



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹

۷۱-۸۹

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.16986.3238

اثرات کوتاه‌مدت استفاده از کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

لادن حیدری^۱، * حسین بیات^۲ و جواد حمزه‌ئی^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان،

^۲ دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: کودهای زیستی با تأثیرگذاری بر تخلخل خاک و پایداری خاکدانه‌ها، می‌توانند بر ساختمان خاک تأثیر بگذارند. در واقع فعالیت ریزجانداران خاک علاوه بر تأثیر بر ریشه گیاهان، اثرات قابل توجهی بر ترکیبات آلی و در اغلب موارد ساختمان خاک دارند. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر کودهای زیستی شامل قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) و باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium caesar*) به صورت جداگانه و با هم بر برخی ویژگی‌های فیزیکی (جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک) و شیمیایی خاک (واکنش خاک، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی) در دو شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بود که تاکنون کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. چراکه کاربرد کودهای زیستی در خاک می‌تواند یکی از شیوه‌های مناسب برای حفظ و بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک باشد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم بر برخی خواص شیمیایی و فیزیکی خاک، آزمایشی در دو شرایط مزرعه و گلخانه، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در شرایط مزرعه تیمارهای آزمایشی شامل قارچ میکوریزا گونه گلوموس موسه^آ، باکتری ریزوبیوم گونه مزوریزوبیوم، میکوریزا × باکتری ریزوبیوم و شاهد (بدون مایه‌زنی) بودند. در شرایط گلخانه تیمار ماده زمینه سترون شده قارچ میکوریزا و تیمار بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) نیز تیمارهای آزمایشی بودند. گیاه مورد کشت در این آزمایش نخود بود. در پایان فصل رشد نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده از عمق‌های متفاوت برداشت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مذکور در فوق اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: در شرایط مزرعه و گلخانه تیمارهای شامل میکوریزا باعث کاهش واکنش خاک شدند. تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر گنجایش تبادل کاتیونی در دو شرایط گلخانه و مزرعه نداشتند. احتمالاً به دلیل این‌که گنجایش تبادل کاتیونی در ارتباط با سطح ویژه خاک است. در شرایط گلخانه کم‌ترین جرم مخصوص ظاهری در عمق ۰-۵ سانتی‌متر (در سطح ۵ درصد) در گلدان‌های شامل تیمار میکوریزا × باکتری ریزوبیوم ($1/30 \text{ g cm}^{-3}$) و

* مسئول مکاتبه: h.bayat@basu.ac.ir

مایکوریزا ($1/36 \text{ g cm}^{-3}$) و بیش‌ترین جرم مخصوص ظاهری در تیمار شاهد بدون گیاه و بدون مایه‌زنی ($1/49 \text{ g cm}^{-3}$) مشاهده شد. هم‌چنین تیمارهای شامل کود زیستی باعث افزایش معنی‌دار تخلخل خاک نسبت به شاهد بدون گیاه شدند. به‌گونه‌ای که در عمق اول (۵-۰ سانتی‌متر) تیمار مایکوریزا \times باکتری ریزوبیوم ($0/50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر تیمار مایکوریزا ($0/49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) و در عمق سوم (۱۵-۱۰ سانتی‌متر) هر سه تیمار کود زیستی بیش‌ترین مقدار تخلخل را داشتند. شرایط مزرعه باعث کاهش اثر تیمارها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک گردید، که احتمالاً می‌تواند به علت تأثیر کم‌تر تیمارهای اعمال‌شده به علت وسعت زیاد منطقه و از طرفی شرایط محیطی کنترل نشده باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که تیمارهای مختلف کود زیستی تأثیر متفاوتی بر عمق ریشه‌زنی گیاهان و عملکرد گیاه دارند، تأثیر تیمارهای مختلف در این پژوهش در اعماق مختلف بر بهبود ساختمان خاک متفاوت بود. به‌طور کلی تیمارهای شامل کود زیستی با تأثیرگذاری بر عملکرد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود پارامترهای فیزیکی و ساختمان خاک شدند.

واژه‌های کلیدی: باکتری ریزوبیوم، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، مایکوریزا

مقدمه

زمینه‌های کاربردی علم بیوتکنولوژی خاک علاوه بر تولید کودهای زیستی، شامل استفاده از موجودات زنده مفید خاکزی به منظور حذف سموم و سایر آلاینده‌های خاک، تجزیه سریع بازمانده‌های گیاهی، بهبود ساختمان فیزیکی خاک، اصلاح خاک‌های فرسوده، کمک به حفظ سلامت گیاه و موارد دیگر می‌باشند (۴۴). کودهای زیستی یا کودهای میکروبی (جامد، مایع یا نیمه‌جامد) شامل یک یا چند گونه از ریزجانداران خاص می‌باشند. این ریزموجودات موجب بهبود ساختمان خاک، مدیریت مواد آلی و تکمیل چرخه عناصر غذایی شده و می‌توانند وابستگی به کودها و سموم شیمیایی را کاهش دهند (۱۱). از آنجایی‌که قارچ‌های مایکوریزا موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک به‌خصوص منابع غیرقابل‌دسترس آن‌ها می‌شوند (۲۳)، بنابراین به این ریزجانداران مفید اصطلاحاً کودهای زیستی اطلاق می‌شود. فعالیت ریزجانداران

خاک علاوه بر تأثیر بر ریشه گیاهان، اثرات قابل‌توجهی بر ترکیبات آلی و در اغلب موارد ساختمان خاک دارند (۳۴). تراکم خاک نیز به‌طور گسترده در طی یک قرن اخیر بررسی شده است، اما پژوهش‌ها و بررسی در این زمینه جهت ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش آن همچنان ادامه دارد. کودهای زیستی شامل ریزجاندارانی همانند سیانوباکترها، باکتری‌ها و قارچ‌ها هستند. قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار عمدتاً با هیف‌های خارج از سلولی و تولید گلومالین بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارند (۲۶ و ۴۰). در واقع هیف‌های قارچ مایکوریزا باعث اتصال ذرات خاک شده و گلومالین نیز اثر سیمان‌کننده بر خاک دارد و باعث پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (۳۹). در مطالعات متعددی گزارش شده است که پلیمر خارج سلولی که توسط کود زیستی (سیانوباکتر) استخراج می‌شود یک بستر مناسب برای رشد گیاه فراهم می‌کند و باعث افزایش فعالیت ریزجانداران هتروتروف شبیه ساپروفیت و

باسیلوس، میزان عناصری چون آهن، روی، منگنز، منیزیم و پتاسیم ازدیاد پیدا می‌کند که یکی از دلایل این افزایش را زیاد شدن گنجایش تبادل کاتیونی در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری نسبت به تیمارهای شاهد (بدون باکتری) بیان کرده‌اند (۱۲). در پژوهش سولفاب (۲۰۱۳) استفاده از کودهای آلی به همراه کود زیستی (شامل ریزوبیوم) تأثیر معنی‌داری بر واکنش خاک نداشت (۴۶). در پژوهش لیند و همکاران (۲۰۰۳) مشخص شد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش واکنش خاک از ۷/۶ به ۶ شد که می‌توان این کاهش را به کلونیزه شدن باکتری‌ها در خاک و تولید اسیدهای آلی نسبت داد (۲۷). هم‌چنین یکی از راهکارهای مقابله با شوری، مایه‌زنی بذر گیاهان زراعی با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاکزی است (۴۹). به‌طور کلی باکتری‌های ریزوبیومی همزیست با گیاهان لگوم، نسبت به گیاهان لگوم (بدون مایه‌زنی) تحمل بیشتری در برابر تنش شوری دارند. جیری و همکاران (۲۰۰۳) و باولدا و همکاران (۱۹۸۳) گزارش کردند که مایه‌زنی با قارچ میکوریزا باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک می‌شود (۱۰ و ۱۶). این در حالی است که ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تیمار میکوریزا باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد (۵۱). هم‌چنین برخی پژوهشگران گزارش کردند که گیاهان میکوریزایی جذب سدیم را کاهش می‌دهند (۱). در حال حاضر از کودهای شیمیایی و اصلاح‌کننده‌ها به‌طور بی‌رویه‌ای استفاده می‌شود که باعث ایجاد آلودگی و برخی مشکلات گردیده است. به همین علت، بررسی نقش کودهای زیستی شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با در نظر گرفتن ابعاد محیط زیستی آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد؛ بنابراین، با توجه به اثرات منفی مصرف نهاده‌های

همزیست‌ها (ریزوبیوم) می‌شود که به‌نوبه خود باعث افزایش تولید پلی‌ساکارید و در نتیجه باعث پایداری ساختمان خاک می‌گردد (۳۵).

سمایی و همکاران (۲۰۱۵) اثر دو نوع قارچ میکوریزا (گلوبوس ایترا دیسه و اتونیکاتوم) بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ۱۱۳/۶ و ۲۰۱/۸ درصد و تخلخل کل خاک ۲/۲ و ۲/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت (۴۴). این پژوهشگران علت افزایش میکروپورها را افزایش تخلخل کل و کاهش جرم مخصوص ظاهری بیان داشتند. در پژوهش دیگری که توسط مارتین و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد، تأثیر قارچ‌های گلوبوس موسه^۱، گلوبوس ایترا دیسه^۲ و گلوبوس جئوسپورم^۲ را بر تخلخل یک خاک لوم شنی بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که تخلخل خاک از ۹/۷۷ درصد در تیمار شاهد به ۱۴/۸۱ درصد در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ گلوبوس موسه^۱ افزایش یافت (۳۱). این پژوهشگران دلیل این افزایش را تشکیل خاکدانه‌های پایدار در اثر فعالیت‌های قارچی بیان داشتند. چراکه پایداری خاکدانه‌ها در اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی اتفاق می‌افتد (۴۰). ارتاس (۲۰۱۵) گزارش کرد که در خاک‌هایی که تیمار کمپوست به همراه میکوریزا اعمال شده بود نسبت به تیمار شامل کودهای شیمیایی کم‌ترین میزان جرم مخصوص ظاهری و بیش‌ترین مقدار تخلخل را دارا هستند (۳۷).

در پژوهش سولفاب (۲۰۱۳) استفاده از کودهای آلی و زیستی باعث افزایش معنی‌دار گنجایش تبادل کاتیونی در خاک شد (۴۶). در همین راستا اسیتکین و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با کاربرد باکتری‌های محرک رشد مثل سودوموناس و

1- Glomus intraradices

2- Glomus geosporum

تحقیقاتی عباس‌آباد (از محل آزمایش مزرعه‌ای) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. سپس، در گلخانه هوا خشک گردیده و به‌منظور ایجاد یکنواختی از الک ۴/۷۵ میلی‌متری عبور داده شد. سپس در بهمن ۱۳۹۳ در گلدان‌های پلاستیکی ۷ کیلویی (قطر ۱۹/۵ و ارتفاع ۲۳/۵ سانتی‌متر)، بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه ($1/5 \text{ gcm}^{-3}$) پر گردید.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار شامل: مایه‌زنی بذور با میکوریزا، مایه‌زنی با ریزوبیوم، مایه‌زنی هم‌زمان با میکوریزا × باکتری ریزوبیوم، ماده زمینه سترون شده قارچی، شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) و شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) در سه تکرار اجرا گردید.

کودزیستی ریزوچک سوپرپلاس^۱ با جمعیت تقریبی 10^8 باکتری مزوریزوبیوم در هر سانتی‌متر مکعب از شرکت فن‌آوری زیستی مهر آسیا، تهران، تهیه شد. کود ریزوچک پی سوپر پلاس ویژه مایه‌زنی نخود و به ریخت بودر و جامد است و به‌میزان ۱ کیلوگرم باکتری برای ۷۰ کیلو بذر نخود در هکتار استفاده شد. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر کود زیستی به بذرها استفاده شد. در روز کاشت، بذرهای نخود با وزن ویژه‌ای ($0/064$ گرم) از چسب که داخل جعبه کود قرار داشت با اندازه مشخصی از آب شهری (۸ میلی‌لیتر) آماده شد و بذرهای نخود (۲۰۰ گرم) با آن آغشته گردیدند و سپس میزان ۵/۷۱ گرم از کود بر روی بذرهای نخود آماده‌شده با چسب پاشیده شد و به‌این‌ترتیب بذرهای نخود به باکتری مزو ریزوبیوم مایه‌زنی شدند.

بعد از خشک شدن نسبی سطح بذور در سایه، بذرها سریعاً کشت شدند. قبل از کشت مایه‌زنی با مایه قارچ انجام شد که شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی و در هر گرم خاک شامل ۵۰ تا ۱۰۰

شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در اراضی کشاورزی، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر قارچ میکوریزا گونه گلموس موسه^۲ و باکتری ریزوبیوم به‌صورت جداگانه و با هم بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق مختلف ۰-۵، ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ سانتی‌متر هم‌زمان در دو شرایط مزرعه‌ای و گلخانه‌ای بود که با توجه به گونه‌های قارچ و باکتری استفاده‌شده در این مطالعه، بررسی تأثیر هم‌زمان آن‌ها و هم‌زمانی مطالعه آزمایشگاهی و مزرعه‌ای تاکنون در هیچ پژوهشی گزارش نشده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ی عباس‌آباد واقع در دانشگاه بوعلی‌سینا با موقعیت عرض جغرافیایی $34^{\circ}47'26.21''\text{N}$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ}28'40.14''\text{E}$ شرقی، به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل مایه‌زنی بذور با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*)، مایه‌زنی بذور با باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium caesar*)، مایه‌زنی هم‌زمان با میکوریزا × باکتری ریزوبیوم و شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) بود. در آزمایش مزرعه‌ای ۱۲ واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. در این پژوهش گیاه نخود به‌علت سازگاری با اقلیم همدان و هم‌چنین توانایی هم‌زیستی با قارچ میکوریزا و باکتری هم‌زیست برای انجام آزمایش‌ها انتخاب گردید. گیاه نخود در اسفندماه ۹۲ کاشته شد و در اواخر خردادماه ۹۳ نیز برداشت شد.

آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی واقع در دانشگاه بوعلی‌سینا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به‌مدت چهار ماه اجرا شد. برای انجام آزمایش گلخانه‌ای یک نمونه خاک لومی از مزرعه

1- Super Plus Fertilizer Rhizochick

در شرایط مزرعه در تیرماه ۱۳۹۳ از هر واحد آزمایشی، از هرکدام از عمق‌های (۵ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۵) سانتی‌متر و در شرایط گلخانه در خردادماه ۱۳۹۴ از هر گلدان از سه عمق (۰ تا ۵، ۵ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) نمونه‌های دست‌نخورده (به‌وسیله سیلندرهای استیل به قطر ۵/۳ و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر) و نمونه دست‌خورده با احتیاط کامل و حداقل دست‌خوردگی جمع‌آوری شد.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های شیمیایی، نمونه‌های دست‌خورده خاک هوا خشک شده و سپس از الک ۲ و ۰/۵ میلی‌متر عبور داده شدند. توزیع اندازه ذرات (PSD) با هیدرومتر (۱۵)، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیوم ۱ نرمال (۹)، پ‌هاش (pH) در عصاره ۱:۵ خاک به آب با استفاده از دستگاه پ‌هاش سنج‌متر- اهم مدل ۸۲۸ (۴۷)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره ۱:۵ خاک به آب به کمک هدایت‌سنج الکتریکی جن‌وی مدل ۷۱۲ (۴۲)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (۳۶)، پتاسیم قابل‌جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۴۸)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۶)، آل‌ی به روش اکسیداسیون تر (۴۹) و مقدار کربنات کلسیم خاک به روش تیتراسیون برگشتی (۴۵) اندازه‌گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری از روش بلاک و هرتگه (۸) و تخلخل از روش هیلل (۱۸) استفاده شد.

عدد اسپور بود. استفاده از زاد مایه در شرایط مزرعه بدین‌صورت انجام شد که قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی ۲-۳ گرم زاد مایه درون حفره‌هایی که برای کاشت بذر ایجاد شده بودند ریخته شد، سپس روی زاد مایه ۲-۳ بذر قرار داده شد و در نهایت بذرها با خاک پوشانده شدند.

برای مایه‌زنی بذور با قارچ میکوریزا در شرایط گلخانه به گلدان‌هایی که شامل تیمار قارچ میکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم زادمایه قارچ اضافه گردید. مایه‌زنی بذور نخود با باکتری ریزوبیوم × میکوریزا به این صورت بود که، برای مایه‌زنی، بذرهاى نخود مشابه با روش مزرعه‌ای با باکتری ریزوبیوم آغشته شدند و سپس به هر گلدان ۱۰۰ گرم مایه قارچی اضافه شد و بذور مایه‌زنی شده با باکتری ریزوبیوم نیز به آن‌ها اضافه گردیدند. برای آماده کردن تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا (حذف قارچ میکوریزا)، مقداری از کود زیستی شامل میکوریزا برای سه مرتبه به مدت یک ربع در اتوکلاو (فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس) استریل گردید. به گلدان‌هایی که شامل تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم از تیمار موردنظر اضافه گردید.

در شرایط گلخانه در ابتدا در درون هر گلدان تعداد ۵ بذر جوانه‌زده شده نخود قرار داده شد و بعد از خارج شدن گیاهچه از خاک فقط ۲ گیاهچه در هر گلدان حفظ و بقیه حذف شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Physical and chemical properties of the studied soil.

کربنات کلسیم CaCO ₃	فسفر P	پتاسیم K	ازت N	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	جرم مخصوص ظاهری D _b	گنجایش تبادل کاتیونی CEC	واکنش خاک pH	ظرفیت زراعی FC	پژمردگی دائم PWP	بافت Texture
%	mgkg ⁻¹	mgkg ⁻¹	%	%	dSm ⁻¹	gcm ⁻³	cmol _c kg ⁻¹	-	درصد وزنی	درصد وزنی	-
0.8	10.8	260	0.47	0.73	0.34	1.5	21.67	7.82	20	7	لوم

همکاران (۲۰۰۵) دلیل این امر را سطح ویژه بالای ماده آلی و داشتن گروه‌های عامل و تأثیر آن‌ها بر افزایش گنجایش تبادل کاتیونی دانستند (۳۳). از طرفی نیز تغییرات مقدار ماده آلی خاک در این پژوهش در حدی نبود که بتواند بر گنجایش تبادل کاتیونی خاک تأثیر بگذارد (داده‌ها گزارش نشده است)؛ بنابراین تأثیر تیمارهای مختلف بر گنجایش تبادل کاتیونی معنی‌دار نشد. نیشا و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که تأثیر کودهای زیستی بر گنجایش تبادل کاتیونی در ارتباط با زمان است و با گذشت زمان مشهود می‌شود؛ بنابراین یکی از دلایل احتمالی دیگر برای تحت تأثیر قرار نگرفتن گنجایش تبادل کاتیونی خاک می‌تواند به علت کوتاه‌مدت بودن این پژوهش باشد (۳۵).

تجزیه واریانس متغیرها و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۲) (۱۹) انجام گرفت. رسم نمودارها توسط Excel 2010 و بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ در نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

در شرایط گلخانه ویژگی‌های شیمیایی خاک تنها برای عمق ۵-۱۰ و در شرایط مزرعه برای دو عمق ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس تیمارها نشان داد تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر گنجایش تبادل کاتیونی در دو شرایط گلخانه و مزرعه نداشتند (جدول ۲). گنجایش تبادل کاتیونی در ارتباط با سطح ویژه خاک است (۲۴). هم‌چنین، ماده آلی مؤثرترین ویژگی در برآورد گنجایش تبادل کاتیونی است. میرخانی و

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در شرایط گلخانه و مزرعه در عمق ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ سانتی‌متر.

Table 2. Analysis of variance of the effects of the treatments on the soil chemical properties in the greenhouse and field conditions at depths of 5-10 and 10-15 cm.

میانگین مربعات (MS)			درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variations	عمق Depths
واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	گنجایش تبادل کاتیونی CEC (cmol _c kg ⁻¹ soil)			
0.040**	0.018**	0.50 ^{ns}	5	تیمار Treatment	گلخانه Greenhouse 5-10
0.011 ^{ns}	0.0010 ^{ns}	0.28 ^{ns}	2	بلوک Block	
0.0086	0.0016	0.92	10	خطا Errors	
0.0103**	1.016 ^{ns}	3.19 ^{ns}	3	تیمار Treatment	مزرعه Field 5-10
0.0028 ^{ns}	0.00056 ^{ns}	0.29 ^{ns}	2	بلوک Block	
0.00098	0.0046	3.22	6	خطا Errors	
0.0055 ^{ns}	0.00026 ^{ns}	0.94 ^{ns}	3	تیمار Treatment	مزرعه Field 10-15
0.0031 ^{ns}	0.00035 ^{ns}	0.95 ^{ns}	2	بلوک Block	
0.0016	0.00064	0.54	6	خطا Errors	

^{ns} و ^{**} به ترتیب نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار و تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند.

^{ns} and ^{**} indicate not significant and significant at P < 0.01, respectively.

گیاهان میکوریزایی با تولید مقدار زیادی دی‌اکسیدکربن در ناحیه ریزوسفر ریشه (۲۱) باعث افزایش جمعیت میکروبی و افزایش میزان نیتریفیکاسیون (۲۵) می‌شوند؛ که منجر به افزایش اسیدیته و کاهش واکنش خاک می‌شوند. در این پژوهش در شرایط گلخانه مقدار کربن آلی در تیمارهای شامل مایکوریزا (۱/۰۲)، مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم (۰/۹۴) و شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) (۰/۸۵) گواهی بر این دلایل بود. از طرفی تیمار شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) نسبت به تیمار مایکوریزا تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. محیط و شرایط آب و هوایی، کیفیت آب، کیفیت خاک و ترکیبات آن و کودهای شیمیایی بر pH خاک مؤثرند.

در شرایط گلخانه تمامی تیمارها باعث کاهش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) در دامنه ۲۲ تا ۳۹ درصد شدند (شکل ۱- c)؛ که این نتیجه احتمالاً نشان‌دهنده جذب سدیم و سایر املاح توسط گیاه است. شاهد بدون گیاه به علت عدم وجود گیاه بیش‌ترین هدایت الکتریکی (۱۰/۵۱ dSm⁻¹) را داشت. از طرفی نیز تیمار مایکوریزا باعث افزایش ۲۹ درصدی (P < ۰/۰۵) هدایت الکتریکی خاک نسبت به تیمار ماده زمینه سترون‌شده مایکوریزا و شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) شد و تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شامل کود زیستی نبود. شاید علت عدم تفاوت معنی‌دار بین هدایت الکتریکی تیمارهای شامل کود زیستی، تأثیر مشابه این تیمارها بر برخی ویژگی‌های خاک از جمله هدایت الکتریکی و ساختمان خاک باشد. چراکه تأثیر این تیمارها بر جرم مخصوص ظاهری مشابه بود و تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکرده بودند (شکل ۳).

گلولمالین آزادشده از میکوریزا عملکرد بالقوه‌ای را در اکوسیستم‌های خاک نشان داده است، که شامل ارتقاء ذخیره کربن آلی خاک، بهبود ساختار خاکدانه‌های خاک و افزایش مقاومت گیاهان در برابر

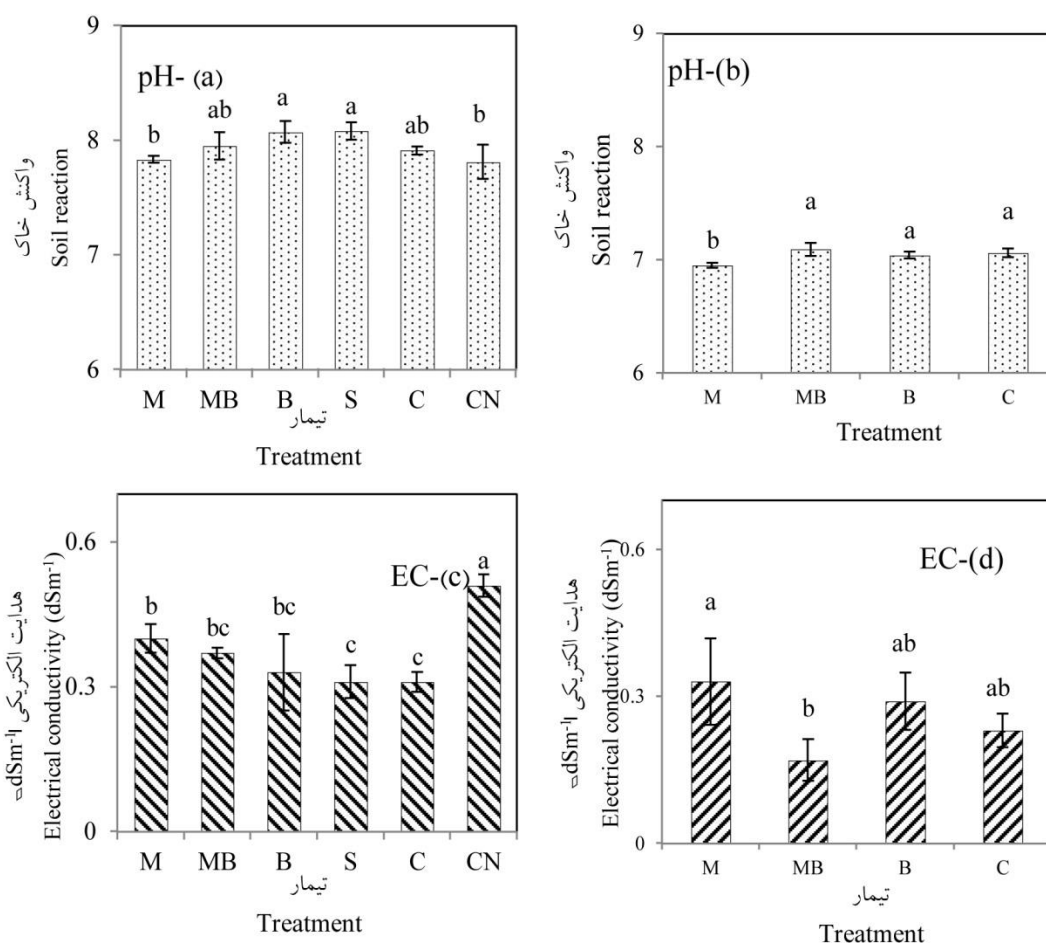
تأثیر تیمارهای مختلف در شرایط گلخانه بر واکنش خاک و هدایت الکتریکی خاک و در شرایط مزرعه در عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر بر واکنش خاک در سطح احتمال یک درصد آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول ۲ هیچ‌کدام از پارامترهای شیمیایی در عمق ۱۰-۱۵ سانتی‌متر در شرایط مزرعه تحت‌تأثیر کودهای زیستی قرار نگرفتند و تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکردند. بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن تأثیر تیمارها بر واکنش خاک در عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر شرایط مزرعه، احتمالاً ناحیه مؤثر ریشه در عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر باشد و با افزایش عمق در شرایط مزرعه تأثیر تیمارهای مختلف و ریشه کاهش پیدا کرده است. چراکه مشابه با این پژوهش روسان و همکاران (۲۰۰۵) عمق مؤثر برای تأثیرگذاری قارچ مایکوریزا بر واکنش خاک را ناحیه ریزوسفر ریشه گزارش کردند و بیان نمودند که همه توده خاک تحت‌تأثیر قارچ قرار نمی‌گیرد (۴۱).

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر واکنش خاک در شرایط گلخانه نشان داد که استفاده از تیمار مایکوریزا باعث کاهش ۳ درصدی واکنش خاک نسبت به تیمار ماده زمینه سترون‌شده مایکوریزا و تیمار باکتری ریزوبیوم شد، که این کاهش از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۱-a). در شرایط مزرعه در عمق ۱۰-۵ سانتی‌متری تیمار مایکوریزا به‌طور معنی‌داری باعث کاهش واکنش خاک نسبت به تیمار باکتری ریزوبیوم (۱/۹۷ درصد)، مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم (۱/۲۶ درصد) و شاهد با گیاه (۱/۵۵ درصد) شد (شکل ۱-b). همچنین تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار باکتری ریزوبیوم، مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم و شاهد وجود نداشت. روسان و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که مایه‌زنی با مایکوریزا آریسکولار باعث کاهش واکنش خاک در ناحیه ریزوسفر ریشه شد (۴۱). از طرفی نیز

افزایش هدایت الکتریکی نسبت به تیمار شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) و ماده زمینه سترون شده میکوریزا شوند که تیمار کود زیستی را دریافت نکرده‌اند، اما یکی از دلایل احتمالی بالا بودن هدایت الکتریکی در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) (0.51 dSm^{-1}) در واقع عدم وجود گیاه و عدم جذب سدیم و کلر توسط گیاه، است. بنابراین تیمار میکوریزا باعث کاهش هدایت الکتریکی به میزان $27/5$ درصد نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) شد ولی به‌علت کاهش مقدار جذب سدیم نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی باعث افزایش هدایت الکتریکی به میزان 29 درصد نسبت به تیمارهای شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) و ماده زمینه سترون شده میکوریزا گردید.

در شرایط مزرعه به‌علت تحت‌تأثیر قرار نگرفتن پارامتر تخلخل، داده‌ها گزارش نشده است. در شرایط گلخانه تأثیر تیمارهای کود زیستی در پایه 5 درصد آماری بر تخلخل کل در عمق $10-5$ و $15-10$ سانتی‌متر معنی‌دار بود، ولی تیمارهای مختلف در عمق $5-0$ سانتی‌متر تأثیر معنی‌داری بر تخلخل نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف در عمق $10-5$ سانتی‌متر نشان داد که تیمار شامل میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار تخلخل نسبت به تیمارهای ماده زمینه سترون شده میکوریزا، شاهد بدون گیاه و شاهد با گیاه به‌ترتیب به‌میزان 11 ، $9/7$ و $10/7$ درصد شد. هم‌چنین تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار شامل کود زیستی وجود نداشت (شکل ۲-ب). از طرفی در عمق $15-10$ سانتی‌متر تیمارهای شامل کود زیستی و ماده زمینه سترون شده باعث افزایش معنی‌دار تخلخل نسبت به شاهد بدون گیاه به مقدار $8/2$ تا $9/8$ درصد شدند (شکل ۲-ج).

تنش‌های محیطی است (۱۴). مشابه با این پژوهش بی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تیمار میکوریزا باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (۷). در شرایط مزرعه نیز تیمار میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک نسبت به تیمار میکوریزا \times باکتری ریزوبیوم در عمق $10-5$ سانتی‌متر شد (شکل ۱-d). هر چند که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شامل میکوریزا، باکتری ریزوبیوم و شاهد وجود نداشت. اما با توجه به شکل ۱-d تیمار میکوریزا باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک گردید. در مقابل اختری و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که ممکن است هدایت الکتریکی تحت‌تأثیر قارچ میکوریزا قرار نگیرد (۲). نتایج نشان داد که در شرایط گلخانه‌ای احتمالاً گیاهان میکوریزایی جذب سدیم را کاهش می‌دهند (۱). آل-کاراکی (۲۰۰۶) علت کاهش جذب سدیم در خاک‌های تحت تنش شوری در گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی را ذخیره سدیم در ریشه یا در هیف‌های قارچ میکوریزا و یا اینکه تجزیه آن در واکنش سلول‌های ریشه گزارش کرد (۱). هر چند که تفاوت معنی‌داری بین تیمار باکتری ریزوبیوم و میکوریزا \times باکتری ریزوبیوم با شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) و ماده زمینه سترون شده نبود؛ اما با توجه به شکل ۱-c بیش‌ترین میانگین هدایت الکتریکی خاک از میان تیمارهای شامل گیاه در تیمارهای کود زیستی مشاهده شد. امین دلدار و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که تیمار مایه‌زنی بذر با باکتری محرک رشد بیش‌ترین هدایت الکتریکی خاک را داشت و کم‌ترین هدایت الکتریکی در تیمار شاهد (بدون مایه‌زنی) دیده شد (۳)؛ بنابراین احتمالاً استفاده از تیمارهای کود زیستی باعث شده است که گیاه میزان جذب کلر و سدیم را کاهش دهد. در نتیجه باعث



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر واکنش خاک در شرایط گلخانه (a) و شرایط مزرعه (b) و هدایت الکتریکی در شرایط گلخانه (c) و در شرایط مزرعه (d) در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری. M, MB, B, S, C و CN به ترتیب نشان دهنده تیمار مایکوریزا، مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار سترون شده مایکوریزا، شاهد با گیاه (بدون مایه زنی) و شاهد بدون گیاه (بدون مایه زنی) می باشند. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون ها نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده هاست.

Figure 1. The mean comparison of the effect of different treatments on the soil reaction in the greenhouse condition (a) and in the field condition (b) and electrical conductivity in the greenhouse condition (c) and in the field condition (d) at the depth of 5-10 cm. M, MB, B, S, C and CN, show mycorrhiza, mycorrhiza - rhizobium bacterium, rhizobium bacterium, sterilized mycorrhiza background material, control with plant (non-inoculated) and control without plant (non-inoculated), respectively. Similar lower case letters on the columns indicate no significant difference at $P < 0.05$ based on Duncan's multiple mean comparison, between the treatments. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر تخلخل کل ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) در عمق اول (۰-۵ سانتی‌متر)، دوم (۵-۱۰ سانتی‌متر) و سوم (۱۰-۱۵ سانتی‌متر).

Table 3. Analysis of variance of the effects of treatments on the total porosity ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) at the first (0-5 cm), second (5-10 cm), and third (15-10 cm) depths.

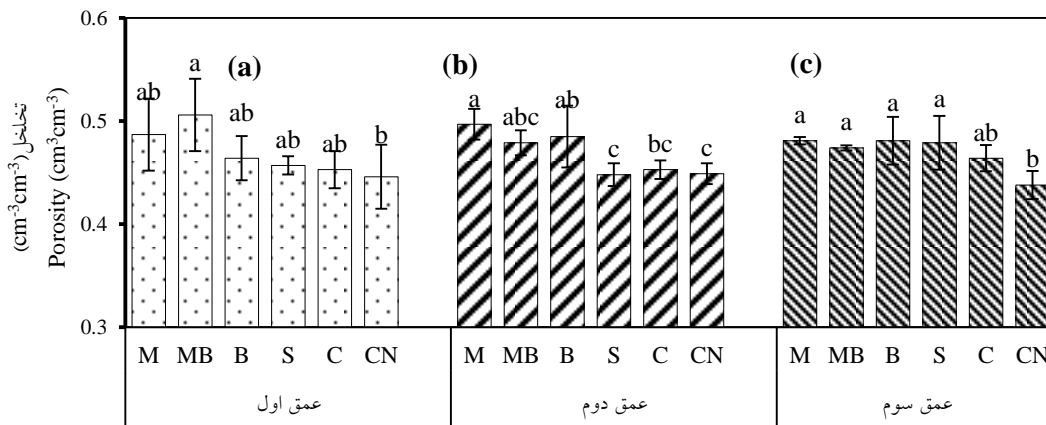
میانگین مربعات Mean squares			درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variations
عمق سوم Third depth (10-15 cm)	عمق دوم Second depth (5-10 cm)	عمق اول First depth (0-5 cm)		
0.0008*	0.0011*	0.0016 ^{ns}	5	تیمار Treatment
0.00002 ^{ns}	0.00040 ^{ns}	0.00045 ^{ns}	2	بلوک Block
0.00031	0.00025	0.0009	10	خطا Errors

^{ns} و * به ترتیب نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار و تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

^{ns} and * indicate not significant and significant at $P < 0.05$, respectively.

میزان تخلخل در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) مشاهده شد. چراکه ریشه تأثیر زیادی بر ساختمان خاک و هیدرولوژی خاک دارد (۲۹). بنابراین عدم وجود ریشه، ترشحات ریشه و مقدار کربن آلی کم‌تر باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری در نتیجه کاهش تخلخل خاک در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) گردیده است. تیمارهای باکتریایی و قارچی با افزایش تجمع خاک، پایداری و تخلخل خاک، پتانسیل بهبود ساختار خاک را دارند (۳۸). کایتوو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که مایه‌زنی گیاهان (نخود) با گونه‌های ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار ماده خشک شاخه و ریشه و تعداد گره‌ها به ترتیب ۱۷، ۱۲ و ۲۰ درصد بالاتر از گیاهان مایه‌زنی شد (۲۰).

مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر تخلخل کل در عمق ۰-۵ سانتی‌متر نشان داد که همزیستی با قارچ میکوریزا × باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار تخلخل کل به مقدار ۱۲ درصد نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) شد، ولی تفاوت آن با سایر تیمارها معنی‌دار نشد (شکل ۲- a). افزایش تخلخل کل از طریق ایجاد منافذ ریز و متوسط فراوان در تیمارهای قارچی در مقایسه با شاهد (بدون قارچ) به دلیل کاهش چشمگیر در جرم مخصوص ظاهری بود (۴۴). از طرفی تغییر در ویژگی‌های منافذ بستگی به ارتباط بین حجم ریشه و حجم منافذ (۵) و وسعت و اندازه الگوی رشدی استفاده‌شده به وسیله ریشه برای نفوذ ریشه به داخل خاک بستگی دارد (۴). در نتیجه احتمالاً کودهای زیستی با تأثیرگذاری بر ریشه، بر تخلخل خاک تأثیر می‌گذارند. از طرفی نیز کم‌ترین



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر تخلخل کل در (a) عمق اول (۰-۵ سانتی متر)، (b) عمق دوم (۵-۱۰ سانتی متر) و (c) عمق سوم (۱۰-۱۵ سانتی متر). M, MB, B, S, C و CN به ترتیب نشان دهنده تیمار مایکوریزا، مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار سترون شده مایکوریزا، شاهد با گیاه (بدون مایه زنی) و شاهد بدون گیاه (بدون مایه زنی) می باشند. در هر بخش شکل وجود حروف مشابه بر روی هریک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

Figure 2. The mean comparison of the effect of different treatments on the total porosity at (a) the first depth (0-5 cm), (b) the second depth (5-10 cm) and (c) the third depth (10-15 cm). M, MB, B, S, C and CN, show mycorrhiza, mycorrhiza - rhizobium bacterium, rhizobium bacterium, sterilized mycorrhiza background material, control with plant (non-inoculated) and control without plant (non-inoculated), respectively. At each section similar letters on the columns indicate no significant difference at $P < 0.05$ based on Duncan's multiple mean comparison, between the treatments at that section. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

تیمار مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم باعث کاهش ۱۲ درصدی جرم مخصوص ظاهری ($P < 0.05$) نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد، ولی بین سایر تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳- a). علت تأثیر بیشتر و معنی دار قارچ مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم نسبت دیگر تیمارها بر جرم مخصوص ظاهری در عمق ۰-۵ سانتی متر را می توان به افزایش درصد کلینزاسیون ریشه و یا احتمالاً حجم بیشتر ریشه و ترشحات بیشتر در تیمار قارچ مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم نسبت داد. در این پژوهش نیز به علت برداشت نمونه دست نخورده امکان برداشت ریشه و اندازه گیری عملکرد وجود نداشت. بنابراین پایداری ساختمان خاک باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کاهش جرم مخصوص ظاهری و تغییر توزیع خلل و فرج خاک می شود (۲۸).

وانگ و همکاران (۲۰۱۸) افزایش ارتفاع ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه و وزن خشک کل در گیاهان میکوریزایی نسبت به غیر میکوریزایی را گزارش کردند (۵۰). بنابراین استفاده هم‌زمان از مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم با تأثیرگذاری بر ریشه و در نتیجه ترشحات ریشه باعث بهبود ساختمان خاک در نتیجه افزایش تخلخل کل گردید (شکل ۲).

در شرایط مزرعه به علت تحت تأثیر قرار نگرفتن جرم مخصوص ظاهری، داده‌ها گزارش نشده است. در شرایط گلخانه تیمارهای مختلف تأثیر معنی داری (در پایه احتمال ۵ درصد) بر جرم مخصوص ظاهری در عمق‌های ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی متر داشتند، ولی تأثیر تیمارها در عمق ۰-۵ سانتی متر بر جرم مخصوص ظاهری معنی دار نشد (جدول ۴). احتمالاً عمق مؤثر ریشه در پژوهش گلخانه‌ای عمق ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ سانتی متر بوده است. در عمق ۰-۵ سانتی متر

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم مخصوص ظاهری خاک (gcm^{-3}) در عمق اول (۰-۵ سانتی‌متر)، دوم (۵-۱۰ سانتی‌متر) و سوم (۱۰-۱۵ سانتی‌متر).

Table 4. Analysis of variance of the effects of treatments on the bulk density (g cm^{-3}) at the first (0-5 cm), second (5-10 cm) and third (15-10 cm) depths.

میانگین مربعات Mean squares			درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variations
عمق سوم Third depth (10-15 cm)	عمق دوم Second depth (5-10 cm)	عمق اول First depth (0-5 cm)		
0.0059*	0.0079*	0.011 ^{ns}	5	تیمار Treatment
0.00012 ^{ns}	0.0030 ^{ns}	0.0031 ^{ns}	2	بلوک Block
0.0022	0.0018	0.0055	10	خطا Errors

^{ns} و * به ترتیب نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار و تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

^{ns} and * indicate not significant and significant at $P < 0.05$, respectively.

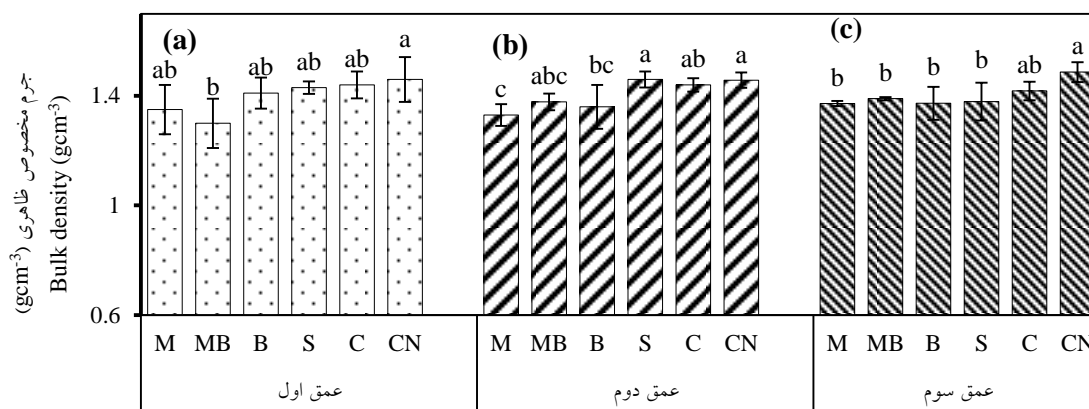
گزارش کرد (۲). فرهادی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که قارچ میکوریز آربسکولار با بهبود شرایط رشد گیاه و افزایش کلنیزاسیون ریشه (و افزایش ترشح گلومالین) و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک می‌تواند به کاهش فرسایش خاک کمک کند (۱۳).

در عمق ۱۰-۱۵ سانتی‌متر تیمارهای شامل کود زیستی و ماده زمینه سترون‌شده باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) به مقدار ۶/۵ تا ۷/۷ درصد شدند و بین دو شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳-۳). در هر سه عمق نیز تیمار شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) بیش‌ترین میانگین جرم مخصوص ظاهری را داشت. با توجه به شکل ۳ کم‌ترین میانگین جرم مخصوص ظاهری، در هر سه تیمار شامل کود زیستی مشاهده شد. کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری می‌تواند در تیمارهای شامل کود زیستی ناشی از افزایش تخلخل کل (شکل ۲)، به علت تغییر در

در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر تیمار میکوریزا باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری نسبت به ماده زمینه سترون‌شده میکوریزا (به مقدار ۹/۷ درصد) و دو شاهد (به مقدار ۹/۵ درصد) شد، ولی تفاوت معنی‌داری بین جرم مخصوص ظاهری تیمارهای باکتری ریزوبیوم، میکوریزا × باکتری ریزوبیوم و ماده زمینه سترون‌شده میکوریزا با هر دو شاهد مشاهده نشد (شکل ۳-۳). هم‌چنین کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری در تیمار قارچی نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر احتمالاً به افزایش بخش آلی فاز جامد خاک در اثر ترشحات قارچ و ریشه برمی‌گردد. چراکه میکوریزا از طریق اتصال ذرات به یکدیگر باعث تبدیل خاکدانه‌های ریز به خاکدانه‌های درشت شده و باعث پایداری خاکدانه‌ها، در نتیجه بهبود ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل خاک (۳۲) می‌گردد. اختری (۲۰۱۵) نیز کاهش جرم مخصوص ظاهری را در تیمارهای قارچ میکوریزا

هیدایت و همکاران (۲۰۱۷) اثرات نوع کودهای قارچی و قارچ‌های میکوریزی را بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک موردبررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریزی، جرم مخصوص ظاهری کاهش و میزان تخلخل خاک افزایش یافته است (۱۷). جرم مخصوص ظاهری تحت‌تأثیر ساختمان خاک قرار دارد و شاخصی برای تراکم خاک، تهویه و توسعه آسان ریشه به‌ویژه در خاک با مقدار زیاد رس است.

توزیع اندازه منافذ خاک در مقایسه با شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) باشد. به‌عبارت دیگر خاکدانه‌سازی از طریق افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (داده‌ها گزارش نشده است) در تیمارهای قارچی منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) گردیده است. فرهادی و همکاران (۲۰۱۷) کاهش جرم مخصوص ظاهری را در تیمار قارچ میکوریزا آریسکولار گزارش کردند (۱۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر جرم مخصوص ظاهری در (a) عمق اول (۰-۵ سانتی‌متر)، (b) عمق دوم (۵-۱۰ سانتی‌متر) و (c) عمق سوم (۱۰-۱۵ سانتی‌متر). M, MB, B, S, C و CN، به ترتیب نشان‌دهنده تیمار میکوریزا، میکوریزا و باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار سترون‌شده میکوریزا، شاهد با گیاه (بدون مایه‌زنی) و شاهد بدون گیاه (بدون مایه‌زنی) می‌باشند. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

Figure 3. The mean comparison of the effect of different treatments on the bulk density of (a) the first depth (0-5 cm), (b) the second depth (5-10 cm) and (c) the third depth (10-15 cm). M, MB, B, S, C and CN, show mycorrhiza, mycorrhiza - rhizobium bacterium, rhizobium bacterium, sterilized mycorrhiza background material, control with plant (non-inoculated) and control without plant (non-inoculated), respectively. At each section similar lower case letters on the columns indicate no significant difference at $P < 0.05$ based on Duncan's multiple mean comparison, between the treatments at that section. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

که احتمالاً می‌تواند به‌علت تأثیر کم‌تر تیمارهای اعمال‌شده به‌علت وسعت زیاد منطقه و از طرفی شرایط محیطی کنترل نشده باشد. چراکه تأثیر زیاد تیمارها بر ساختمان خاک در شرایط گلخانه (شرایط

نتیجه‌گیری کلی

در شرایط مزرعه غالب تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورد مطالعه نداشتند. شرایط مزرعه باعث کاهش اثر تیمارها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک گردید

ریشه و ترشحات بیش‌تر در این تیمار شود و در نتیجه باعث بهبود بیش‌تر ساختمان خاک گردد. از طرفی با توجه به این‌که تیمارهای مختلف تأثیر متفاوتی بر عمق ریشه‌زنی گیاهان و عملکرد گیاه دارند، تأثیر تیمارهای مختلف در این پژوهش در اعماق مختلف بر بهبود ساختمان خاک متفاوت بود. به‌طور کلی تیمارهای شامل کود زیستی با تأثیرگذاری بر عملکرد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود پارامترهای فیزیکی و ساختمان خاک شدند. توصیه می‌شود در پژوهش‌های بعدی کارایی سایر گونه‌ها همراه با گیاهان دیگر و در مدت زمان طولانی به‌خصوص در شرایط مزرعه موردبررسی قرار بگیرد.

کنترل‌شده و استفاده از گلدان) نشان‌دهنده این موضوع است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش در شرایط گلخانه، مشخص شد که کاربرد کود زیستی، بر ساختمان خاک اثر داشته و با بهبود توزیع اندازه منافذ خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل شده است. در شرایط گلخانه تیمار مایکوریزا احتمالاً با کاهش جذب کلر و سدیم باعث افزایش هدایت الکتریکی شد؛ بنابراین، استفاده از کودهای زیستی یکی از راهکارهای مناسب برای بهبود ویژگی‌های شیمیایی است. استفاده هم‌زمان از تیمار مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم می‌تواند باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه و یا احتمالاً حجم بیش‌تر

منابع

- Al-Karaki, G. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *J. Sci. Hort.* 109: 1-7.
- Akhzari, D., Attaeian, B., Arami, S.A., Mahmoodi, F., and Aslani, F. 2015. Effects of Vermicompost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Properties and Growth of *Medicago polymorpha* L. *Compost Science and Utilization.* 23: 3. 142-153.
- Aminadldar, Z., Ehteshami, M., Shahidi Komaleh, A., and Khawazi, K. 2012. Effect of Pseudomonas Bacteria on Chemical-Biological Properties of Soil, Yield and Yield Components of Two Rice Cultivars. *J. Crop Prod. Proc.* 11: 149-159. (In Persian)
- Bodner, G., Leitner, D., and Kaul, H.P. 2014. Coarse and fine root plants affect pore size distributions differently. *Plant and Soil.* 380: 1-2. 133-151.
- Bengough, A. 2012. Water dynamics of the root zone: rhizosphere biophysics and its control on soil hydrology. *Vadose Zone J.* 11: 2.
- Bremner, J.M. 1970. Nitrogen total, regular Kjeldahl method. P 610-616, In: *Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties.* Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Bi, Y., Zhang, Y., and Zou, H. 2018. Plant growth and their root development after inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi in coal mine subsided areas. *Inter. J. Coal Sci. Technol.* 5: 1. 1-7.
- Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. P 363-375, In: Klute, A. (eds), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods,* Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Bower, C.A., Reitemeier, R., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science.* 73: 4. 251-262.
- Buwalda, J., Stribley, D., and Tinker, P., 1983. Increased uptake of anions by plants with vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil.* 71: 1-3. 463-467.
- Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology.* 36: 2-3. 184-189.

12. Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M., and Gunes, A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*. 124: 62-66.
13. Farhadi, A., Enayatizamir, N., Farrokhan Firouzi, A., and Howeizeh, H. 2017. 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*). *Water and Soil Conservation*. 23: 5. 267-280. (In Persian)
14. Gao, W.Q., Wang, P., and Wu, Q.S. 2019. Functions and application of glomalin-related soil proteins: A Review. *Sains Malaysiana*. 48: 1. 111-119.
15. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis, P 383-411, In: Klute, A., (ed), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison.
16. Giri, B., Kapoor, R., Mukerji, K.J.B., and Soils, F.O. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology and Fertility of Soils*. 38: 3. 170-175.
17. Hidayat, C., Rosdiana, R., Frasetya, B., and Hasani, S. 2017. Improvement of physical properties of inceptisols and yield of sweet corn affected by arbuscular mycorrhizal fungi and manure applications. *KnE Life Sci*. 2: 158-163.
18. Hillel, D. 1971. *Soil and Water, Physical Principles and Processes*. Academic Press, New York.
19. Institute, S. 1985. *SAS user's guide: statistics*, Sas Inst.
20. Khaitov, B., Kurbonov, A., Abdiev, A., and Adilov, M. 2016. Effect of chickpea in association with *Rhizobium* to crop productivity and soil fertility. *Eurasian J. Soil Sci*. 5: 2. 105-112.
21. Knight, W., Allen, M., Jurinak, J., and Dudley, L. 1989. Elevated carbon dioxide and solution phosphorus in soil with vesicular-arbuscular mycorrhizal western wheatgrass. *Soil Sci. Soc. Amer. J. (USA)*. 53: 4. 1075-1082.
22. Kohler-Milleret, R., Le Bayon, R.C., Chenu, C., Gobat, J.M., and Boivin, P. 2013. Impact of two root systems, earthworms and mycorrhizae on the physical properties of an unstable silt loam Luvisol and plant production. *Plant and soil*. 370: 251-265.
23. Kristek, S., Kristek, A., and Pavlovic, H. 2005. The influence of mycorrhizal fungi (*Glomus* sp.) on field pea plant survival and growth in drought caused stress conditions. *Plant Soil and Environment*. 51: 9. 385.
24. Lal, R., and Shukla, M.R. 2004. *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, New York.
25. Li, X.L., George, E., and Marschner, H. 1991a. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New phytologist*. 119: 3. 397-404.
26. Lehmann, A., Zhend, W., and Rillige, M.C. 2017. Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature Ecology and Evolution*. 1: 1828-1835.
27. Lind, K., Lafer, G., Schloffer, K., Innerhoffer, G., and Meister, H. 2003. *Organic Ruit Growing*. CABI Pub., Wallingford, UK.
28. Lindsay, B.J., and Logan, T.J. 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. *Environmental Quality*. 27: 3. 534-542.
29. Logsdon, S.D. 2013. Root effects on soil properties and processes: synthesis and future research needs. In: T., Timlin and Ahuja, LR (eds) *Enhancing understanding and quantification of soil-root growth interactions*. *Adv. Agric. Syst. Model* 4.
30. Marschner, H., and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159: 1. 89-102.

31. Martin, S., Mooney, S., Dickinson, M., and West, H. 2012. The effects of simultaneous root colonisation by three *Glomus* species on soil pore characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*. 49: 167-173.
32. Milleret, R., Le Bayon, R.C., and Gobat, J.M. 2009. Root, mycorrhiza and earthworm interactions: their effects on soil structuring processes, plant and soil nutrient concentration and plant biomass. *Plant and soil*. 316: 1-2. 1-12.
33. Mirkhani, R., Shabanpour, M., and Saadat, S. 2005. Using Relative Particle Frequency and Organic Carbon Percentage to Estimate Cation Exchange Capacity of Soils of Lorestan Province. *J. Soil Water Sci.* 2: 19. 242-235. (In Persian)
34. Moalem, A.H., and Eshghizadeh, H. 2007. The Application of Biological Fertilizers: Benefits and Limitations. Proceedings of the Second Iranian National Conference on Ecological Agriculture. (In Persian)
35. Nisha, R., Kaushik, A., and Kaushik, C. 2007. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. *Geoderma*. 138: 1-2. 49-56.
36. Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture, Washington, DC.
37. Ortas, I.J. 2015. Comparative analyses of Turkey agricultural soils: Potential communities of indigenous and exotic mycorrhiza species' effect on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrient uptakes. *Europ. J. Soil Biol.* 69: 79-87.
38. Rashid, M.I., Mujawar, L.H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I.M.I., and Oves, M.J.M.R. 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiol Res.* 183: 26-41.
39. Rubin, J., and sturmer, S.L. 2015. Mycorrhizal inoculum potential and the importance of the mycelium length for aggregation of riparian soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 39: 1. 59-68.
40. Rillig, M.C., Muller, L.A., and Anika, L. 2017. Soil aggregates as massively concurrent evolutionary incubators. *Isme J.* 11: 9. 1943-1948.
41. Rusan, M., Pan, W., and Kennedy, A. 2005. Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal-colonized wheat root. *Mycorrhiza*. 15: 4. 259-266.
42. Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J., and Alves, W.J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 53: 2. 433-439.
43. Saleh Rastin, N. 1998. Biological Fertilizers . *Soil and Water*. 3: 12. 1-36. (In Persian)
44. Samaei, F., Asghari, S., and Aliasgharzarad, N. 2015. The effects of two arbuscular mycorrhizal fungi on some physical properties of a sandy loam soil and nutrients uptake by spring barley. *Soil Environ.* 1: 1. 1-9.
45. Sims, J.T. 1996. Lime requirement. P 491-515, In: D.L. Sparks et al., (eds). *Methods of Soils Analysis, Part 3- Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
46. Sulfab, H.A. 2013. Effect of bioorganic fertilizers on soil fertility and yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Malakal Area, Republic of South Sudan. *Journal of Natural Resources and Enviromental Studies*. 12: 12. 14-19.
47. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. P 475-490, In: D.L., Sparks (ed). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*, SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
48. Varley, J.A. 1966. Automatic methods for the determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plant material. *Analyst*. 91: 1079. 119-126.
49. Walkley, A., and 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: 29-38.

50. Wang, J., Li, T., Yang, H., Hu, T., Nie, L., Wang, F., Alcala, M., and Zang, H. 2018. Geographical origin discrimination and polysaccharides quantitative analysis of radix codonopsis with micro near-infrared spectrometer engine. J. Innov. Optic. Health Sci. Pp: 1-11.

51. Zhang, H., Wu, X., Li, G., Qin, P.J.B., and Soils, F.O. 2011. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing fungus (*Mortierella* sp.) and their effects on *Kosteletzkya virginica* growth and enzyme activities of rhizosphere and bulk soils at different salinities. *Biology and Fertility of Soils*. 47: 5. 436.



Short-term effects of bio-fertilizers application on some soil physical and chemical properties

L. Heydari¹, *H. Bayat² and J. Hamzei³

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,

²Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,

³Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 08.03.2019; Accepted: 01.28.2020

Abstract

Background and Objectives: Bio-fertilizers can affect soil structure by affecting soil porosity and aggregate stability. In fact, the activity of soil microorganisms, in addition to their effects on plant roots, has significant effects on organic compounds and, in most cases, soil structure. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of bio-fertilizers namely mycorrhiza fungi (*Glomus mosseae*) and rhizobium (*Mesorhizobium caesar*) separately and together on some physical (bulk density and soil porosity) and chemical (Soil reaction, electrical conductivity and cation exchange capacity) properties of soil under greenhouse and field conditions, which has been less studied, so far. Because the application of bio-fertilizers in the soil can be one of the best ways to maintain and improve the physical and chemical quality of the soil.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of Mycorrhiza fungi and Rhizobium on some chemical and physical properties of soil, an experiment was conducted in both field and greenhouse conditions in a completely randomized-block design with three replications. Mycorrhizal fungi specie *Glomus mosseae*, rhizobium (*Mesorhizobium*), mycorrhiza - rhizobium and control (no bio-fertilizer) were the treatments at the field condition. Sterilized mycorrhiza background material and non-plant (non-bio-fertilizer) were the two additional treatments in the greenhouse condition. The plant cultivated in this experiment was chickpea. At the end of the growing season, disturbed and undisturbed soil samples were taken from different depths and physical and chemical soil properties, mentioned above, were measured.

Results: In the field and greenhouse conditions, mycorrhiza treatment reduced soil pH. Different treatments had no significant effect on cation exchange capacity under greenhouse and field conditions. Probably because, the cation exchange capacity associated with the soil specific surface area. In the greenhouse condition, the lowest bulk density at the first depth 0-5 cm ($P < 0.05$) was observed in pots containing mycorrhiza-rhizobium treatments (1.30 g cm^{-3}) and mycorrhiza (1.36 g cm^{-3}) and the highest bulk density was observed in the control treatment without plant and without inoculation (1.49 g cm^{-3}). Also, treatments containing bio-fertilizer significantly increased soil porosity compared to the control without plant. So that, in the first depth (0-5 cm), the mycorrhiza \times rhizobium bacteria treatment ($0.50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), in the second depth (5-10 cm), the mycorrhiza treatment ($0.49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) and in the third depth (10-15 cm), all three bio-fertilizer treatments, had the highest porosity. The field conditions reduced the effects of the treatments on the soil physical properties, which may be due to the less impact of the treatments applied due to the large extent of the area and the uncontrolled environmental conditions.

* Corresponding Author; Email: h.bayat@basu.ac.ir

Conclusion: Since different bio-fertilizer treatments had different effects on rooting depth and plant yield, the effect of the different treatments on soil structure improvement was different at different depths. In general, treatments containing bio-fertilizers improved the soil physical parameters and structure by affecting plant and root yield.

Keywords: Bulk density, Mycorrhiza, Porosity, Rhizobium bacteria

