V. Dorostkar³ and F. Hosseini²

(Received: 26 October 2021; Accepted: 23 January 2021)

Abstract

This research was performed to determine the effect of inoculation of two species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on soil available water (SAW) and glomalin concentration under drought and salinity stresses according to a factorial based on completely randomized design with three replications. Treatments included two plant species *Atriplex canescens* and *Haloxylon ammodendron* with inoculation of two fungal species *Glomus-geosporum* and *Glomus mosseae* plus two levels of salinity stress at 7 and 14 dS m⁻¹, and two levels of drought stress including maximum allowable depletion (MAD) of 50 and 80%. After one year of treatments, plant available water (PAW), least limiting water range (LLWR), integral water capacity (IWC), total and easily extractable glomalin concentration and soil organic carbon (SOC) content were measured. Results indicated a significant increase in SOC, glomalin concentration, PAW, LLWR, and IWC by increasing the salinity level in treatments inoculated with *G. mosseae* and *G. geosporum*. The highest percentages of increase in PAW (147%), LLWR (140%) and IWC (85%) as compared with control were observed under combined salinity and low drought treatment (14 dS cm⁻¹ + MAD of 50%) in *A. canescens* inoculated by *G. geosporum*. The highest concentrations of total glomalin and easily extractable glomalin were observed in both plant species under salinity of 14 dS m⁻¹ and severe drought treatment (MAD of 80%) with the inoculation by *G. geosporum* and *G. mosseae*. Overall the results of this research indicated a reduction in negative consequences of drought and salinity stresses in the soil under cultivation of *A. canescens* and *H. ammodendron*, with application of mycorrhizal fungi.

Keywords: *Glomus geosporum*, *Glomus mosseae*, Stress, Soil available water, Glomalin.

Background and Objective: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) by exuding a glycoprotein called glomalin has a considerable role in plant growth and improves soil physical properties. Also, AMF can enhance the tolerance of plants under salinity and drought stresses which leads to a better establishment in arid lands. A growing number of studies have now found that AMF can colonize many crops species. However, the influence of AMF on the *A. canescens* and *H. ammodendron* species is still not well understood. This study aimed to investigate the effect of two AMF (*Glomus geosporum* and *Glomus*

1- Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2- Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156 83111, Iran.

3- Department of Water and Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

*: Corresponding author Email: chavoshie@yahoo.com

mosseae) symbioses with two plant species (*A. canescens* and *H. ammodendron*) on glomalin concentration, plant available water (PAW), least limiting water range (LLWR) and integral water capacity (IWC) under different drought and salinity stress levels.

Methods: A pot factorial experiment was conducted with three replications in a completely randomized design. The soil was collected from the 0–60 cm layer of the study area. The soil texture was loamy, and the soil initial electrical conductivity (EC) was 7 dS m⁻¹. The soil EC in half of the pots was increased to 14 dS m⁻¹ by adding NaCl salt. In each pot, three seedlings of two-month-old *A. canescens* and *H. ammodendron* were planted. Mycorrhiza bio-fertilizer was poured around the plant roots (100 g) for inoculation. Then, different drought stresses (50% and 80% maximum allowable depletion, MAD) were applied. At the end of the experiment (after one year), plants were harvested, and rhizosphere soil was collected from each pot. Then total and easily extractable glomalin concentration, soil organic carbon (SOC) content, plant available water (PAW), least limiting water range (LLWR), and integral water capacity (IWC) were measured.

Results: The interaction effect of fungus, salinity, drought, and plant species on colonization percentage showed that the rate of root colonization varied at different levels of drought and salinity. At 7 dS m⁻¹ salinity level, the percentage of root colonization with *G. geosporum* increased with increasing soil drought stress from MAD of 50 to 80%, in both plants. The highest SOC (i.e., 0.29%) was observed in the *A. canescens* inoculated by *G. geosporum* at different salinity and drought levels. On the other hand, the interaction between all treatments indicated that the total and easily extractable glomalin increased with increasing salinity and drought due to fungal inoculation in both plants. The relationships between total and easily extractable glomalins with SOC were positive and significant, indicating that total and easily extractable glomalins contribute to SOC storage (2). The effect of AMF inoculation on *A. canescens* and *H. ammodendron* at different levels of drought and salinity indicate that PAW, LLWR and IWC had significantly higher values as compared to control treatment. This finding may be attributed to the presence of high organic matter and high glomalin. The positive and significant correlations (1% level) between PAW, LLWR, and IWC with SOC, and total and easily extractable glomalins support this finding. Galazka et al., (1) found that the role of SOC and glomalin may be of great importance when assessing soil quality and improvements in soil health.

Conclusions: This study shows that the soil organic carbon content, glomalin concentration, and soil available water increased in the plants inoculated with *G. geosporum* and *G. mosseae*, in stressful conditions. As percentages of AMF root colonization were very low (2.7–18.0%), the increase in these properties cannot be attributed to the use of mycorrhizal fungi with certainty.

References:

1. Gałazka, A., Niedzwiecki, J., Grzadziel, J., Gawryjolek, K., 2020. Evaluation of changes in glomalin-related soil proteins (GRSP) content, microbial diversity and physical properties depending on the type of soil as the important biotic determinants of soil quality. *Agronomy* 10: 1–26.
2. Zhang, H., Liu, T., Wang, Y., Tang, M., 2019. Exogenous arbuscular mycorrhizal fungi increase soil organic carbon and change microbial community in poplar rhizosphere. *Plant, Soil and Environment* 65(3): 152–158.