

## اثر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزی گونه گلوموس موسه آ با نخود بر پایداری ساختمان خاک و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای

لادن حیدری<sup>۱</sup> - حسین بیات<sup>۲\*</sup> - جواد حمزه‌ئی<sup>۳</sup> - تهمینه قیطاسی رنجبر<sup>۴</sup> - سمیه بهرامیان راغب<sup>۵</sup> - فاطمه مدینه خرمی<sup>۶</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

### چکیده

علی‌رغم تأثیر قابل توجه قارچ‌ها و باکتری‌ها بر پایداری ساختمان خاک، تأثیر قارچ میکوریزا گونه گلوموس موسه آ و باکتری ریزوبیوم بر ساختمان خاک، به‌ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مرحله گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با کشت نخود اجرا شد. در شرایط مزرعه تیمارهای آزمایشی شامل قارچ میکوریزا گونه گلوموس موسه آ، باکتری ریزوبیوم، ترکیب تیمار اول و دوم (مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم) و شاهد (بدون تلقیح) و در شرایط گلخانه علاوه بر چهار تیمار فوق تیمار ماده زمینه سترون شده قارچ میکوریزا و تیمار بدون گیاه، تیمارهای آزمایشی بودند. مقدار کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج گلخانه‌ای نشان داد که تیمار مایکوریزا نسبت به تیمار شاهد و شاهد بدون گیاه باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (به ترتیب ۵۱/۶ و ۱۸۹/۱ درصد) شد. در شرایط گلخانه مقدار کربن آلی دارای همبستگی بالا با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ( $R^2=0/53$ ) بود و تیمار حاوی مایکوریزا باعث افزایش کربن آلی از ۰/۷۳ درصد در شاهد بدون گیاه به ۱/۰۲ درصد شد. در شرایط گلخانه تیمار مایکوریزا باعث افزایش خاکدانه‌های درشت و کاهش خاکدانه‌های ریز شد. همچنین استفاده همزمان باکتری و قارچ تأثیر کمتری بر پایداری خاکدانه‌ها نسبت به اثرات جداگانه آن‌ها داشت، زیرا استفاده همزمان، تأثیری بر رشد گیاه نداشت. در شرایط مزرعه تیمارها تأثیر معنی‌داری بر سایر کلاس اندازه خاکدانه‌ها نداشتند. نتایج نشان داد که همزیستی میکوریزی و باکتری ریزوبیوم به‌عنوان یک روش بیولوژیک و پایدار باعث ارتقای کیفیت ساختمان خاک شد.

**واژه‌های کلیدی:** کود بیولوژیک، کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

### مقدمه

میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌نمایند. در این خصوص همزیستی ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریزا، از رایج‌ترین و سابقه دارترین روابط همزیستی است که در اکثر اکوسیستم‌ها وجود دارد و در حدود ۹۵ درصد گونه‌های گیاهان آوندی، لااقل یکی از گونه‌های میکوریزا را دارا هستند (۲). همچنین ریزوبیوم‌ها قادر به ترشح موادی هستند که می‌توانند ذرات خاک را به یکدیگر بچسبانند و از این طریق در افزایش کیفیت ساختمان خاک مؤثر باشند (۲۲). بنابراین بررسی نقش کودهای زیستی به‌ویژه کودهای زیستی شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها در بهبود خواص فیزیکی خاک و به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان جایگزینی برای سایر تثبیت‌کننده‌ها و افزودنی‌های معمول و کودهای شیمیایی، به‌شرط بررسی آزمایشگاهی و در نظر گرفتن ابعاد محیط زیستی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

ساختمان خاک حاصل آرایش ذرات خاک در کنار یکدیگر و اتصال این ذرات به‌وسیله نیروهای چسبنده است. خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هم‌آوری ذرات اولیه به همراه مواد آلی و عوامل اتصال دهنده تشکیل می‌شوند (۲۴). از طرفی نیز پایداری خاکدانه‌ها اثر مهمی در گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخه کربن، مقدار آب و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش ایفا می‌کند (۳). توزیع اندازه خاکدانه

خاک یکی از منابع طبیعی حیات است و نقش‌های کلیدی بسیاری در اکوسیستم ایفا می‌کند. در دو دهه اخیر، توجه عموم نسبت به کیفیت خاک در دنیا افزایش یافته است. همچنین بررسی کیفیت خاک به‌منظور حداکثر بهره‌برداری از کشاورزی با کمترین تخریب زیست محیطی ضروری می‌باشد. بر همین اساس استفاده از اصلاح‌کننده‌ها و افزودنی‌های خاک از قبیل مواد طبیعی، آلی و مصنوعی به‌منظور افزایش پایداری ساختمان خاک و بهبود خواص فیزیکی خاک مورد آزمایش قرار گرفته است. ریشه گیاهان، زیستگاه مناسبی را برای فعالیت بسیاری از

۱، ۲، ۴، ۵ و ۶ - به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، دانشجوی دکتری، دانشجو سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی سابق کارشناسی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(Email: h.bayat@basu.ac.ir)

(\*) نویسنده مسئول:

۳ - دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.79810

حاکی از وجود همبستگی مثبت بین پایداری خاکدانه‌ها و مؤلفه‌های مذکور و از همه بیشتر با میزان سوخت و ساز میکروبی بود. علاوه بر این، مؤلفه‌های میکروبیولوژیکی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های جنگلی (به علت سوخت و ساز میکروبی) به مراتب فعال‌تر و بیشتر از خاک‌های پدزولی بود. پژوهش اسکیرینر و بتلفالوی (۴۳) نیز نشان داد که تجمع خاک به‌وسیله قارچ مایکوریزا ممکن است شامل گره خوردگی فیزیکی هیف قارچ مایکوریزا و ریشه‌های نازک گیاه میزبان با ذرات خاک یا ترشح مواد شیمیایی توسط هیف قارچ مایکوریزا آربسکولار باشد، که باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر می‌شود. میلر و جاسترو (۳۲) طی تحقیقی، اثر قارچ‌های مایکوریزا بر ساختمان خاک بررسی کرده و نتیجه گرفتند که این قارچ‌ها بیشترین اثر را بر پایداری خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۲۵۰ میکرومتر) دارند. علی‌رغم اینکه همزیستی سه جانبه قارچ مایکوریزا، باکتری و حبوبات در کشاورزی اهمیت دارد و بر ساختمان خاک تأثیر می‌گذارد و محققان در تلاش برای یافتن گونه‌های بهتر قارچ مایکوریزا و باکتری تحت شرایط مختلف از جمله تنش‌های محیطی هستند، با این وجود تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریزای گونه (گلموس موسه<sup>۱</sup>) بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها، همزمان در دو شرایط مزرعه و گلخانه، به‌ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریزای گونه گلموس موسه<sup>۱</sup> با نخود بر پایداری خاکدانه‌ها و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو شرایط مزرعه‌ای و گلخانه‌ای بود.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک شامل باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریزا گونه گلموس موسه<sup>۱</sup> بر برخی خواص فیزیکی خاک، آزمایشی در دو مرحله و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی عباس آباد و گلخانه تحقیقاتی واقع در دانشگاه بوعلی سینا- همدان اجرا شد.

### آزمایش مزرعه‌ای

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ی عباس آباد واقع در دانشگاه بوعلی سینا با موقعیت جغرافیایی (N 34°47'26.21" و E 48°28'40.14")، به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح بذور با قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*)، تلقیح بذور با باکتری ریزوبیوم، تلقیح همزمان با مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) بود. در آزمایش مزرعه‌ای ۱۲ واحد آزمایشی به ابعاد ۱۰ × ۱۵ متر در نظر گرفته شد. گیاه نخود در اسفند ماه ۹۲ کاشته شد و در اواخر خرداد ماه ۹۳ نیز برداشت شد. برای آلوده‌سازی با باکتری ریزوبیوم، بذورهای

ها به‌عنوان شاخصی از پایداری ساختمان خاک به کار رفته است. همچنین شاخص‌های متعددی برای ارزیابی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری خاکدانه‌ها پیشنهاد شده است (۱۳). از جمله این شاخص‌ها می‌توان به میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها<sup>۱</sup> (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها<sup>۲</sup> (GMD) اشاره کرد.

در اکثر مطالعات ماده آلی را به‌عنوان عامل اصلی در تشکیل خاکدانه در نظر گرفته‌اند و تأثیر مایکوریزا و باکتری همزیست را، با توجه به اهمیت زیادی که این میکروارگانیسم‌ها در روند تشکیل خاکدانه‌ها دارند، کمتر مورد بررسی قرار داده‌اند. پایداری خاکدانه‌های خاک در نتیجه واکنش پیچیده فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ایجاد می‌شود (۵۰). از طرفی نیز کودهای بیولوژیک با تأثیر بر رشد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود در خاکدانه‌سازی می‌شوند. پارمار و همکاران (۳۸) گزارش کردند که تلقیح نخود با باکتری ریزوبیوم باعث افزایش وزن گره‌ها، ریشه و ساقه و نیتروژن کل در گیاه شد. نتایج بررسی بتلفالوی و همکاران (۵) حاکی از آن بود که خاکدانه‌های پایدار در آب با ریشه و توسعه میسلیوم قارچ مایکوریزا در خاک همبستگی مثبت دارند. ایسا و همکاران (۱۹) نیز گزارش کردند که خاک با پوشش سیانوباکتر ماده آلی تولید می‌کند و مقدار کربن آلی را افزایش داده و باعث پایداری بیشتر خاکدانه‌ها در آب می‌شود، که وجود خاکدانه قوی در خاک با تیمار باکتری همزیست می‌تواند به تولید پلی‌ساکارید نسبت داده شود.

مطالعات متعددی گزارش کردند که پلیمر خارج سلولی که توسط کود بیولوژیک (سیانوباکتر) استخراج می‌شود یک بستر مناسب برای رشد گیاه فراهم می‌کند و باعث افزایش فعالیت میکروفلورهای هتروتروف شبیه ساپروفیت و همزیست‌ها (ریزوبیوم) می‌شود، که به‌نوبه خود باعث افزایش تولید پلی‌ساکارید و در نتیجه باعث پایداری ساختمان خاک می‌گردد (۳۵). همچنین هامل و همکاران (۱۶) با تحقیق بر روی تره فرنگی، افزایش تعداد خاکدانه‌ها در دامنه‌ی ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر، که ارتباط مثبت با تلقیح گلموس اینتراداسه<sup>۳</sup> و گلموس ورتیسفورم<sup>۴</sup> داشت، را نشان دادند. از طرفی نیز کود بیولوژیک حاوی سیانوباکترهای تثبیت کننده ازت باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها از طریق افزایش ماده آلی و بهبود فعالیت‌های میکروبی و تولید پلی‌مر خارج سلولی (۲۹) و کاهش فرسایش می‌شود (۲۷). آمر و همکاران (۵۱) ارتباط بین مؤلفه‌های پایداری خاکدانه‌ها، غلظت مواد آلی، بافت خاک و جرم مخصوص ظاهری را با برخی مؤلفه‌های پایایی ریز موجودات خاکزی از قبیل تنفس پایه، تنفس ناشی از بستر، زیست توده میکروبی و ضریب سوخت و ساز میکروبی بررسی کردند. نتایج

- 1- Mean weight diameter
- 2- Geometric mean diameter
- 3- *Glomus intraradices*
- 4- *Glomus versiforme*

گردید. تلقیح بذور با باکتری ریزوبیوم مشابه با پژوهش مزرعه‌ای بود و برای تلقیح بذور با قارچ میکوریزا به گلدان‌هایی که حاوی تیمار قارچ میکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ اضافه گردید. برای آماده کردن تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا (حذف قارچ میکوریزا)، مقداری از کود بیولوژیک حاوی میکوریزا برای سه مرتبه به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو (فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس) استریل گردید. به گلدان‌هایی که حاوی تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم از تیمار مورد نظر اضافه گردید. پس از تلقیح بذور نخود با باکتری، بذرها در سینی‌های کشت کاشته شدند. پس از جوانه زدن بذرها، گیاهچه‌های نخود به گلدان‌های آماده شده برای هر تیمار منتقل شدند. در ابتدا در درون هر گلدان تعداد ۵ بذر جوانه زده شده‌ی نخود قرار داده شد و بعد از خارج شدن گیاهچه از خاک فقط ۲ گیاهچه در گلدان حفظ و بقیه حذف شدند. پس از برداشت محصول در خرداد ماه، یک نمونه دست‌خورده با احتیاط کامل و حداقل دست‌خوردگی (از عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری) برداشت شد. مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (۵۲) اندازه‌گیری شد.

#### میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

برای به دست آوردن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از روش کمپر و روزنا (۲۱) که مشابه روش یودر (۵۷) است، استفاده گردید. ۳۰ گرم از خاکدانه‌های هوا خشک به قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر بر روی سری الک‌ها گذاشته شدند ( $W_1$ ). اندازه سوراخ‌های سری الک‌ها از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر بود. دامنه حرکت عمودی در داخل آب ۲/۶ سانتی‌متر و با شدت نوسان ۳۰ دور در دقیقه برای مدت زمان ۱۲/۵ دقیقه درون سطل پر از آب با حرکت رفت و برگشتی الک شد. پس از پایان الک کردن خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک به درون پتری‌دیش شسته شده و نهایتاً در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن گردیدند ( $W_2$ ). پس از وزن کردن هر سری از خاکدانه‌ها، درصد شن و سنگریزه آن‌ها با استفاده از همان الک اندازه‌گیری شد ( $W_3$ ) و از وزن اولیه خاکدانه‌های روی هر الک کم گردید. وزن آب خاکدانه‌های هوا خشک با قرار دادن ۱۰ گرم از آن در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید و بر پایه  $gg^{-1}$  محاسبه شد ( $W_c$ ). پایان از فرمول زیر برای برآورد خاکدانه‌های پایدار در آب ( $WSA_i$ ) در هر اندازه بهره‌گیری شد.

$$WSA_i = (W_{2i} - W_{3i}) / (W_s - \sum W_{3i}) \quad (1)$$

$$W_s = (W_1 / (1 + W_c)) \quad (2)$$

برای محاسبه MWD از فرمول زیر استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i WSA_i \quad (3)$$

i شاخص کلاس اندازه خاکدانه‌ها، n تعداد غربال که در این آزمایش ۵ الک به کار رفت و  $x_i$  میانگین قطر خاکدانه‌های به‌جا مانده

نخود با کود ریزوچک پی سوپر پلاس<sup>۱</sup> تلقیح داده شدند. کود ریزوچک پی سوپر پلاس به گونه پودری بود که بر پایه روش آماده سازی آن که بر روی محصول نوشته شده بود آماده گردید. در روز کاشت بذرها، نخود، با وزن ویژه‌ای (۰/۰۶۴ گرم) از چسب که داخل جعبه کود قرار داشت با اندازه مشخصی از آب شهری (۸ میلی‌لیتر) مخلوط شد و بذرها، نخود (۲۰۰ گرم) با آن آغشته گردیدند و سپس میزان ۵/۷۱ گرم از کود بر روی بذرها، نخود، آماده شده با چسب، پاشیده شد و به این ترتیب بذرها، نخود به باکتری مزو ریزوبیوم<sup>۲</sup> آلوده شدند.

مایه تلقیح قارچی از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک اسد آباد تهیه گردید. مایه تلقیح شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی و در هر گرم مایه تلقیح شامل ۵۰ تا ۱۰۰ عدد اسپور بود. استفاده از مایه تلقیح بدین صورت انجام شد که قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی ۲ تا ۳ گرم مایه تلقیح درون حفره‌هایی، به عمق ۸ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر، که برای کاشت بذر ایجاد شده بودند ریخته شد، سپس روی مایه تلقیح ۳ بذر قرار داده شد و در نهایت بذرها با خاک پوشانده شدند. تلقیح بذور نخود با باکتری ریزوبیوم و میکوریزا به این صورت بود که مشابه با روش‌های قبل بذرها، نخود با باکتری ریزوبیوم تلقیح و سپس در درون حفرات حاوی قارچ میکوریزا (مشابه با روش تلقیح با قارچ میکوریزا) قرار داده شدند.

نمونه‌برداری در اوایل تیرماه ۹۳ پس از برداشت محصول انجام گرفت به طوری که از هر واحد آزمایشی، در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری نمونه دست‌خورده برداشت شد.

#### آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی واقع در دانشگاه بوعلی سینا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به مدت چهار ماه اجرا شد. برای انجام آزمایش گلخانه‌ای یک نمونه خاک لومی از مزرعه تحقیقاتی عباس آباد (دقیقا 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 (قطر ۱۹/۵ و ارتفاع ۲۳/۵ سانتی‌متر)، بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه ( $1/5 gcm^{-3}$ ) پر گردید.

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

1- Rhizochick pea super plus

2- Mezorhizobium

وجود نداشت. از طرف دیگر ضریب چولگی در دامنه ۱ و ۱- و ضریب کشیدگی در دامنه ۳ و ۳- قرار داشت. این نتایج نیز نشان دهنده آن است که مقادیر خطای مدل برای تمام متغیرها از توزیع نرمال پیروی می کند (داده‌ها گزارش نشده است).

### تأثیر کودهای بیولوژیک بر ارتفاع و عملکرد کل در شرایط گلخانه و کربن آلی در دو شرایط گلخانه و مزرعه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها در شرایط گلخانه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار عملکرد کل گیاه در شرایط گلخانه معنی دار نشد. اما تأثیر تیمارها بر ارتفاع گیاه و ماده آلی (در سطح یک درصد) معنی دار شد (جدول ۲).

از طرفی نیز نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در شرایط مزرعه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر ماده آلی معنی دار نشد (جدول ۲). در مزرعه شرایط کنترل نشده (از نظر بارندگی، دما و آبیاری) بود. همچنین آبیاری به صورت دیم صورت گرفت. ولی در شرایط گلخانه گلدان‌ها آبیاری می شدند و همچنین شرایط دمایی کنترل شده بود. در نتیجه احتمالاً این پارامترها با تأثیر بر چرخه‌های تر و خشک شدن باعث تفاوت در نتایج مزرعه و گلخانه‌ای شدند. همچنین در شرایط مزرعه بارندگی‌های صورت گرفته نیز می‌تواند بر پایداری خاکدانه و ساختمان خاک تأثیر گذاشته باشد و باعث کاهش تفاوت اثر تیمارهای مختلف شده باشد.

در شرایط گلخانه تیمار حاوی مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه نسبت به سه تیمار شاهد با گیاه، مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و تیمار سترون شده شد، اما تفاوت معنی‌داری را با باکتری ریزوبیوم ایجاد نکرد. ارتفاع گیاه در تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم تفاوت معنی‌داری با مایکوریزا نداشت، ولی افزایش معنی‌داری نسبت به ماده زمینه سترون داشت (شکل ۱-a). نساری و همکاران (۳۶) بیشترین مقدار وزن خشک ریشه و ساقه، ارتفاع و تعداد برگ در تیمار تلقیح شده با باکتری گزارش کردند. محمدی و همکاران (۳۴) افزایش ارتفاع گیاه را ۹۰ روز بعد از کاشت در تیمار حاوی مایکوریزا و کود فسفره گزارش کردند.

بر روی هر الک که برابر با میانگین قطر روزنه‌های غربالی که خاکدانه‌ها بر روی آن به‌جا مانده و قطر روزنه غربال بالایی آن بود. برای بررسی جرم خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه ذرات، جرم خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک اندازه‌گیری شد و مورد آنالیز قرار گرفت. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و بررسی نرمال بودن توزیع خطاها (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) با استفاده از نرم‌افزار SAS (۱۸) انجام گرفت. در صورت نرمال نبودن توزیع خطای متغیرها، تبدیل داده بر روی آن‌ها انجام گرفت.

### نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک مورد آزمایش دارای کلاس بافت لوم شنی بود. مقدار متوسط سه تکرار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک مورد استفاده در این پژوهش ۰/۱۲ میلی‌متر بود که طبق تقسیم‌بندی لی بیسونایس (۶) جزو خاکدانه‌های بسیار ناپایدار تقسیم‌بندی شد. همچنین در خاک مورد آزمایش مقدار رطوبت پژمردگی دائم پایین است. زیرا مقدار رس (۱۵/۳۳ درصد) خاک کم است (جدول ۱). این خاک دارای پ-هاس قلیایی متعادل بوده (۱۱) و میزان فسفر قابل جذب آن اندک می‌باشد (۱۷)؛ بنابراین انتظار بر آن است که قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در این خاک به علت بالا بودن پ-هاس، پائین باشد. هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه نشان داد که این خاک، غیر شور است (۴۱). گنجایش تبادل کاتیونی خاک مورد استفاده در این پژوهش در حد متوسط بود (جدول ۱).

### بررسی داده‌ها و ارزیابی فرضیات آزمون

با توجه به آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (فرض توزیع نرمال خطای مدل برای متغیرها را آزمون می‌کند) برای تمامی متغیرها به‌جز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شرایط مزرعه از ۰/۰۵ بیشتر است، نتیجه گرفته می‌شود که توزیع خطای مدل برای متغیرها از لحاظ آماری نرمال می‌باشد. داده‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها برای شرایط مزرعه با روش COS نرمال شده است. همچنین در تمامی متغیرها تعداد داده پرت مورد بررسی قرار گرفت، که هیچ داده پرتی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Physical and chemical properties of the studied soil

P	OC	EC	D <sub>b</sub>	CEC	pH	FC	PWP	Clay	Sand	Silt	Texture	MWD
mgkg <sup>-1</sup>	%	dSm <sup>-1</sup>	gcm <sup>-3</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>	-	درصد وزنی	درصد وزنی	%	%	%	-	mm
10.8	0.73	0.34	1.5	21.67	7.82	20	7	15.33	44.59	40.08	لوم	0.12

\*MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، D<sub>b</sub>: جرم مخصوص ظاهری، OC: کربن آلی، CEC: گنجایش تبادل کاتیونی، EC: هدایت الکتریکی، P: فسفر، Clay: رس، Sand: شن، Silt: سیلت، PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم، FC: رطوبت ظرفیت زراعی.

\*MWD: mean weight diameter, D<sub>b</sub>: bulk density, OC: organic carbon, CEC: cation exchange capacity, EC: electrical conductivity, P: Phosphorus, PWP: permanent wilting point and FC: field capacity.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، کربن آلی خاک و ارتفاع و عملکرد کل بوته در شرایط گلخانه و مزرعه

Table 2- Analysis of variance of the effects of treatments on mean weight diameter of the aggregates, organic carbon and height and total performance in the greenhouse and field conditions

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD (mm)	کربن آلی OC (%)	عملکرد کل Yield (g)	ارتفاع بوته Height (cm)
تیمار (گلخانه) Treatment (Greenhouse)	5	0.022**	0.057**	117.28 <sup>ns</sup>	89.68**
تکرار Replication	2	0.0035 <sup>ns</sup>	0.0099 <sup>ns</sup>	32.42 <sup>ns</sup>	11.33 <sup>ns</sup>
خطا Errors	10	0.003	0.0069	56.89	8.13
تیمار (مزرعه) Treatment (Field)	3	0.003 <sup>ns</sup>	0.026 <sup>ns</sup>		
تکرار Replication	2	0.005 <sup>ns</sup>	0.0069 <sup>ns</sup>		
خطا Errors	6	0.022	0.0105		

ns و \*\* به ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار و تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند. داده‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها برای شرایط مزرعه با روش COS نرمال شده است.

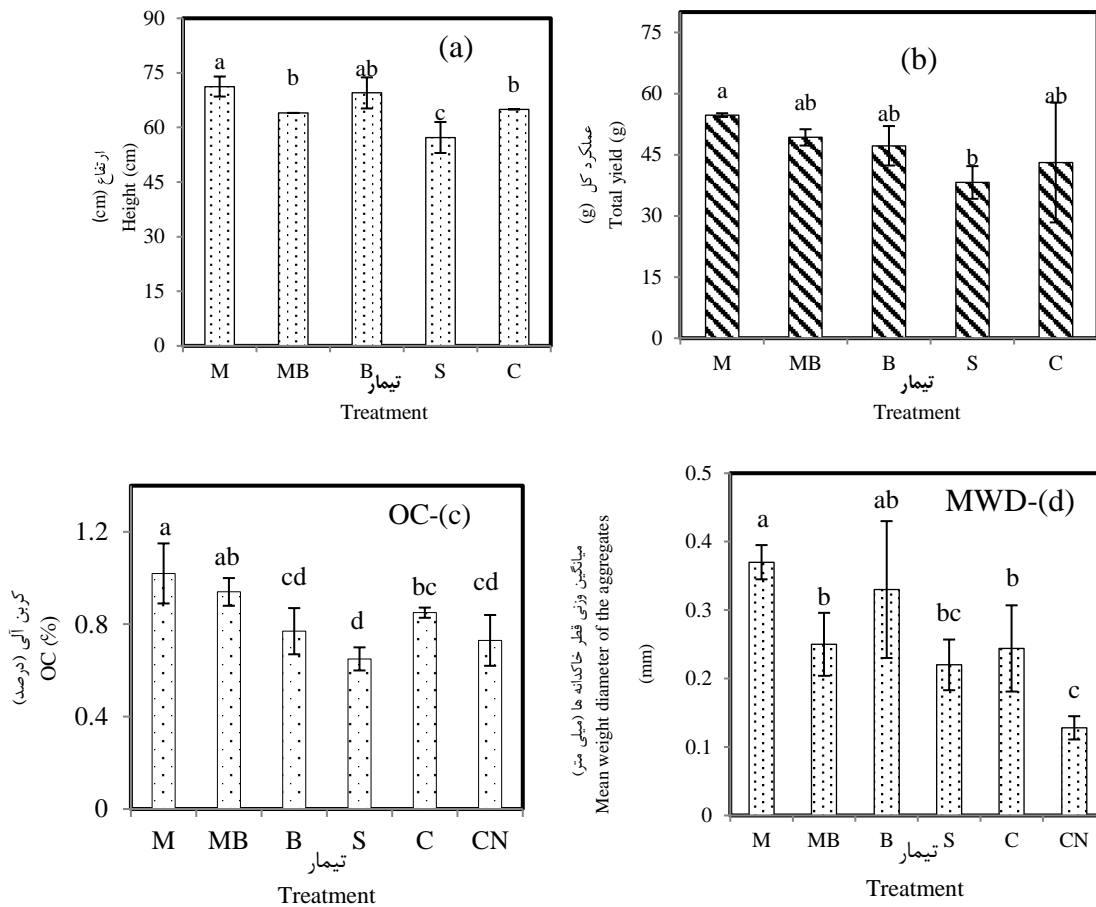
ns, and \*\* indicate not significant and significant at  $p < 0.01$ , respectively. The mean weight diameter of the aggregates data for field condition normalized with cos transformation.

ریزوبیوم تأثیر معنی‌داری بر مقدار کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، پ-هاش، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نداشت. ریشه گیاهان موجب بهبود شرایط فیزیکی و ایجاد خاکدانه می‌شوند. کربن آلی درون خاکدانه‌ها نسبت به کربن بیرون خاکدانه‌ای کمتر تحت تأثیر تجزیه قرار می‌گیرد (اوادز، ۱۹۸۴). تیمار شاهد با گیاه مقدار ماده آلی بیشتری نسبت به ماده زمینه سترون شده داشت. احتمالاً حجم ریشه گیاه و عملکرد گیاه نسبت به تیمار ماده زمینه سترون شده بیشتر باشد که در نتیجه باعث افزایش ماده آلی خاک نسبت به این تیمار گردیده است. کمترین مقدار عملکرد نیز در این پژوهش در تیمار ماده زمینه سترون شده مشاهده شد. از طرفی شاید استریل شدن تیمار ماده زمینه سترون شده در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد، به نحوی کارایی ماده آلی آن را از بین برده است.

تیمار میکوریزا-باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی نسبت به تیمارهای شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح)، باکتری ریزوبیوم و ماده زمینه سترون شده قارچی شد. وو و همکاران (۵۶) گزارش کردند که بیشترین آلودگی ریشه (سرایت قارچ به ریشه) به قارچ میکوریزا گونه گلموس موسه آ در حضور تلقیح با باکتری است. از طرفی همبستگی معنی‌دار بین مقدار ماده آلی با بیوماس گیاهی حاکی از آن است که ماده آلی در ریزوسفر ریشه به‌طور عمده تحت تأثیر رشد گیاه، به‌خصوص ترشحات ریشه در فرایند متابولیسم و فعالیت‌های فیزیولوژیکی قرار می‌گیرد.

نتایج مقایسه میانگین عملکرد کل تیمارها نشان داد که تیمار میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه نسبت به تیمار ماده زمینه سترون شد. اما تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارها وجود نداشت (شکل ۱-ب). رجب زاده مطلق (۳۹) افزایش وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ را در اثر تلقیح بذر لوبیا قرمز با میکوریزا گزارش کرد. اختر و سیدیکیو (۱) افزایش اندام هوایی نخود را در اثر تلقیح با قارچ میکوریزا اینترادایسه گزارش کردند.

مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار کربن آلی خاک در شرایط گلخانه نشان داد که تیمار میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک نسبت به تیمارهای شاهد با گیاه و بدون گیاه (بدون تلقیح) و باکتری ریزوبیوم و ماده زمینه سترون شده قارچی شد (شکل ۱-ج). از طرفی نیز تفاوت بین تیمارهای میکوریزا با میکوریزا-باکتری ریزوبیوم معنی‌دار نشد (شکل ۱-د). ارتاس (۳۷) نیز گزارش کرد که تیمارهای کودی حاوی میکوریزا به‌طور معنی‌داری دارای مقدار کربن آلی بیشتری نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) و کودهای شیمیایی دیگر بودند. از طرفی تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار باکتری ریزوبیوم، ماده زمینه سترون شده قارچی و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) وجود نداشت (شکل ۱-د). هرچند که مقدار کربن در تیمار ماده زمینه سترون شده کمتر از شاهد بدون گیاه بود، ولی این تفاوت معنی‌دار نشد. همچنین مشابه با نتایج این پژوهش در شرایط مزرعه سولفاب (۴۸) نیز گزارش کرد که باکتری



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف: در شرایط گلخانه بر (a) ارتفاع گیاه، (b) عملکرد کل گیاه، (c) کربن آلی، (d) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

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). Similar letters on the columns indicate no significant difference at  $P < 0.05$  based on Duncan's multiple mean comparison. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

Figure 1- The mean comparison of the effect of different treatments: in greenhouse condition on (a) Plant height, (b) Total yield, (c) Organic carbon (d) Mean weight diameter of the aggregates

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). Similar letters on the columns indicate no significant difference at  $P < 0.05$  based on Duncan's multiple mean comparison. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

### تأثیر کودهای بیولوژیک بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شرایط مزرعه و گلخانه

در مطالعه حاضر پایداری خاکدانه‌ها توسط شاخص MWD اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در شرایط گلخانه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد آماری، بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط مزرعه تأثیر تیمارهای مختلف بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). ریشه‌ها چرخه خشک و مرطوب شدن خاک مجاور را افزایش می‌دهند (ریشه‌ها به دنبال جذب عناصر غذایی، تعادل اسمزی و یونی خاک مجاور را تغییر می‌دهند) و از این طریق می‌توانند سبب

چرا که رسول و همکاران (۴۰) گزارش کردند که کودهای غیر آلی با افزایش بیومس ریشه نسبت به گلدان‌های شاهد باعث افزایش مقدار ماده آلی خاک شدند. همچنین هرچند که تفاوت معنی‌داری بین دو شاهد وجود ندارد اما با توجه به (شکل ۱- C) مقدار کربن بیشتری در تیمار شاهد با گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد (شکل ۱- C). چرا که وجود خود ریشه و ترشحات ریشه در تیمار شاهد با گیاه (بدون تلقیح) بر روی مقدار کربن آلی تأثیر گذاشته و باعث افزایش کربن آلی نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شده است. بنابراین عدم وجود گیاه و ریشه گیاه می‌تواند دلیلی برای کم بودن کربن آلی در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) باشد.

باعث دسترسی بیشتر گیاه به فسفر و نیتروژن شود (۴۷). هرچند که عدم تأثیر افزاینده و معنی دار تلقیح تلفیقی این دو میکروارگانیسم بر رشد گیاه نیز گزارش شده است (۴۷ و ۲۰). بنابراین احتمالاً در این تحقیق نیز مشابه با تحقیق‌های صورت گرفته تلقیح همزمان باکتری و قارچ بر رشد گیاه تأثیر معنی داری نداشته است. در این پژوهش مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار شاهد بدون گیاه ۰/۱۳ میلی‌متر است. اما در تیمار حاوی باکتری و قارچ به ۰/۲۵ میلی‌متر افزایش پیدا کرد. هر چند که تفاوت آن نسبت به حضور جداگانه هر کدام از تیمارها کمتر بود، که می‌تواند به علت ذکر شده، یعنی عدم تأثیر معنی دار تلقیح تلفیقی این دو میکروارگانیسم بر رشد گیاه باشد.

ایسا و همکاران (۱۹) مشاهده کردند که خاک با پوشش کود بیولوژیک (سیانوباکتر) ماده آلی تولید می‌کند که مقدار کربن آلی را افزایش داده و باعث پایداری بیشتر خاکدانه‌ها در آب می‌شود. پس، خاکدانه‌های بهتر در خاک با تیمار باکتری همزیست می‌تواند به تولید پلی‌ساکارید نسبت داده شود. از طرفی نیز تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم هرچند که اختلاف معنی داری با تیمار ماده زمینه سترون شده و شاهد با گیاه ایجاد نکرد، اما با توجه به شکل d-1 باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد. بتلنفالوی و همکاران (۵) نیز گزارش کردند که تلقیح همزمان قارچ مایکوریزا با باکتری ریزوبیوم باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد (قارچ به همراه ازت)، تیمار قارچ× آمونیوم و تیمار قارچ× نترات شد. همچنین بیومس بیشتر در ساقه و ریشه گیاهان ممکن است به بهبود ساختمان خاک و یا افزایش در جذب عناصر غذایی و آب (۹) نسبت داده شود. در این پژوهش نیز تلقیح چهار ماه قارچ مایکوریزا و دو تیمار کود بیولوژیک دیگر باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد (شکل d-1). مشابه با نتایج این پژوهش، وانگ و همکاران (۵۳) نیز گزارش کردند که تلقیح چهار ماه گیاه با گونه‌های مختلف مایکوریزا باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها شد. در این تحقیق طبق پژوهش‌های انجام شده هدف بررسی تأثیر کوتاه مدت این کودها بود. همچنین بررسی تأثیر خود ریشه نیز بر هم آوری ذرات مورد نیاز بود. زیرا ریشه از طریق ترشح مواد و ایجاد شبکه‌ها بر ایجاد خاک‌دانه‌ها و پایداری آن‌ها مؤثر است. بنابراین مدت زمان این تحقیق برای بررسی تأثیر تیمارهای حاوی کود بیولوژیک بر پایداری خاکدانه‌ها کفایت می‌کرد.

از طرفی نیز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که شاخصی از خاکدانه‌های خاک است به طور مثبت وابسته به کربن آلی است. با توجه به شکل c-1 بیشترین مقدار کربن آلی در تیمار قارچ مایکوریزا و مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و کمترین مقدار کربن آلی در تیمار سترون شده مایکوریزا و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد. همچنین در این پژوهش نیز همبستگی مثبت و بالایی بین کربن آلی با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ( $R^2=0/53$ ) مشاهده شد. در واقع ماده

افزایش یا کاهش پایداری خاکدانه‌ها شوند، که احتمالاً وابسته به نوع رس است. بنابراین احتمالاً طبق موارد ذکر شده در قبل، در شرایط مزرعه به علت شرایط آب و هوایی کنترل نشده و آبیاری، چرخه‌های تر و خشک شدن باعث کاهش تفکیک اثر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است. مشابه با این پژوهش وو و همکاران (۵۵) گزارش کردند که مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار حاوی ریشه و هیف و تیمار حاوی ریشه و بدون هیف قارچ مایکوریزا مشابه است و مهم نیست که خاک تحت تیمار مایکوریزا یا غیر مایکوریزا باشد. از طرفی ریشه خود گیاه در مقدار ماده آلی خاک شرکت دارد و بنابراین خاکدانه‌های خاک را به طور مستقیم از طریق مواد خود ریشه (۵۴) و به طور غیرمستقیم از طریق تحریک فعالیت میکروبی در ناحیه ریزوسفری تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۹)؛ بنابراین یکی از دلایل عدم تأثیر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها احتمالاً پوشش تأثیر مایکوریزا و باکتری توسط اثر ریشه‌ها در شرایط مزرعه بوده است.

در شرایط گلخانه مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد (شکل d-1). همچنین در بین تیمارهای کود بیولوژیک میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اثر همزیستی با قارچ گلوموس موسه آ نسبت به تیمارهای شاهد با گیاه و بدون گیاه (بدون تلقیح)، تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا افزایش یافت و کمترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای ذکر شده در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد. این یافته نشان دهنده اهمیت خود ریشه گیاه در ایجاد خاکدانه‌های پایدار در خاک می‌باشد. مطالعات مختلفی اثر پوشش گیاهی بر ساختمان خاک و پایداری ساختمان خاک را گزارش کرده‌اند (۸). چرا که وجود ریشه گیاهان باعث در هم رفتگی ذرات خاک شده و از طریق ترشحات استخراج شده باعث تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (۱۰).

افزایش MWD در تیمارهای قارچی گونه گلوموس موسه آ احتمالاً می‌تواند در اثر ترشحات گلیکوپروتئینی به نام گلومالین باشد (در این تحقیق اندازه‌گیری نشده است) که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها می‌گردد (۲۸). در این پژوهش مشابه با پژوهش وانگ و همکاران (۵۳) تیمار مایکوریزا باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا شد. همچنین با توجه به شکل d-1 اختلاف معنی داری بین تیمارهای مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) وجود ندارد. از طرفی نیز اختلاف معنی داری بین دو تیمار باکتری ریزوبیوم و تیمار مایکوریزا وجود نداشت. بسیاری از لگوم‌ها به طور همزمان با قارچ مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم همزیستی دارند و تلقیح توأم آن‌ها با هر دو میکروارگانیسم، می‌تواند

به سه تیمار شاهد با و بدون گیاه (بدون تلقیح) و تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا شد (شکل ۲-ا). همچنین تیمارهای میکوریزا، باکتری ریزوبیوم و شاهد با گیاه باعث افزایش معنی دار جرم خاکدانه های ۲-۴ میلی متر نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شدند (شکل ۲-ا). یکی از دلایل کارایی کم تیمار سترون شده میکوریزا در این پژوهش می تواند به علت مقدار کمتر ماده آلی (شکل ۱-ب) و همچنین با توجه به استریل شدن این تیمار و از بین رفتن قارچ میکوریزا باشد.

مشابه با این پژوهش اسکینر و همکاران (۴۴) نیز گزارش کردند که گونه های قارچی مانند گلوموس موسه آ، گلوموس اتونیکاتوم و گیگاسپور روزا از طریق افزایش خاکدانه های ۲-۴ میلی متر باعث افزایش پایداری خاکدانه ها شدند. همچنین احتمالاً عدم اتصال خاکدانه های ۲ تا ۴ میلی متر و تبدیل شدن آن ها به خاکدانه های درشت تر، عامل بیشتر بودن جرم خاکدانه هایی با قطر ۲ تا ۴ میلی متر در تیمار با گیاه (بدون تلقیح) باشد. ماده آلی با اتصال خاکدانه ها به همدیگر باعث تبدیل خاکدانه های کوچک به خاکدانه های درشت شده است و جرم این کلاس از خاکدانه ها را افزایش داده است. افزایش جرم خاکدانه هایی با قطر ۴-۸ میلی متر که جزو اندازه درشت هستند، نشان دهنده مطلوبیت ساختمان خاک است. از طرفی نیز خاکدانه های بزرگ تر از ۲۵/۰ میلی متر به عنوان خاکدانه های پایدار و بزرگ محسوب شده (۳۱) و از این نظر می توان عنوان داشت که کاربرد تیمارهای میکوریزا و باکتری ریزوبیوم باعث افزایش جرم این کلاس از خاکدانه ها (۴-۸ و ۲-۴ میلی متر) شده است.

آلی به عنوان یک عامل سیمانی کننده عمل کرده و برای هموار نمودن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه های مقاوم اهمیت دارد. نیروی چسبندگی بیشتر به واسطه تشدید نیروهای هم چسبی بین ذرات معدنی و پلیمرهای آلی قابلیت خیس شدن خاکدانه ها و در نتیجه تخریب و فروپاشی آن ها را کاهش می دهد.

علاوه بر کربن آلی عوامل دیگری مانند هیف، اسپور، گلو مالین، عملکرد گیاه و ریشه نیز بر پایداری خاکدانه ها موثر هستند. بنابراین هر چند که در تیمار باکتری-قارچ مقدار ماده آلی بیشتر است، ولی احتمالاً در این تیمار تاثیر عوامل دیگر بر پایداری خاکدانه نسبت به سایر تیمارها (باکتری و قارچ به صورت جداگانه) کمتر بوده است. زیرا نتایج مربوط به عملکرد و ارتفاع گیاه گواهی بر این موضوع است و این تیمار تفاوت معنی داری از نظر عملکرد و ارتفاع گیاه، با شاهد (با گیاه) نداشت. اما در این تحقیق تیمار ماده زمینه سترون شده علاوه بر کم بودن مقدار ماده آلی کمترین مقدار عملکرد را نسبت به سایر تیمارها داشت که این علت می تواند یکی از عوامل کمتر بودن MWD در این تیمار باشد.

### تأثیر کودهای بیولوژیک بر جرم خاکدانه ها در کلاس اندازه های مختلف در شرایط گلخانه و مزرعه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف در سطح ۵ درصد آماری بر جرم خاکدانه های ۴-۸ و ۲-۴ میلی متر در شرایط گلخانه معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه های ۴-۸ میلی متر نشان داد که تیمار میکوریزا باعث افزایش معنی دار جرم این کلاس از خاکدانه ها نسبت

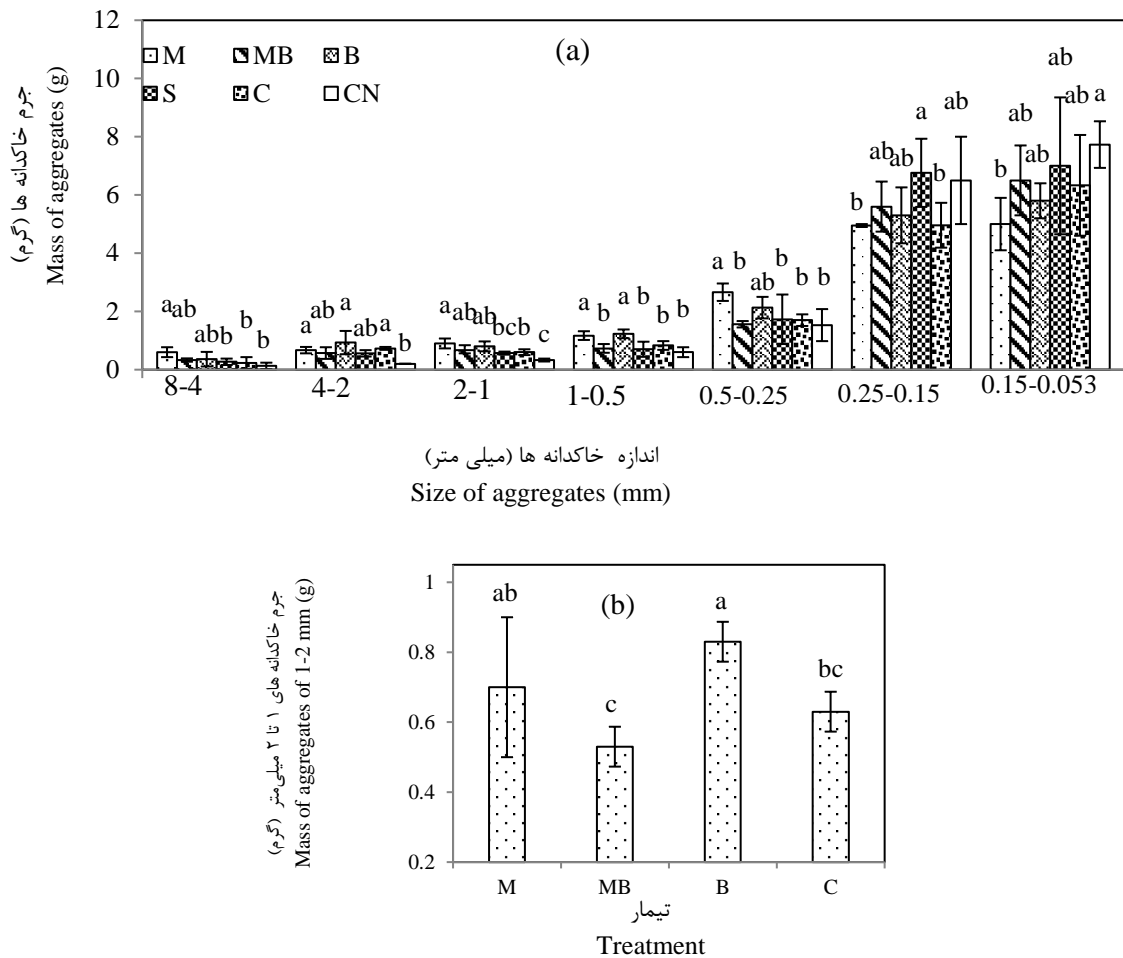
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر جرم خاکدانه ها با اندازه های مختلف در شرایط گلخانه و مزرعه

Table 3- The results of analysis of variance of the effects of treatments on the mass of aggregates with different sizes in the greenhouse and field conditions

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares						
		8-4 (mm)	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.15	0.15-0.053
تیمار (گلخانه) Treatment (Greenhouse)	5	0.076*	0.18*	0.12**	0.20**	0.57 <sup>ns</sup>	1.82 <sup>ns</sup>	2.69 <sup>ns</sup>
تکرار Replication	2	0.034 <sup>ns</sup>	0.028 <sup>ns</sup>	0.0072 <sup>ns</sup>	0.028 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	1.86 <sup>ns</sup>	3.37 <sup>ns</sup>
خطا Errors	10	0.027	0.041	0.017	0.033	0.20	0.81	1.69
تیمار (مزرعه) Treatment (Field)	3	0.023 <sup>ns</sup>	0.076 <sup>ns</sup>	0.047**	0.23 <sup>ns</sup>	0.50**	2.95 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>
تکرار Replication	2	0.51 <sup>ns</sup>	0.076 <sup>ns</sup>	0.032 <sup>ns</sup>	0.076 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>
خطا Errors	6	0.31	0.11	0.0058	0.12	0.48	2.03	0.50

ns \* و \*\* به ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی دار در سطح ۵ درصد، تأثیر معنی دار در سطح ۵ درصد و تأثیر معنی دار در سطح ۱ درصد می باشند.  
ns, \* and \*\* indicate not significant at P < 0.05, significant at P < 0.05 and P < 0.01, respectively.





شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف در شرایط گلخانه بر (a) جرم خاکدانه‌های درشت و کوچک در کلاس‌های مختلف اندازه و (b) در شرایط مزرعه بر جرم خاکدانه‌های ۱ تا ۲ میلی‌متر

M, MB, B, S, C و CN به ترتیب نشان‌دهنده تیمار مایکوریزا، مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار سترون شده مایکوریزا، شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) می‌باشند. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها در هر کدام از کلاس‌های اندازه، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن بین تیمارهای آن کلاس اندازه می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است

Figure 2- The mean comparison of the effect of different treatments in the greenhouse condition (a) the mass of macro and micro aggregates in different size classes and in the field condition (b) on mass of aggregates of 1-2 mm

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). Similar letters on the columns indicate no significant difference at  $P < 0.05$  based on Duncan's multiple mean comparison. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

آن‌ها مورد بحث قرار نگرفت. بنابراین با توجه به تأثیر کودهای بیولوژیک بر پایداری خاکدانه‌ها و همچنین افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌توان گفت که تیمارهای کود بیولوژیک با افزایش پایداری خاکدانه‌ها بر خاکدانه‌های درشت تأثیر گذار بوده‌اند.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متر در شرایط گلخانه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار کود بیولوژیک وجود نداشت. اما هر سه تیمار کود بیولوژیک باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شدند (شکل ۲-a). از طرفی نیز مقایسه میانگین بین دو تیمار شاهد نیز معنی‌دار شد و تفاوت معنی‌داری بین ماده زمینه سترون شده مایکوریزا و شاهد بدون گیاه (بدون

نتایج تجزیه واریانس تیمارها در شرایط گلخانه نشان داد که تیمارهای مختلف، جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های ۱-۲ و ۰/۵-۱ میلی‌متر را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳)، اما تأثیر معنی‌داری بر جرم خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر ایجاد نکردند. همچنین تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های مختلف در شرایط مزرعه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متر همانند پژوهش گلخانه‌ای معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) بود. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌ها در کلاس اندازه‌های دیگر معنی‌دار نشد (جدول ۳). از طرفی با توجه به معنی‌دار نشدن اثر تیمارها بر جرم خاکدانه‌ها در اندازه‌های مختلف، مقایسه

درحالی که تأثیر این تیمارها بر خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی متر معنی‌دار نشد. در این تحقیق تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۱۵ میلی متر معنی‌دار بود (شکل ۲-ا). در واقع در بین تیمارهای مختلف بیشترین جرم خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۱۵ میلی متر مربوط به تیمار ماده سترون شده مایکوریزا بود که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمار قارچ مایکوریزا و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) بود. از طرفی هر چند که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای حاوی کود بیولوژیک با شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) وجود نداشت، اما با توجه به شکل ۲ میانگین جرم خاکدانه‌ها در این کلاس در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) بیشتر بود. از طرفی تیمار مایکوریزا باعث کاهش جرم این کلاس از خاکدانه‌ها شد. دلیل این کاهش قرار گرفتن درصد بیشتری از خاکدانه‌ها در کلاس اندازه درشت است. افزایش خاکدانه‌های درشت نشان دهنده بهبود ساختمان خاک می‌باشد.

با توجه به شکل ۲-ا بیشترین میانگین جرم خاکدانه‌های ۰/۱۵ - ۰/۰۵۳ میلی متر در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد. بنا به دلایل یاد شده در بخش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش مقدار خاکدانه‌ها با اندازه‌های درشت‌تر در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) باعث افزایش خاکدانه‌های ریز شده است. علاوه بر این عدم وجود ریشه گیاه، هیف قارچ و ترشحات ریشه و در نتیجه ماده آلی کم در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) باعث شده که خاکدانه‌ها در اثر نیروی آب متلاشی شده و به خاکدانه‌های ریزتر تبدیل شوند (و یا از ابتدا خاکدانه‌های درشت تشکیل نشوند) و تنها حدودی از آن‌ها در آب پایدار بوده و در نتیجه جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها افزایش پیدا کند.

با اعمال تیمارهای کود بیولوژیک فراوانی خاکدانه‌ها در کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز کاهش پیدا کرد، در حالی که فراوانی خاکدانه‌ها در کلاس اندازه‌های درشت‌تر افزایش پیدا کرد (شکل ۲-ب)، که نشان دهنده افزایش پایداری ساختمان خاک است. لبرن و همکاران (۲۶) نقش ماده آلی در سیستم‌های مختلف کشت را در پایداری خاکدانه‌ها مهم دانستند. به نظر می‌رسد که هر منبع آلی بسته به خصوصیات که دارد، بعد از زمان مشخصی باعث تغییر معینی در کلاس اندازه خاکدانه‌ها می‌شود.

### نتیجه‌گیری

باکتری‌ها و قارچ‌ها با افزایش کربن آلی در تیمارهای حاوی کود بیولوژیک می‌توانند عاملی برای بهبود ساختمان خاک باشند. نتایج پایداری خاکدانه‌ها نشان داد که پایداری خاکدانه‌ها در شرایط گلخانه ای تحت تأثیر تیمارهای کود بیولوژیک قرار گرفت و تیمارهای حاوی کود بیولوژیک با افزایش خاکدانه‌های درشت، باعث پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک شدند. از طرفی در شرایط گلخانه نیز پایداری خاکدانه‌ها در دو تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) و تیمار

تلقیح) وجود نداشت؛ که این می‌تواند به علت کمتر بودن ماده آلی در دو تیمار مذکور نسبت به سایر تیمارها باشد. چرا که اندازه خاکدانه‌های ۱-۲ میلی متر نسبت به مدپیریت‌های کوتاه مدت حساسیت بیشتری دارند (۲۰). نتایج مقایسه میانگین در شرایط مزرعه نتایج نشان داد که تیمار باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد و مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم شد (شکل ۲-ب). کلاب و همکاران (۱۳) تأثیر ۱۶ پلی-ساکارید استخراج شده از ریزوبیوم بر پایداری خاکدانه‌ها در ۱۰ نمونه خاک را بررسی کردند و گزارش کردند که پلی‌ساکارید استخراج شده ریزوبیوم از عوامل موثر در تشکیل ساختمان خاک هستند. همچنین خاکدانه‌سازی به‌طور معنی‌داری با افزایش حجم ریشه، جامعه میکروبی و درصد تاج پوشش افزایش می‌یابد (۴۲). در شرایط مزرعه تیمار مایکوریزا نیز باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم شد (شکل ۲-ب). آزمایش فنج و همکاران (۱۵) نشان داد که نقش هیف قارچ مایکوریزا در ایجاد خاکدانه‌های ۲-۵ و ۱-۲ میلی متر بیشتر از ریشه گیاه ذرت است. وو و همکاران (۵۵) نیز گزارش کردند که در بین تیمارهای مختلف، کلاس اندازه خاکدانه‌های ۱-۲ میلی متر تنها تحت تأثیر تیمار مایکوریزا گونه گلو موس موسه‌آ قرار گرفت.

در مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۰/۵-۱ میلی متر تیمارهای مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمارهای دیگر شدند (شکل ۲-ا). علت این افزایش را می‌توان به اثر افزایش حجم ریشه، جمعیت میکروبی و گلو مالین در بین دیگر عوامل نسبت داد (۴۲). همچنین تفاوت بین تیمارهای مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم، ماده سترون شده مایکوریزا و هر دو شاهد معنی‌دار نشد (شکل ۲-ا). شکل ۲-ب نشان می‌دهد که فراوانی خاکدانه‌ها در این کلاس اندازه خاکدانه‌ها، بسته به نوع تیمارها تا حدی متفاوت است. گلو مالین باعث تبدیل خاکدانه‌های کوچک (۰/۲۵-۰/۵ میلی متر) به خاکدانه‌های درشت ( $> 2$  و  $1-2$  میلی متر) می‌شود. استفاده از تیمار مایکوریزا باعث افزایش فراوانی کلاس ۰/۲۵-۰/۵ میلی متر شد. همچنین شکل ۲-ا نشان می‌دهد که برای همه تیمارها، جرم خاکدانه‌ها در کلاس اندازه ۰/۲۵-۰/۵ و ۰/۵-۱ میلی متر بیشترین و خاکدانه‌های ۴-۸ میلی متر کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند؛ که این موضوع نشان دهنده این است که در حضور آب و به دلیل نیروی وارده، خاکدانه‌ها بیشتر تخریب شده‌اند، در نتیجه جرم خاکدانه‌ها در این کلاس‌ها افزایش پیدا کرده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۱۵ و ۰/۰۵۳-۰/۱۵ میلی متر معنی‌دار نبود (جدول ۳). در منابع متعددی قطر ۰/۲۵ میلی متر به‌عنوان مرز خاکدانه‌های ریز و درشت گزارش شده است. در این پژوهش و با توجه به جدول ۴ و شکل ۲-ا نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر خاکدانه‌های درشت‌تر از ۰/۲۵ میلی متر معنی‌دار بود.

شیمیایی در اراضی کشاورزی دستخوش تغییرات شده‌اند. بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود برای به‌کارگیری تثبیت‌کننده‌ها، استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی یک راه حل مناسب در جهت رفع این مشکلات به شمار می‌رود. توصیه می‌شود در تحقیقات بعدی کارایی سایر گونه‌های قارچ میکوریزی و باکتری ریزوبیوم نیز در ارتقای کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه در مقیاس مزرعه‌ای مطالعه گردد. همچنین با توجه به انجام شدن این طرح در شرایط مزرعه پیشنهاد به بررسی دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک در بلند مدت می‌شود.

ماده زمینه سترون شده به علت کمبود ماده آلی خاک و تراکم کم ریشه و ترشحات آن در ناحیه ریزوسفر نسبت به تیمارهای حاوی کود بیولوژیک کمتر بود. به‌طور کلی تیمارهای حاوی کود بیولوژیک با تأثیرگذاری بر عملکرد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود ساختمان خاک شدند. همچنین تأثیر کمتر کودهای بیولوژیک بر پایداری خاکدانه‌ها و افزایش خاکدانه‌های درشت در شرایط مزرعه می‌تواند به علت وسعت زیاد منطقه، شرایط آب و هوایی (کنترل نشده در مقایسه با گلخانه) و همچنین کوتاه مدت بودن طرح مورد نظر باشد. از طرفی در چند دهه اخیر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در اثر مصرف نهاده‌های

## منابع

- 1- Akhtar M.S., and Siddiqui Z.A. 2008. *Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of General, Plant Pathology 74: 53-60.
- 2- Ardakani M.R., Mazaheri M., and Normohammadi G. 2000. The role of azospirillum bacteria in absorption of micronutrients and macro wheat, 6<sup>th</sup> Iranian Congress of Plant Breeding, page 13-16. (In Persian)
- 3- Barthès B. G., Kouakoua E., Larré-Larrouy M.C., Razafimbelo T.M., de Luca E.F., Azontonde A., Neves C.S., de Freitas P.L., and Feller C.L. 2008. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. Geoderma 143(1): 14-25.
- 4- Bearden B.N., and Petersen L. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. Plant and Soil 218(1): 173-183.
- 5- Bethlenfalvay G., Cantrell I., Mihara K., and Schreiner R.P. 1999. Relationships between soil aggregation and mycorrhizae as influenced by soil biota and nitrogen nutrition. Biology and Fertility of Soils 28(4): 356-363.
- 6- Bissonnais Y.L. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science 47(4): 425-437.
- 7- Bibourdi M. 1379. Physics of Soil. Tehran University Press. (In Persian)
- 8- Bodner G., Scholl P., Loiskandl W., and Kaul H.P. 2013. Environmental and management influences on temporal variability of near saturated soil hydraulic properties. Geoderma 204: 120-129.
- 9- Bouwmeester H.J., Roux C., Lopez-Raez J.A., and Becard G. 2007. Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. Trends in Plant Science 12(5): 224-230.
- 10- Bronick C.J., and Lal R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. Soil and Tillage Research 81(2): 239-252.
- 11- Bruce R.C., and Rayment G. 1982. Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for soil and land use surveys: Queensland Department of Primary Industries.
- 12- Cheshire M. 1979. Nature and origin of carbohydrates in soils: Academic Press.
- 13- Clapp C., Davis R., and Waugaman S. 1962. The effect of rhizobial polysaccharides on aggregate stability. Soil Science Society of America Journal 26(5): 466-469.
- 14- Diaz-Zorita M., Perfect E., and Grove J. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. Soil and Tillage Research 64(1): 3-22.
- 15- Feng G., Zhang Y., and Li X. 2001. Effect of external hyphae of arbuscular mycorrhizal plant on water-stable aggregates in sandy soil. Journal of Soil Water Conservation 4: 025.
- 16- Hamel C., Dalpé Y., Furlan V., and Parent S. 1997. Indigenous populations of arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregate stability are major determinants of leek (*Allium porrum* L.) response to inoculation with *Glomus intraradices* Schenck and Smith or *Glomus versiforme* (Karsten) Berch. Mycorrhiza 7(4): 187-196.
- 17- Holford I., and Cullis B.R. 1985. Effects of phosphate buffer capacity on yield response curvature and fertilizer requirements of wheat in relation to soil phosphate tests. Soil Research 23(3): 417-427.
- 18- Institute S. 1985. SAS user's guide: statistics: Sas Inst.
- 19- Issa O.M., Le Bissonnais Y., Défarge C., and Trichet J. 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. Geoderma 101(3): 15-30.
- 20- Jensen A. 1984. Influence of inoculation density of two VAMF and temperature on *Trifolium repense*. Journal of Botany 4: 239-249.
- 21- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. p. 425-442. In: Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy Monograph. 9.
- 22- Khosrowjerdi M., Shahsavani Sh., Gholipour M., and Asghari H.R. 2013 Effect of Inoculation of Rhizobium and Mycorrhizal Fungus On the absorption of some minerals by chickpea at different levels of ferric sulfate fertilizer. Journal of Crop Production 6(3): 71-87. (In Persian With English abstract)

- 23- 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(1-2): 251-265.
- 24- Lal R., and Shukla M.K. 2004. Principles of soil physics: CRC Press.
- 25- Landau S. 2004. A handbook of statistical analyses using SPSS: CRC.
- 26- Lebron I., Suarez D., and Yoshida T. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal* 66(1): 92-98.
- 27- Mager D., and Thomas A. 2011. Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: a review of their role in dryland soil processes. *Journal of Arid Environments* 75(2): 91-97.
- 28- Marschner H., and Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159(1): 89-102.
- 29- Marshall T.J., Holmes J.W., and Rose C.W. 1996. Soil physics: Cambridge University Press.
- 30- Martens D., and Frankenberger W. 1993. Soil saccharide extraction and detection. *Plant and Soil* 149(1): 145-147.
- 31- Mahmoud Abadi M. 2013 . Effect of different organic matters on time variability of soil aggregate stability at different size fractions. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)* 93: 70-78. (In Persian)
- 32- Miller R., and Jastrow J. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In "*Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Springer 3-18.
- 33- Mohammad M.J., Pan W., and Kennedy A. 2005. Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal-colonized wheat root. *Mycorrhiza* 15(4): 259-266.
- 34- Mohammadi E., Asghari H.R., and Gholami A. 2013. The effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus fertilizer on some growth indicators Hashem plant (*Cicer arietinum* L.) Pea. *Agroecology* 5(3): 263-271. (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: 49-56.
- 36- Nesari N., Ghorbani R., and Lashkari A. 2009. Nodulations, nitrogen fixation and growth characteristics of chickpea under metribuzin herbicide application. *Journal of Agroecology* 1(2): 37-45. (In Persian)
- 37- Ortas I. 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. *European Journal of Soil Biology* 69: 79-87.
- 38- Parmar N., and Dadarwal K. 1999. Stimulation of nitrogen fixation and induction of flavonoid-like compounds by rhizobacteria. *Journal of Applied Microbiology* 86(1): 36-44.
- 39- Rajabzadeh Motlagh F. 2011. Evaluation application of arbuscular mycorrhiza, nitrogen fixing bacteria and nitrogen fertilizer on yield and yield component of *Phaseolus vulgaris*, MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran. (In Persian)
- 40- Rasool R., Kukal S., and Hira G. 2007. Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. *Soil and Tillage Research* 96(1): 64-72.
- 41- Richards L. 1954. Diagnosis and Improvement of Alkaline Soils, USDA Handbook 60: US Government Printing Office Washington, DC, USA.
- 42- Rillig M.C., Wright S.F., and Eviner V.T. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil* 238(2): 325-333.
- 43- Schreiner R.P., and Bethlenfalvay G.J. 1995. Mycorrhizal interactions in sustainable agriculture. *Critical Reviews in Biotechnology* 15: 271-285.
- 44- Schreiner R.P., and Bethlenfalvay G.J. 1997. Plant and soil response to single and mixed species of arbuscular mycorrhizal fungi under fungicide stress. *Applied Soil Ecology* 7(1): 93-102.
- 45- Sharma S., Gupta R., Dugar G., and Srivastava A.K. 2012. Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function, *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics* 65-77.
- 46- Siddiky M.R.K., Kohler J., Cosme M., and Rillig M.C. 2012. Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan. *Soil Biology and Biochemistry* 50: 33-39.
- 47- Stribley D.P. 1987. Mineral nutrition. PP. 59-66. In: *Ecophysiology of VAM Plant*. John Willey and Sons, New York.
- 48- Sulfab H.A. 2013. Effect of Bio-organic Fertilizers on Soil Fertility and Yield of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Malakal Area, Republic of South Sudan, *JOUR. of nat. Resour. and Environ.* STU: 14-19.
- 49- Tisdall J., and Oades J. 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Soil Research* 18(4): 423-433.
- 50- Tisdall J.M., and Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science* 33(2): 141-163.
- 51- Umer M.I., and Rajab S.M. 2012. Correlation between aggregate stability and microbiological activity in two Russian soil types. *Eurasian Rasian Journal of Soil Science* 1: 45-50.
- 52- 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(1): 29-38.
- 53- Wang S., Srivastava A., Wu Q.S., and Fokom R. 2014. The effect of mycorrhizal inoculation on the rhizosphere properties of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.). *Scientia Horticulturae* 170: 137-142.
- 54- Watt M., McCully M., and Jeffree C. 1993. Plant and bacterial mucilages of the maize rhizosphere: comparison of

- their soil binding properties and histochemistry in a model system. *Plant and Soil* 151(2): 151-165.
- 55- Wu Q.S., Cao M.Q., Zou Y.N., and He X.H. 2014. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliolate orange, *Scientific reports*, 4.
- 56- Wu S., Cao Z., Li Z., Cheung K., and Wong M. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125(1): 155-166.
- 57- Yoder R.E. 1936. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy* 28(5): 337-351.



## Effects of Chickpea Inoculation with Rhizobium (*Mesorhizobium caesar*) and Mycorrhizae (*Glomus mosseae*) on Soil Structural Stability and Aggregates Size Distribution under both Greenhouse and Field Conditions

L. Heydari<sup>1</sup>- H. Bayat<sup>2\*</sup>- J. Hamzei<sup>3</sup>- T. Ghytasi Rangbar<sup>4</sup>- S. Bahramian Ragheb<sup>5</sup>- F. Madine Khorrami<sup>6</sup>

Received: 15-04-2019

Accepted: 2-12-2019

**Introduction:** Stability of soil aggregates is a result of complex physical, chemical and biological processes in the soil. In many studies, organic matter has been studied as a major factor in formation of aggregates and the effects of symbiosis between mycorrhizal fungi and bacteria largely ignored, however these microorganisms have a great effect in the formation of the aggregates. Plant roots provide a suitable habitat for the activity of many soil microorganisms. In this regard, the symbiosis of plant roots with fungi is one of the most common and long-lived symbiotic relationships that are found in most ecosystems. On the other hand, biological fertilizers can improve soil aggregation through influence the growth of root and plant. Despite the significant effect of fungi and bacteria on the stability of the soil structure, the effect of arbuscular mycorrhizal fungi species *Glomus mosseae* and *Rhizobium* species *Mesorhizobium caesar* on the soil structure has been rarely investigated. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of chickpea inoculation with Rhizobium (*Mesorhizobium caesar*) and mycorrhizae (*Glomus mosseae*) on soil structural stability and aggregates size distribution under both greenhouse and field conditions.

**Materials and Methods:** The present study was conducted as a randomized complete-block design with three replications in both greenhouse and field conditions. The treatments under field condition were mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*), Rhizobium (*Mesorhizobium caesar*), mycorrhizae – rhizobium combined treatment and a control (no inoculation). In the greenhouse condition, sterilized mycorrhiza background material and without plant (without inoculation) treatments were also added. Chickpea was planted at both conditions. Soil sampling was carried out after harvesting. The stability of aggregates using wet sieving method and soil organic carbon content were investigated.

**Results and Discussion:** Greenhouse study results showed that mycorrhizae treatment significantly increased the mean weight diameter of the aggregates by 51.6% and 189.1%, in comparison with the control (without inoculation) and control- without plant (without inoculation), respectively. This treatment increased macro aggregates and decreased the fine aggregates. In the greenhouse condition, soil organic carbon content had a high correlation with the mean weight diameter of the aggregates ( $R^2 = 0.53$ ) and mycorrhizal treatment increased organic carbon content from 0.73% in the control (without plant) to 1.02%. However, the mycorrhizae – rhizobium combined treatment had less effect on the stability of the aggregates than their single effects. The mass of aggregates of 1–2 mm are more sensitive to short-term management. In the greenhouse condition all the three biofertilizer treatments significantly increased the mass of the aggregates of 1-2 mm in comparison with the control treatment without plant (without inoculation). On the other hand, the mean comparison results showed that there was no significant difference between the sterilized mycorrhizal background and the control without plant (without inoculation). This may be due to the lower organic matter content in these two treatments compared to others. In the greenhouse condition, increasing the mass of coarse aggregates of 4-8 mm in diameter indicates the suitability of soil structure. On the other hand, aggregates coarser than 0.25 mm are considered as coarse and stable aggregates. It can be concluded that the application of mycorrhiza and rhizobium increased soil structural stability through the increase of the mass of these classes of the aggregates (2-4 and 4-8 mm), probably by affecting the length and volume of the root and plant yield. Under the field condition, the treatments had no impact on the mass of the aggregates in different size classes.

**Conclusion:** Bacteria and fungi can be effective factors in improving soil structure through increasing organic carbon in soil. The results of the present study indicated that aggregate stability was affected by biological fertilizer treatments under greenhouse condition so that the treatments containing biofertilizers

1, 2, 4, 5 and 6- Ph.D. Student, Associate Professor, Ph.D. Student, Former M.Sc. Student and Former Undergraduate Student of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: h.bayat@basu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

increased soil aggregate stability and improved the soil structure that was probably due to increasing plant yield and root. Also, the less effect of biofertilizers on the stability of the aggregates and the increase of coarse aggregates under the field condition can be due to the uncontrolled climatic conditions compared to the greenhouse and the short duration of the study. In recent decades, the physical and chemical properties of soils have changed due to the use of chemical inputs in agricultural lands. The use of biological and organic fertilizers is an appropriate solution to these problems. It is recommended further study on the efficacy of other species of mycorrhizal fungi and rhizobium bacteria in improving soil physical and chemical quality, especially at the field scale. Also, considering the implementation of this project in the field condition, it is suggested to study the physical, mechanical and chemical properties of soil in the long term.

**Keywords:** Biofertilizer, Mean weight diameter, Organic carbon