

اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر برخی خصوصیات فیزیکی و جذب عناصر در یک خاک درشت بافت زیر کشت گوجه‌فرنگی

فریبا سمائی^{1*}، شکراله اصغری²، ناصر علی‌اصغرزاد³ و محمدرضا ساریخانی⁴

تاریخ دریافت: 91/08/1 تاریخ پذیرش: 91/12/05

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

² استادیار گروه علوم خاک، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

³ استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

⁴ استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

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

چکیده

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار علاوه بر افزایش رشد گیاه از طریق جذب عناصر غذایی، با ترشح ماده گلیکوپروتئینی بنام گلومالین نقش بسزایی در بهبود ساختمان خاک و مقاومت خاکدانه‌ها دارند. در این تحقیق جهت بررسی تغییرات برخی خصوصیات فیزیکی و جذب عناصر در یک خاک لوم شنی زیر کشت گوجه‌فرنگی از دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار شامل گلوموس اینترارادیسز (GI)، گلوموس اتونیکاتوم (GE) و شاهد (بدون قارچ) تحت شرایط گلخانه‌ای و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار استفاده گردید. نتایج نشان داد که قارچ‌های GI و GE به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0/01$) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به میزان 193/4 و 288/8 درصد، منافذ مزو به میزان 49/7 و 25/9 و منافذ میکرو به میزان 5/5 و 19/6 درصد، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) به میزان 14/1 و 35/1 درصد، رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) به میزان 12/4 و 22/6 درصد، آب قابل استفاده (AWC) به میزان 14/9 و 41/3 درصد و کاهش جرم مخصوص ظاهری (D_b) به میزان 4/1 و 8 درصد، منافذ ماکرو به میزان 10/2 و 14/1 درصد و هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) به میزان 52/4 و 70/8 درصد نسبت به شاهد گردیدند. مقدار جذب فسفر در اثر همزیستی با قارچ‌های GE و GI نسبت به شاهد به ترتیب حدود 1089/2 و 600/8 درصد و مقدار جذب پتاسیم حدود 811/5 و 506/2 درصد در اندام‌هوایی گوجه‌فرنگی افزایش یافت. می‌توان نتیجه گرفت همزیستی میکوریزی به عنوان یک روش بیولوژیک و پایدار باعث ارتقای کیفیت فیزیکی و شیمیایی در خاک درشت بافت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه‌ها، توزیع اندازه منافذ، جذب فسفر و پتاسیم، خاک لوم شنی، قارچ میکوریزی، هدایت هیدرولیکی

Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on some Physical Properties and Nutrient Uptake in a Sandy Loam Soil under Growth of Tomato

F Samaei^{1*}, SH Asghari², N Aliasgharзад³ and MR Sarikhani⁴

Received: 22 October 2012 Accepted: 23 February 2013

¹ M.S.C. Student, Soil Sci. Dept., Agric. Technology and Natural Resource Faculty, Univ. of Mohaghegh Ardabilh. Iran

² Assist. Prof., Dept., Agric. Technology and Natural Resource Faculty, Univ. of Mohaghegh Ardabili. Iran

³ Prof., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran

⁴ Assist. Prof. Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran

*Corresponding Author Email: samaeifariba@yahoo.com

Abstract

Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi are beneficial not only for providing plants with nutrients but also for improving the soil structure and aggregate stability by producing glomalin, which is a glycoprotein. A completely randomized block experimental design was conducted with two species of arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus intraradices* (GI), *Glomus etunicatum* (GE) and non-mycorrhizal (control) under growth of tomato with four replicates in a sandy loam soil at greenhouse conditions. Results showed that GI and GE significantly ($P < 0.01$) increased mean weight diameter of aggregates (MWD) by 193.4 and 288.8 %, mesopores by 49.7 and 25.9 %, micropores by 5.5 and 19.6 %, field capacity (FC) moisture by 14.1 and 35.1 %, permanent wilting point (PWP) by 12.4 and 22.6 %, available water capacity (AWC) by 14.9 and 41.3 %, but decreased bulk density (D_b) by 4.1 and 8 %, macropores by 10 and 14.1 %, saturated hydraulic conductivity (K_s) by 52.4 and 70.8 %, respectively in comparison with control treatment. GI and GE fungi significantly ($P < 0.01$) increased uptake of phosphorus and potassium by 600.8 and 1089.2 %, 506.2 and 811.5 %, respectively relative to the control in tomato shoot. It is concluded that mycorrhizal symbiosis as a biological method improves physical and chemical quality of the coarse-textured soil

Keywords: Aggregate stability, Hydraulic conductivity, Mycorrhizal fungi, Pore size distribution, P and K uptake, Sandy Loam Soil

مقدمه

در خاک‌های درشت بافت از جمله کمی مواد آلی، شن زیاد، ناپایدار بودن خاکدانه‌ها، منافذ درشت فراوان، اتلاف زیاد آب و عناصر غذایی از منافذ و پائین بودن میزان نگهداری عناصر غذایی به خاطر کمی مقدار

خاک‌های شنی، شن لومی و لوم شنی که در گروه خاک‌های درشت بافت قرار دارند غالباً فاقد ساختمان و یا دارای ساختمان سست و شکننده هستند (نادلر و همکاران 1996، برزگر 1380). مشکلات عمده

گلموس جنوسپورم⁴ را بر تخلخل یک خاک لوم شنی بررسی نموده و نتیجه گرفتند تخلخل خاک از 9/77 درصد در تیمار شاهد به 14/81 درصد در تیمار تلقیح شده با قارچ گلموس موسه افزایش یافت. این محققین دلیل این افزایش را تشکیل خاکدانه‌های پایدار در اثر فعالیت‌های قارچی بیان داشتند. ریزول و همکاران (2012) اثر میسلیم‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را بر ساختمان خاک بررسی نموده و نتیجه گرفتند پایداری خاکدانه‌ها 32 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. سیلک و همکاران (2004) اثر کمپوست، قارچ‌های میکوریزی و کودها (آلی و شیمیایی) را روی برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی یک خاک لوم رسی بررسی نموده و نتیجه گرفتند میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها 18 درصد، تخلخل کل خاک 8/3 درصد، هدایت هیدرولیکی 47 درصد، رطوبت قابل استفاده 34/2 درصد در عمق 0 – 15 سانتی‌متری در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریزی و حاوی کمپوست، افزایش و جرم مخصوص ظاهری 10/9 درصد کاهش داشت. این محققان علت افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) را ترشح گلومالین و هیف‌های قارچی عنوان نمودند و افزایش منافذ میکرو را علت افزایش تخلخل کل و کاهش جرم مخصوص ظاهری بیان داشتند. ریلیگ و همکاران (2005) اثر ایزوله‌های مختلف قارچ‌های گلموس اتونیکاتوم⁵ و گونه‌ای از گلموس (sp.2)⁶ را بر روی پایداری خاکدانه‌ها بررسی نموده و نتیجه گرفتند پایداری خاکدانه‌ها از 40 درصد در تیمارهای شاهد به 70 درصد در تیمارهای قارچی افزایش یافت. نامبردگان علت افزایش پایداری خاکدانه‌ها را تأثیر میسلیم‌های قارچی بیان داشتند.

قارچ‌های میکوریزی از انواع قارچ‌های مفید خاکزی می‌باشند که با ریشه گیاهان همزیستی متقابلاً

کلوئیدهای رسی (سطوح جذبی پائین) باعث گردیده تا استفاده از این خاکها با محدودیت‌های روبرو گردد. محدودیت‌های فوق، مدیریت خاص کوددهی را در این خاکها می‌طلبد تا اتلاف مواد غذایی را به حداقل برساند (بابیوردی 1379). خصوصیات فیزیکی، هیدرولیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و اثرات متقابل آنها با مجموعه میکروارگانیسم‌های مقیم در خاک، تأثیر مهمی بر رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و به دنبال آن حاصلخیزی خاک و رشد گیاه دارد. تأثیر مواد آلی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها، هنگامی ظاهر می‌شود که مواد آلی تحت تأثیر فعالیت میکروبی خاک قرار گیرد تا اثرات مثبت مواد آلی خاک در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی مشاهده شود. تأثیر میکروارگانیسم‌های مختلف مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌ها که در خاک به وفور یافت می‌شوند در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها متفاوت بوده، قارچ‌ها بیشترین، باکتری‌ها کمترین و اکتینومیسیت‌ها در حد وسط قرار می‌گیرند (بابیوردی 1379). همزیستی میکوریزی از طریق ایجاد شبکه گسترده‌ای از هیف‌ها و همچنین تولید ماده گلیکو-پروتئینی به نام گلومالین¹، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار داده و باعث اصلاح ساختمان خاک می‌شود (مارشور و دل 1994). در خاک‌هایی که مدت زمان بیشتری تحت کشت گیاهان میکوریزی بوده‌اند به میزان خاکدانه‌های مقاوم در آب به نحو چشم‌گیری افزوده شده، ظرفیت نگهداری آب در خاک افزایش یافته و در نتیجه محیط مناسب‌تری برای رشد و گسترش ریشه‌ها بوجود آمده است (همبلین 1985). میسلیم قارچ‌ها در پایداری خاکدانه‌ها شرکت داشته و از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند (کریستنسن 1989). مارتین و همکاران (2012) تأثیر قارچ‌های گلموس موسه² گلموس اینترادیسز³ و

⁴ *Glomus geosporum*⁵ *Glomus etunicatum*⁶ *Glomus sp.2*¹ Glomalin² *Glomus mosseae*³ *Glomus intraradices*

کاربرد این نوع کودها به ویژه در خاک‌های درشت بافت، استفاده از قارچ‌های میکوریز که به عنوان کودهای زیستی در کشاورزی پایدار برای اصلاح یا بهبود کیفیت فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک مطرح هستند، می‌تواند مفید باشد. گوجه‌فرنگی از محصولات بسیار مهمی است که به علت داشتن انواع ویتامین‌ها، کاروتن، اسیدهای مفید، قند و املاح معدنی نقش مهمی را در سلامت انسان ایفاء می‌کند. گوجه‌فرنگی تقریباً در همه خاک‌ها قادر به رشد بوده و توانایی برقراری رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریز را دارد (پیوست 1377). هدف از اجرای این طرح، بررسی امکان استفاده از قارچ‌های میکوریزی برای اصلاح خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی و نیز افزایش میزان جذب عناصر غذایی در یک خاک درشت بافت قلیایی زیر کشت گیاه گوجه‌فرنگی بود.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این پژوهش دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار از جنس گلوموس شامل گلوموس اتونیکاتوم (GE) و گلوموس اینترادیسز (GI) انتخاب شدند. مایه تلقیح قارچی از آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه گردید. نمونه‌های خاک از یک مزرعه بایر در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر تهیه گردید سپس در گلخانه هوا خشک گردیده و به منظور ایجاد یکنواختی از الک 4/75 میلیمتری عبور داده شد. برخی خصوصیات خاک (جدول 1) طبق روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شدند (کلوت 1986، پیچ 1985). خاک استریل شده (به مدت 2 ساعت در اتوکلاو، فشار 1 اتمسفر و دمای 121 درجه سلسیوس استریل گردید) در گلدان‌های پلاستیکی استریل با قطر و ارتفاع به ترتیب 19/75 و 20 سانتی‌متر بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه ($1/28 \text{ g/cm}^3$) پر گردید. به هر گلدان (به استثنای تیمار شاهد) 100 گرم مایه

مفید تشکیل می‌دهند. در این همزیستی قارچ در مقابل دریافت موادآلی کربن‌دار از گیاه باعث افزایش جذب عناصر غذایی، مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی، شوری، بیماریها و آفات گیاهی می‌شود بطوریکه بیشتر گیاهان مناطق معتدله برای رشد، بقاء و تولید مثل خود به قارچ‌های میکوریزی وابسته‌اند (میلر و جاستر 1992). قارچ‌های میکوریزی با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارآیی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به ویژه عناصر کم تحرک فسفر، روی، مس افزایش و موجب بهبود رشد آنها می‌شوند (مارشنر و دل 1994). این قارچ‌ها از معدود میکروارگانیسم‌های خاک هستند که ارتباط فیزیکی مستقیم بین توده خاک و سیستم ریشه‌ای گیاهان ایجاد می‌کنند (میلر و جاستر 1992). دابی و همکاران (2009) تأثیر قارچ‌های میکوریز (گوموس اتونیکاتوم، گوموس اینترادیسز و گوموس موسه) را تحت تنش شوری بر عملکرد، اجزاء عملکرد و جذب عناصر غذایی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم بررسی نمودند و نتیجه گرفتند وزن خشک گیاه گندم 42/1 و 7/6 درصد، عملکرد دانه 38/3 و 4/5 درصد، جذب فسفر 21/4 و 15/4 درصد و جذب پتاسیم 26/5 و 21/8 درصد به ترتیب در تیمارهای تلقیح شده با قارچ گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترادیسز نسبت به شاهد افزایش داشت. مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر توسط گیاهان میکوریزایی گردند که از بین آنها می‌توان به: 1- دسترسی به حجم بیشتری از خاک، 2- بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزی و 3- افزایش انحلال فسفر خاک اشاره کرد. تحقیقات خالد و همکاران (1993) نشان دادند که تعداد گره‌ها، شاخه‌های عمودی و برگ‌های گوجه‌فرنگی در نشاهای میکوریزی تقریباً دو برابر نشاهای غیر میکوریزی بود. به منظور صرفه جویی در مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از آثار زیست محیطی ناشی از

استفاده (AWC = FC - PWP) و توزیع اندازه منافذ خاک بر مبنای طبقه‌بندی انجمن علوم خاک آمریکا (بی‌نام 1997) شامل منافذ ماکرو (بزرگتر از 75 میکرومتر)، مزو (30 تا 75 میکرومتر) و میکرو (کوچکتر از 30 میکرومتر) با استفاده از داده‌های منحنی رطوبتی در مکش‌های صفر، 40 و 100 سانتی‌متر (روش ستون آب آویزان) از طریق بکارگیری رابطه کاپیلاری اندازه‌گیری و محاسبه شدند (کلوت 1986). میزان کلنیزاسیون ریشه به روش نوریس و همکاران (1992) از طریق رنگ‌آمیزی با تریپان بلو، مقادیر فسفر و پتاسیم در اندام‌های هوایی و ریشه با روش هضم از طریق سوزاندن خشک اندازه‌گیری شد (بی‌نام 1980). تجزیه واریانس داده‌ها با نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و رسم اشکال با نرم افزار EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

طبق جدول 1 خاک مورد آزمایش دارای کلاس بافت لوم شنی بوده و یک خاک درشت بافت محسوب می‌شود. این خاک به علت داشتن 72 درصد شن دارای منافذ درشت فراوان و به علت داشتن کربن‌آلی ناچیز (0/42 درصد) دارای خاکدانه‌های ضعیف بوده که باعث گردید هدایت هیدرولیکی آن زیاد و ظرفیت نگهداری رطوبت آن در نقطه FC (12/6 درصد وزنی) پائین باشد. بنابراین انتظار می‌رود بخش اعظم آب آبیاری در این خاک در اثر نیروی ثقل خارج گردیده و باعث اتلاف آب و عناصر غذایی گردد. همچنین ملاحظه می‌گردد در خاک مورد آزمایش به علت پائین بودن میزان رس (15 درصد)، مقدار رطوبت پژمردگی دائم (PWP) به دلیل کوچک بودن سطح ویژه ذرات خاک کاهش یافته است. بنابراین عوامل فوق‌الذکر باعث گردید میزان آب قابل استفاده (8/9 درصد وزنی) در این خاک کاهش یابد (هیلل 1998). این خاک دارای pH قلیایی بوده و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب آن اندک می‌باشد. بنابراین

تلقیح قارچی اضافه شد. تعداد اسپور قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترارادیسز به ترتیب 325 و 240 عدد در ده گرم از مایه تلقیح بدست آمد. ولی با توجه به تفاوت درصد کلنیزاسیون ریشه در مایه تلقیح-های تولید شده پتانسیل نهایی مایه تلقیح بکار رفته برای هر دو تیمار قارچی یکسان بوده است. بذور گوجه فرنگی رقم Super Chief پس از ضد عفونی با هیپو کلریت سدیم 0/5 درصد در پرلیت استریل به منظور تولید نشاء کشت گردید. نشاء‌های گوجه‌فرنگی در مرحله چهار برگی به گلدان‌های حاوی خاک استریل منتقل شدند. رطوبت خاک گلدان‌ها در محدوده 0/7 تا 0/9 رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) در طول آزمایش به روش وزنی نگهداری شد. نیتروژن و پتاسیم بر اساس آزمون خاک (پیوست 1377)، بطور یکنواخت به همه گلدان‌ها اضافه شد. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی با سه تیمار قارچ میکوریز شامل شاهد (بدون قارچ)، گلوموس اینترارادیسز (GI) و گلوموس اتونیکاتوم (GE) در چهار تکرار اجرا گردید. پس از حدود 4 ماه، بوته‌های گوجه‌فرنگی از محل طوقه قطع گردیده سپس نمونه‌های دست نخورده با استوانه-های فولادی به قطر و ارتفاع 5 سانتی‌متر و نیز نمونه-های دست خورده (با احتیاط کامل و حداقل دست خوردگی) از عمق 10 تا 15 سانتی‌متری خاک داخل گلدان‌ها (دارای شرایط مطلوب رطوبتی و حرارتی) برداشته شد.

از خصوصیات فیزیکی خاک، جرم مخصوص ظاهری (روش استوانه دست نخورده)، جرم مخصوص حقیقی (روش پیکنومتر)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (روش الک تر) در سری الک‌ها به ترتیب با قطر سوراخ 2، 1، 0/5، 0/25، 0/106 میلی‌متر، هدایت هیدرولیکی اشباع (روش بار ثابت)، رطوبت‌های وزنی ظرفیت مزرعه (FC) در مکش معادل 10 کیلو پاسکال و نقطه پژمردگی دائم (PWP) در مکش معادل 1500 کیلو پاسکال (هر دو به روش صفحه فشاری)، آب قابل

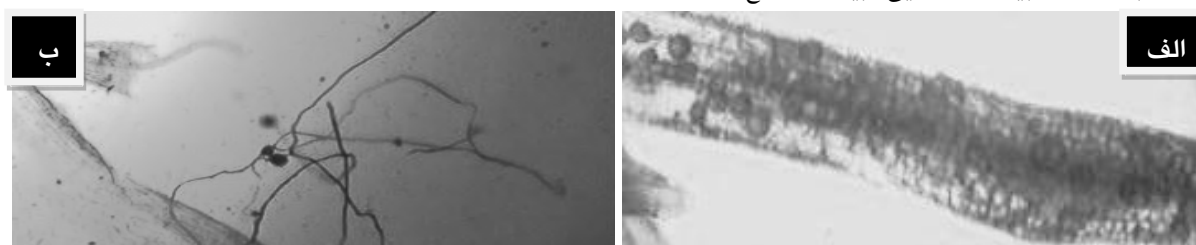
انتظار بر آن است که قابلیت جذب فسفر و عناصر میکرو در این خاک به علت بالا بودن pH، پائین باشد (سالاردینی 1382).

جدول 1 - برخی از خصوصیات خاک مورد مطالعه.

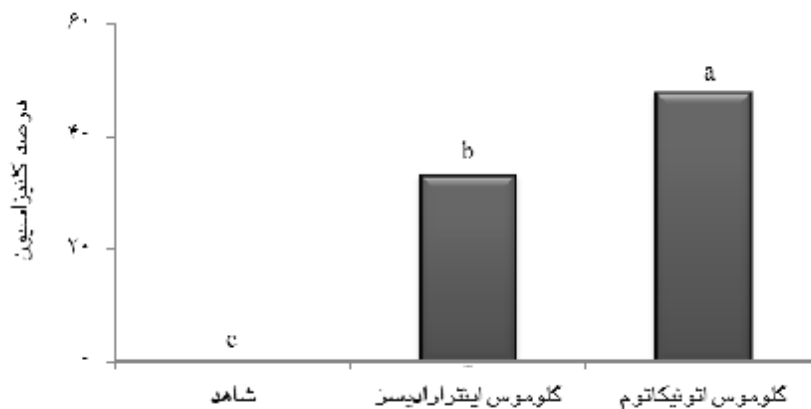
مقدار	واحد	پارامترهای اندازه‌گیری شده
1/28	(g/cm ³)	جرم مخصوص ظاهری (D _b)
2/66	(g/cm ³)	جرم مخصوص حقیقی (D _p)
15	%	رس
72	%	شن
13	%	سیلت
لوم شنی	-	کلاس بافت
13/6	درصد وزنی	رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)
4/7	درصد وزنی	رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)
8/9	درصد وزنی	آب قابل استفاده (AWC)
0/5	%	کربنات کلسیم معادل
0/42	%	کربن آلی
250	(mg/kg)	پتاسیم قابل جذب
5/4	(mg/kg)	فسفر قابل جذب
0/68	(dS/m)	هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع
7/81	-	pH گل اشباع

برقراری روابط همزیستی با ریشه می‌تواند باشد. ساریخانی و علی اصغرزاد (2012) طی تحقیقی اثرات تلقیح دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار (GE و GI) را بر جذب پتاسیم، مقدار نشاسته و عملکرد سیب‌زمینی (رقم دراگا و مارفونا) بررسی نمودند و مشاهده نمودند که گیاهان تلقیح شده با قارچ GE درصد کلنیزاسیون بیشتری (13 درصد) نسبت به GI داشتند.

تأثیر همزیستی میکوریزی بر خصوصیات فیزیکی خاک شکل 1 وضعیت وزیکول‌های قارچ GE (الف)، اسپورها و هیف‌های قارچ GI (ب) تشکیل شده در ریشه گیاه گوجه فرنگی را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین‌ها در شکل 2 نشان می‌دهد که میزان کلنیزاسیون ریشه در قارچ GE 44/3 درصد بیشتر از GI می‌باشد. دلیل این افزایش می‌تواند مربوط به بیشتر بودن تعداد اسپورها در مایه تلقیح قارچ GE (325 عدد) نسبت به GI (240 عدد) باشد که بیانگر کارایی بیشتر قارچ GE در



شکل 1- وزیکول‌های قارچ گلوموس اتونیکاتوم (الف)، اسپورها و هیف‌های قارچ گلوموس اینترادیسز (ب) بر روی ریشه گوجه‌فرنگی.



شکل 2 - مقایسه میانگین اثر اصلی قارچ بر میزان کلنیزاسیون ریشه. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکی خاک در
جدول 2 ارائه گردیده است. تیمار قارچ میکوریزی باعث ایجاد تغییر معنی‌دار ($P < 0/01$) در تمامی خصوصیات فیزیکی خاک لوم شنی مورد آزمایش گردید.

جدول 2 - تجزیه واریانس (مقادیر F) خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در خاک تحت کشت گیاه گوجه‌فرنگی.

منافذ			K_s	AWC	PWP	FC	D_p	D_b	MWD	df	منابع تغییر
میکرو	مزو	ماکرو									
1/59 ^{ns}	1/78 ^{ns}	1/76 ^{ns}	0/26 ^{ns}	1/71 ^{ns}	1/95 ^{ns}	1/73 ^{ns}	0/29 ^{ns}	0/10 ^{ns}	3/56 ^{ns}	3	بلوک
17/67 ^{**}	108/50 ^{**}	55/45 ^{**}	99/59 ^{**}	21/64 ^{**}	232/28 ^{**}	30/25 ^{**}	12/61 ^{**}	51/79 ^{**}	318/87 ^{**}	2	تیمار قارچ
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	خطا
4/44	3/81	2/13	12/5	7/57	1/33	5/53	0/85	1/1	6/32	-	CV (%)

ns: غیر معنی‌دار؛ **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد؛ df: درجه آزادی؛ MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها؛ D_b : جرم مخصوص ظاهری؛ D_p : جرم مخصوص حقیقی؛ FC: رطوبت ظرفیت مزرعه؛ PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم؛ AWC: رطوبت قابل استفاده؛ K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع؛ CV: ضریب تغییرات

جدول 3 - مقایسه میانگین اثر اصلی قارچ بر خصوصیات فیزیکی خاک.

Mic	Mes	Mac	AWC (%w/w)	PWP (%w/w)	FC (%w/w)	K_s (cm/min)	D_p (g/cm ³)	D_b (g/cm ³)	MWD (mm)	AMF
(%)										
31/47 ^b	8/81 ^c	59/72 ^a	8/44 ^b	4/12 ^b	12/56 ^b	4/82 ^a	2/65 ^a	1/24 ^a	0/14 ^c	Blank
33/19 ^b	13/19 ^a	53/62 ^b	9/69 ^b	4/63 ^b	14/33 ^b	2/29 ^b	2/63 ^b	1/19 ^b	0/41 ^b	GI
37/63 ^a	11/09 ^b	51/28 ^b	11/92 ^a	5/05 ^a	16/97 ^a	1/41 ^b	2/58 ^c	1/14 ^c	0/54 ^a	GE

حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است. AMF: قارچ میکوریز آربوسکولار؛ GE (گلوموس اتونیکاتوم)؛ GI (گلوموس اینترارادیسز)؛ MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها؛ D_b : جرم مخصوص ظاهری؛ D_p : جرم مخصوص حقیقی؛ K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع؛ FC: رطوبت ظرفیت مزرعه؛ PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم؛ AWC: رطوبت قابل استفاده؛ Mac: منافذ ماکرو؛ Mes: منافذ مزو؛ Mic: منافذ میکرو.

خاکدانه‌ای) کم در تیمارهای قارچی در مقایسه با شاهد باشد. به عبارت دیگر خاکدانه‌سازی از طریق افزایش MWD (جدول 3) در تیمارهای قارچی منجر به کاهش D_b در مقایسه با شاهد گردیده است. همچنین D_b در تیمارهای تلقیح شده با قارچ GE نسبت به GI چهار درصد بیشتر کاهش یافت. علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار قارچ GE نسبت به GI بر D_b را می‌توان به افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه (شکل 2) در GE در مقایسه با GI و ترشحات قارچ و ریشه نسبت داد. میلرت و همکاران (2009) اثر قارچ گلوموس اینترادیسز و کرم خاکی را روی خصوصیات فیزیکی یک خاک لوم آهکی زیر کشت تره فرنگی بررسی نموده و نتیجه گرفتند جرم مخصوص ظاهری از 1/1 گرم بر سانتی متر مکعب به 0/88 گرم بر سانتی متر مکعب در تیمارهای قارچی کاهش یافت.

مقایسه میانگین‌ها در جدول 3 نشان می‌دهد که جرم مخصوص حقیقی (D_p) در تیمارهای قارچی GE و GI نسبت به شاهد به ترتیب 2/6 و 0/75 درصد کاهش یافت. کاهش معنی‌دار D_p در تیمارهای قارچی در مقایسه با شاهد، احتمالاً به افزایش بخش آلی فاز جامد خاک در اثر ترشحات قارچ و ریشه برمی‌گردد. خاک‌های معدنی عموماً دارای جرم مخصوص حقیقی برابر با $2/65 \text{ g/cm}^3$ هستند در حالیکه مواد آلی ذاتاً دارای جرم مخصوص حقیقی حدود $2/50 \text{ g/cm}^3$ می‌باشند (هیلل 1998) لذا با افزایش مواد آلی خاک‌های معدنی، جرم مخصوص حقیقی کاهش می‌یابد. همچنین D_p در تیمارهای تلقیح شده با قارچ GE نسبت به GI 1/9 درصد بیشتر کاهش یافت. علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار GE نسبت به GI بر D_p را می‌توان به افزایش درصد کلنیزاسیون (شکل 2) در قارچ GE در مقایسه با GI و ترشحات آلی بیشتر قارچ و ریشه در آن نسبت داد.

با توجه به جدول 3 مشاهده می‌شود که میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) خاک درشت بافت مورد آزمایش (تیمار شاهد) به علت وجود منافذ درشت

مقایسه میانگین‌ها در جدول 3 نشان می‌دهد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در اثر همزیستی با قارچ‌های GE و GI نسبت به شاهد به ترتیب حدود 288/8 و 193/4 درصد افزایش یافت. افزایش MWD در تیمارهای قارچی می‌تواند در اثر ترشحات گلیکوپروتئینی بنام گلومالین (در این تحقیق اندازه‌گیری نشد) باشد که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه می‌گردد (مارشور و دل 1994). هیف-های خارج ریشه‌ای قارچ‌ها از طریق اتصال به ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌های پایدار به بهبود ساختمان و اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک کمک می‌کنند (دود و همکاران 1989). همچنین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از 0/41 mm در تیمارهای GI به 0/54 mm در تیمارهای GE به طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول 3). علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار قارچ GE نسبت به قارچ GI بر MWD را می‌توان به افزایش 44/3 درصدی کلنیزاسیون ریشه با قارچ GE نسبت به قارچ GI نسبت داد (شکل 2). سیلیک و همکاران (2010) طی تحقیقی اثر کودها (آلی و معدنی)، کمپوست و قارچ میکوریزی (گلوموس کالدونیوم¹) را بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک در یک خاک با بافت لوم رسی بررسی نموده و نتیجه گرفتند که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از 0/27 به 0/41 میلی‌متر در عمق صفر تا 15 سانتی متری خاک در تیمارهای دارای قارچ میکوریز و کمپوست افزایش یافت. این محققین تولید اسپوره‌های بیشتر در این تیمارها را دلیل افزایش MWD عنوان نمودند.

با توجه به جدول 3 مشاهده می‌شود که جرم مخصوص ظاهری (D_b) در اثر همزیستی با قارچ GE و GI نسبت به تیمار شاهد به ترتیب 8 و 4/1 درصد کاهش یافت. کاهش معنی‌دار D_b می‌تواند ناشی از افزایش تخلخل کل به علت تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک از طریق ایجاد منافذ میکرو و مزو (منافذ درون خاکدانه‌ای) فراوان در مقابل منافذ ماکرو (منافذ بین

¹ *Glomus caledonium*

شاهد گردید. رطوبت FC به ترتیب 35/3 و 14/2 درصد، رطوبت PWP به ترتیب 22/6 و 12/4 درصد، رطوبت AWC به ترتیب 41/3 و 14/9 درصد در اثر همزیستی با قارچ GE و GI نسبت به شاهد افزایش یافت. اگر چه این افزایش رطوبت‌ها فقط در قارچ GE نسبت به شاهد معنی‌دار شد. افزایش معنی‌دار رطوبت FC می‌تواند ناشی از افزایش معنی‌دار منافذ مزو و میکرو و نیز کاهش معنی‌دار منافذ ماکرو (جدول 3) در اثر همزیستی قارچ GE و GI نسبت به شاهد باشد. به عبارت دیگر در خاک‌های درشت بافت به علت وجود منافذ درشت فراوان، آب ثقیلی زیاد بوده و ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک پائین است (بایبوردی 1379). بنابراین همزیستی میکوریزی از طریق تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک (کاهش منافذ ماکرو و افزایش منافذ میکرو) باعث افزایش رطوبت FC در خاک مورد آزمایش گردید. افزایش رطوبت PWP در تیمارهای قارچی می‌تواند به دلیل افزایش سطح ویژه خاک (هیلل 1998) در اثر ترشح گلومالین باشد که موجب به هم پیوستن ذرات خاک (مارشنر و دل 1994) و افزایش رطوبت در مکش معادل 15 بار PWP گردید. افزایش رطوبت قابل استفاده در تیمارهای قارچی ناشی از افزایش بیشتر رطوبت FC نسبت به PWP (جدول 3) می‌باشد که باعث افزایش معنی‌دار آب قابل استفاده ($AWC=FC - PWP$) گردید. همچنین قارچ GE نسبت به GI به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار به میزان 18/4، 9/1 و 23 درصد در رطوبت‌های FC، PWP و AWC گردید که این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش 4/4 درصد منافذ ماکرو (جدول 3) در اثر همزیستی قارچ GE نسبت به GI باشد. علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار قارچ GE نسبت به GI بر رطوبت‌های FC، PWP و AWC را می‌توان به افزایش درصد کلنیزاسیون (شکل 2) در GE در مقایسه با GI نسبت داد. سیلیک و همکاران (2004) طی تحقیقی اثر کمپوست، قارچ‌های میکوریز و کودهای آلی و شیمیایی را زیر کشت گندم، فلفل و ذرت بر آب قابل استفاده (AWC) خاک لوم

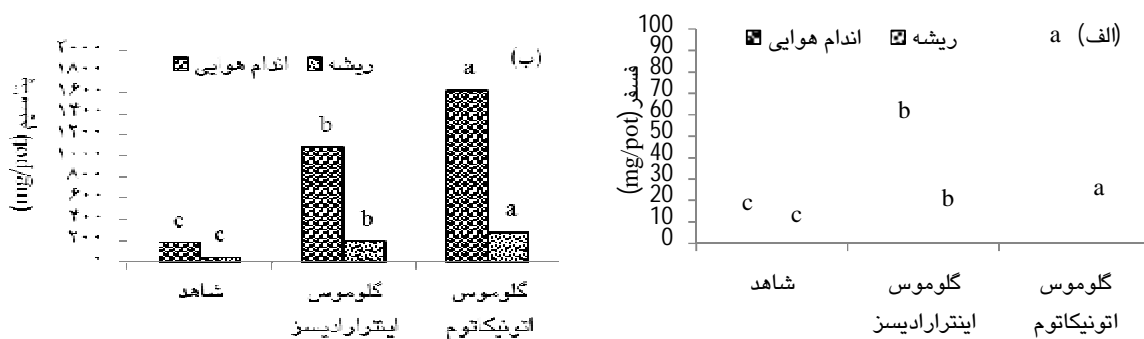
فراوان در آن زیاد می‌باشد (4/82 cm/min)، بنابراین انتظار می‌رود اتلاف آب و عناصر غذایی در این خاک درشت بافت به مقادیر زیاد رخ دهد. همزیستی با قارچ‌های GE و GI نسبت به شاهد به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار K_s به میزان 3/4 و 2/1 برابر شد. کاهش K_s در تیمارهای قارچی می‌تواند در اثر ترشحات ماده قارچی گلیکوپروتئینی بنام گلومالین باشد که این ماده موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه می‌شود. به نظر می‌رسد میسیلیوم قارچ‌ها از طریق افزایش MWD خاکدانه‌ها (جدول 3) و نیز کاهش منافذ ماکرو و افزایش منافذ میکرو در تیمارهای قارچی نسبت به شاهد (جدول 3) باعث کاهش K_s در خاک درشت بافت مورد آزمایش گردید. همچنین هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمارهای تلقیح شده با قارچ GE نسبت به GI 38/62 درصد بیشتر کاهش یافت. علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار قارچ GE نسبت به GI بر K_s را می‌توان به افزایش 44/3 درصدی کلنیزاسیون (شکل 2) در GE در مقایسه با GI نسبت داد. به نظر می‌رسد که افزایش یا کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر همزیستی میکوریزی بستگی به نوع بافت خاک دارد. در تحقیق حاضر، خاک دارای بافت لوم شنی بود و همزیستی میکوریزی باعث کاهش K_s گردید در حالیکه سیلیک و همکاران (2004) اثر کمپوست، قارچ‌های میکوریز، کودهای دامی و شیمیایی را بر برخی خواص فیزیکی و هیدرولیکی یک خاک لوم رسی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند هدایت هیدرولیکی در عمق 0 - 15 سانتی‌متر در حضور قارچ‌های میکوریز و کمپوست از 0/80 در کرت شاهد به 2/62 سانتی‌متر در ساعت و در عمق 30 - 15 سانتی‌متر از 0/76 در کرت شاهد به 1/78 سانتی‌متر بر ساعت افزایش یافت.

مقایسه میانگین‌ها در جدول 2 نشان می‌دهد که هر دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار باعث افزایش رطوبت‌های ظرفیت مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و قابل استفاده گیاه (AWC) خاک نسبت به

تأثیر همزیستی میکوریزی بر جذب عناصر غذایی مقایسه میانگین‌ها در شکل 3 (الف) نشان می‌دهد که مقدار جذب فسفر در اندام‌هوایی 600/8 و 1089/2 درصد و ریشه 535/5 و 851/7 درصد به ترتیب در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های GI و GE نسبت به شاهد افزایش یافت. تحقیقات نشان داده‌اند هیف‌های خارجی قارچ‌ها قادر به جذب بیش از 80 درصد از فسفر مورد نیاز گیاه از خاک هستند (مارشور و دل 1994). همچنین فسفر اندام‌هوایی 69/7 درصد و ریشه 49/8 درصد در گیاهان تلقیح شده با قارچ GE نسبت به گیاهان تلقیح شده با قارچ GI افزایش داشت. این افزایش می‌تواند به دلیل بیشتر بودن 44/3 درصدی کلنیزاسیون ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ GE (شکل 2) نسبت به گیاهان تلقیح شده با GI باشد. مقایسه میانگین‌ها در شکل 3 (ب) نشان می‌دهد پتاسیم جذب شده در اندام هوایی 506/2 و 811/5 درصد و ریشه 384/9 و 618 درصد به ترتیب در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های GI و GE نسبت به شاهد افزایش یافت. مطالعات نشان داده که هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریز قادر به تأمین 10 درصد از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هستند (مارشور و دل 1994). همچنین پتاسیم اندام‌هوایی 50/4 درصد و ریشه 48/1 درصد در گیاهان تلقیح شده با قارچ GE نسبت به گیاهان تلقیح شده با قارچ GI افزایش داشت. این افزایش می‌تواند به دلیل بیشتر بودن 44/3 درصدی کلنیزاسیون ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ GE (شکل 2) نسبت به گیاهان تلقیح شده با قارچ GI باشد. درزی و همکاران (1387) تأثیر قارچ میکوریز گلوموس اینترادیسز و ورمی کمپوست را بر جذب عناصر غذایی در گیاه رازیانه بررسی نموده و نتیجه گرفتند بیشترین غلظت نیتروژن (2/62%)، فسفر (1/21%) و پتاسیم (1/54%) در دانه گیاه در اثر همزیستی میکوریزی بدست آمد.

رسی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که مقدار AWC در تیمارهای میکوریز و کمپوست در عمق 15 تا 30 سانتی‌متر از 0/09 در تیمار شاهد به $3\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ 0/138 به علت تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک افزایش یافت. این محققان علت افزایش AWC را افزایش منافذ میکرو بیان نمودند.

مقایسه میانگین‌ها در جدول 3 نشان می‌دهد در اثر همزیستی با قارچ‌های GE و GI نسبت به شاهد منافذ مزو به ترتیب 25/9 و 49/7، منافذ میکرو به ترتیب 19/6 و 5/5 درصد و به طور معنی‌دار افزایش یافت. همچنین مشاهده گردید قارچ GE در مقایسه با GI به طور معنی‌دار منافذ میکرو را 13/4 درصد افزایش و منافذ ماکرو را 4/4 درصد کاهش داد. کاهش منافذ ماکرو در تیمارهای قارچی (GI و GE) نسبت به شاهد به ترتیب 10/2 و 14/1 درصد بود. افزایش منافذ مزو و میکرو و کاهش منافذ ماکرو در خاک درشت بافت مورد آزمایش می‌تواند ناشی از تشکیل شبکه گسترده‌ای از هیف‌ها و نیز تولید گلومالین (مارشور و دل 1994) باشد که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها و در نتیجه افزایش منافذ درون خاکدانه‌ای (منافذ مزو و میکرو) در مقایسه با منافذ بین خاکدانه‌ای (منافذ ماکرو) گردید (هیلا 1998). افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای قارچی نسبت به شاهد (جدول 3) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. بنابراین انتظار بر آن است همزیستی میکوریزی با کاهش سهم منافذ ماکرو و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک‌های درشت بافت باعث کاهش هدر رفت آب و عناصر غذایی به خصوص نیترات شده و از آلودگی محیط زیست به خصوص آب‌های زیر زمینی به آلاینده‌ها کاسته گردد.



شکل 3 - مقایسه میانگین اثرات همزیستی میکوریزی بر جذب فسفر (الف) و پتاسیم (ب) در ریشه و اندام‌هوایی گیاه گوجه-فرنگی. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

نتیجه‌گیری کلی

و درشت بافت زیر کشت گوجه‌فرنگی گردید. همچنین کارآیی قارچ گلوبوس اتونیکاتوم در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بیشتر از قارچ گلوبوس اینترادیسز بود. توصیه می‌شود در تحقیقات بعدی کارآیی سایر گونه‌های قارچ میکوریزی نیز در ارتقای کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه در مقیاس مزرعه مطالعه گردد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از همزیستی میکوریزی به عنوان 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 معنی‌دار آب قابل استفاده گیاه، جذب عناصر غذایی فسفر و پتاسیم و کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک قلیایی

منابع مورد استفاده

- بای بوردی م، 1379. فیزیک خاک. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران.
- برزگر ع، 1380. مبانی فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- پیوست غ، 1377. سبزیکاری (ترجمه). انتشارات دانشگاه گیلان.
- درزی م. ت، فلاوند ا و رجالی ف، 1387. تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر N, P, K و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum Vulgare Mill*). فصلنامه علمی پژوهشی گیاهان دارویی و معطر ایران، شماره 25، صفحه‌های 19 تا 1.
- سالاردینی ع، 1382. حاصلخیزی خاک. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.
- Anonymous, 1980. Soil and Plant Testing, as a Basis of Fertilizer Recommendations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Technology and Engineering. Rome, Italy.
- Anonymous, 1997. Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America (SSSA), Madison, WI.
- Celik I, Gunal H, Budak M and Akpinar C, 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. Geoderma 160: 236 – 243.
- Celik I, Ortas I and Kilic S, 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research 78: 59 - 67.
- Christensen M, 1989. A view of fungal ecology. Mycologia 81: 1 - 19.
- Daei G, Ardekani M R, Rejali F, Teimuri S, Miransari M, 2009. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Journal of Plant Physiology 166: 617 – 625.
- Dodd JC and Jefferies P, 1989. Effects of herbicides on three AMF associations with winter wheat (*Triticum sativum* L). Biology and Fertility of Soils 7: 113 - 119.

- Hamblin A P, 1985. The influence of soil structure on water movement crop root growth, and water uptake. *Advances in Agronomy* 38: 95 - 158.
- Hayman D S, 1983. The physiology of vesicular – arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Canadian Journal of Botany* 61: 944 - 961.
- Hillel D, 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic press. USA.
- Khalied A S and Elkhider R A, 1993. Vesicular - arbuscular mycorrhizas and soil salinity. *Mycorrhiza* 4: 45- 57.
- Klute A, 1986. *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Marschener H and Dell B, 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
- Martin S L, Mooney S J, Dickinson M J, West H M, 2012. The effects of simultaneous root colonization by three *Glomus* species on soil pore characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* 49: 167–173.
- Miller RM and Jastrow JD, 1992. The application of VA Mycorrhizae to Ecosystem Restoration and Reclamation. Pp. 438-467. In: Allen MF.(ed). *Mycorrhizal Functioning*. Chapman and Hall, New York.
- Milleret R, Bayon RC Le, Lamy F, Gobat JM and Boivin P, 2009. Impact of roots, mycorrhizas and earthworms on soil physical properties assessed by shrinkage analysis. *Journal of Hydrology* 373: 499–507.
- Nadler A, Levey GL, Keren R and Eisenberg H, 1996. Sodic calcareous soil reclamation as affected by water chemical composition and flow rate. *Soil Science Society of America Journal* 60: 252-257.
- Norris JR, Read DJ, and Varma AK, 1992. *Methods in Microbiology*. Volume 24, *Techniques for the Study of Mycorrhiza*, Academic Press, London.
- Page AL, 1985. *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Rezaul Karim Siddiky MD, Kohler J, Cosme M, Rillig C, 2012. Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan. *Soil Biology and Biochemistry* 50: 33–39.
- Rillig C, Lutgen R, Ramsey W, Klironomos N, Gannon E, 2005. Microbiota accompanying different arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence soil aggregation. *Pedobiologia* 49: 251–259.
- Sarikhani M R and Aliasgharzad N, 2012. Comparative effects of two arbuscular mycorrhizal fungi and K fertilizer on tuber starch and potassium uptake by potato (*Solanum Tuberosum L.*). *International Journal of Agriculture* 2: 125–134.