ارزیابی توانایی کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت در فراهم نمودن منیزیم گیاه سورگوم با مایه زنی قارچ میکوریزی *گلوموس موسه (Glomus mosae)*

فرانک قاسمی[۱]، سعید حجتی [۲*]، احمد لندی[۳] و رؤیا زلقی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی ،دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۴- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶
پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۷

کلمات کلیدی:
سپیولیت،
پالیگورسکیت،
ریزوسفر،
گلوموس موسه،
منیزیم

* عهده دار مکاتبات
Email:s.hojati@scu.ac.ir

چکیده

سپیولیت و پالیگورسکیت از گروه رس‌های فیبری هستند که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک یافت می‌شوند. شناخت در زمینه رفتار این دو کانی در محیط ریزوسفر گیاهان کشاورزی و کارکرد ریزجانداران اندک است. این پژوهش با هدف بررسی مقدار رهاسازی منیزیم از دو کانی سپیولیت و پالیگورسکیت، در ریزوسفر گیاه سورگوم در شرایط همزیست با قارچ میکوریزی *گلوموس موسه* به گونه آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل منبع منیزیم در سه سطح (محلول غذایی، پالیگورسکیت و سپیولیت) و قارچ در دو سطح (وجود و عدم وجود قارچ) بودند. گیاه سورگوم در گلدان‌های دارای شن کوارتزی و نیز سپیولیت یا پالیگورسکیت سترون شده پس از اعمال تیمارهای قارچی کشت و با محلول غذایی جانسون دارای منیزیم و بدون منیزیم در دوره کشت ۷۰ روزه تغذیه شدند. پس از پایان دوره کشت، در آغاز کلروفیل گیاهان، بلندی گیاه و قطرساقه به‌ترتیب با کلروفیل متر، متر نواری و کولیس اندازه‌گیری شدند. سپس ریشه‌ها و اندام هوایی از یکدیگر جدا شده و بیومس گیاه، درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها و اندازه منیزیم جذب شده گیاه پس از آسیاب و عصاره-گیری، بررسی گردید. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای دارای پالیگورسکیت و کم‌ترین اندازه آن در تیمار شاهد بوده است؛ ولی اندازه منیزیم جذب شده گیاه و شاخص کلروفیل در تیمارهای حاوی کانی پالیگورسکیت به-طور قابل توجهی کم‌تر از سایر تیمارها بوده است. مقایسه شرایط حضور و عدم حضور قارچ *گلوموس‌موسه* نشان داد که در حضور قارچ اندازه منیزیم جذب شده گیاه سورگوم از این دو کانی بیش‌تر بوده است؛ لذا می‌توان اظهار داشت که حضور قارچ *گلوموس‌موسه* به‌صورت همزیست با گیاه سورگوم تأثیر معنی-داری بر رهاسازی منیزیم از کانی سپیولیت و پالیگورسکیت و جذب آن توسط گیاه داشته است و در این ارتباط رهاسازی منیزیم از کانی سپیولیت به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از پالیگورسکیت بود.

مقدمه

پالیگورسکیت ($(Mg, Al)_2 Si_4 O_{10} (OH).4H_2O$) و سپیولیت ($Mg_8 Si_{12} O_{30} (OH)_4 (OH_2)4. 6H_20$) از گروه کانی‌های رسی ۲:۱ غنی از منیزیم می‌باشند که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دنیا گسترش وسیعی دارند (۱۴ و ۲۱). این کانی‌ها به دلیل گسترش واحدهای سازنده‌شان در امتداد محور a، دارای ریخت سوزنی می‌باشد و بنابراین کانی‌های فیبری خوانده می‌شوند (۳۴).

سپیولیت از دیدگاه ساختاری بسیار همانند پالیگورسکیت است ولی ناهمانندی‌هایی میان آنها وجود دارد؛ فراوانی آلومینیم کانی پالیگورسکیت در برابر سپیولیت بیش‌تر است؛ لیکن فراوانی منیزیم در سپیولیت از پالیگورسکیت بیش‌تر است. فراوانی منیزیم در کانی سپیولیت از ۲۱۰ تا ۲۵۰ گرم در هر کیلوگرم متغیر است و نزدیک ۹۰ تا ۱۰۰ درصد از کل موقعیت‌های هشت وجهی را در ساختار این کانی پر می‌کند، بدین گونه این کانی را می‌توان یک کانی فیبری تری اکتاهدرال دانست، حال آن‌که کانی پالیگورسکیت به دلیل غالب بودن فراوانی آلومینیم در برابر کاتیون‌های دو ظرفیتی در لایه اکتاهدرال، دی‌اکتاهدرال می‌باشد (۲۸).

هوادیدگی صفحات سیلیکاتی در کانی‌های رسی طی چرخه‌های ژئوشیمیایی محلی و جهانی فرایندی شناخته شده است (۹ و۱۰). کانی‌های رسی با ویژگی های یگانه خود جایگاه تبادلات یونی و منبع اندوزش عناصر غذایی خاک به شمار می‌روند. آگاهی از دگرگونی و هوادیدگی کانی‌ها، برای روشن شدن مسائل تغذیه‌ای مانند تثبیت و آزادسازی عناصر مهم است. هوادیدگی بیولوژیکی یک فرآیند رایج برای فروپاشی و تجزیه کانی‌ها است که توسط جانداران انجام می‌شود. با توجه به نقشی که هوازدگی بیولوژیکی در فراهم‌سازی عناصر غذایی برای گیاه و تکامل خاک دارد، بهره گیری از ریزجانداران در محیط ریزوسفر از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از پرکاربردترین ریزجانداران در این زمینه قارچ‌های میکوریزی می‌باشند. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار[1] از گروه ریزجاندارانی خاک می-باشند که توان همزیستی با ریشه گروه گسترده ای از گیاهان داشته و روی رشد گیاه همزیست اثر می‌گذارند (۱۶ و ۳۳). این قارچ‌ها فراوان‌ترین گونه قارچ‌های میکوریز با داشتن هیف‌های قارچی در درون یاخته‌های ریشه، نداشتن شبکه هارتینگ[2] و نیام قارچی و هیف‌های قارچی در رویه ریشه از میکوریزای بیرونی جدا می‌گردند. افزون بر آن، قارچ‌های میکوریزی توانایی همزیستی با بیشتر گونه‌های گیاهی را دارند و همانند یک کود زیستی، برای افزایش کارکرد گیاهان کشاورزی دارای اهمیت‌اند (۷ و ۲۲).

در سال‌های گذشته بررسی های چندی در رابطه با هوادیدگی کانی‌ها در خاک ریزوسفری در برابر خاک ناریزوسفری در خاک‌های جنگلی و کشاورزی انجام شده است. خرمالی و همکاران (۲۳) در پژوهشی پیامد ریزوسفر گیاه سورگوم و باکتری‌های باسیلوس بر آزادسازی پتاسیم از کانی گلوکونیت را بررسی کردند. گزارش شد در بسترهایی که محلول غذایی پتاسیم‌دار و محلول غذایی بدون پتاسیم دریافت کرده‌اند؛ هوادیدگی کانی بخش رس در تیمار محلول غذایی بدون پتاسیم بیشتر بوده است و کانی گلوکونیت توانسته اندازه مورد نیاز پتاسم گیاه را فراهم نماید. صالحی و تهمتنی[3] (۳۲) نیز در بررسی توانایی گیاه گندم و جو در جذب منیزیم از کانی پالیگورسکیت و دگرگونی آن نشان دادند که در گلدان‌های دارای گیاه جو در برابر گندم، اندازه هوادیدگی پالیگورسکیت بیشتر می‌باشد، ولی اندازه رهاسازی منیزیم از کانی پالیگورسکیت، در ریزوسفر گیاه گندم به طور معنی‌داری بیشتر از جو بوده است که شاید وابسته به بیش‌تر بودن توانایی گندم در جذب منیزیم در برابر جو باشد. آروسنا و همکاران[4] (۵) با

1- Arbuscular mycorrhizae
2- Harting Network
3- Salehi and Tahamtani
4- Arocena *et al.*

بررسی هوادیدگی بیوتیت در حضور قارچ آربوسکولار میکوریز در کشت چند محصول کشاورزی گزارش نمودند که مایه زنی قارچ‌های *گلوموس* به محیط کشت گیاه جو و کلزا که دارای بیوتیت بوده است، باعث پیدایش انواع گوناگونی از فیلوسیلیکات‌های دارای پتاسیم کمتر نسبت به بیوتیت (مانند ایلیت، اسمکتیت و ورمی کولایت با هیدروکسی بین لایه‌ای) شده‌اند و در ریزوسفر گیاهانی که با قارچ مایه زنی نشده‌اند، بیوتیت دست نخورده باقی مانده است. اما در ریزوسفر گیاه یونجه در هر دو تیمار مایه زنی و بدون مایه زنی با قارچ، کانی بیوتیت به ایلیت دگرگون شده است. ایشان بیان داشتند که دگرگونی بیوتیت و جذب پتاسیم و منیزیم وابسته به همزیستی میان قارچ و گیاه است و پیدایش کانی رسی به گونه گیاه و همزیستی آنها با قارچ ها در خاک وابسته است.

گزارش شده است که از میان کانی‌های منیزیم دار خاک، کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت دارای بیشترین فراوانی منیزیم می‌باشد و بنابراین کارایی ویژه‌ای در رابطه با شیمی منیزیم خاک دارند (۲۸). منیزیم یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان است که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کارایی دارد، و هنگامی که گیاهان در تنش هستند، نقش مهمی را در مکانیسم‌های دفاعی آن‌ها ایفا می‌کند (۱۲، ۱۵ و ۲۷). رایج‌ترین نقش شناخته شده برای منیزیم در گیاه، اتم مرکزی در ساختار کلروفیل است و از این رو در فرآیند فتوسنتز و تثبیت غیرمستقیم دی‌اکسیدکربن کارایی دارد (۱۲).

سورگوم یا ذرت خوشه‌ای با نام علمی *Sorghum bicolor L. Moench* گیاهی از خانواده *Poaceae* است که از نظر اهمیت غذایی پنجمین غله مهم دنیا پس از گندم، ذرت، برنج و جو است. بر اساس آمارهای موجود سطح زیر کشت سورگوم در ایران از شش هزار هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۲۵ هزار هکتار در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. سورگوم گیاهی C_4 روز کوتاه، و با شدت فتوسنتز زیاد است و بیشتر رقم‌های آن برای این‌که رشد خوبی داشته باشند به دمای بالاتر از ۲۱ درجه سانتی‌گراد نیاز دارند. این گیاه در برابر خشکی بهتر از دیگر غلات بردباری دارد و در شرایطی خاکی و اقلیمی که برای بیش‌تر غلات مناسب نیست توان رشد و تولید بذر دارد (۳).

اگرچه در باره رهاسازی عناصر از کانی‌های فیبری پژوهش هایی انجام شده است، ولی در باره رهاسازی منیزیم از این کانی‌ها، در تیمارهای قارچ میکوریز و گیاه سورگوم پژوهشی یافت نشد؛ از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی پیامد کاشت گیاه سورگوم و همزیستی آن با قارچ *گلوموس موسه* بر اندازه رهاسازی عنصر منیزیم از کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت خاک ریزوسفری در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با کشت گلدانی سورگوم در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌گونه آزمایشی فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل مایه زنی قارچ گلوموس موسه در دو سطح (با و بدون قارچ) و منبع تامین‌کننده منیزیم برای گیاه در سه سطح (از کانی سپیولیت، پالیگورسکیت و محلول غذایی) می‌باشد. آزمایش در زمان ۷۰ روز انجام و سرهم ۱۸ گلدان کشت و آزمایش شدند.

تهیه و آماده‌سازی کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت

کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت به‌ترتیب از معدنی در شهرستان فریمان و شرکت تولسای اسپانیا تهیه و با بهره‌گیری از آسیاب خرد شدند. سپس با کمک الک‌های ۲۷۰ و ۵۰۰ مش (به ترتیب ۰/۰۵۳ و ۰/۰۲۵ میلی‌متر) در اندازه ۲۵ تا ۵۳ میکرون درآمدند. تجزیه عنصری کانی‌های به‌کار رفته در این پژوهش به روش XRF و با استفاده از دستگاه Bruker مدل S_4

pioneer (آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنا) انجام شد (جدول ۱)؛ همچنین برای شناسایی و تعیین درصد خلوص کانی‌های بررسی شده، نمونه‌های پودری کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت با دستگاه پراش سنج پرتو ایکس D_8 Bruker در محدوده زوایای پراش (θ ۲) ۴ تا ۶۰ درجه و سرعت اسکن ۰/۵ درجه در هر دقیقه با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و آمپراژ ۳۰ میلی‌آمپر و لامپ پرتوی ایکس نیکل با فلز هدف مس بررسی شدند (۱۷).

آماده‌سازی بستر کشت

در این آزمایش از گلدان‌های یک کیلوگرمی بهره گیری شد که با کانی کوارتز به عنوان بستر کشت پر گردیده بود. روش کار به این گونه بود که اندازه ویژه‌ای از کانی سپیولیت و پالیگورسکیت (۳۶ گرم سپیولیت و ۱۴۰ گرم پالیگورسکیت با توجه به مقدار منیزیم موجود در کانی‌ها)، با شن‌های سترون شده هر گلدان آمیخته و سپس به نیمی از گلدان‌ها قارچ *گلوموس موسه* مایه زنی و افزوده شد. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از ورود کنترل نشده و ناخواسته عناصر غذایی به گلدان‌ها از بستر کشت حاوی قارچ استفاده نشد، بلکه تنها ریشه-های میکوریزی و تکثیر شده ذرت به اندازه ۰/۱۳ گرم برای هر گلدان به‌کار برده شد (۲۰)؛ نیمی دیگر از گلدان‌ها تیمارهای بدون قارچ بودند. دانه‌های گیاه سورگوم رقم شوگرگریز در همه گلدان ها کشت و تعدا ۵ بوته در هر گلدان نگهداری شد. در دوره رشد گیاه (۷۰ روز) برای فراهم کردن عناصر غذایی و آب مورد نیاز گیاه از محلول غذایی جانسون و آب مقطر بهره‌گیری شد. محلول جانسون به‌کاررفته دارای و بدون منیزیم بود. محلول غذایی بدون منیزیم برای تیمارهای دارای کانی، و محلول غذایی کامل و دارای منیزیم برای تیمارهای شاهد به‌کاررفت. پس از پایان دوره کشت و پیش از برداشت، کلروفیل گیاهان با بهره‌گیری از دستگاه کلروفیل متر (SPAD)[1]، بلندی هر بوته با بهره‌گیری از متر نواری و همچنین قطر ساقه‌ها با بهره‌گیری از کولیس اندازه‌گیری شد. سپس گیاهان برداشت شده و اندام هوایی و ریشه از یکدیگر جدا شدند. پس از جداسازی، هر دو اندام ریشه و ساقه به گونه جداگانه شستشو، هوا خشک و سپس برای ۴۸ ساعت درون آون در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند.

تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه

برای برآورد درصد همزیستی قارچ با ریشه سورگوم، بخشی از ریشه‌های گیاه با بهره گیری از روش فیلیپس و هایمن[2] (۳۰)، با رنگ تریپان بلو رنگ‌آمیزی شده و سپس برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه از روش تقاطع خطوط شبکه[3] (GLI) بهره گیری شد. روش انجام کار به این گونه است که یک پتری را با فاصله خطوط نیم اینچ شبکه بندی کرده و ۶۰ قطعه ریشه رنگ آمیزی شده درون آن به گونه تصادفی پخش گردید. در در آغاز تقاطع همه ریشه‌ها با خطوط پتری دیش شمارش شده و سپس در زیر باینوکولار[4] هر کدام از تقاطع‌ها که دارای ریشه‌های مایکوریزی شده بررسی و درصد مایکوریزی شدن از نسبت فراوانی تقاطع‌های مایکوریزی به همه تقاطع‌های ریشه‌ها با خطوط شبکه به دست آمد.

اندازه‌گیری منیزیم جذب شده درگیاه

برای اندازه‌گیری مقدار منیزیم جذب شده در گیاه حدود یک گرم از نمونه‌های گیاهی (ریشه و اندام هوایی) آسیاب شده را در کروزه چینی قرار داده و سپس برای یک شبانه روز در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس درون کوره الکتریکی گرمادهی شدند. آن‌گاه نمونه‌ها از کوره خارج و بر روی سطحی مقاوم به گرما، دور از گرد و غبار و جریان هوا به حال خود گذاشته شدند تا سرد گردند. سپس خاکسترهای به‌دست آمده با بهره‌گیری از ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱ مولار به بالن ژوژه ۵۰

1- Single-Photon Avalanche Diode

2- Philips and Hayman
3- Gridline Intersection
4- Binocular

میلی‌لیتری منتقل و سپس به مدت ۳۰ دقیقه بر روی یک صفحه گرم‌کننده هضم، سپس پالایش گردیدند. در پایان به عصاره‌های به دست آمده به اندازه ۱ ٪ وزنی به حجمی لانتانوم[1] افزوده و آنگاه غلظت منیزیم در نمونه‌ها با بهره گیری از دستگاه ICP[2] مدل Agilent 7000 اندازه-گیری شد (۳۶).

تحلیل‌های آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SAS 9.1 و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن ($p<0.05$) بهره‌گیری شد. ترسیم نمودارها نیز با کمک نرم افزار Origin نسخه شماره ۱۵ انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های کانی‌های به‌کاررفته

جدول ۱ تجزیه عنصری کانی‌های سپیولیت، پالیگورسکیت و شن کوارتزی را نشان می‌دهد بر این پایه، همان‌گونه که دیده می‌شود، فراوانی اکسید منیزیم برای دو کانی سپیولیت و پالیگورسکیت به ترتیب ۲۶/۸۴ و ۷/۱۸ درصد و فراوانی اکسید آلومینیوم برای دو کانی به‌ترتیب ۰/۲۳ و ۴/۶۸ درصد می‌باشد، که نشان‌دهنده فزونی منیزیم در کانی سپیولیت در برابر پالیگورسکیت و فزونی آلومینیوم در کانی پالیگورسکیت در برابر سپیولیت است. وجود مقدار کمی CaO در تجزیه عنصری هر دو کانی را می‌توان به وجود ناخالصی کربنات‌ها نسبت داد (جدول ۱).

شکل ۱ نتایج حاصل از مطالعه پراش نگاشت‌های پرتو ایکس کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت را نشان می‌دهد. پراش نگاشت‌های پرتو ایکس نشان می‌دهند که هر دو کانی سپیولیت و پالیگورسکیت از خلوص نسبتاً بالایی برخوردار هستند؛ ولی در هر دو کانی بکاررفته ناخالصی‌هایی نیز به چشم می‌خورد که از آن جمله می‌توان به ناخالصی کوارتز در هر دو کانی سپیولیت و پالیگورسکیت اشاره نمود (۱۹).

ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی را بر ویژگی هایی از گیاه مانند بلندی گیاه، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که پیامد منابع گوناگون منیزیم در سطح احتمال یک درصد برای بلندی بوته، قطر ساقه و وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار می‌باشد، ولی پیامد مایه زنی قارچ میکوریز و نیز برهم-کنش قارچ میکوریز و منبع تغذیه گیاه بر این ویژگی ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه منابع تامین کننده منیزیم گیاه نشان داد که در تیمار شاهد که با محلول غذایی کامل تغذیه شده بیش‌ترین بلندی (۱۳۰/۱۶ سانتی‌متر) و تیمارهای دارای پالیگورسکیت کمترین بلندی بوته (۱۰۶/۱۶ سانتی‌متر) را داشته‌اند (جدول ۳). افزون بر آن، نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط حاکم بر این آزمایش در تیمار مایه زنی با قارچ گیاه دارای بلندی بیش‌تری در برابر تیمارهای بدون قارچ هستند ولی این ناهمانندی ها چشم گیر نبوده است (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های اوجها و همکاران[3] (۲۹) که گزارش نمودند که قارچ‌های آربسکولار میکوریزا مایه افزایش بلندی بوته گندم می‌شوند، هماهنگ است. ایشان نشان دادند که قارچ میکوریزا از راه جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این کار مایه ساخت آسیمیلات بیشتر و بهبود رشد گیاه شده و در پی آن بلندی بوته را در برابر گیاهان نامایکوریزایی افزایش یافته است. علیزاده و همکاران (۲) نیز دریافتند که در هنگام کاربرد قارچ میکوریز در برابر نبود آن، افزایش ۲۰ درصدی در بلندی بوته ذرت رخ می‌دهد.

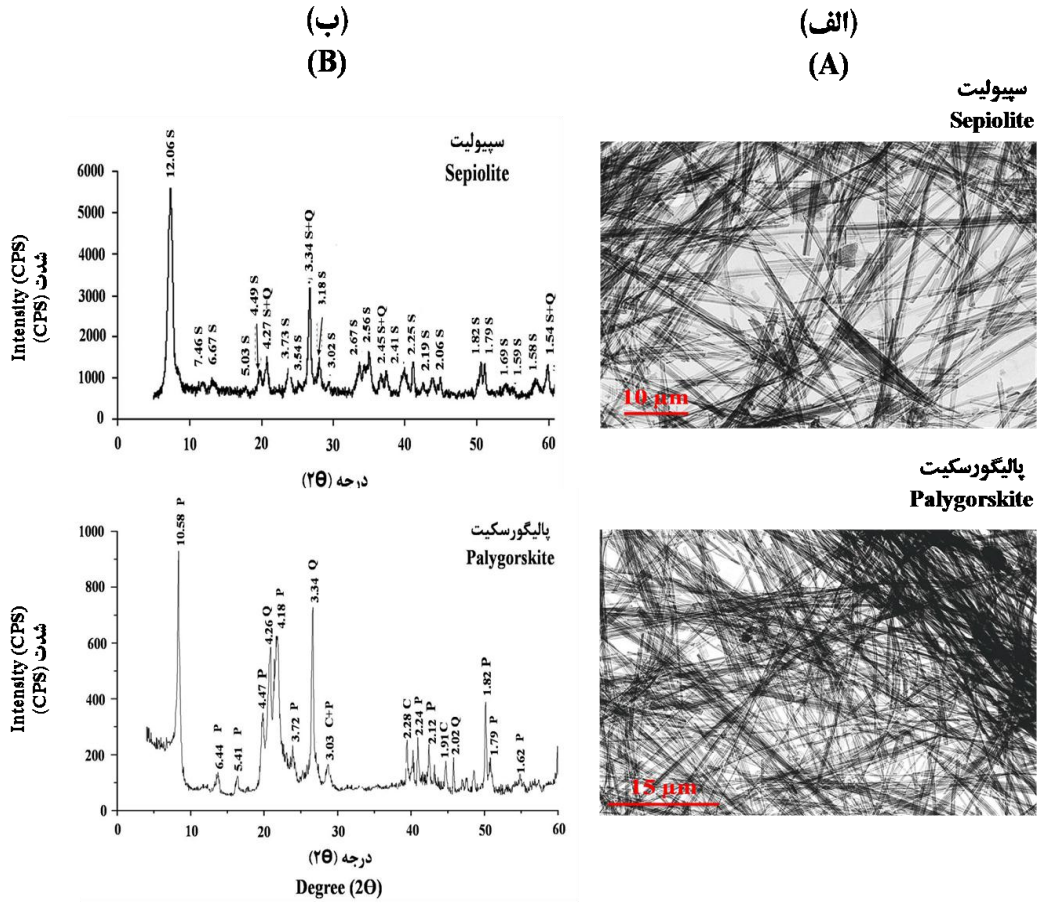
قطر ساقه عاملی است که سختی و استواری گیاه به-ویژه پایداری آن را در برابر خوابیدگی به واسطه انباشتگی بیشتر مواد کربوهیدراتی و لیگنین در ساقه گیاه را نشان می

1- Lanthanum
2- Inductively Coupled Plasma
3- Ojha *et al*.

دهد (۲۲). مقایسه میانگین سطوح گوناگون منبع منیزیم گیاه نشان داد که تیمار شاهد که محلول غذایی را به گونه کامل دریافت نموده دارای بیشترین قطر ساقه (۱/۰۳سانتی-متر) می‌باشد و تیمار دارای کانی پالیگورسکیت کمترین قطر ساقه (۰/۷۸ سانتی‌متر) را داشته است (جدول۳).

جدول(۱) نتایج تجزیه عنصری کانی‌های بکاررفته به روش فلورسانس پرتو ایکس
Table(1) Results of elemental analysis of the minerals studied using x-ray fluorescence

Total	LOI*	SO_3	P_2O_5	MnO	TiO_2	MgO	K_2O	Na_2O	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	کانی Mineral
99.62	16.01	0.003	0.001	0.001	0.001	26.84	0.01	0.01	0.21	0.01	0.23	56.3	سپیولیت Sepiolite
99.69	24.63	0.005	0.641	0.005	0.258	7.18	0.23	0.01	1.57	2.81	4.68	57.68	پالیگورسکیت Palygorskite
100.11	0.07	0.001	0.001	0.00	0.006	0.001	0.01	0.01	0.1	0.01	0.05	99.86	شن کوارتزی Quartz sand



شکل(۱) (الف) میکرونگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی عبوری و (ب) پراش نگاشت پرتو ایکس نمونه‌های پودری کانی‌های پالیگورسکیت و سپیولیت به‌کاررفته در پژوهش (S: سپیولیت، P: پالیگورسکیت Q: کوارتز، C: کلسیت)

Figure (1) (a) Transmission electron micrographs, and (b) X-ray diffraction patterns of sepiolite and palygorskite powder samples used in the study (S: sepiolite, P: palygorskite, Q: quartz and C: calcite)

جدول (۲) تجزیه واریانس پیامد فاکتورهای آزمایشی بر برخی ویژگی های گیاه سورگوم

	میانگین مربعات Mean of Squares							
منبع تغییرات (Source of Variation)	درجه آزادی (df)	بلندی گیاه (Plant Height)	قطر ساقه (Stem Diameter)	وزن خشک اندام هوایی (Shoot Dry Weight)	وزن خشک ریشه (Root Dry Weight)	غلظت منیزیم (Mg Concentration)	کلروفیل (Chlorophyll)	درصد کلونیزاسیون ریشه (Percent of Root Colonization)
قارچ (Fungi)	1	280.05^{ns}	0.18^{ns}	93.61 ^{ns}	6.71*	5.33 **	406.60 ***	9753.38 ***
منبع منیزیم (Source of Mg)	2	645.84**	0.09**	1301.57**	31.26**	120.08***	302.18 ***	709.55 ***
قارچ×منبع منیزیم (Fungi× Source of Mg)	2	72.26	0.02 ^{ns}	51.60 ^{ns}	0.37 ^{ns}	10.05 ***	71.85 ***	800.22***
خطا (Error)	17	67.34	0.007	32.13	1.12	0.23	1.25	16.60
ضریب تغییرات Coefficient of Variation		7.04	9.47	20.04	15.32	5.23	3.95	14.55

،**، به ترتیب بدون معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ۰/۱۰٪**

ns: No significant, *: significant at *P<0.05*, **: significant at *P<0.01*, ***: significant at *P<0.001*

وزن خشک بخش هوایی در بررسی های فیزیولوژی گیاهان یکی از شناسه‌های رشد بوده و نمایانگر وضعیت تغذیه و آسیمیلاسیون[1] گیاهان است که می‌تواند همانند یکی از شناسه‌های سودمند و کارا در بررسی پیامدهای محیطی بر روی رشد گیاه ارزیابی شود (۴). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع گوناگون تأمین کننده منیزیم بر وزن خشک اندام هوایی نیز نشان می‌دهد که تیمار شاهد بیش‌ترین وزن خشک (۴۰/۸۲ گرم) و تیمار دارای کانی پالیگورسکیت کم‌ترین اندازه وزن خشک (۱۲/۰۶ گرم) را داشته‌اند (جدول ۳). وزن خشک ریشه یکی از شناسه-های مهم رشد کمی گیاهان است که نمایانگر وضعیت تغذیه‌ای و فعالیت ریشه و در پی آن جذب بهتر آب و عناصر غذایی از خاک و روهمرفته رشد گیاه است (۱). تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده پیامد چشم گیر قارچ *گلوموس موسه* در سطح احتمال پنج درصد بر وزن خشک ریشه است. همچنین، منابع گوناگون تامین کننده منیزیم گیاه نیز در سطح احتمال یک درصد پیامد چشم گیری بر این ویژگی داشته است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع گوناگون تامین کننده منیزیم بر وزن خشک ریشه روندی مشابه با بلندی بوته، قطر ساقه و وزن خشک اندام هوایی را نشان می‌دهد؛ به‌این‌گونه که تیمار شاهد دارای بیشترین وزن خشک ریشه و تیمارهای دارای پالیگورسکیت دارای کمترین وزن خشک ریشه می‌باشند (جدول ۳). مقایسه میانگین پیامد مایه زنی قارچ بر وزن خشک ریشه نیز نشان داد که وزن خشک ریشه در تیمارهای میکوریزی (۷/۵۴ گرم) بیش‌تر از تیمارهای نامیکوریزی (۶/۳۲ گرم) بود (جدول ۴)، که با نتایج لیو و همکاران[2] (۲۶) و حمزه‌ئی و صادقی (۱۳) همخوانی دارد. در این رابطه می‌توان گسترش میسلیوم قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را در خاک و کمک به بهبود جذب رطوبت دلیل این موضوع دانست.

علیزاده و همکاران (۲) نیز بیشترین وزن خشک ریشه گیاه ذرت را در بودن قارچ میکوریز، گزارش کردند. ایشان نشان دادند که سویه‌های میکوریزی کارآیی بیشتری در افزایش وزن خشک ریشه در برابر شرایط نبود مایه زنی دارند. فنگ و همکاران[3] (۱۱) هم در پژوهش خود مبنی بر پیامد قارچ میکوریز روی وزن خشک ریشه ذرت، دیدند که وزن خشک ریشه در پی همزیستی با قارچ میکوریزی جنس *گلوموس* افزایش یافت. آن‌ها دلیل این موضوع را افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان میکوریزی و در پی افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در ریشه گزارش نمودند.

غلظت منیزیم جذب شده در گیاه

تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که اثرات اصلی وبرهمکنش تیمارهای آزمایشی شامل سطوح قارچ و منابع گوناگون منیزیم در سطح احتمال ۰/۱ درصد بر اندازه منیزیم جذب شده توسط گیاه سورگوم معنی‌دار بوده است (جدول ۲). شکل ۲ مقایسه میانگین برهم‌کنش فاکتورهای آزمایشی بر اندازه منیزیم جذب شده در گیاه را نشان می‌دهد. بر این‌پایه، بیش‌ترین غلظت منیزیم در تیمار شاهد دیده می‌شود که محلول دارای منیزیم را دریافت کرده است. همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، جذب منیزیم در تیمارهای دارای کانی سپیولیت به گونه چشم گیری بیشتراز تیمارهای دارای پالیگورسکیت می‌باشد. این یافته در هردو حالت دارای و بدون قارچ دیده می‌شود. نظر به این‌که غلظت بهینه منیزیم برای رشد گیاه سورگوم ۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۲۴)، در همه‌ی تیمارهای به‌کاررفته، منیزیم جذب شده برای رشد گیاه سورگوم کافی بوده است؛ ولی همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، اندازه منیزیم در تیمار شاهد و تیمار دارای سپیولیت در برابر پالیگورسکیت بسیار بیش‌تر می‌باشد. این یافته ها به-خوبی بیانگر این است که کانی سپیولیت به دلیل تری-اکتاهدرال بودن توانایی رهاسازی منیزیم

1- Assimilation
2- Liu *et al.*
3- Feng *et al*.

جدول(۳) پیامد خواستگاه منیزیم بر برخی ویژگی های رویشی گیاه سورگوم
Table(3) Effects of Source of Mg on Growth Characteristics of Sorghum

ویژگی های رویشی Growth characteristics				منبع منیزیم (Mg source)
وزن خشک ریشه (گرم) Root Dry Weight (g)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot Dry Weight (g)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem Diameter (cm)	بلندی بوته (سانتی‌متر) Plant Height (cm)	
9.32[a]	40.82[a]	1.03[a]	130.16[a]	محلول غذایی Nutrient solution
6.69[b]	31.96[b]	0.95[a]	120.66[a]	کانی سپیولیت Sepiolite
4.78[c]	12.06[c]	0.78[b]	106.16[b]	کانی پالیگورسکیت Paligorskite

جدول(٤) پیامد مایه زنی ریشه با قارچ میکوریزی گلوموس موسه بر برخی ویژگی های رویشی گیاه سورگوم
Table (4) Effects of Root Inoculation with Glomus mosae Mycorrhizae on growth Characteristics of Sorghum

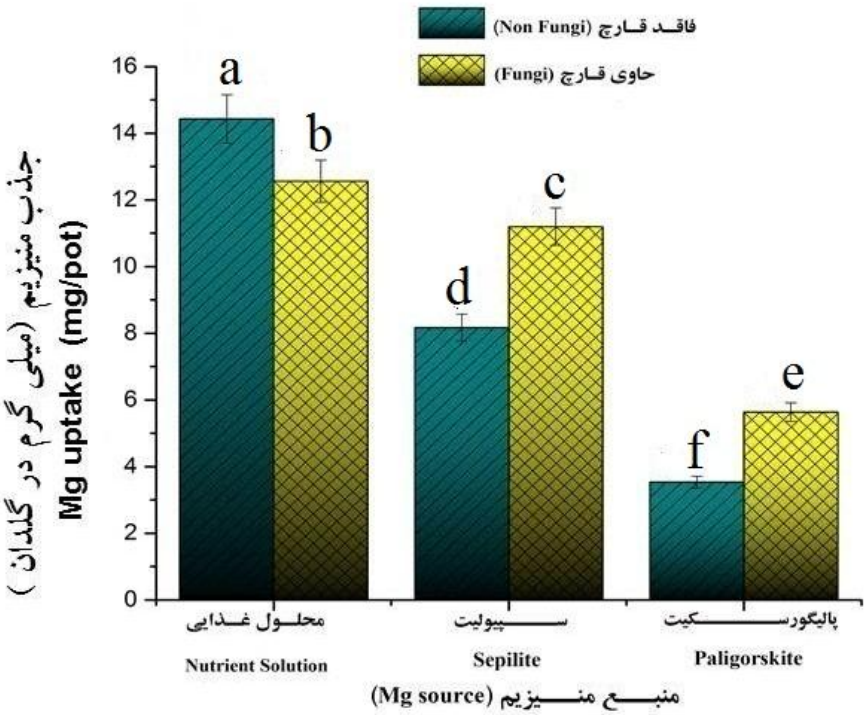
ویژگی های رویشی Growth characteristics				مایه زنی قارچ (Fungi levels)
وزن خشک ریشه (گرم) Root Dry Weight (g)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot Dry Weight (g)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem Diameter (cm)	بلندی بوته (سانتی‌متر) Plant Height (cm)	
7.54[a]	30.56[a]	0.95[a]	123.22[a]	مایه زنی قارچ (Fungi levels)
6.32[b]	26.00[b]	0.88[a]	114.77[a]	مایه زنی با قارچ Fungi

بیش‌تری در برابر کانی پالیگورسکیت که دی‌اکتاهدرال می‌باشد، را دارد. جناغ و همکاران (۱۹) با بررسی پیامد کاربرد اسیدهای آلی بر رهاسازی برخی عناصر از دو کانی سپیولیت و پالیگورسکیت در شرایط شور، گزارش نمودند که سپیولیت تندتر از پالیگورسکیت در تیمار اسیدهای آلی عناصر خود را رها می‌کند. خادمی و آروسنا[1] (۲۰) نیز دگرگونی‌های کانی شناسی پالیگورسکیت و سپیولیت را در محیط ریزوسفر سه گیاه جو، یونجه و کلزا بررسی کردند. این پژوهش نشان داد که صد روز پس از کشت گیاه، مقدار منیزیم خارج شده توسط غلات در سپیولیت به‌گونه چشم‌گیری بیشتر از پالیگورسکیت بود. بخشنده و همکاران[2] (۸) نیز در بررسی هوادیدگی کانی پالیگورسکیت در ریزوسفر گیاه سورگوم، مشاهده نمودند که فعالیت ریشه و باکتری‌های حل کننده سیلیکات منجر به افزایش اسیدیته محیط ریزوسفر و در نهایت آزادسازی منیزیم ساختمانی از بین لایه‌های کانی، و از این رو افزایش غلظت منیزیم در گیاه سورگوم شده است.

شاخص کلروفیل برگ

جدول ۲ نشان می‌دهد که شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال یک درصد وابسته به پیامد اصلی تیمارهای آزمایش و برهم کنش قارچ و منبع منیزیم است. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان دهنده این است که بیشترین شاخص کلروفیل برگ (۳۵/۹۵) در تیمار شاهد و کم‌ترین شاخص کلروفیل برگ (۱۲/۷۹) در تیمار کانی پالیگورسکیت دیده شده است (شکل ۳).

1- Khademi and Arocena
2- Bakhshandeh *et al*.



شکل(۲) میانگین جذب منیزیم در گیاه سورگوم در تیمارهای تیمار مایه‌زنی با قارچ و خواستگاه منیزیم گیاه
Figur (2) Mean values of the Mg uptake in plant biomass under Fungi and Mg- Supplying Sources

بررسی ها نشان داده‌اند که قارچ‌های میکوریزی فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد. بنابراین، نسبت اندوزش و ترابری مواد در همان زمان افزایش می‌یابد؛ که شاید وابسته به افزایش غلظت کلروفیل در گیاهان میکوریزیی باشد (۶). تانگ و همکاران[1] (۳۵) در بررسی خود روی گیاه ذرت گزارش کردند که مایه‌زنی ذرت با قارچ میکوریز آربوسکولار ساخت کلروفیل در گیاه را بهبود بخشیده و فتوسنتز گیاه را نیز افزایش داد، که با یافته های این بررسی هم‌خوانی دارد.

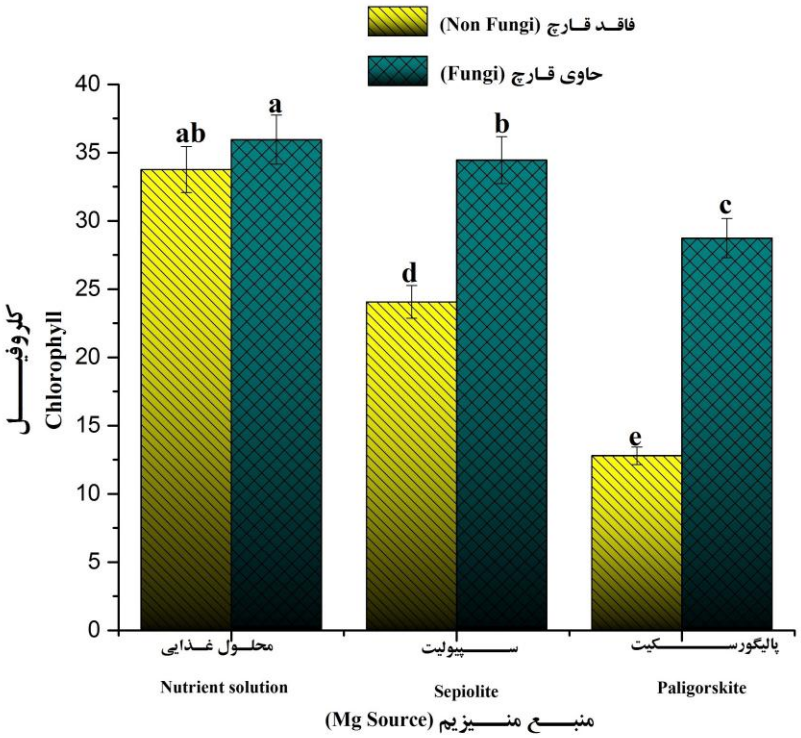
درصد میکوریزی شدن ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات اصلی فاکتورهای آزمایش و اثر برهم‌کنش قارچ و منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر این ویژگی معنی‌دار بود (جدول ۲). برپایه مقایسه میانگین انجام شده، درصد کلونیزاسیون در تیمارهای دارای کانی که محلول غذایی بدون منیزیم دریافت کرده‌اند، بیشتر از تیمار شاهد می‌باشد (شکل ۴). این نتایج نشان می‌دهد که در تیمارهای دارای محلول غذایی کامل چون نیاز غذایی گیاه در برابر دیگر تیمارها بیشتر فراهم شده است، درصد همزیستی میان گیاه و قارچ به‌گونه چشم گیری کم‌تر بوده است و در واقع گیاه برای رشد به میزان کمتری به وجود قارچ نیاز داشته است. با توجه به اینکه درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار دارای کانی پالیگورسکیت به گونه معنی‌داری بیش‌تر است و نیز از آن‌جایی که اندازه منیزیم این کانی خیلی کم‌تر از سپیولیت می‌باشد، بنابراین می‌توان بیان کرد در شرایطی که گیاه با محدودیت بیش‌تری از نظر مواد غذایی مواجه شده است، فعالیت قارچ و همزیستی آن با گیاه افزایش یافته است (شکل ۵). برپایه شکل ۴ تیمارهای بدون قارچ نیز

1- Tang *et al*.

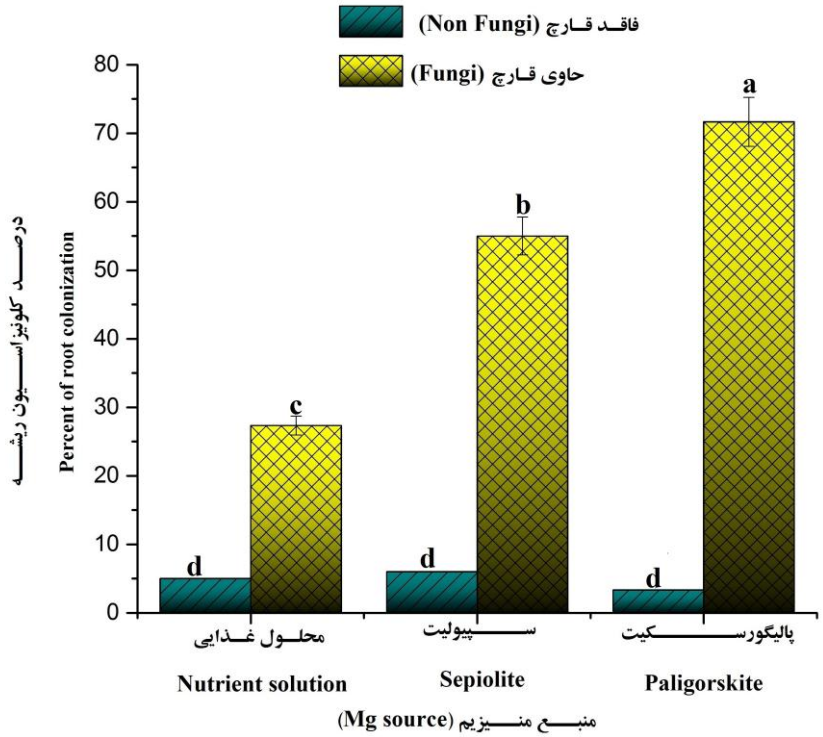
به‌اندازه خیلی کم‌تری قارچی شده‌اند که دلیل این امر شاید ناشی از آلودگی در طول دوره رشد بوده است. بررسی‌ها نشان داده است که هم‌زیستی میکوریزایی بیشتر برای بهبود تغذیه عناصری که غلظت آن‌ها در خاک کم است یا دارای تحرک و زیست فراهمی کمی هستند پدید می آید؛ بنابراین هر عاملی که این کمبود را تشدید کند مایه افزایش درصد همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریزیی خواهد شد (۱۸). از سوی دیگر کاربرد کانی‌ها با دگرگونی ویژگی های خاک به‌ویژه بافت و دانه‌بندی آن پیامد چشم گیری بر درصد میکوریزی شدن گیاه دارد. صفری سنجانی و طاهری قهریز جانی (۳۱) نیز در بررسی پیامد کاربرد زئولیت بر ویژگی‌های زیستی خاک گزارش کردند که کاربرد زئولیت به‌ویژه در خاک های شنی و سبک بافت می‌تواند منجر به افزایش درصد میکوریزی شدن ریشه گردد.

با این‌که درصد همزیستی در تیمار دارای پالیگورسکیت بیشتر است، ولی غلظت منیزیم جذب شده و در پی آن اندازه کلروفیل در این تیمار کم‌تر از تیمارهای سپیولیت و شاهد بوده است که شاید به پایداری بیش‌تر کانی پالیگورسکیت در برابر سپیولیت در رهاسازی منیزیم وابسته باشد.



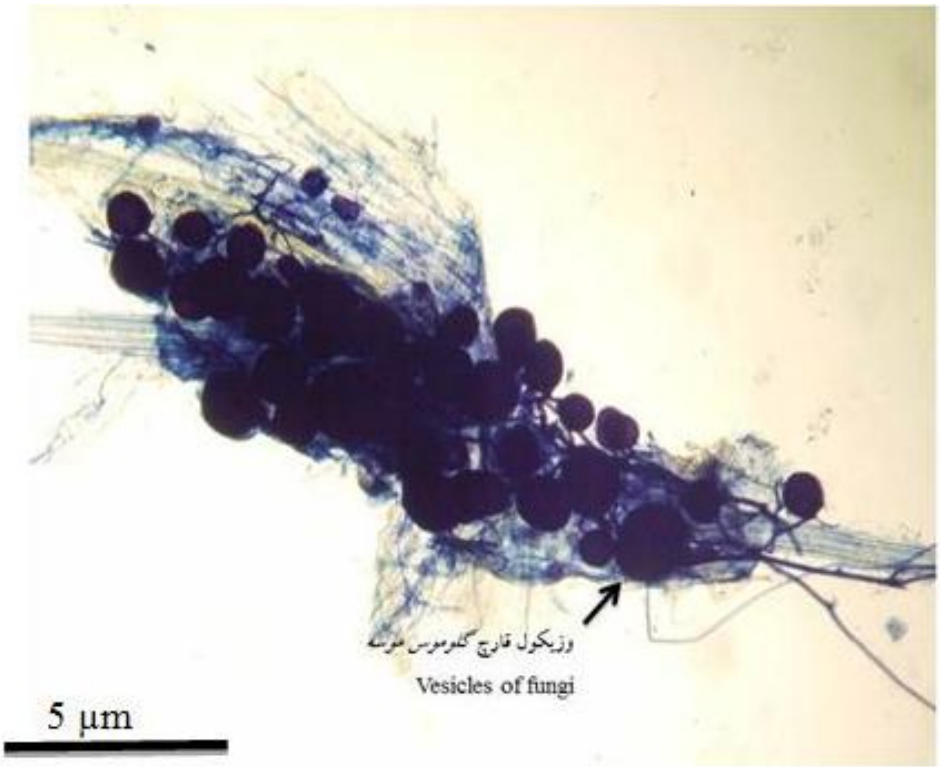
شکل (۳) برهم کنش تیمار مایه‌زنی با قارچ و خواستگاه منیزیم گیاه بر سنتز کلروفیل در گیاه سورگوم

Figure (3) Interaction between Fungi and Mg- Supplying Sources on Synthesis of Chlorophyll in Sorghum



شکل(٤) برهم کنش تیمار مایه زنی با قارچ و خواستگاه منیزیم گیاه بر درصد کلونیزاسیون ریشه

Figure (4) Interaction between Fungi and Mg- Supplying Sources on the Root Colonization



شکل(٥) ساختار قارچی دیده شده بر روی ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده در تیمار دارای پالیگورسکیت (بزرگنمایی 10X)

Figure (5) Fungal structure observed on painted roots from palygorskite treatment (magnification 10X)

نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که در هر دو تیمار دارای سپیولیت و پالیگورسکیت اندازه منیزیوم و شاخص کلروفیل در شرایط همزیستی ریشه گیاه سورگوم و قارچ *گلوموس موسه* به گونه معنی داری فزونی یافته است که نشان دهنده پیامد سودمند قارچ میکوریزی بر آزادسازی عنصر منیزیوم از این دو کانی و به‌ویژه کانی سپیولیت می‌باشد. شاید بتوان نوشت که در شرایط کمبود منیزیم با مکانیزم‌هایی که در محیط ریزوسفر و در بودن ریزجانداران رخ می‌دهد، این کانی‌ها می‌توانند هوادیده شده و منیزیم خود را در اختیار گیاه قرار دهند. درجه‌ی هوادیدگی و رهاسازی منیزیم از این کانی‌ها به ویژگی های گوناگونی مانند ساختار کانی، گونه گیاه و ریزجانداران همزیست بستگی دارد. رهاسازی بیش‌تر منیزیم از کانی سپیولیت را می توان به تری- اکتاهدرال بودن این کانی و آهن و منیزیم قابل هیدرولیز بیشتر در این کانی در برابر کانی دی اکتاهدرال پالیگورسکیت نسبت داد. بر این پایه اندازه منیزیمی که کانی پالیگورسکیت برای گیاه فراهم می کند، کم‌تر از منیزیم رها شده از سپیولیت بوده است. افزون بر آن، اگرچه هر دو کانی سپیولیت و پالیگورسکیت توانسته‌اند به اندازه بسنده ای نیاز گیاه را به منیزیوم فراهم نمایند، لیکن به نظر می‌رسد کانی سپیولیت می‌تواند در زمان درازتری منیزیوم گیاه را آسان‌تر از کانی پالیگورسکیت فراهم نماید که این موضوع و نیز دگرگونی کانی‌شناختی کانی‌ها در تیمارهای مایه‌زنی با قارچ‌های میکوریزی نیاز به بررسی بیش‌تر دارد.

منابع

1. Ahamadzadeh Sarvetani, S. 2011. The phytoextraction of elements (Cd, Ni, Mn and Cu) in soils treated with sewage slude with and without present of Arbuscular mycorrihza fungi in *Secale montanum* and *vicia fafa*. M.Sc. Thesis, Department of Soil Science, College Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian with English abstract)

2. Alizade, O., Majidi, E., Nadian, H., Noormohammadi, G., and Amerian, M.R., 2007. Evaluation the effects of mycorrhiza inoculate in different levels of irrigation and nitrogen on morphological and physiological traits of corn. New Findings in Agriculture, 1 (4): 309-319.

3. Almodares, A., Taheri, R., and Safavi, V. 2008. Sorghum, Botany Agronomy and Biotechnology. Isfahan branch of jahad- e – Daneshgahi press. 264. (In Persian).

4. Amerian, M.R., Stewart, W.S., and Griffits, H. 2001. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relation in maize. Aspects of Applied Biology, 63: 73-76.

5. Arocena, J.M., Velde, B., and Robertson, S.J .2012. Weathering of biotite in the presence of arbuscular mycorrhizae in selected agricultural crops. Applied Clay Science, 64: 12- 17.

6. Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11(1): 3-42.

7. Bago, B., Pfeffer P. E., Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. Plant Physiology, 124: 949-57.

8. Bakhshandeh, S., Khormali, F., Dordipour, E., Olamaei, M., and Kehl, M. 2011. Comparing the weathering of soil and sedimentary palygorskite in the rhizosphere zone. Applied Clay Science, 54: 235-241.

9. Brady, N.C. 1990. The Nature and properties of soils. Macmillan, New York, USA.

10. Brantley, S L. 2003. Reaction kinetics of primary rock- forming minerals under ambient conditions. In: Holland, H.D., and Turekian, K.K. (Eds.), Treatise on Geochemistry, 5: 1–44.

11. Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C., and Rengel , C. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza, 12: 185-190.

12. Gransee A., and Führs, H. 2013 Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant and Soil, 368: 5–21.

13. Hamzei, J., and Sadeghi Meabadi, F. 2013. Study of root colonization percentage of grain sorghum cultivars by two species of mycorrhizal fungi and its effect on some morphological and agronomic traits. Agronomy Science, 9: 25-36. (In Persian with English abstract)

14. Hojati, S., and khademi, H. 2012. Genesis and Distribution of palygorskite in iranian Soils and Sediments. Galan, E., and Singer, A. (Eds.), Developments in Palygorskite- sepiolite research. Elsevier, Developments in Clay Science, pp. 201- 219.

15. Huber, D.M., and Jones, J.B. 2013. The role of magnesium in plant diseases. Plant and Soil, 368: 73–85.

16. Iniobong, O. E., Solomon, M. G., and Osonubi, O. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation and phosphorus fertilization on the growth of *Gliricidia sepiom* in sterile and non-sterile soil. Research Journal of Agronomy, 2(1): 23-27.

17. Jackson, M. L. 1979. Soil Chemical Analysis Advanced Course. 2nd ed., 11th Printing, University of Wisconsin, College of Agriculture, Madison, WI, U.S.A.

18. Daghighi, S., Tehranifar, A., Davarinejad, G.H., Nakhaie, A., Jahani, M., and Malekzadeh-Shafroudi, S. 2009. Identification of mycorrhiza in Jujube tree *(ziziphus jujuba* mill) and the effect of the age of the tree on the quantity of mycorrhiza. Plant Production, 21 (3): 191-202.

19. Jenagh, Z., Hojati,S., and Landi, A. 2015. Effects of organic acids on release of some elements from sepiolite and palygorskite minerals in saline conditions. Water and Soil Conservation, 22(4): 47-65.

20. Khademi, H., and J.M. Arocena. 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. Clay and Clay Minerals, 4: 429-436. (In Persian with English abstract)

21. Khademi, H., and Mermut, A.R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferousaridisols and associated sediments from central Iran. Clay Minerals, 33: 561-578.

22. Khan, A.I., Ahmad, S.H., Sarvat, N.M., Moazzam, N., Athar, M., and Shabir, S.H. 2007. Growth response of Buffel Grass (*Cenchrus ciliaris*) to phosphorus and mycorrhizal inoculation. Agricultural Conspectus Scientificus, 72: 129-132.

23. Khormali, F., Dordipour, E., Amini, A., Ajami, M., and Ghorbani, F. 2011. Indigenous sources of Glauconite sandstones regarding its ability to supply K, and the study of chemical, biological weathering using mineralogical and microscopic methods. Research Project, College of Soil and Water, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

24. Leder, I., 2004. Sorghum and Millets. In: Fuleky, G. (Ed.), Cultivated plants, primarily as food sources: Encyclopedia of life support systems (EOLSS). UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK.

25. Leyval, C., and Berthelin. J. 1991. Weathering of mica by roots and rhizospheric microorganisms of pine. Soil Science Society. America Journal, 55: 1009-1016.

26. Liu, A., Hamel, C., and Marchner. B. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (Zea mays L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhiza, 9: 331-336.

27. Mengutay, M., Ceylan, Y., Kutman, U. B., Cakmak, I. 2013 Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. Plant and Soil 368: 57–72.

28. Neaman, A., and Singer, A. 2003. The effects of palygorskite on chemical and physico-chemical properties of soils: a review. Geoderma, 123: 297-303.

29. Ojha, S., Chakraborty, M. R., Dutta, S., and Chatterjee. N. C. 2008. Influence of VAM on nutrient uptake and growth of wheat. Asian Journal of Experimental Sciences, 22: 221-224.

30. Phillips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular- mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 55(1): 157-160.

31. Safari Sinegani, A. A., and Taheri Ghahrizjani, S. 2015. Effects of zeolite and manures applications on biological properties of light and heavy soils in greenhouse maize culture. Water and Soil Science, 24 (4): 197-213

32. Salehi, M. H., Tahamtani, L. 2012. Magnesium uptake and palygorskite transformation abilities of wheat and oat. Pedosphere, 22(6): 834–841.

33. Sanchez-Diaz, M., and Honrubia, M. 1994. Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. In: Gianinazzi, S., and Schüepp, H. (Eds.), Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser, Basel, 167 p.

34. Singer, A. 2002. Palygorskite and sepiolite. In: Dixon, J.B., and Schulze, D.G. (Eds.), Soil Mineralogy with Environmental Applications. Soil Science Society of America, Madison, pp. 555-583.

35. Tang, M., Chen, H., Huang, J.C., Tian, Z.Q. 2009. AM fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. Soil Biology and Biochemistry, 41: 936–940.

36. Wright, R.J., and Stuczynski, T. l. 1996. Atomic Absorption and Flame Emission Specromerty. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. SSSA and ASA, Madison, WI, USA. pp. 65-90.